

**РОСЖЕЛДОР**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования**

**«Ростовский государственный университет путей сообщения»  
(ФГБОУ ВО РГУПС)**

*На правах рукописи*



**Трапенов Владимир Викторович**

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

Специальность 2.9.1 –

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

**ДИССЕРТАЦИЯ**

**на соискание ученой степени кандидата технических наук**

Научный руководитель:  
доктор технических наук,  
профессор Числов Олег Николаевич

Ростов-на-Дону

2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Список условных обозначений и сокращений .....	5
ВВЕДЕНИЕ .....	6
1 ФОРМИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ГРУЗОВЫХ РАС- ПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТЕРМИНАЛОВ И СКЛАДСКИХ КОМ- ПЛЕКСОВ ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛОВ (НА ПРИМЕРЕ ЮГА РОССИИ) .....	18
1.1 Принципы формирования региональной системы терми- нально-складского хозяйства: проблемы и перспективы развития..	18
1.2 Классификация грузовых распределительных терминалов и складских комплексов транспортных узлов .....	30
1.3 Техничко-технологические параметры узловых транспортно- складских систем и процессов .....	34
1.4 Комплексный подход к выбору внутрискладских и внутри- узловых компоновочных решений системы складского хозяйства	45
1.5 Логистический грузовой распределительный центр – как пер- спектива развития узловых транспортно-складских процессов.....	50
1.6 Выводы по главе .....	56
2 МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАЗМЕЩЕНИЯ ЛОГИ- СТИЧЕСКИХ ГРУЗОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ В ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛАХ И ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЯХ	57
2.1 Анализ концепций проектирования и размещения логисти- ческих грузовых распределительных центров в транспортных уз- лах .....	57
2.2 Методы и модели внутриузловой параметризации компоно- вочных решений складской инфраструктуры .....	72
2.3 Критерии эффективности местоположения логистического грузового распределительного центра в транспортном узле .....	76
2.4 Выводы по главе .....	82

3	ФОРМИРОВАНИЕ СЕТИ УЗЛОВЫХ ГРУЗОВЫХ РАС- ПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ НА ПРИНЦИПАХ ЭКОНО- МИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАЗМЕЩЕНИЯ С УЧЕТОМ МУЛЬТИАГЕНТНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВА- НИЯ .....	84
3.1	Критерии рациональности компоновочных решений узло- вой сети логистических грузовых распределительных центров в зависимости от рыночной конкуренции .....	84
3.2	Экономико-географический метод размещения узловых грузовых распределительных центров с учетом мультиагентности транспортного обслуживания .....	87
3.3	Корректировка экономико-географической модели склад- ской системы узла с учетом вариативности расстояний доставки и областей охвата при рыночной мультиагентной конкуренции	94
3.4	Перспективное конфигурирование сети логистических гру- зовых распределительных центров узла с учетом территориальной параметризации рынка транспортно-складских услуг .....	101
3.5	Выводы по главе .....	105
4	РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ПАРА- МЕТРОВ СЕТИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ГРУЗОВЫХ РАСПРЕДЕ- ЛИТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ ТРАНСПОРТНОГО УЗЛА .....	107
4.1	Алгоритм и программный комплекс модифицированного эконо- мико-географического метода размещения логистических гру- зовых распределительных центров в транспортных узлах .....	107
4.2	Апробация узловых компоновочных решений на примере мо- делирования сети логистических грузовых распределительных центров юга России .....	109

4.3 Проектные показатели транспортно-складского обслуживания в узле с учетом значимых факторов размещения логистических грузовых распределительных центров .....	118
4.4 Интегральный показатель эффективности организации территориально-планировочных решений узловых логистических грузовых распределительных центров .....	123
4.5 Выводы по главе .....	131
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	133
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b> .....	137
Приложение 1 .....	159
Приложение 2 .....	169
Приложение 3 .....	181
Приложение 4 .....	182
Приложение 5 .....	262

## Список условных обозначений и сокращений

- ТСК** – Транспортно-складская система
- СКЭР** – Северо-Кавказский экономический район
- КМГА** – Кавказско-Минераловодская городская агломерация
- ЛГРЦ** – Логистический грузовой распределительный центр
- СВХ** – Склад временного хранения
- ССХ** – Система складского хозяйства
- ТМЦ** – Товарно-материальные ценности
- ТСС** – Транспортно-складские системы
- ТЛК** – Транспортно-логистический комплекс
- ИМ** – Имитационное моделирование
- ИИ (AI)** – Искусственный интеллект
- ГЕМ ТУ** – Геометрическая евклидова модель транспортного узла
- ГММ ТУ** – Геометрическая маршрутизационная модель транспортного узла
- ОГЕМ** – Оптимизационная геометрическая евклидова модель
- АЧБ** – Азово-Черноморский бассейн;
- ГС** – Грузовая станция;
- ГИС** – Геоинформационные системы
- ГЧП** – государственно-частное партнерство;
- ПВФ** – погрузочно-выгрузочный фронт;
- СКЭР** – Северо-Кавказский экономический регион;
- ТТС** – транспортно-технологическая система;
- ТМЦ** – Товарно-материальные ценности
- ЮФО** – Южный федеральный округ;
- ЭТП ГП** – электронная торговая площадка грузовых перевозок.
- IoT** – Платформа «интернет вещей»
- freight village** – Грузовая деревня

## ВВЕДЕНИЕ

**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 материальных потоков, темп производственной деятельности, конечную стоимость продукции и др., что в итоге отражается на качестве жизни населения, его благополучии и безопасности.

Несмотря на санкционные, эпидемиологические и кризисные ограничения, транспортная система РФ была и остается привлекательной для грузовладельцев, компаний и инвесторов, включая международных.

На рис. 1.1, 1.2 приведены показатели работы основных видов транспорта РФ за период с 2010 г. по 2022 г.



Рисунок 1.1 – Структура отправленных грузов по видам транспорта РФ

Современным направлением повышения конкурентоспособности отечественной транспортной системы является создание эффективной сети узловых логистических грузораспределительных центров (ЛГРЦ). Учитывая имеющийся место дефицит терминально-складских мощностей класса «А» и «А+» в России, в Распоряжении Правительства РФ от 27 ноября 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 [20].

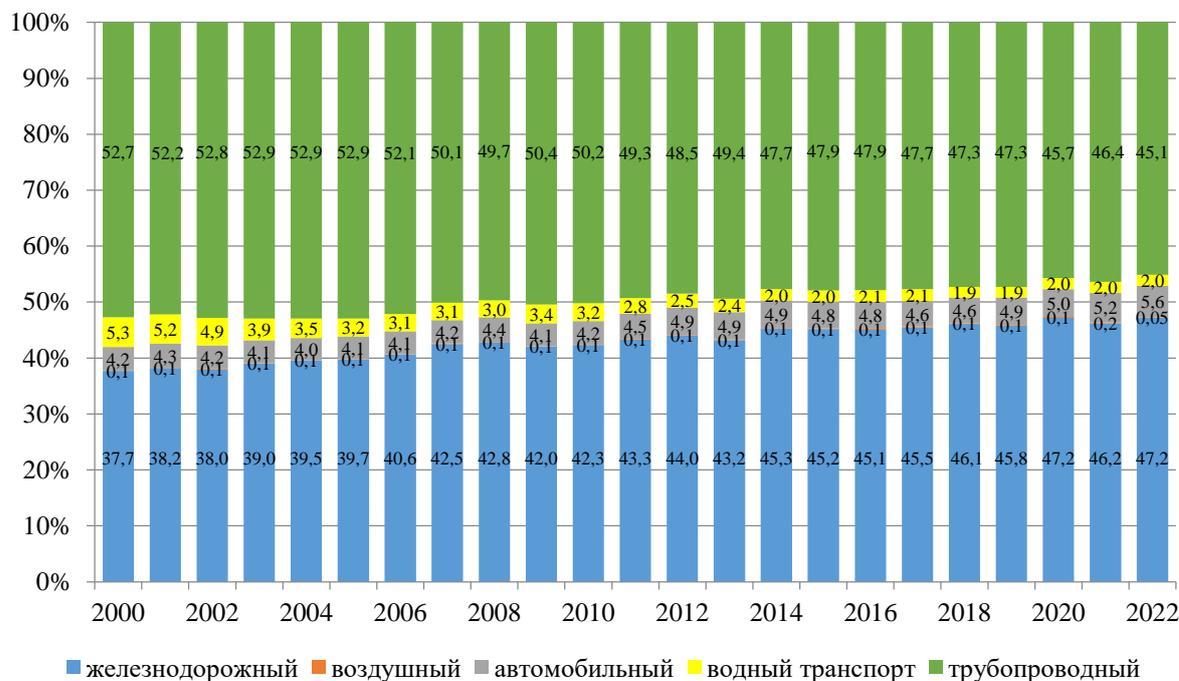


Рисунок 1.2 – Структура грузооборота по видам транспорта РФ

Известно, что Российские железные дороги являются третьей по величине транспортной системой мира, уступая по общей длине эксплуатационных путей лишь США. По протяженности электрифицированных магистралей российские железные дороги занимают первое место в мире. Российская Федерация начиная с 2011г. осуществляла более 20 % грузооборота и 5 % пассажирооборота всех железных дорог мира. Железнодорожный транспорт является ведущим элементом транспортной системы страны (таблица 1.1), его доля в грузообороте составляет более 40 % от всего транспорта страны, пассажирообороте составляет 30 %. При этом удельный вес в грузообороте остается устойчивым в течение последних лет, а в пассажирообороте удельный вес снижается [20].

Таблица 1.1 – Протяженность путей сообщения транспортной системы России

Показатели	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Эксплуатационная длина железнодорожных путей общего пользования	86,3	86,4	86,5	86,6	87,0	87,0	87,0	87,0
в том числе электрифицированные пути	43,7	43,9	44,1	44,1	44,3	44,5	44,6	44,6
Протяженность автомобильных дорог общего пользования	1 480,5	1 498,5	1 507,8	1 531,6	1 542,2	1 553,7	1 566,1	1 575,6
в том числе с твердым покрытием	1 045,5	1 053,7	1 064,0	1 077,5	1 089,3	1 096,7	1 107,5	1 115,0
Протяженность внутренних водных судоходных путей	101,7	101,5	101,5	101,5	101,6	101,6	101,6	101,6

На долю железнодорожного транспорта приходится 5,36 % перевезенных пассажиров (1025 млн чел) или 22,76 % пассажирооборота (120,6 млрд пас-км); 17,53 % перевезенных грузов (1329 млн т) или 45,27 % грузооборота (2306 млрд т-км) от общего объема транспортной работы всех видов транспорта Российской Федерации. Согласно Транспортной стратегии РФ, отмечается рост объемов грузовых перевозок и темпов валового внутреннего продукта, заложенные в базовом и консервативном сценариях развития (табл. 1.2).

Положительные перспективы развития перевозок должны быть подкреплены соответствующими инновационными научными исследованиями по организации эффективного узлового транспортно-технологического и транспортно-складского взаимодействия, проектов развития и выбора мест размещения грузораспределительных терминалов [33,34,35,37,38].

Таблица 1.2 – Прогноз объемов грузовых перевозок по отдельным видам транспорта [20]

Грузовые перевозки по видам транспорта	2019 год	2024 год	2030 год	2035 год
Консервативный вариант				
Общий объем грузовых перевозок	7122	7516	7898	8218
Автомобильный транспорт	5735	5847	5984	6101
Железнодорожный транспорт	1279	1488	1601	1703
Внутренний водный транспорт	108	122	180	215
Базовый вариант				
Общий объем грузовых перевозок	7122	7633	7971	8342
Автомобильный транспорт	5735	5906	6117	6300
Железнодорожный транспорт	1279	1604	1670	1820
Внутренний водный транспорт	108	123	184	222

Согласно [3], общий объём универсальных складских площадей, введённых в I–II кв. 2022 г. в России, составляет 1 232 тыс. м<sup>2</sup> что на 79 % больше, чем за аналогичный период 2021 г. Большая часть из них была введена в Москве – 63 % (773 тыс м<sup>2</sup>). На долю Санкт-Петербурга пришлось порядка 5 % (63,5 тыс м<sup>2</sup>), на остальные регионы России – 32 % (395 тыс м<sup>2</sup>). Объём ввода в Московском регионе вырос более чем в 2,5 раза по сравнению с I полугодием 2021 г., в то время как в Санкт-Петербурге показатель вырос на 9 %. Объём введённых складских площадей в регионах России (без учета Москвы и Санкт-Петербурга) по итогам II кв. 2022 г. вырос на 17 % по сравнению с предыдущим годом. Лидером по объёму регионального строительства стал Ростов-на-Дону, на который пришлось 23 % объема ввода за полугодие. На Новосибирск, Брянск, Воронеж и Екатеринбург пришлось по 10–11 % объема ввода.

Шесть самых крупных регионов по общему объёму складской недвижимости – Екатеринбург, Новосибирск, Ростов-на-Дону, Казань, Краснодар и Самара – формируют более половины качественного регионального складского рынка (51,6 %). Все они являются городами-миллионниками и логистическими центрами своих федеральных округов.

Например, одними из наиболее крупных новых складских объектов стали два распределительных центра для компании Ozon: 3-я фаза складского комплекса «Дорожный» в Ростове-на-Дону (41,6 тыс м<sup>2</sup>) и 3-я фаза логистического парка «Кольцовский» в Екатеринбурге (38,8 тыс м<sup>2</sup>). Помимо того, были введены в эксплуатацию распределительные центры X5 Group в Брянске (35,1 тыс м<sup>2</sup>) и «Красное&Белое» в Волгограде (20 тыс м<sup>2</sup>).

Транспортно-складская инфраструктура на данный момент является одним из наиболее устойчивых сегментом рынка недвижимости. По данным Росстата, общий объём складских площадей в России по итогам 2021 г. составил 34,4 млн м<sup>2</sup>, что на 14 % превышает аналогичный показатель 2020 г. А за период с 2018 г. он вырос на 44 %. В 2021 г. в эксплуатацию было введено 4,3 млн м<sup>2</sup> новых складских площадей. Это рекордное значение за период с 2018 г. В сравнении с 2020 г. рост составил более 43 %.

Особое место в производственно-транспортной структуре России занимает Северо-Кавказский экономический регион (СКЭР), на территории которого сконцентрированы различные виды производств, многоотраслевое сельскохозяйственное производство, курортно-рекреационный комплекс. Благодаря расположению между тремя морями (Черным, Азовским, Каспийским) по территории Северного Кавказа через железнодорожные узлы проходят важнейшие транспортные коридоры мультимодальных перевозок России. Развитие транспортной сети общего пользования в ЮФО характеризуется плотностью путей сообщения на 1000 кв. км (табл. 3).

Таблица 1.3 – Плотность транспортной сети, км/1000 км<sup>2</sup>

Вид транспорта	Территории		
	Северо-Кавказский Федеральный округ	Южный Федеральный округ	Российская Феде- рация
Железные дороги общего пользования	37	14,6	5,0
Автомобильные дороги общего пользования с твёрдым покрытием	221,2	108,0	31,5
Внутренние водные судоходные пути	-	3,2	6,3

Анализ складской сети СКЭР, сложившейся еще в 80-х годах прошлого века, указывает на ряд проблем: недостаточный учет перспектив развития региональной промышленности, социальной инфраструктуры, трудовых ресурсов и пропускной способности транспортных коммуникаций [6]. Существующие благоприятные тенденции в развитии промышленного производства СКЭР (8 % всей отрасли и 16 % производства сельхозпродукции в РФ) должны быть поддержаны складской составляющей, что требует развития методов размещения, проектирования и управления работой ЛГРЦ. Проблема формирования эффективной региональной терминально-складской сети неразрывно связана с решением вопроса определения рационального количества ЛГРЦ и их размещения с учетом наличия транспортных коммуникаций.

Прибытие грузов на железнодорожные станции СКЭР за последний год составило 169,8 млн т грузов, 30 % общего прибытия грузов по железной дороге (51,0 млн т) составляют нефтегрузы. Второе место (22,1 %) по значимости занимают строительные материалы. Объем прибытия металла на железнодорожные станции округа составили 20,4 млн т. Значительное процент прибытия на железнодорожные станции округа составили удобрения, зерновые грузы и лес. Объемы отправления угля по округу составляет 9,6 млн т. Значительны показатели (17,4 %) в общем объеме отправления занимают прочие грузы (продукция машиностроения, химической, пищевой и других отраслей промышленности).

В рамках формирования складской сети СКЭР и потенциала инновационного развития систем складирования и грузопереработки следует отметить, что относительная концентрация имеющихся складских мощностей и логистических провайдеров, сосредоточена в основном в трех федеральных образованиях: Краснодарский край, Волгоградская и Ростовская области. Значительная часть имеющихся логистических провайдеров оперирует стандартным пакетом логистических услуг, который включает в себя ответственное хранение и транспортировку.

Транспортно-складской комплекс является неотъемлемой частью современной логистики, обеспечивая эффективное движение и хранение товаров от их производства до конечного потребителя. Этот комплексный организационный и технический механизм включает в себя различные элементы, начиная от инфраструктуры и заканчивая технологическими решениями.

Набор столь важных факторов актуализирует необходимость расширения научного методологического инструментария оценки конфигурации транспортно-складской сети и выбора мест размещения узловых грузораспределительных центров. Это свидетельствует о актуальности и целесообразности выполненных в диссертации научных исследований.

**Степень разработанности проблемы.** Российский опыт проектирования генеральных планов транспортно-складских комплексов (ТСК) и логистических грузовых распределительных центров (ЛГРЦ) и их оптимизации размещения в транспортных узлах был накоплен в результате работы, проделанной отечественными научно-исследовательскими и проектными институтами (АО «ВНИИЖТ», АО «ИЭРТ», АО «НИИАС», проектные институты Министерства транспорта и ОАО «РЖД»), вузами России совместно с крупнейшими специалистами – учеными-транспортниками. Большой вклад в разработку теории и практики распределения грузопотоков транспортных узлов, проектирования ЛГРЦ, развития и оптимизации параметров складской сети внесли выдающиеся ученые: В.Н. Образцов, С.П. Бузанов, А.С. Герасимов, С.Е. Гибшман, П.Ф. Дубинский, С.В. Земблинов, И.И. Костин, В.Д. Никитин, 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, А.С. Сеницына, М.Д. Ситника, С.А. Уварова, И.В. Штефко, О.Н. Числова, А.В. Хомова, Н.Г. Янковской и др.

Вместе с тем, аспекты взаимодействия между участниками процесса формирования узловых транспортно-складских систем остаются недостаточно исследованными, что связано с отсутствием достаточного опыта и времени для разработки эффективных подходов к управлению складскими потоками в транспортных сетях.

**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 поставленной цели потребовалось решить следующие **задачи**:

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

– 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.

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

– 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.

– 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 п. 1. «Транспортные системы и сети страны, их структура, комплексное развитие», п. 6. «Инфраструктура транспортных систем. Организационные структуры управления», п. 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:**

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

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

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

– 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:

– 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.

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

– 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.

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

**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 «Экс-

плуатация 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-и приложений. Работа изложена на 158 страницах основного текста, содержит 34 рисунка, 31 таблица.

# 1 ФОРМИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ГРУЗОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТЕРМИНАЛОВ И СКЛАДСКИХ КОМПЛЕКСОВ ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛОВ (НА ПРИМЕРЕ ЮГА РОССИИ)

## 1.1 ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ТЕРМИНАЛЬНО-СКЛАДСКОГО ХОЗЯЙСТВА: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Транспорт Российской Федерации, несмотря на санкции, кризисы, географические препятствия, отрицательные мировые экономические факторы и технологические вызовы за последние годы сохранил свой потенциал, провел необходимую модернизацию инфраструктуры, что позволило удовлетворить растущий спрос на грузовые перевозки и создать определенный задел для дальнейшего развития. Известно, что перевозка грузов представляет собой важный аспект экономической активности и инфраструктурного развития, как региона, так и страны в целом (таблица 1.4).

Таблица 1.4 – Анализ объемов перевезенного груза по различным видам транспорта [1]

Перевезено грузов, млн т					
Вид транспорта	2010	2015	2019	2020	2021
Железнодорожный	1312	1329	1399	1359	1404
Автомобильный	5236	5357	5735	5405	5491
Трубопроводный	1061	1071	1159	1061	1141
Морской	37	19	23	25	23
Внутренний водный	102	121	108	109	110
Воздушный	1,1	1,0	1,3	1,3	1,6
Грузооборот, млрд т·км					
Железнодорожный	2011	2306	2602	2545	2639
Автомобильный	199	247	275	272	285
Трубопроводный	2382	2444	2686	2470	2653
Морской	100	42	41	43	44
Внутренний водный	54	64	66	64	71
Воздушный	4,7	5,6	7,4	7,1	9,2

Известно, что одним из важнейших кластеров России является Северо-Кавказский экономический регион (СКЭР). По численности населения (19,4 млн чел.) СКЭР занимает третье место в РФ после Центрального и Уральского

регионов. На территории СКЭР размещены промышленно-транспортные системы практически всех видов и отраслей экономики. В транспортную структуру СКЭР входят важнейшие припортовые железнодорожные станции и порты Азово-Черноморского бассейна (АЧБ), обслуживаемые Северо-Кавказской железной дорогой – филиал ОАО «РЖД».

Транспорт является одной из важнейших отраслей экономики и его развитие обеспечивает решение следующих основных задач: развитие транспортной системы регионов, повышение темпов их социально-экономического прогресса и увеличение объемов межрегиональных связей; транспортное обеспечение растущих объемов внешней торговли страны и международного транзита. Это, прежде всего, связано с развитием морских и наземных коммуникаций евроазиатского транспортного направления «Север-Юг», увеличением переработки внешнеторговых грузов в отечественных морских портах АЧБ, активизацией международного сотрудничества в рамках Евразийского экономического сообщества и организации черноморского экономического сотрудничества.

Транспортно-складская сеть является ключевым элементом логистической инфраструктуры, оказывающим значительное влияние на эффективность и конкурентоспособность региональной экономики. В контексте Юга России, этот вопрос особенно актуален из-за его уникальных географических, исторических и экономических особенностей.

В рамках формирования складской сети Юга России и потенциала инновационного развития систем складирования и грузопереработки следует отметить, что относительная концентрация имеющихся складских мощностей и логистических провайдеров, участвующих в процессе товародвижения на Юге России и в Южном федеральном округе (ЮФО), сосредоточена в основном в трех федеральных образованиях: Краснодарский край, Волгоградская и Ростовская области. Значительная часть имеющихся логистических провайдеров оперирует стандартным пакетом логистических услуг, который включает в себя ответственное хранение и транспортировку [124].

Ростовская область, в силу экономико-географического расположения территории, занимает важное место в системе транспортных коммуникаций, связывающих Россию с другими республиками (таблица 1.5, 1.6).

Таблица 1.5 – Отправление грузов железнодорожным транспортом общего пользования по субъектам РФ, тыс т [1]

Регионы	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Российская Федерация	1329005	1325159	1384287	1410852	1398610	1358527	1403919	1351252
Южный федеральный округ	86479	86765	98623	99336	94432	86412	92846	88793
Республика Адыгея	921	955	826	868	835	749	525	479
Республика Калмыкия	36	36	48	-	15	3	1	1
Республика Крым	1489	1892	1892	1902	1294	1076	1279	2066
Краснодарский край	31699	31911	34788	32557	31477	26375	30390	30738
Астраханская область	16842	16941	17295	18237	18710	18588	20307	20378
Волгоградская область	17132	16709	18468	15686	14537	15520	15086	15189
Ростовская область	18360	18321	25306	30086	27564	24101	25258	19942
Северо-Кавказский федеральный округ	13617	12761	12801	12007	11582	11326	11319	11000
Республика Дагестан	2277	2179	2451	2597	2642	2884	2653	2149
Республика Ингушетия	77	83	91	86	84	55	57	52
Кабардино-Балкарская Республика	666	690	510	609	481	459	298	553
Карачаево-Черкесская Республика	1487	1482	1308	1097	1247	1356	1303	1315
Республика Северная Осетия-Алания	798	879	871	749	717	950	794	940
Чеченская Республика	406	194	192	345	288	223	236	152
Ставропольский край	7906	7254	7378	6524	6123	5399	5978	5839

В соответствии со Стратегией развития [2], приоритетными в ЮФО являются создание скоростных железнодорожных и автодорожных направлений, повышение пропускной способности сетей всех видов транспорта, включая усиление подходов к морским портам, строительство новых железных и автомобильных дорог, воднотранспортных межбассейновых соединений, комплексное развитие припортовых транспортных узлов, формирование агломерации Ростов-на-Дону – Аксай – Батайск – Новочеркасск, создание на территории округа транспортно-логистической инфраструктуры, увеличение мощностей всех морских портов с ростом их грузооборота к 2030 г. в 1,9 раза, развитие перевозок пассажиров морским и речным транспортом и др.

Таблица 1.6 – Прибытие грузов железнодорожным транспортом общего пользования по субъектам РФ, тыс т [1]

Регионы	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Российская Федерация	1338793	1333408	1387859	1417655	1407178	1368100	1405710	1357762
Южный федеральный округ	140648	144414	153992	159026	156730	150732	165189	165709
Республика Адыгея	530	601	660	632	590	569	775	835
Республика Калмыкия	258	89	7	-	50	76	54	25
Республика Крым	3108	3557	3686	3382	2134	2134	2348	2848
Краснодарский край	98090	103197	106827	107932	107536	107619	123379	121380
Астраханская область	7753	6943	7145	6321	6912	7921	7164	6831
Волгоградская область	10683	10372	10063	8951	9520	10080	9645	10054
Ростовская область	20226	19656	25604	31808	29988	22333	21824	23736
Северо-Кавказский федеральный округ	16786	15355	15675	15526	17078	16073	15030	18806
Республика Дагестан	9340	7842	8553	8028	9729	8725	7674	10628
Республика Ингушетия	484	424	394	388	373	370	424	364
Кабардино-Балкарская Республика	605	575	572	641	644	667	591	694
Карачаево-Черкесская Республика	411	352	389	308	299	234	200	301
Республика Северная Осетия-Алания	1067	1069	1056	1101	750	822	779	986
Чеченская Республика	681	688	681	775	750	803	870	894
Ставропольский край	4198	4404	4030	4285	4533	4452	4492	4939

Следует отметить, что реализация данных проектов невозможна без эффективной транспортно-складской инфраструктуры, оптимальных 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.

По прогнозам компании *Knight Frank* (таблица 1.7) совокупный ввод качественных складских площадей в России может превысить значение 2022 года и стать рекордным за последние 9 лет.

Регионы-лидеры по объему ввода складской недвижимости по-прежнему будут располагаться в Центральном, Приволжском, Южном и Уральском федеральных округах. В регионах Сибири и Дальнего Востока будут появляться единичные проекты или расширения существующих объектов, как в

случае с новым корпусом логистического центра «Санвэй» в Хабаровске (11 тыс м<sup>2</sup>).

Таблица 1.7 – Показатели рынка складской недвижимости регионов России (Источник: *Knight Frank Research*, [3])

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
Нижн. 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

Формирование региональной складской системы представляет собой сложный и многогранный процесс, зависящий от факторов и условий, как внутренних, так и внешних. Для достижения качественной организации и эффективного функционирования такой системы необходимо учитывать ключевые аспекты (рисунок 1.3) [4].

Первым и важнейшим этапом при формировании региональной складской системы является определение стратегических целей и задач, которые данная система должна решать. Это могут быть задачи по обеспечению стабильного снабжения региона товарами, минимизации издержек в цепи поставок, обеспечению высокого уровня обслуживания клиентов и другие. Определение конкретных целей позволяет выстроить стратегию развития и рационально выделить ресурсы (рисунок 1.4).



Рисунок 1.3 – Ключевые аспекты формирования региональной складской системы

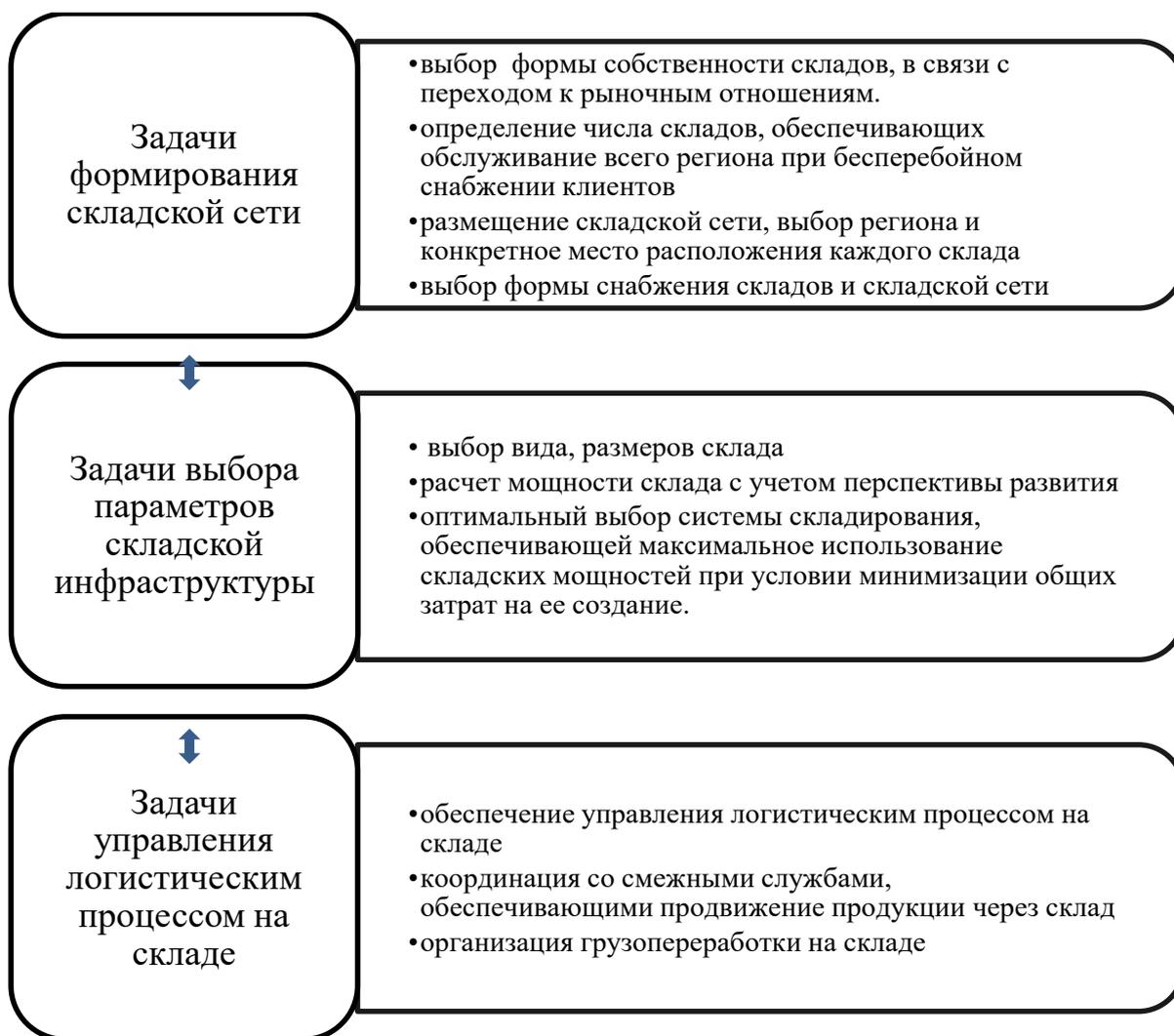


Рисунок 1.4 – Задачи формирования складской логистической инфраструктуры

Определяя роль склада в [5, стр. 9], отмечено, что «...склады являются одним из важнейших элементов логистических систем. Объективная необходимость в специально обустроенных местах для содержания запасов существует на всех стадиях движения материального потока, начиная от первичного источника сырья и кончая конечным потребителем. Этим объясняется наличие большого количества разнообразных видов складов».

Среди основных услуг склада можно выделить шесть групп [125]:

1 - материальные – связаны с выполнением операций по повышению технологической готовности продукции к потреблению согласно заказам потребителей;

2 - организационно-коммерческие - направлены на повышение эффективности процессов товарно-денежного обмена;

3 - складские – связаны с выполнением операций складирования материальных ценностей на временное хранение за плату, сдачей в аренду складских площадей;

4 - транспортно-экспедиторские - связаны с доставкой грузов клиентам;

5 - новые цифровые логистические решения – технологии для оптимизации логистических процессов, предлагающие инновационные решения, основанные на аналитике данных, машинном обучении и автоматизации, чтобы обеспечить более эффективное управление запасами, оптимизировать маршруты доставки и повысить общую производительность склада.

6 - информационные – предоставляют клиентам доступ к информации в реальном времени о состоянии и местоположении их грузов, статусе заказов, а также отчетам о производительности складских операций.

Отечественная практика организации складской деятельности в XX веке опиралась на использование нормативов, типовых решений и рекомендаций. Складская сеть, оставшаяся в наследство от советской экономической системы, создавалась в условиях централизованного управления и не соответствует задачам организации товародвижения в условиях рыночной экономики.

Таким образом, формирование складских систем в современных условиях требует ответа на вопрос: «Где размещать склады и сколько их должно быть?»

Важным показателем насыщенности складской сети, является сколько приходится м<sup>2</sup> складских площадей логистического грузового распределительного центра (ЛГРЦ) класса А и В на одного жителя. Сравнивая этот показатель с другими лидирующими странами в данном сегменте (Прил. 1, рис. П1.9) можно сказать, что, российский рынок еще далек от своего насыщения. Показатель 0,2 м<sup>2</sup>/чел. является средним по России. Основная концентрация складских площадей класса А и В приходится на Московскую и Ленинградскую области, порядка 67 %, здесь уже этот показатель составляет 0,9 м<sup>2</sup>/чел. и 0,6 м<sup>2</sup>/чел. В остальных регионах ситуация также не однозначная, т. к. зависит от уровня регионального развития.

Общий объем качественной складской недвижимости России на I полугодие 2023 г. составляет 43,5 млн м<sup>2</sup>. Из него 23,8 млн м<sup>2</sup> (55 %) приходится на Московский регион, 4,7 млн м<sup>2</sup> (11 %) – на Санкт-Петербург и Ленинградскую область, и 15 млн м<sup>2</sup> (34 %) – на остальные регионы России. По итогам I полугодия 2023 г. общий объем ввода качественной складской недвижимости России составил 1 046 тыс м<sup>2</sup>.

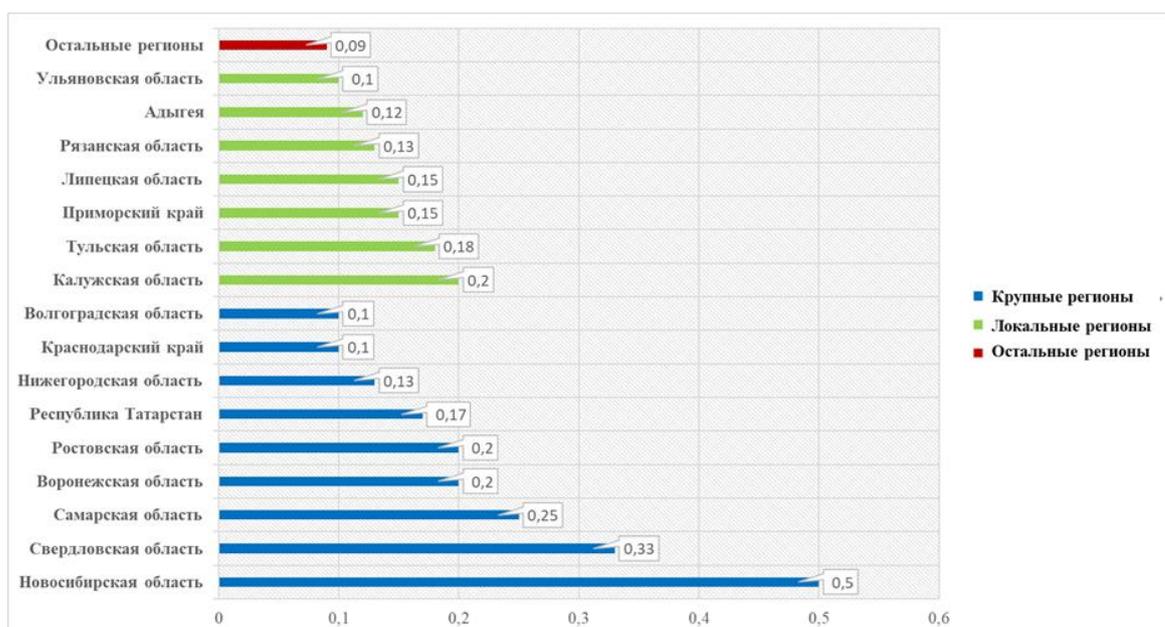


Рисунок 1.5 – Региональная обеспеченность складской инфраструктурой, м<sup>2</sup>/чел

Наибольшую долю в общем объеме завершеного строительства занимают регионы – 53 % (или 554 тыс м<sup>2</sup>). Данный показатель вырос на 64 % по сравнению со значением I полугодия 2022 г. Для сравнения, в Московском регионе за первые 6 месяцев ввелось порядка 433 тыс м<sup>2</sup>, в Санкт-Петербурге и Ленинградской области – 60 тыс м<sup>2</sup>. Среди региональных рынков лидерами по объему ввода стали Краснодар – 157 тыс м<sup>2</sup>, Екатеринбург – 87 тыс м<sup>2</sup>, Воронеж – 53 тыс м<sup>2</sup>, Тула – 50 тыс м<sup>2</sup> и Волгоград – 45 тыс м<sup>2</sup>. Подавляющая часть новых складских площадей – 81 % была построена в городах-миллионниках и крупных региональных центрах. В остальных городах объемы ввода сравнительно ниже.

Наибольшими по площади объектами, которые будут сдаваться в аренду, стали 1-я фаза логистического комплекса «Авиатор» в Екатеринбурге 37,5 тыс м<sup>2</sup>, 2-я фаза «ЕГСК Логоцентра Седельниково» в Екатеринбурге 30 тыс м<sup>2</sup>, логистический центр компании «Новоросслогистик» в Новороссийске 20,4 тыс м<sup>2</sup> и новый корпус Терминала «Чкаловский» в Екатеринбурге 20 тыс м<sup>2</sup>. Все перечисленные объекты соответствуют классу А.

Наибольшую часть 395 тыс м<sup>2</sup> – (71 %) завершеного строительства в регионах составили площади под собственные нужды, доля которых, напротив, увеличилась в общей структуре ввода. Из них на объекты формата *built-to-suit* пришлось 256 тыс м<sup>2</sup> – (46 %). Крупнейшими завершенными проектами стали 3-я фаза распределительного центра онлайн-ритейлера *Wildberries* в Краснодаре 50 тыс м<sup>2</sup>, 2-я фаза логистического комплекса «Солнечный» в Волгограде 45 тыс м<sup>2</sup>, распределительный центр X5 Group в Краснодаре 44 тыс м<sup>2</sup>, а также вторые фазы двух распределительных центров Ozon в Казани 38 тыс м<sup>2</sup> и Краснодаре 34 тыс м<sup>2</sup>. Оставшиеся 139 тыс м<sup>2</sup> – (25 %) от общего объема пришлось на площади самостоятельного строительства. К таким объектам относятся 1-я фаза распределительного центра *Wildberries* в Туле 50 тыс м<sup>2</sup>, склад «Фармлэнд – Терминал 1» в Уфе 15 тыс м<sup>2</sup> и распределительный центр Почты России в Воронеже 12,5 тыс м<sup>2</sup>.

Крупнейшими регионами России (не включая Москву и Санкт-Петербург) по общему объему качественной складской недвижимости являются 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>. Вместе они формируют более 50 % от общего объема регионального предложения складских услуг. Наибольшим потенциалом для развития складской логистики среди субъектов ЮФО имеют транспортные узлы городов Краснодара, Новороссийска, Минеральных Вод, Ростова-на-Дону, где имеются качественные складские объекты классов А и В. Например, общий объем предложения складской недвижимости г. Ростова-на-Дону – 486 тыс м<sup>2</sup>. Общая площадь складов классов А и В – 156 тыс м<sup>2</sup>, что составляет 32 % от общего объема рынка (по данным компании *GVA Sawyer*). Таким образом, обеспеченность складскими мощностями составляет 114,6 м<sup>2</sup>/тыс чел.

Таким образом, транспортно-складская инфраструктура на данный момент является одним из наиболее устойчивых сегментов рынка недвижимости. Это рекордное значение за период с 2018 г. В сравнении с 2020 г. рост составил более 43 %.

*Этапы формирования складской инфраструктуры Юга России* тесно связаны с историей этого региона и его экономическими особенностями. На Юге России складские системы развивались в соответствии с потребностями сельского хозяйства, добывающей промышленности, торговли и других отраслей экономики региона (таблица 1.8).

Однако, анализ состояния складской сети СКЭР, сложившейся еще в 80-х годах прошлого века, указывает на ряд проблем: недостаточный учет перспектив развития промышленности, социальной инфраструктуры, трудовых ресурсов и пропускной способности транспортных коммуникаций [6]. Существующие благоприятные тенденции в развитии промышленного производства СКЭР (8 % всей отрасли и 16 % производства сельхозпродукции в РФ)

должны быть поддержаны складской составляющей, что требует развития методов выбора эффективных вариантов размещения, проектирования и управления работой ЛГРЦ.

Таблица 1.8 – Этапы формирования складской системы Юга России

Период	Местоположение	Тип склада	Основные товары
Античность (VI-III вв. до н.э.)	Греческие колонии на побережье Черного моря (современный Краснодарский край, Крым)	Примитивные склады	Зерно, вино, оливковое масло
Средние века (XIII-XV вв.)	Азов, Сарай-Бату (Астраханская область)	Склады при монастырях и феодальных хозяйствах	Зерно, скот, ремесленные изделия
XVIII-XIX века	Одесса, Таганрог, Ростов-на-Дону, Новороссийск	Портовые склады	Зерно, рыба, шерсть, лес
Вторая половина XIX века	Харьков, Екатеринослав (Днепр), Воронеж, Поволжье, Кубань	Склады в железнодорожных узлах	Зерно, уголь, металл, лес
XX век	Крупные города, промышленные центры СКЭР	Склады готовой продукции, распределительные центры, начало классификации качества	Промышленная продукция, продовольствие, широкий ассортимент товаров
XXI век и далее	Крупные транспортные узлы СКЭР	Логистические центры, автоматизированные склады, склады с использованием IT-технологий, классификация (A+, A, B, C, D)	E-commerce товары, товары народного потребления, специализированные товары (например, фармацевтика, электроника)

Проблема формирования эффективной региональной терминально-складской сети неразрывно связана с решением вопроса определения рационального количества ЛГРЦ, их размещения с учетом наличия транспортных коммуникаций, повышения уровня обслуживания конечных потребителей и сокращения общих затрат в товаропроводящей сети.

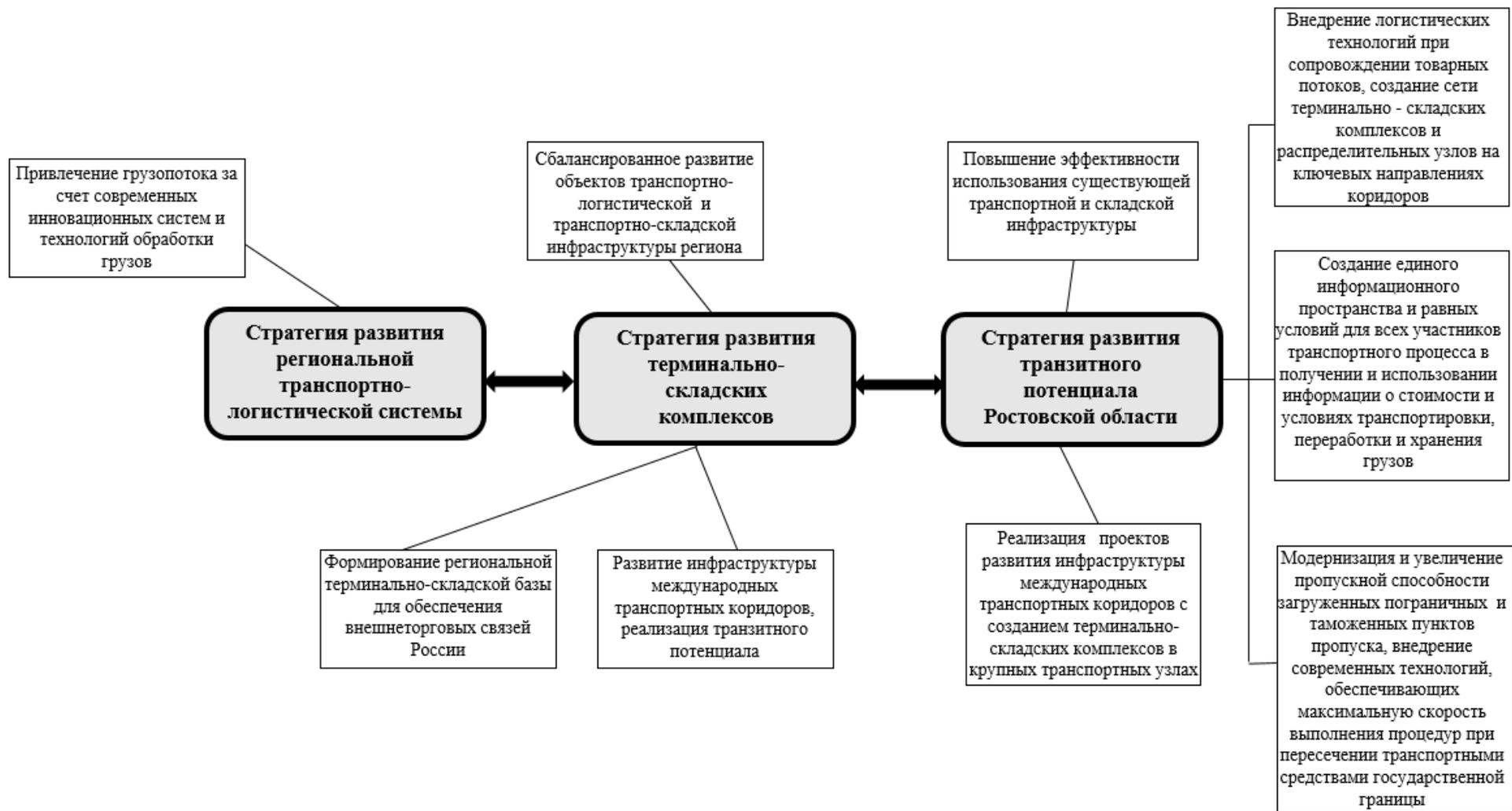


Рисунок 1.6 – Стратегия развития терминально-складской системы СКЭР

## 1.2 КЛАССИФИКАЦИЯ ГРУЗОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТЕРМИНАЛОВ И СКЛАДСКИХ КОМПЛЕКСОВ ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛОВ

Известно, что около 70 % времени доставки груз (сырье, генеральные грузы, товар) находится на складе. Транспортно-складская система узла, берущая начало от исходного поставщика материалов (сырья) и завершающаяся конечным потребителем, объединяет три функциональные области, которые начинаются и заканчиваются складами. Каждая область функционирования складского комплекса связана с определенным назначением склада и его специализацией [7]:

1 – склады снабженческие – осуществляют снабжение и сосредоточены на хранении, материалов (сырья), комплектующих и другой продукции производственного назначения;

2 – склады производственные – предназначены для обеспечения производственного процесса и хранения запасов незавершенного производства, запчастей, инструментов и т. д.

3 – склады распределительные – обеспечивают непрерывное движение товаров из сферы производства в сферу потребления.

Логистические грузовые распределительные центры (ЛГРЦ) представляют собой ключевое звено в современной логистике, обеспечивая хранение и эффективную доставку товаров от производителя до потребителя. Для оптимизации работы ЛГРЦ важно провести их классификацию на основе различных признаков.

До конца 2004 г. на российском рынке не существовало формализованной, соответствующей мировым стандартам классификации складов. В зарубежной литературе, согласно разработанной компанией *Knight Frank* классификации, все складские помещения подразделяются на классы: склады класса А – с делением на подклассы А+ и А; склады класса В – с делением на подклассы В+ и В; класс С; класс D.

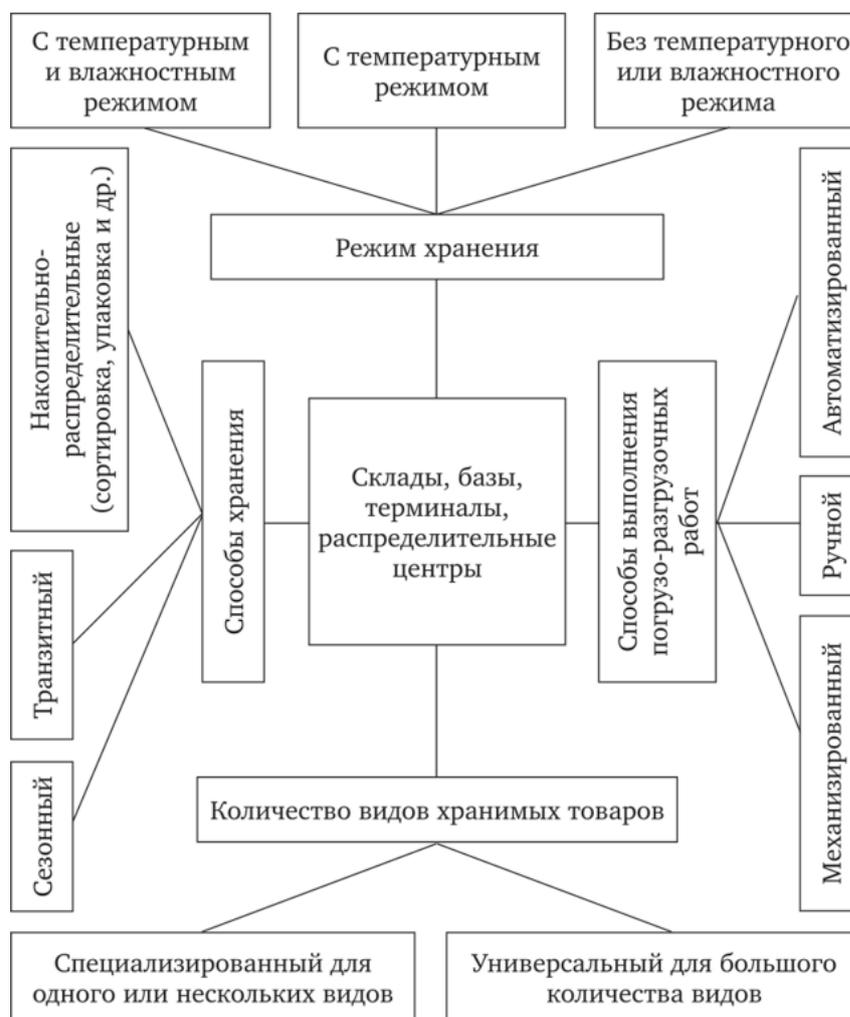


Рисунок 1.7 – Классификация складов [112]

Однако, в классификации отражены технические характеристики складских объектов без учета их месторасположения. Одна из современных особенностей рынка складских помещений в России – переоборудование бывших бомбоубежищ, производственных территорий и овощехранилищ в складские помещения и присвоение им статуса склад. Такие помещения имеют существенные недостатки. Логистические компании, которые пришли на российский рынок со своими технологиями хранения и переработки грузов, требовали помещений, удовлетворяющих международным стандартам.

Диаграмма классификационных признаков транспортно-складских комплексов представлена на рисунке 1.8.

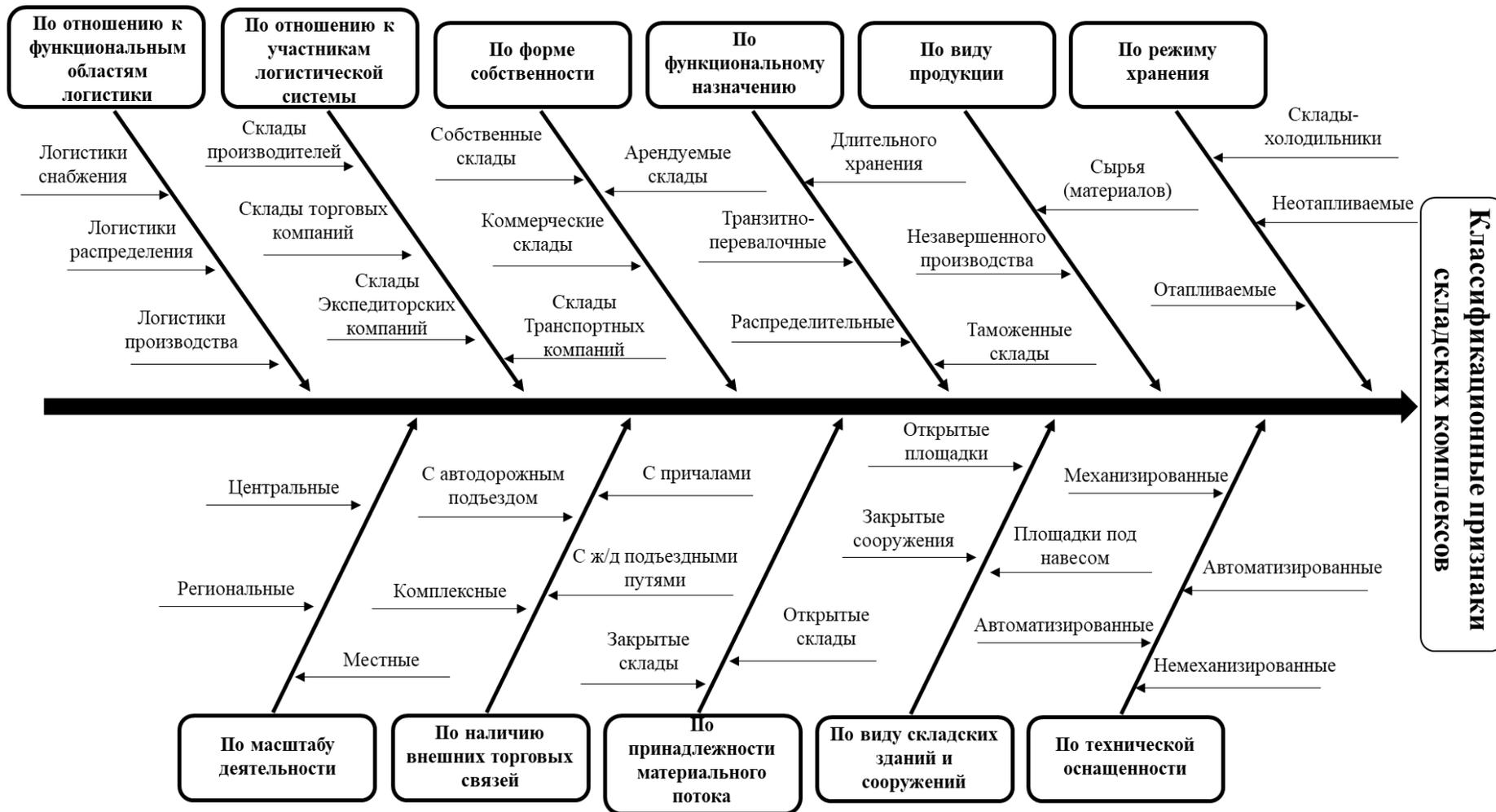


Рисунок 1.8 – Классификационные признаки транспортно-складских комплексов

На грузовых станциях крупных железнодорожных узлов со значительным объемом погрузки-выгрузки на местах общего пользования, создаются грузовые терминалы, на прилегающей территории станции, на которой находятся сооружения, технические устройства и путевое развитие, предназначенные для приема, погрузки, выгрузки, выдачи, сортировки и временного хранения грузов, а также для непосредственной их передачи с одного вида транспорта на другой. В зависимости от характера работы различают транспортно-складские комплексы (ТСК) специализированные и общего типа. Размещение грузовых железнодорожных терминалов на полигоне СКЖД представлено на рис. 1.9.

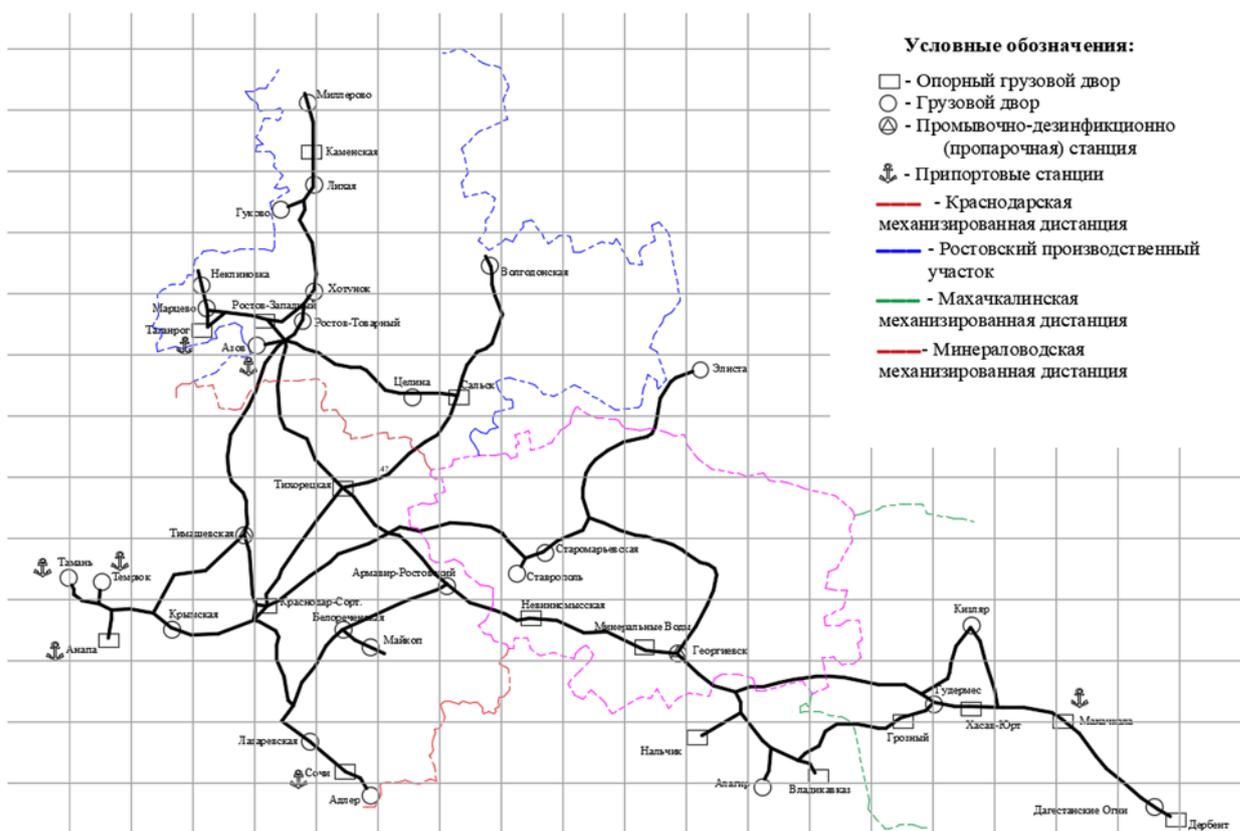


Рисунок 1.9 – Размещение грузовых железнодорожных терминалов на полигоне СКЖД

### 1.3 ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ УЗЛОВЫХ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСКИХ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ

Рассмотрим технико-технологические параметры узловых транспортно-складских систем и процессов на примере узлов Юга России.

**Ростовский транспортный узел («Р»)** является важнейшим промышленно-транспортным узлом, который имеет развитое машиностроительное и автосборочное производство, предприятия электровозостроения, энергетический комплекс, химическую, пищевую и легкую промышленность, агропромышленный комплекс, речной порт и аэропорт. По определению [10], Ростовская агломерация относится к двухъядерной агломерации с центрами притяжения в г. Ростове-на-Дону и Таганроге. Центрами второго порядка являются города Новочеркасск и Азов. Кроме этого, вокруг Ростова сформировалась зона городов спутников (Акса́й, Бата́йск).

В Ростовской области заявлено немало проектов строительства логистических складских комплексов класса А и В, но большинство проектов заморожено. Основной спрос на складские мощности формируют местные компании, а федеральные компании пока представлены слабо. Наибольшая концентрация терминалов наблюдается вдоль автомобильной трассы М-4 «ДОН» в пределах 100 км зоны г. Ростова-на-Дону. В данной зоне сконцентрировано более 56 % населения всей области. Здесь же сосредоточено более 70 % промышленных предприятий региона (гг. Ростов-на-Дону, Таганрог, Новочеркасск, Шахты). Более 5 % общей доли товаров и услуг приходится на г. Волгодонск, который расположен в восточной части Ростовской области. Более 74 % структуры оборота розничной торговли Ростовской области приходится на зону в пределах 100 км.

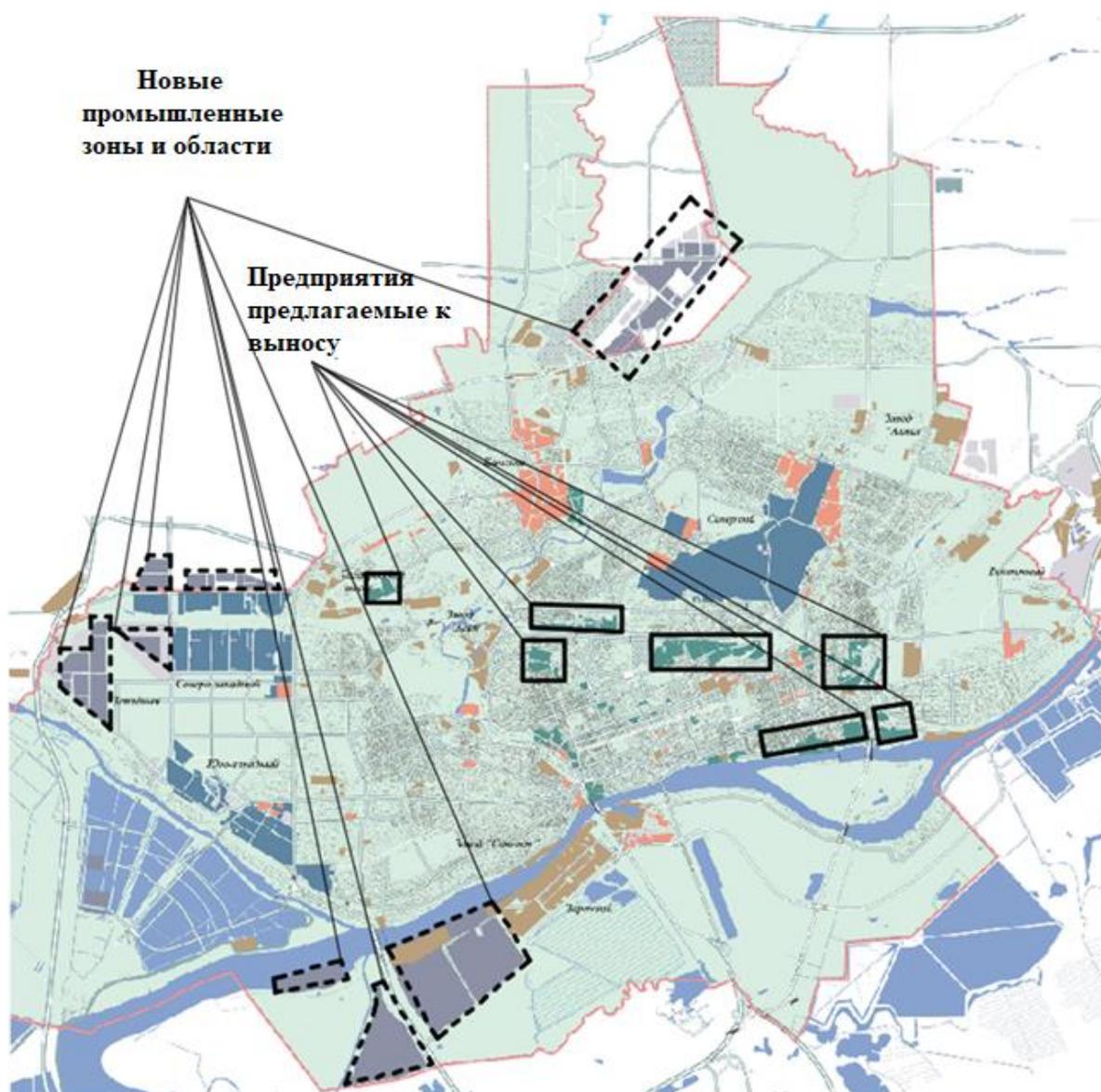


Рисунок 1.10 – Схема узла «Р» с перспективным развитием транспортно-складских территорий [170]

Анализ размещения и номенклатуры товарно-материальных потоков терминально-складской сети узла «Р» 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 [11]. Размещение складских объектов промышленных предприятий, грузовых дворов различных видов транспорта сложилось в 80-е года и не в полной мере учитывает современную пропускную способность транспортно-дорожной сети и условия эксплуатации.

В Ростовской области сформирована многопрофильная система товародвижения, основу которой составляют более 110 оптовых предприятий потребительского рынка товаров и услуг, представленных свыше 54 тыс торговых мест с сосредоточением в городах Ростове-на-Дону, Таганроге, Новочеркасске, Шахтах. Оптовые складские терминалы, базы и рынки продовольственного назначения, строительных материалов и товаров широкого потребления, размещены в городах на территории бывших баз снабженческо-сбытовых организаций. Кроме этого, современные распределительные склады организаций оптовой торговли разместились на территории бывших производственных и складских мощностей малых и средних промышленных предприятий, которые в результате развития городов оказались внутри жилой и социальной застройки без учета пропускной способности транспортно-дорожной сети и уровня ее загрузки.

Отношение оборота розничной торговли на душу населения в муниципальных районах на территории области позволяет в той или иной мере оценить обеспеченность территории складской и торговой инфраструктурой. Анализ показывает, что наиболее развитым в этом отношении является Аксайский район, за счет концентрации на его территории большого числа крупных операторов оптовой торговли, логистики. При среднем показателе по области – 93,5 тыс руб./чел., значение данного показателя здесь составило 220,2 тыс руб./чел., а в г. Ростове-на-Дону – 188,7 тыс руб./чел., в Волгодонске и Новочеркасске по 105,3 тыс руб./чел., Каменск-Шахтинский – 99 тыс руб./чел., Таганрог – 90,8 тыс руб./чел., Шахты – 77 тыс руб./чел., Азов – 69,2 тыс руб./чел. [12]

**Минераловодский транспортный узел («М») и Кавказско-Минераловодская городская агломерация** объединяет города Кисловодск, Ессентуки, Пятигорск, Железноводск, Лермонтов и Минеральные Воды. Общая численность населения агломерации более 1 млн чел., каждый год ее посещает более 650 тыс туристов. Регион Кавказских минеральных вод (КМВ) обладает

огромным потенциалом как туристско-рекреационный центр: на его территории расположены природные и исторические памятники, уникальные по своему богатству лечебно-рекреационные ресурсы.

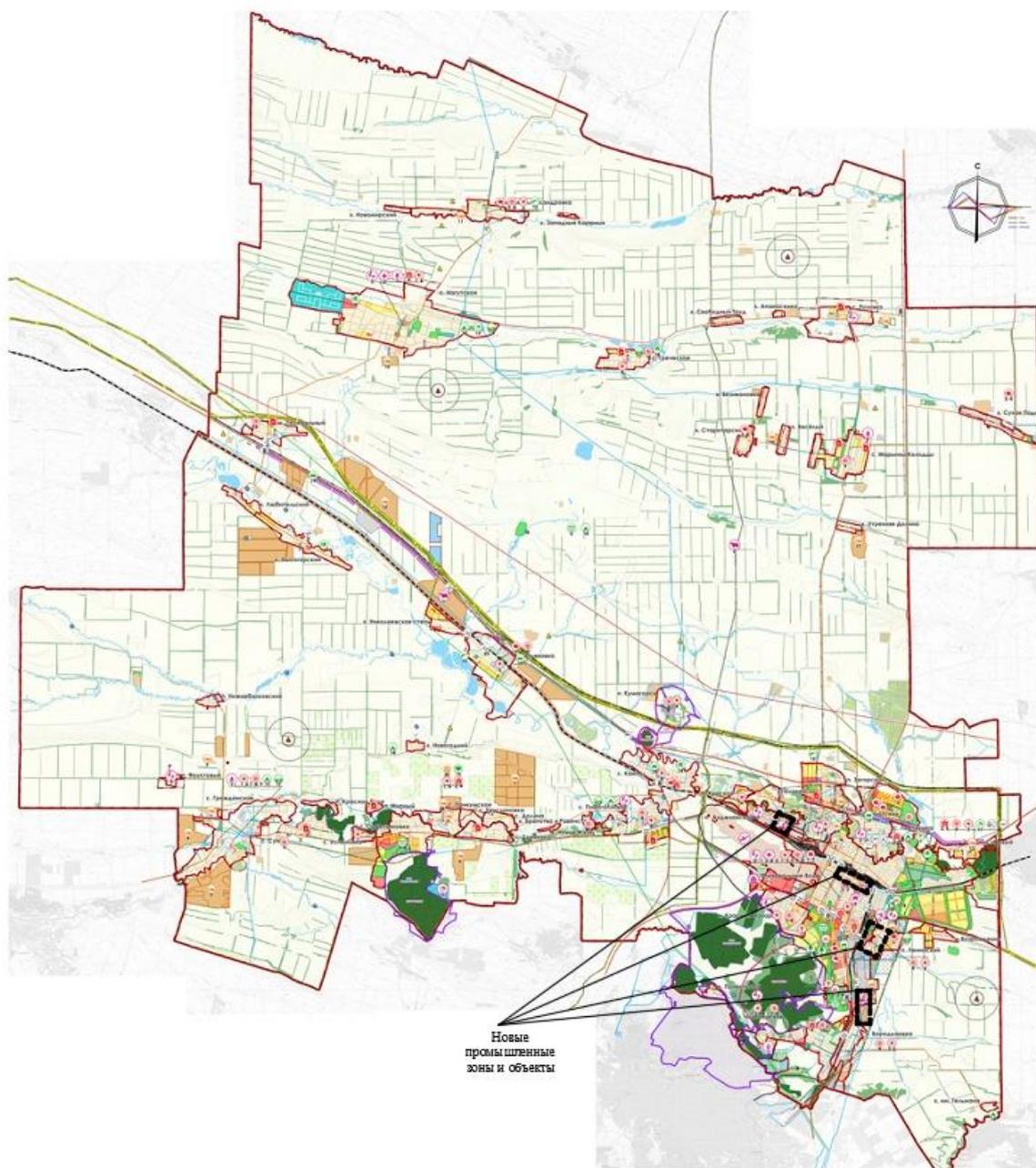


Рисунок 1.11 – Схема узла «М» с перспективным развитием транспортно-складских территорий [171]

Перспективы развития региона КМВ напрямую касаются города Минеральные Воды, который с момента своего основания является «транспортными воротами» региона. Именно здесь расположен международный аэропорт, железнодорожный узел, а также находятся транспортные развязки в

направлении «Север-Юг», «Запад-Восток» (республики СКФО). Через КМВ проходит железная дорога Москва — Ростов — Баку, федеральная автотрасса «Кавказ», которая связывает ЮФО и СКФО. Аэропорт г. Мин. Воды связывает регион со всеми крупными центрами РФ, ближнего и дальнего зарубежья. Плотность населения составляет 53 чел. на км<sup>2</sup>.

Транспортно-складские и промышленные зоны размещены в основном по блочно-модульному принципу и концентрируются на юго-востоке узла и вдоль автотрасс.

**Краснодарский транспортный узел («К»)** занимает выгодное географическое положение в Южном федеральном округе. В узле представлены все виды транспорта: воздушный, автомобильный (две автодороги федерального значения), железнодорожный (четыре направления, три ж.-д. вокзала), водный (суда «река – море»). Также важно отметить рост средней стоимости одного м<sup>2</sup> коммерческих объектов в Краснодарском крае. Так, в октябре 2023 г. года цена за м<sup>2</sup> выросла на 17 % и составила 75,3 тыс руб. В частности, самый дорогой м<sup>2</sup> коммерческой недвижимости — в Краснодаре (102,9 тыс руб./м<sup>2</sup>). На рынке складской коммерческой недвижимости в Краснодарском крае выделяется индустриальная недвижимость, а именно складские помещения от 1500 м<sup>2</sup> класса А. Это наиболее востребованная площадь по аренде на данный момент — около 3/4 от общего объема обращений.

Общий объем предложения качественной складской недвижимости Краснодарского края на третий квартал 2023 г. составляет 1,3 млн м<sup>2</sup>. При этом, все вакантные складские площади уже заняты.

Краснодарский край занимает третье место после Москвы и Санкт-Петербурга по совокупному объему запросов на склады. Однако все эти запросы остаются неудовлетворенными из-за отсутствия доступного предложения. Ситуация осложняется нехваткой в Краснодарском крае в целом и в Краснодаре в частности земли под строительство. Качественных участков, где можно было реализовать новые складские объекты (*build-to-suit* или *build-to-rent*), практически нет.

Качественный сегмент складской недвижимости сформирован крупными комплексами класса А и В, которые имеют значительный размер (как правило, свыше 10 тыс м<sup>2</sup>) и локализованы на окраинах города (преимущественно в восточной части). Насчитывается 15 таких комплексов с GLA около 650 тыс м<sup>2</sup>. Складскую инфраструктуру составляют 34 складских объекта среднего масштаба совокупной площадью 293,3 тыс м<sup>2</sup>. Большая часть представленных объектов относится к формату классических складов (28 ед., или 82 %). Также на рынке присутствуют торгово-складские комплексы (5 ед., или 15 %) и один объект формата *light industrial*.

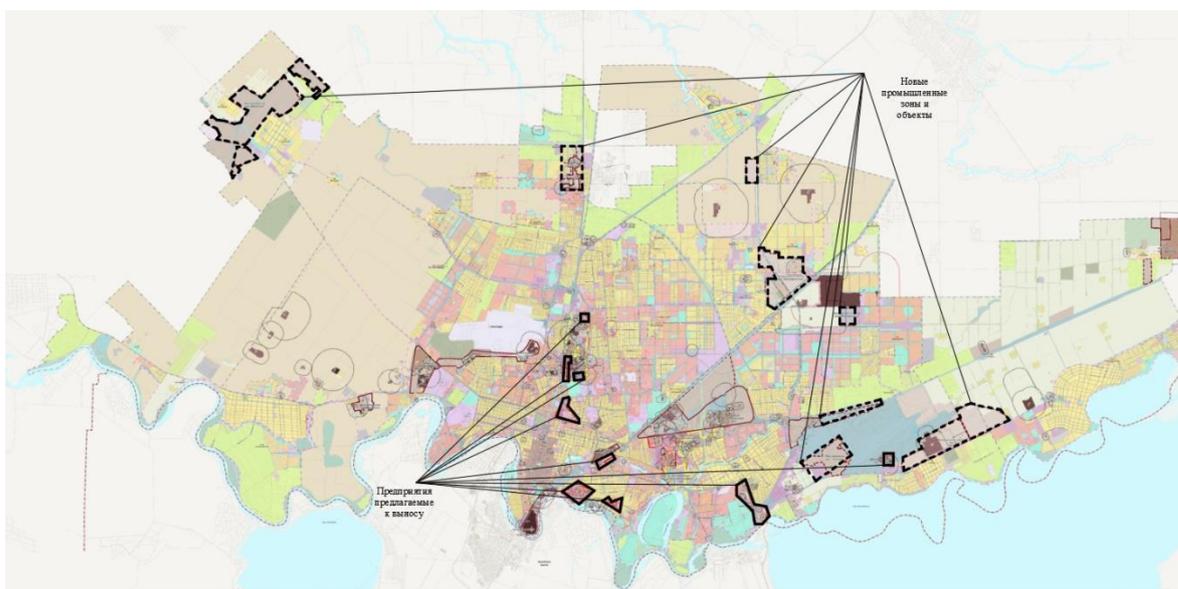


Рисунок 1.12 – Схема узла «К» с перспективным развитием транспортно-складских территорий [172]

**Астраханский транспортный узел («А»)** является стратегически важным транспортным узлом, где пересекаются каспийские морские и волжские речные пути с железнодорожными и автомобильными трассами России, соединяющими Европу со странами Западной и Средней Азии, Индией и Пакистаном, а также странами Индийского океана. Транспортная система Астраханской области включает все виды транспорта – железные дороги, морские пути сообщения и порты, внутренние судоходные пути и порты, автомобиль-

ные дороги, воздушные трассы и аэропорты, нефте- и газопроводы. Отличительной особенностью транспортной системы области является высокий уровень развития каждого составляющего ее вида транспорта.

Автомобильный транспорт обеспечивает, прежде всего, внутрирегиональные перевозки грузов и пассажиров, а также участвует в реализации межрегиональных и транзитных перевозок. Главные автомагистрали – М6 (Москва-Тамбов-Волгоград-Астрахань), Астрахань-Москва, Астрахань-Элиста, Астрахань-Махачкала и Астрахань-Красный Яр-Атырау. Протяженность автомобильных дорог общего пользования составляет 6123,7 км, из которых протяженность дорог федерального значения – 573,8 км (9,37 %), регионального и межмуниципального значения 2210,2 км (36,09 %), местного значения – 3339,7 км (54,54 %).

Водный транспорт Астраханской области представляет собой систему перевозки пассажиров и грузов по рекам и каналам Астраханской области. Пассажирский водный транспорт в регионе преимущественно представлен речными трамваями и паромными переправами. Протяженность водных транспортных путей 721 км, в том числе 498,3 км магистральных внутренних водных путей.

Общий объем складских площадей в Астраханском узле оставляет около 220 тыс м<sup>2</sup>. На сегодняшний день наблюдается увеличение оборотов оптовой и розничной торговли, что влечет за собой повышение спроса на складские помещения класса А и В. Коммерческие склады класса В на астраханском рынке складской недвижимости представлены в малом количестве, а склады класса А отсутствуют вовсе. Помещения класса С и D составляют основу рынка складской недвижимости региона и занимают наибольшую долю на данном рынке. При этом суммарная площадь складов класса С составляет 120-130 тыс м<sup>2</sup>.

Изучение ситуации на астраханском транспортно-логистическом рынке позволяет сделать вывод, что складская инфраструктура не соответствует со-

временным требованиям. В частности, действующие терминалы и склады региона в силу небольшой мощности не смогут в перспективе обеспечить крупный объем грузопереработки. Создание эффективной системы грузообращения невозможно без определения рациональных мест размещения и проектирования технически оснащенных грузовых терминалов, обеспечивающих хранение, переработку грузов и предоставляющих ряд дополнительных услуг, необходимых перевозчикам и грузовладельцам.

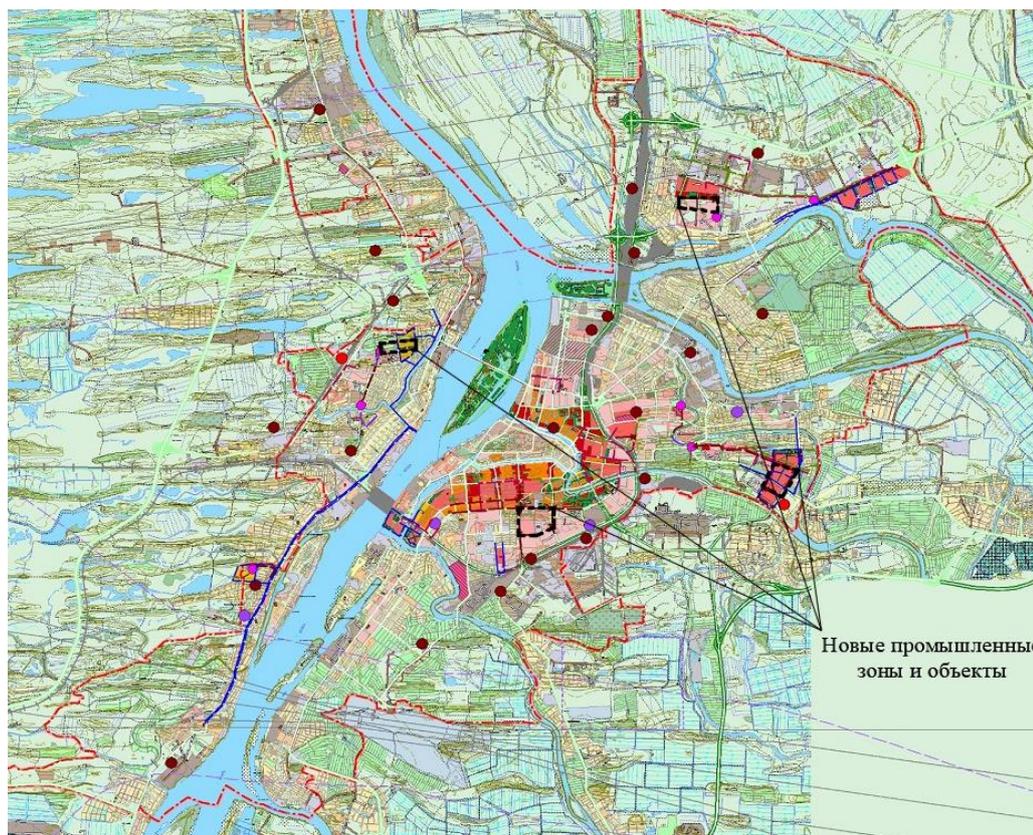


Рисунок 1.13 – Схема узла «А» с перспективным развитием транспортно-складских территорий [173]

Известно, что распределение грузопотоков в узловых транспортно-складских системах (ТСС) основывается на определении рационального объема и направлений перевозок. Управление в ТТС во многом зависит от применения различных форм организации и распределения грузопотоков, которые обычно характеризуются многоступенчатостью. При этом приняты схемы организации узловых грузопотоков (рисунок 1.14) [126].

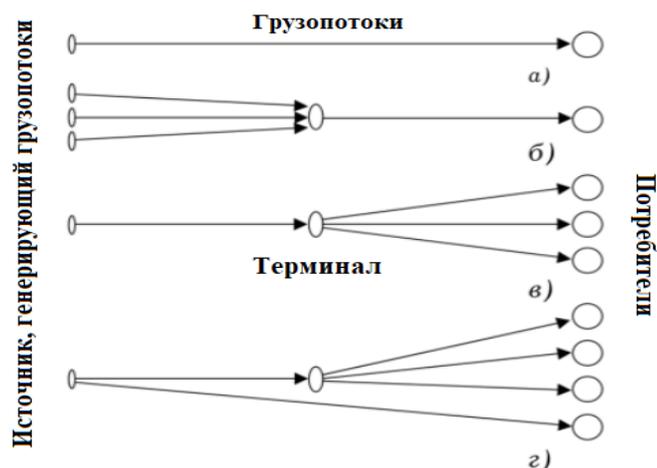


Рисунок 1.14 – Схема организации грузопотоков

Особенности взаимодействия складских комплексов и видов узлового транспорта представлены в табл. 1.9.

Таблица 1.9 – Особенности взаимодействия складских комплексов и видов транспорта

Транспорт	Форма взаимодействия	Грузовая операция	Особенность формы взаимодействия
Автомобильный транспорт (варианты перегрузочных работ в автотранспортных узлах)	Складской комплекс грузоотправителя ↔ складской комплекс грузополучателя	Данное взаимодействие подразумевает перемещение грузов с ЛГРЦ отправителя на ЛГРЦ получателя.	
	ЛГРЦ ↔ автомобильный транспорт	Погрузка груза с ЛГРЦ на автотранспорт / Выгрузка груза из автомобильного транспорта на складской комплекс.	
	Автомобильный транспорт ↔ судно	Погрузка груза на судно из автотранспорта / Выгрузка груза с судна на автотранспорт	
	Автомобильный транспорт ↔ вагон	Сокращения затрат на перегрузку грузов, ускорение доставки грузов, сокращения продолжительности нахождения грузов на складах станции; сокращение потребной складской емкости; уменьшение штата работников и количества механизмов, занятых на перегрузке.	
Водный транспорт (варианты перегрузочных работ в портовых узлах)	Судно ↔ складской комплекс	Выгрузка груза на ЛГРЦ / погрузка груза на судно с ЛГРЦ	
	Судно ↔ вагон	Выгрузка груза в вагоны/Погрузка груза на судно	
	Судно ↔ автомобильный транспорт	Выгрузка груза на автомобильного транспорта / Погрузка груза на судно из автотранспорта	
	Судно – судно	Погрузка груза с судна на судно	
	Вагон ↔ складской комплекс	Выгрузка груза из вагона на склад / Погрузка груза в вагон со склада	
	Автомобиль ↔ складской комплекс	Разгрузка груза из автомашин на склад / Отгрузка груза со склада на автомобильный транспорт	
	Складской комплекс грузоотправителя ↔ складской комплекс грузополучателя	Перемещение груза с одного склада на другой	

Продолжение таблицы 1.9

Железнодорожный и автомобильный транспорт (железнодорожно-автомобильные узлы)	Вагон ↔ автомобильный транспорт	Наиболее сложный процесс перевозки, так как наблюдается значительное несоответствие грузоподъемности вагонов (60-63 т) и автотранспорта (3,5-7 т). Сокращение затрат на перегрузку грузов, ускорение доставки грузов, сокращения продолжительности нахождения грузов на складах станции; сокращение потребной складской емкости; уменьшение штата работников и количества механизмов, занятых на перегрузке.	
	Склад ↔ автомобильный транспорт	Погрузка грузов на автотранспорт с железнодорожного склада / выгрузка грузов с автотранспорта на склад	Автомобильный транспорт перемещает грузы на короткие расстояния в пределах одного крупного населенного пункта и его окрестностей
	Складской комплекс грузоотправителя ↔ складской комплекс грузополучателя	Перемещение груза с одного складского комплекса на другой	

В зависимости от условий поставки различают транзитную и терминальную технологии транспортировки, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки (таблица 1.10).

Таблица 1.10 – Сравнение вариантов транспортировки узлового грузопотока

Вид	Достоинства	Недостатки
Транзитная	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ускоренное продвижение грузов;</li> <li>- уменьшение количества погрузочно-разгрузочных операций;</li> <li>- снижение расходов на складирование (хранение)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- непроизводительные простои подвижного состава;</li> <li>- малоэффективное использование транспортной инфраструктуры;</li> <li>- увеличение нагрузки на производственные и погрузочные мощности предприятий-изготовителей;</li> <li>- необходимость содержания больших складских площадей для накопления готовой продукции при малых мощностях производства</li> </ul>
Терминальная	<ul style="list-style-type: none"> <li>- возможность формирования партий грузов по объёмным и временным параметрам;</li> <li>- снижение непроизводительных простоев транспортных средств;</li> <li>- снижение нагрузки на станционную и припортовую инфраструктуру;</li> <li>- сокращение запасов готовой продукции на территории предприятий;</li> <li>- исключение долгосрочного хранения грузов на складах;</li> <li>- удовлетворение спроса на терминальное обслуживание в приграничной зоне (таможенный и др. контроль на территории терминала)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- увеличение количества перегрузочных операций;</li> <li>- дополнительные капитальные вложения на терминальную инфраструктуру</li> </ul>

Децентрализованная система позволяет быстро реагировать на рыночные требования и обеспечивать близость к конечным потребителям, что может быть ключевым преимуществом в некоторых отраслях. Однако высокие затраты на строительство и управление децентрализованными складами, а также сложности в управлении могут стать проблемой.

Централизованная система имеет свои преимущества в оптимизации затрат и управлении, но может столкнуться с проблемами доставки и удовлетворения потребностей конечных потребителей из-за отдаленного расположения складов.

SWOT-анализ товароснабжения при децентрализованной и централизованной системах представлен на рис. 1.15, 1.16.

Внутренние факторы	<p><b>Достоинства централизованной системы:</b></p> <p><b>Организационные:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Концентрация основных запасов на центральном складе, фазированное снабжение региональных складов.</li> <li>• Обеспечение укрупненных поставок в региональные склады.</li> <li>• Сокращение складских площадей региональных (портовых) складов.</li> <li>• Повышение надежности поставки.</li> </ul> <p><b>Экономические:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Снижение затрат на расширение складских и технологических мощностей в порту.</li> <li>• Сокращение затрат на одну тонну перерабатываемых грузов.</li> <li>• Снижение уровня запасов и напряженности на транспортно-складской инфраструктуре порта.</li> </ul>	<p><b>Недостатки централизованной системы:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Отсутствие приближенности складов к конечным потребителям.</li> <li>• Высокие затраты на строительство и содержание складской инфраструктуры.</li> <li>• Более высокая стоимость переработки и хранения единицы груза.</li> </ul>
Внешние факторы	<p><b>Централизованная система:</b></p> <p><b>Возможности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Интеграция новых технологий в логистические процессы.</li> <li>• Развитие сети складов для обеспечения большей гибкости</li> </ul>	<p><b>Централизованная система:</b></p> <p><b>Угрозы:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Изменения в законодательстве, затрагивающие логистическую инфраструктуру.</li> <li>• Конкуренция со стороны других логистических систем.</li> </ul>

Рисунок 1.15 – SWOT-анализ товароснабжения централизованной системы

Внутренние факторы	<p><b>Достоинства децентрализованной системы:</b></p> <p><b>Организационные:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Близость складов к конечным потребителям, обеспечивающая быструю поставку.</li> <li>• Уменьшение затрат на транспортировку от склада до потребителя.</li> </ul> <p><b>Экономические:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Возможность снижения общих затрат на перевозки и хранение за счет распределения складских мощностей.</li> <li>• Сокращение расходов на переработку и хранение единицы груза.</li> </ul>	<p><b>Недостатки децентрализованной системы:</b></p> <p><b>Организационные:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Отсутствие концентрации основных запасов, что может привести к увеличению страховых запасов на региональных складах.</li> <li>• Сложность управления и фазирования снабжения для различных региональных складов.</li> </ul> <p><b>Экономические:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Высокие затраты на строительство и содержание складов ближе к потребителям.</li> <li>• Большие расходы на транспортировку от поставщиков до децентрализованных складов.</li> </ul>
	<p><b>Внешние факторы</b></p> <p><b>Децентрализованная система</b></p> <p><b>Возможности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Гибкость в управлении логистическими процессами в ответ на изменения в рыночных требованиях.</li> <li>• Развитие технологий для оптимизации управления децентрализованными складами.</li> </ul>	<p><b>Децентрализованная система</b></p> <p><b>Угрозы:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Сложности в поддержании единых стандартов качества и уровня обслуживания при децентрализованном хранении и распределении товаров.</li> <li>• Возможные проблемы с логистикой и координацией, особенно при распределении большого количества товаров по разным регионам.</li> </ul>

Рисунок 1.16 – SWOT-анализ товароснабжения децентрализованной системы

## 1.4 КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ ВНУТРИСКЛАДСКИХ И ВНУТРИУЗЛОВЫХ КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ СИСТЕМЫ СКЛАДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Основной задачей при проектировании объектов узловой транспортно-складской системы (ТСС) является поиск оптимального или близкого к нему рационального компоновочного решения не только внутрискладской территории ЛГРЦ, но и конфигурации складской сети (местоположения комплекса на плане узла). Основные стратегии при размещении ЛГРЦ представлены на рис. 1.17.



Рисунок 1.17 – Основные стратегии размещения складов

Параметры, определяющие эффективность размещения региональной ЛГРЦ, можно разделить на две группы – параметры, снижающие эффективность компоновки, и параметры, повышающие общую эффективность узловой системы. На выбор внутрискладских и внутриузловых компоновочных решений ТСС оказывают следующие факторы:

1 - агломерационный коэффициент ( $k_A$ ). К началу 2011 г. в урбанизированных зонах агломераций проживало около 42 % городского населения страны. Причём, только в пяти крупнейших городах – ядрах агломераций наблюдался рост численности жителей (Москва, Ростов-на-Дону, Казань, Красноярск, Краснодар), а в трёх количество населения не имело существенных изменений (Екатеринбург, Омск, Набережные Челны). Основная масса городских агломераций РФ сконцентрирована в европейской части, где фиксируется самый высокий класс развитости с агломерационным коэффициентом больше 10,0 – Тульская (27,8), Ярославская (14,7), Волгоградская (10,2), в т.ч. особо выделяется Ростовская агломерация, имеющая коэффициент – 17,2 [13,14].

2 – коэффициент формы товароснабжения (централизованная -  $k_{Ц}$  или децентрализованная -  $k_{ДЦ}$ ). Определяется как отношение количества грузов перевезенных при централизованной (децентрализованной) форме товароснабжения к общему грузопотоку.

Для оценки разработанных вариантов размещения терминалов можно руководствоваться основными типовыми (оценочными) показателями норм проектирования. Сравнивая результаты показателей генеральных планов, делается вывод о наилучшем варианте расположения объектов в транспортном узле. Расстояния внутриузловых перевозок грузов зависят от схем примыкания подъездных путей к основной станции (точек ввоза) и мест примыкания внутризаводских автодорог к основной автомагистрали (точек вывоза).

Анализ факторов размещения транспортно-складских комплексов представлен на рис. 1.18.

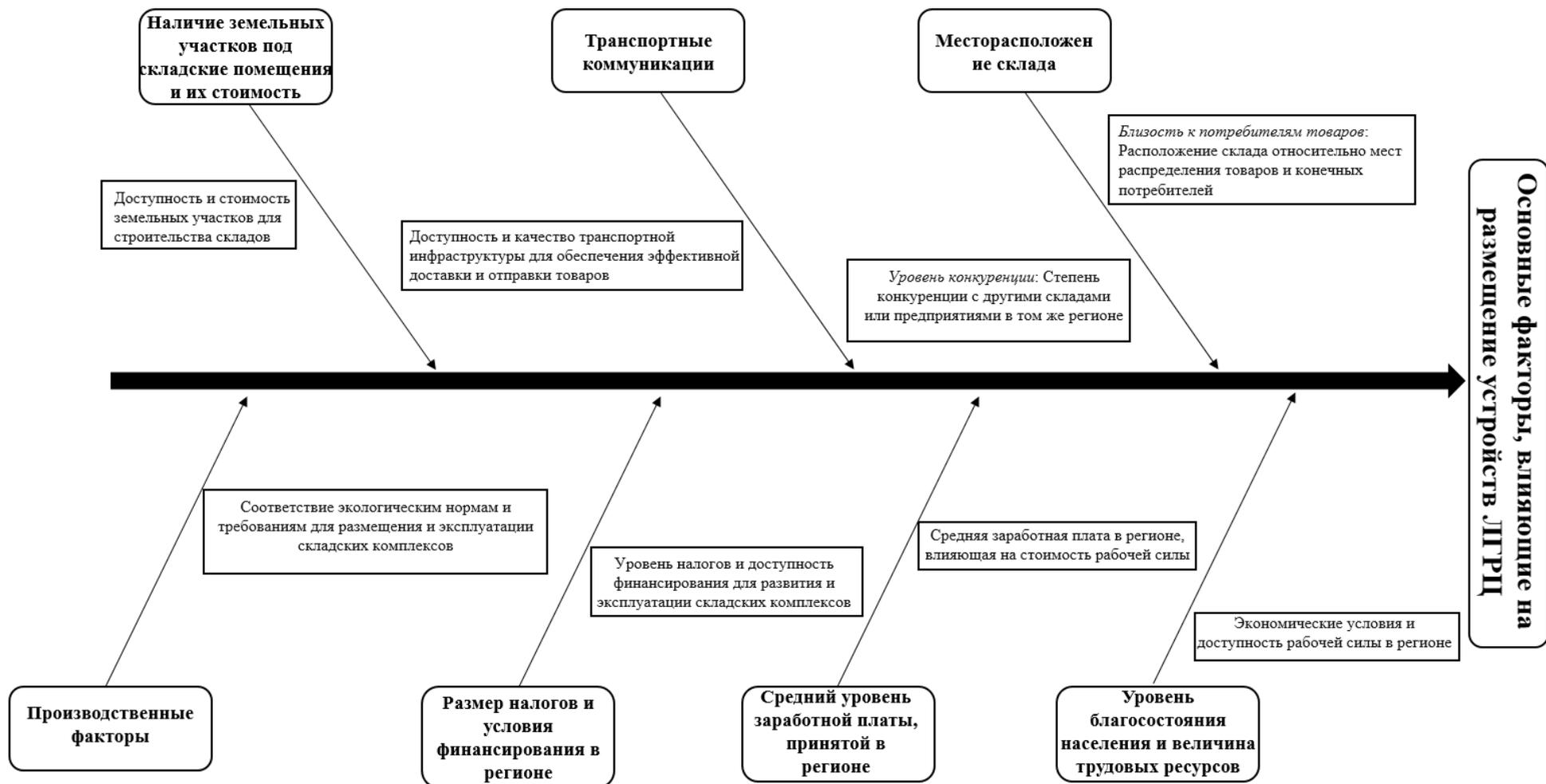


Рисунок 1.18 – Анализ факторов размещения транспортно-складских комплексов

Таблица 1.11 – Принципы размещения грузовых терминалов в транспортных узлах

Принципы размещения	Ключевые аспекты
Принцип близости, $\tau_1$	ЛГРЦ размещаются максимально близко к потребителям («сухим» портам) для минимизации времени и затрат на транспортировку грузов между портом и комплексом. Выбор месторасположения основывается на минимизации дистанции, чтобы сократить время и расходы на доставку грузов.
Принцип интеграции с инфраструктурой, $\tau_2$	ЛГРЦ размещаются с учетом интеграции в транспортную инфраструктуру (портовый комплекс). Обеспечение удобства интеграции с транспортными коридорами, транспортными потоками других узловых систем.
Принцип дальнейшего развития инфраструктуры, $\tau_3$	Размещение ЛГРЦ должно обеспечивать развитие складской инфраструктуры. Стратегическое планирование для будущего развития комплекса при увеличении грузопотока.
Принцип экологической устойчивости, $\tau_4$	Размещение ЛГРЦ учитывает экологические аспекты (минимизация воздействия на окружающую среду и соблюдение экологических норм). Выбор технологий и методов транспортировки, способствующих снижению выбросов и энергопотребления.
Принцип обеспечения переработки транспортных потоков и грузопотоков, $\tau_5$	Размещение учитывает оптимизацию параметров транспортных потоков для минимизации непроизводительных простоев. Стратегическое планирование эффективных маршрутов продвижения грузопотоков.
Принцип равной доступности, $\tau_6$	Размещение ЛГРЦ должно обеспечивать доступность для различных видов потребителей и видов транспорта. Универсальность обработки транспортных средств, осуществляющих завоз-вывоз грузов.
Принцип стратегического партнерства, $\tau_7$	Размещение осуществляется с учетом стратегического партнерства с логистическими компаниями, операторами и др. организациями. Совместные разработки для оптимизации логистических процессов и ресурсов.
Принцип транспортной безопасности, $\tau_8$	Размещение учитывает защиту от несанкционированного доступа, чрезвычайных ситуаций, сохранность грузов и охрану инфраструктуры.

## 1.5 ЛОГИСТИЧЕСКИЙ ГРУЗОВОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР КАК ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ УЗЛОВЫХ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСКИХ ПРОЦЕССОВ

Невозможно представить современную узловую складскую инфраструктуру без логистического грузового распределительного центра (ЛГРЦ), как места концентрации обработки материальных потоков. Логистический центр – это комплекс недвижимого имущества, включающий участок со зданиями, оснащенными специализированным оборудованием, предназначение которого – оказание услуг в области доставки грузов в оптимальных условиях. Прежде всего, центры нужны организациям-перевозчикам, предприятиям, занимающимся транспортно-экспедиционной деятельностью, дистрибьюторам и производственным компаниям [15].

Логистический центр (*logistic centre*) представляет собой единый терминал, в котором функционирует несколько компаний, организующих перевозки грузов и сопутствующие услуги. Цель взаимодействия подобных предприятий в таком формате – наиболее дешевая и максимально быстрая доставка грузов от поставщика к покупателю. Однако в теории и в практике перевозочной деятельности не существует однозначного мнения по поводу задач и структурной организации логистического центра. Но выделить различные виды таких предприятий возможно.

Классификационные признаки ЛГРЦ представлены на рис. 1.19.

Из всех логистических центров наиболее крупными являются отраслевые, которые носят закупочно-распределительные функции. Отраслевой логистический центр удобен в плане экономии расходов на содержание и возможности защищать интересы сразу нескольких компаний.

Факторы принадлежности к ССХ логистического грузораспределительного центра: наличие складской инфраструктуры; обеспеченность подъемно-транспортным оборудованием; организация грузораспределения товаров потребителям; контакты с поставщиками и потребителями.

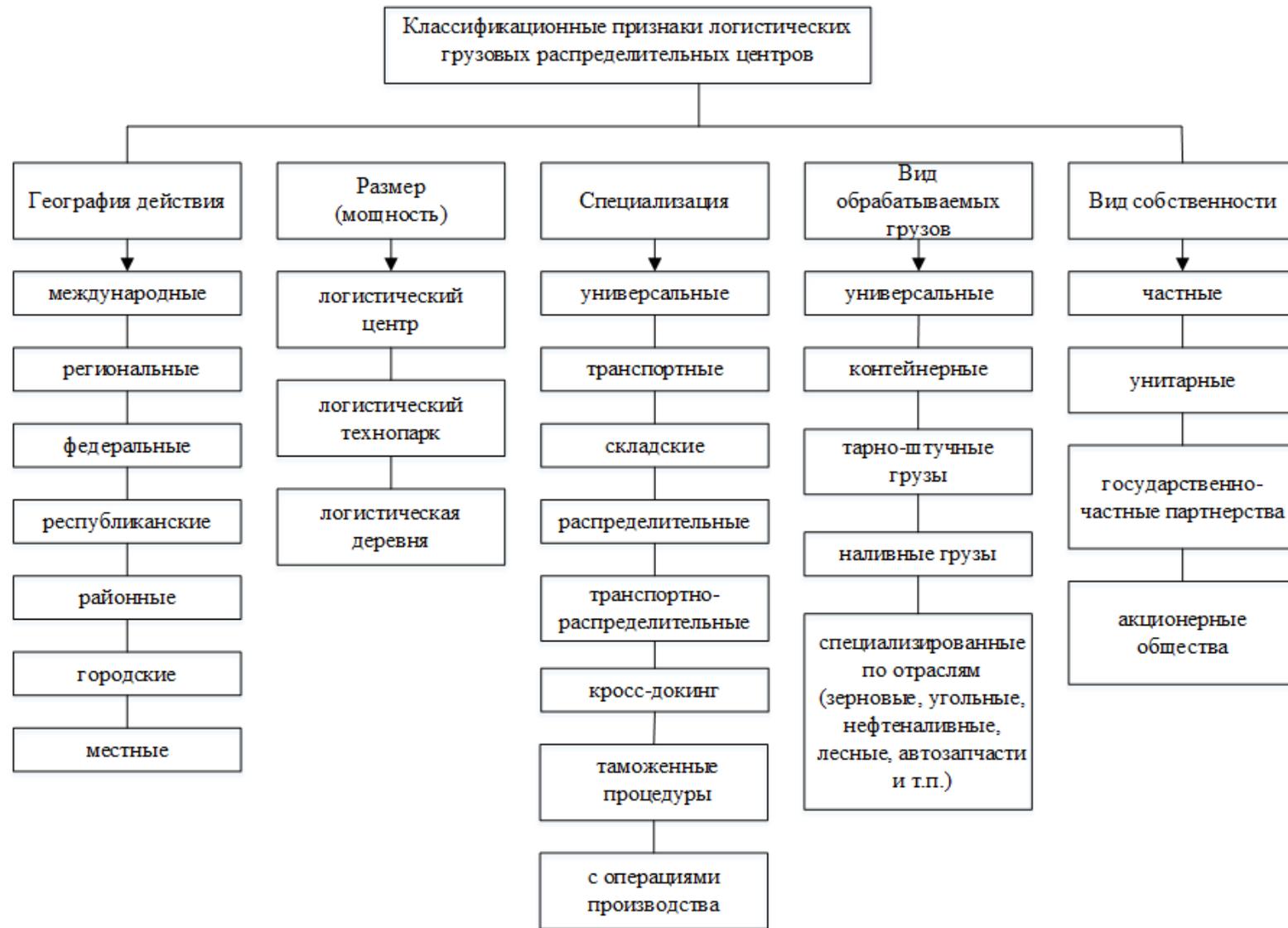


Рисунок 1.19 – Классификационные признаки ЛГРЦ

Проект создания логистического центра (ЛГРЦ) следует рассматривать как многоэтапный процесс, начиная с формирования концепции и заканчивая получением разрешения на строительство. Разработка бизнес-плана проекта включает в себя этапы, представленные на рис. 1.20.



Рисунок 1.20 – Этапы создания логистического грузораспределительного центра

Транспортная стратегия РФ предусматривает опережающее развитие сети опорных (узловых) терминально-логистических центров (ТЛЦ и «грузовых деревень») не только в столичных и портовых транспортных узлах, но и в ряде других регионов, испытывающих дефицит качественного складского логистического сервиса. Кроме того, предусматривается строительство сети вспомогательных логистических центров (сателлитов), формирующих грузовую базу и взаимодействующих с ТЛЦ.

Современная модель «грузовых деревень» (*freight village*) [16] не является принципиально новой формой организации транспортно-складских центров, но практика ее реализации показала, что, несмотря на явную необходимость в подобном инфраструктурном решении она требует значительных долгосрочных инвестиционных вложений. В мировой практике термин «грузовая деревня» используется в качестве обобщающей характеристики принципов организации инфраструктуры транспортно-логистических центров, которые представляют собой интегрированный кластер широкомасштабной складской логистической и сервисной деятельности с различной транспортной инфраструктурой, на территории или вблизи которого располагается интермодальный терминал [16, 17, 18]. Главным требованием к построению «грузовой деревни» является расположение значительной ее части на пересечении основных транспортных потоков или в районе «индустриального парка» - крупного центра потребления.

Впервые в России в Калужской области созданы мультимодальные комплексы формата «грузовая деревня». На сегодняшний день это самое современное и наиболее востребованное транспортно-логистическое решение, которое включает производство, логистику (индустриальную недвижимость), транспортную инфраструктуру и инфраструктуру добавленной стоимости, то есть услуги таможни, сервисные зоны, общежития и ритейл. В настоящее время в Калужской области полный комплекс транспортно-экспедиционных услуг предоставляют два МТЛЦ [19]:

- **«Фрейт Вилладж Ворсино»** - крупнейший в центре России логистический хаб. Включен в генеральную схему развития Московского железнодорожного узла, и является одним из опорных терминалов для вывода контейнерообработки за пределы Москвы. В составе логистического парка работают: ж.-д. грузовой терминал, таможенный склад, автомобильный терминал и складской комплекс. Площадки в индустриальной зоне предоставляются для размещения грузов промышленных предприятий. Площадь комплекса 570 га. Мощность контейнерного терминала — 350 тыс ДФЭ в год. Общая протяженность ж.-д. путей — 10 км[4].

- **«Фрейт Вилладж Росва»** - транспортно-логистический центр межрегионального формата, создан и работает с целью оптимизации логистических операций резидентов индустриальных парков Калужской области «Грабцево», «Росва», «Калуга-Юг», а также для обслуживания других участников ВЭД. В составе грузовой деревни – автомобильный таможенный терминал и мультимодальная зона ВЭД, складской комплекс площадью 4 тыс м<sup>2</sup>, ж.-д. терминал с шестью путями и грузовым парком, Площадь центра 64 га. Мощность контейнерного таможенного терминала 150 тыс ДФЭ в год. Общая протяженность ж.-д. путей – 13 км [4].

В разделе V Стратегии [20] выделены ключевые направления развития логистической складской инфраструктуры: формирование складской опорной сети не менее чем из 10 крупных по площади (более 200 га) мультимодальных транспортно-логистических центров, расположенных в различных макрорегионах РФ. Форматом первого уровня опорных транспортно-логистических центров являются «грузовые деревни», интегрированные с деловыми и промышленными районами, имеющими прямой доступ к внутреннему водному транспорту; стимулирование развития транспортно-логистических технологий (формата 4PL и 5PL) в транспортно-логистических центрах (технологии ускоренной разгрузки контейнерных поездов, роботизированное управление складской логистикой); модернизация пунктов пропуска через государственную границу РФ и прилегающей транспортно-складской инфраструктуры;

формирования регуляторной и нормативной базы для новых и перспективных логистических складских продуктов; ускорение товародвижения и сокращение транспортных затрат грузовладельцев; распространение цифровых платформенных технологий и смарт-контрактов.

Второй уровень - это логистические центры - сателлиты, выполняющие задачи консолидации грузов в точках с недостаточной концентрацией спроса для создания «грузовой деревни» или расположенные в плотной городской застройке без возможностей расширения. Транспортно-логистические центры второго уровня могут быть соединены с «грузовыми деревнями» поездами – шаттлами по формату «смарт-логистика».

Также необходимо отметить, что определение оптимального местоположения логистического терминала («грузовой деревни») является одной из важнейших задач при формировании региональной складской сети. С развитием цифровых технологий и доступностью обработки больших объемов данных, научные исследования в области определения местоположения складов становятся более точными и продвинутыми. Использование аналитических моделей и статистических методов оценки позволяют предсказывать изменения в рыночном спросе и потребительском поведении. Это помогает определить, где наилучшим образом разместить ЛГРЦ для обеспечения наибольшей эффективности обслуживания клиентов.

Но следует отметить, что современная методика проектирования конфигурации сети узловых ЛГРЦ является сравнительно молодой наукой, предполагающей разработку новой методологии систематизации и структурирования инфраструктурных компонентов складской системы в условиях динамического тарифообразования и мультиагентности транспортного обслуживания. Эта методология требует развития математического аппарата и научных инструментов принятия эффективных компоновочных решений.

## 1.6 ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

В первой главе рассмотрены принципы формирования региональной системы складского хозяйства (ССХ) на примере Юга России, ее показатели, проблемы и перспективы развития. Проведенный анализ транспортной системы Северо-Кавказского экономического региона показал рост грузопотоков и увеличение потребности в современных ЛГРЦ.

Разработана комплексная система классификационных признаков грузовых распределительных терминалов и складских комплексов транспортных узлов, приведены технико-технологические параметры узловых транспортно-складских процессов.

Для обеспечения эффективности выбора внутриузловых компоновочных решений системы складского хозяйства представлен комплексный подход к стратегиям компоновочных решений ЛГРЦ. Рассмотрена перспектива развития узловых транспортно-складских процессов на основе новых логистических концепций – «грузовая деревня».

Определены проблемные вопросы компоновочных решений системы складского хозяйства транспортных узлов, что подтверждает необходимость повышения их эффективности в современных рыночных условиях. Установлено, что для устойчивого обеспечения транспортно-складской деятельностью необходимо развитие методики формирования узловой сети ЛГРЦ на основе модификации и адаптации методов и моделей к размещению объектов складской инфраструктуры в условиях рыночной мультиагентности транспортно-складского обслуживания.

## **2 МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАЗМЕЩЕНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ГРУЗОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ В ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛАХ И ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЯХ**

### **2.1 АНАЛИЗ КОНЦЕПЦИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАЗМЕЩЕНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ГРУЗОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ В ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛАХ**

Российский опыт проектирования генеральных планов транспортно-складских комплексов (ЛГРЦ) и их оптимизации размещения в транспортных узлах был накоплен в результате значительной работы, проделанной отечественными научно-исследовательскими и проектными институтами (АО «ВНИИЖТ», АО «ИЭРТ», проектные институты Министерства транспорта и ОАО «РЖД»), вузами России совместно с крупнейшими специалистами – учеными-транспортниками. Большой вклад в разработку теории и практики распределения грузопотоков транспортных узлов, проектирования, развития и оптимизации параметров складской сети внесли выдающиеся ученые: академик В.Н. Образцов, профессора С.П. Бузанов, А.С. Герасимов, С.Е. Гибшман, П.Ф. Дубинский, С.В. Земблинов, И.И. Костин, В.Д. Никитин, 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, А.М. Гаджинского, В.Г. Галабурды, А.С. Гельмана, В.Н. Дегтяренко, А.Т. Дерибаса, С.Ю. Елисеева, 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, П.Б. Романовой, А.Н. Рахмангулова, С.М. Резера, А.А. Смехова, А.С. Сеницына,

М.Д. Ситника, С.А. Уварова, И.В. Штефко, О.Н. Числова, А.В. Хомова, Н.Г. Янковской и др.

Вместе с тем, аспекты взаимодействия между участниками процесса формирования узловых транспортно-складских систем остаются недостаточно исследованными, что связано с отсутствием достаточного опыта и времени для разработки эффективных подходов к управлению складскими потоками в российских транспортных сетях.

Так в условиях плановой экономики СССР, в работе [21] грузовая распределительная система рассматривалась на примере системы материально-технического снабжения предприятий. Исследовались две основные формы снабжения: транзитная и складская. При транзитном снабжении материалы поступают от поставщика непосредственно потребителю, минуя промежуточные базы и склады (снабженческо-сбытовых организаций). Складская форма снабжения предполагает наличие промежуточных складов на пути следования грузов.

В работе [22], в отличие от существовавших к тому времени работ, система материально-технического снабжения предприятий и внешний транспорт рассматриваются как единая транспортно-складская система. Постановка задачи состоит в том, как оптимально разделить поступающий заданный поток материалов на две части, соответственно формам снабжения, чтобы суммарные затраты на доставку, приём и хранение были минимальны. Сформирована математическая модель, в которой формализована работа системы на основе важнейших статей издержек: затрат, связанных с отвлечением оборотных средств в запасы и расходов на доставку. Пункты потребления представляются в виде агрегированных районов с целью укрупнения элементов системы и уменьшения объема расчётов.

Ещё в 1960 гг. прошлого века отечественные учёные уделяли проблеме взаимодействия видов узлового транспорта немало внимания, о чем свидетельствуют обширные исследования [24, 25, 26, 27]. Уже тогда приводятся различия между советскими исследованиями и исследованиями зарубежных

стран с рыночной экономикой. В первом случае – это теоретические исследования обоснования форм технологии плановой взаимосогласованной работы различных видов транспорта единой транспортной сети страны, во втором – изучение правовых регламентаций, изыскания способов, облегчающих сохранение роли железнодорожного, автомобильного, водного транспорта в перевозочном процессе и получения нормы прибыли [24 с.8].

Развиваются выдвинутые академиком В.Н. Образцовым положения [28] о том, что *«...пути сообщения и их эксплуатация, железные дороги, автомобильные пути, моря, реки, трубопроводы, воздушные трассы, их технические средства и организация работы – только звенья одной неразрывной транспортной системы, тесно связанной с грузообразующими отраслями народного хозяйства»*.

Один из видных деятелей отечественной транспортной науки член-корреспондент АН СССР В.В. Звонков утверждал [29, с.9]: *«Абстрагированное суждение о каждом из этих звеньев без связи со всей транспортной системой, народным хозяйством и обороной страны не даёт правильных комплексных решений. Поэтому нельзя также рассматривать вопросы теории и практики эксплуатации в отдельных видах транспорта изолированно друг от друга...»*

В своем труде [30] Гусев С.А. для нахождения оптимального варианта расположения месторасположения склада предлагал отдельно рассмотреть точки размещения склада по всем существующим методам и вынести их в отдельный фрагмент, после чего соединительные линии постепенно дают область поиска решения и в завершении – точку размещения склада.

При реконструкции городов и развитии городских агломераций учитывались требования, обоснованные в трудах [31 с.90]:

- портовые устройства не должны стеснять территориального развития города. Рекомендуется вынос портовых устройств на окраины города, перенос основных транспортных маршрутов за границы городской застройки, концентрация грузовой работы;

- размещение специализированных грузовых районов в узле должны наилучшим образом отвечать условиям транспортного обслуживания, а также пропуска транзитных грузопотоков. Данные требования заставляют приближать склады переработки и хранения местных грузов к районам тяготения (производства), не связанные с жизнедеятельностью города транспортные объекты и склады рекомендовано выносить за его пределы с учётом увязки с транспортными путями.

В 60-70-е годы прошлого века исследовался вопрос эффективности сквозной маршрутизации в согласовании по времени и по объёму подачи грузов и порожнего тоннажа к перевалочным пунктам с расчётом обеспечения их ритмичной работы и создания благоприятных условий для увеличения перевалки грузов по прямому варианту, без складских расходов. Опытное применение сквозной технологии показало, что на ряде направлений нецелесообразно добиваться строгой специализации ниток в графиках движения поездов и транспортных средств [32].

Современные теории и методы эффективного распределения узловых грузопотоков сводятся к двум основным задачам:

Первая состоит в выборе типа, мощности и оптимального места расположения объектов транспортно-складской инфраструктуры с учётом региональных особенностей зарождения и поступления грузопотоков, а также от технологии работы самой узловой транспортной системы [33,34,38];

Вторая задача заключается в оптимизации существующего или проектного транспортно-технологического процесса по установленным критериям (транспортная работа, приведенные расходы и др.) [35,37].

Известно, что большая часть региональных грузопотоков перевозится как максимум двумя видами транспорта, то есть происходит взаимодействие различных видов транспорта. Как показывает практика, при транспортировке грузов основные трудности возникают, именно при передаче с одного транспорта на другой.

Например, в исследованиях В.Т. Наумика [39], складская форма снабжения может быть выбрана на основе сопоставления экономии полученной от сокращения производственных запасов –  $\mathcal{E}$ , с величиной дополнительных транспортных расходов  $P_{mp}^{don}$ , возникающих при применении складской (терминальной) формы снабжения. Складское снабжение целесообразно при условии, когда  $\mathcal{E} \geq P_{mp}^{don}$ . Однако, такое решение подходит для отдельного предприятия и не даёт оптимальности для целой отрасли или народного хозяйства. Поэтому с развитием вычислительной техники начался активный поиск методов управления грузопотоками группы предприятий.

Значительное количество работ [40,30,41,42,43] посвящено проблеме размещения на территории транспортного узла ЛГРЦ, которая представляет собой многоцелевую и комплексную задачу, постановка и решение которой подразумевают обработку и анализ значительных массивов различной информации, и проведение соответствующих расчетов.

Например, в работе [44] решается задача нахождения местоположений логистических грузораспределительных центров на обслуживаемой территории двумя методами. В первом случае находится «центр тяжести» грузопотоков, когда основным фактором, влияющим на выбор местоположения центра, является размер затрат на доставку товаров потребителям. Во втором случае осуществляется частичный перебор узлов транспортно-складской сети, позволяющий найти узел, размещение в котором логистического центра обеспечивает минимум грузооборота по обслуживаемой транспортной сети [30,41,42].

Учитывая качественные критерии при выборе местоположения склада, в исследованиях [43] применяется метод анализа иерархий. Сущность метода состоит в разбиении проблемы на простые составные части и последующей обработки попарными сравнениями.

При решении задачи размещения терминалов по переработке мелких партий груза, в работе [45] рассматривается метод выбора вариантов размещения терминалов на основе сетевой транспортной задачи с использованием теории графов.

Стремление к сокращению расходов во всех звеньях транспортно-логистических цепей ставит задачу поиска таких местоположений ЛГРЦ, которые оказываются оптимальными в конкретных условиях с учетом предъявляемых требований. Задача состоит в определении оптимального размещения ЛГРЦ с учетом двух взаимосвязанных аспектов. Во-первых, необходимо определить, сколько ЛГРЦ целесообразно создать и где они должны быть расположены. Во-вторых, важно определить, какую территорию и какие потребители будут экономически и организационно оптимально обслуживаться каждым из этих центров.

Для решения задачи размещения в транспортном узле ЛГРЦ используются аналитические и оптимизационные методы, как правило, основанные на задачах линейного программирования, а также методы имитационного моделирования. Чаще всего, исходя из сочетаний таких параметров как расстояние транспортировки и вес грузовых отправок, путем экономико-математических расчетов находят «центры тяжести» географического местоположения ЛГРЦ.

Очевидный способ повышения качества обслуживания клиентов состоит в том, чтобы переместить географический узловой «складской центр тяжести» какого-либо из распределительных центров как можно ближе к тем областям, на которых в большей степени сконцентрированы потребители рассматриваемых транспортно-логистических услуг. При моделировании местоположений ЛГРЦ обычно учитываются как расстояния между этими центрами и крупнейшими кластерами (зонами) клиентов, так и местоположения источников входящих грузопотоков (то есть предприятий-производителей, грузовых железнодорожных станций и автомобильных хабов и т.п.), которыми обеспечивается функционирование звеньев логистической цепи. В большин-

стве случаев снабжение грузами осуществляется не от одного производственного предприятия (центрального склада, ЛГРЦ) а нескольких, имеющих обширную географическую базу поставщиков.

В работах [46,47,48] определено, что для любой макроструктуры, к которой можно отнести узловую ТСС, характерны два предельных состояния: максимальной децентрализации и максимальной концентрации. Концентрированная система с одним мощным складским устройством, обслуживающим транспортные потоки, более экономична по капиталовложениям и затратам на содержание постоянных устройств. Экономия складывается за счёт ликвидации дублирования устройств, независящих от размера грузооборота, более интенсивного использования техники и сооружений.

Факторы децентрализации – это экономические (сокращение затрат, связанных с увеличением пробега внутри узла), планировочные (территориальная стеснённость и невозможность дальнейшего развития складских устройств в отдельных секторах узла), структурные по грузопотоку (несовместимость разнородных потоков по их свойствам в пределах одного ЛГРЦ).

В [49,50] рассматриваются вопросы конфигурирования терминально-складской инфраструктуры в отношении размещения складских мощностей в транспортном узле. Разработана оптимизационная геометрическая евклидова модель (ГЕМ) процесса грузоперевозок, в которой значениями подлежащей максимизации целевой функции являются площади «зон обслуживания» распределительных центров.

В своих трудах [51,52,53,54] О.Д. Покровская описывает методики, модели и алгоритмы, которые могут быть использованы для оптимизации транспортной инфраструктуры и логистических складских систем в различных регионах. Представлена формализация задач, а также практические рекомендации для улучшения эффективности складских логистических процессов.

Исследованиями, специализирующимися в области транспортной логистики и технологии обработки грузов на терминалах, посвящены работы [55,56,57,58,59], в которых рассматриваются такие аспекты как: транспортно-

логистические центры в системе международных транспортных коридоров, формирование складской инфраструктуры контейнерных перевозок, отвечающей потребностям рынка и др., а также практические разработки по повышению эффективности грузоперевозок и совершенствование технологий обработки грузов на терминалах.

Проведенный анализ показывает, что вопросы, относящиеся к размещению логистических грузовых распределительных центров (ЛГРЦ) на территории транспортных узлов, весьма актуальны с практической точки зрения и рассматриваемые в комплексе с другими транспортными задачами, составляют многоцелевую оптимизационную задачу.

Переходя к предмету настоящего диссертационного исследования, отметим, что во всем мире ЛГРЦ обычно размещаются по периметру мегаполисов для обеспечения максимальной эффективности их функционирования. Для России, которая не составляет исключения, характерна еще и локализация ЛГРЦ возле основных федеральных транспортных магистралей на подходе к крупным городам и узлам. Если исходить из общих логистических принципов снабжения, то автотранспорту целесообразнее доставлять импортный и отечественный груз в ЛГРЦ, а затем в виде отдельного преобразующего звена логистической цепи промежуточных складов выполнять грузоперевозки по городской территории небольшими партиями. Таким образом, наиболее распространенные варианты технологии транспортировки: первый – это транзитная перевозка, минуя терминал, второй – транспортировка с участием терминала.

Н.В. Правдин в своей работе [60, стр. 58] отмечал особенность узлового грузораспределения, заключающуюся в способах перевалки грузов и определения их эффективности.

Транспортировка грузов с участием складских терминалов широко используется в припортовых транспортных системах для накопления и формирования судовых партий в припортовой складской зоне или «сухом» порте и подаче к причалам грузов готовых к перегрузке на судно. Терминальная поставка также эффективна для предприятий-изготовителей продукции, которые

в силу своих производственных возможностей и технической оснащённости не способны в короткие сроки сформировать судовую партию, либо для торговых предприятий, которым выгодно хранить груз вблизи государственной границы с тем, чтобы при необходимости осуществить поставку покупателю с меньшими расходами.

Исследования [61,62,63] вопросов рационального количества ЛГРЦ в узле показывают, что расходы, связанные с доставкой получателю груза через склад, возрастут. Максимальное приближение складов к потребителям дает возможность сократить расходы от упущенных продаж, т.к. такое расположение позволяет наиболее гибко реагировать на изменение их требований.

Варианты принятых конфигураций складской сети узла представлены на рис. 2.1, 2.2.

Следует отметить, что устройство «грузовых деревень» (гл. 1, п. 1.5) вносит особенность в конфигурацию складской инфраструктуры и грузораспределение, заключающееся в расположении значительной ее части на пересечении основных транспортных потоков или в районе «индустриального парка» - крупного узлового центра потребления (рис. 2.2).

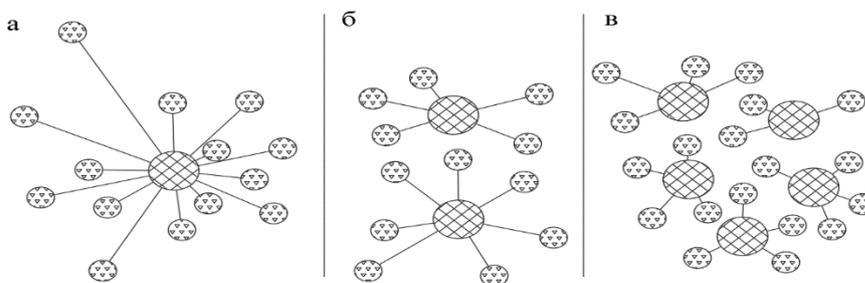


Рисунок 2.1 – Существующие варианты формирования складской сети узла: а – материальный поток с одним ЛГРЦ; б – материальный поток с двумя ЛГРЦ; в – материальный поток с несколькими ЛГРЦ

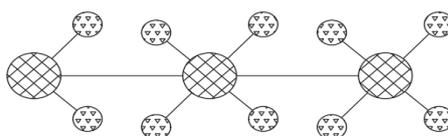


Рисунок 2.2 – Вариант формирования складской сети узла при устройстве «грузовых деревень»

Таким образом, отечественные методы оптимизации распределения узловых складских грузопотоков сводятся к решению задачи с разными уровнями детализации:

– выбор типа мощности и оптимального места расположения объектов транспортно-складской инфраструктуры с учётом региональных особенностей зарождения и поступления грузопотоков, а также от технологии работы самой транспортной системы;

– оптимизация существующего или проектного узлового (регионального) транспортно-складского процесса по определённым критериям (транспортная работа, приведенные расходы и др.) на основе разработанных экономико-математических моделей и методов линейного программирования.

**Зарубежный опыт проектирования и размещения транспортно-складских комплексов** свидетельствует о том, что наибольшую эффективность как в микро-, так и в макроэкономическом разрезе обеспечивает интегрированное логистическое транспортно-складское обслуживание, при котором логистические компании (провайдеры, операторы) оказывают в комплексе разнообразные логистические услуги по продвижению и обслуживанию товарно-материальных потоков. Комплекс складских инфраструктурных объектов (складских мощностей), расположенных на локальной территории, где реализуется интеграция и координация, в основном, операционной логистической деятельности, получил за рубежом название «логистический центр» (ЛЦ) [64].

Еще в 60-х годах XX века в США и Европе в области транспортировки и распределения товарных потоков проявились проблемы и тенденции, учитываемые в создании современных зарубежных ЛЦ различных форматов:

- недостаток складских площадей в крупных городах;
- развитие интермодальных (мультимодальных) перевозок внутри стран с использованием контейнеров;

- чрезмерная загруженность автомобильных дорог, в первую очередь, внутри городов и увеличение объемов дальних грузовых автомобильных перевозок;
- уменьшение доли железнодорожных перевозок и, как следствие, появление инициатив по развитию интермодальных (мультимодальных, комбинированных, контейнерных) транспортных схем;
- недостаток портовых мощностей и необходимость строительства дополнительных грузоперерабатывающих и складских мощностей;
- инициативы на национальных железных дорогах, позволившие уменьшить рыночную долю железнодорожных грузоперевозок с помощью внедрения передовых логистических технологий. [65]

Исторические центры европейских городов постепенно утрачивают ключевую социальную роль. В современном обществе происходит изменение публичной сферы – общественными пространствами становятся транспортные узлы, торговые комплексы и терминалы. Логистические грузораспределительные центры, хабы «собирают» вокруг себя торговую и коммерческую деятельность. Зарубежные логистические центры в современных условиях это уже не только склады, а транспортно-логистические комплексы (ТЛК) с «общественным оттенком».

Например, ТЛК «Garonor» во Франции занимает площадь 75 га и включает в себя помимо складов ряд дополнительных объектов, за счет которых его можно назвать определением «транспарк» – это конференц-залы, отели, пункты питания и рестораны, АЗС, банки, почта, таможня, здания управления общественной и пожарной безопасности и т.д. [66]

Одним из современных примеров логистических объектов является логистический терминал «Ханеда» - «Haneda Logistics Terminal» в Токио, Япония. По проекту рассматриваемый терминал примыкает к аэропорту Ханеда и находится вблизи морских портов. В центре терминала расположено полностью автоматизированное шестиэтажное здание склада с общей площадью

около 170 тыс м<sup>2</sup>. Склад имеет 200 доков для грузовиков. На территории комплекса расположены площадки зон отдыха. Практически вся территория комплекса покрыта зелеными насаждениями. Для экономии электроэнергии в здании склада используется естественное освещение, а для охлаждения тротуаров в жаркую погоду – дождевая вода [66].

Бурное развитие логистики, начавшееся в конце XX века, дороговизна территорий и достижения в области автоматизации и цифровизации, обусловили появление новых складских технологий и явились движущей силой для создания проектов закрытых высотных складов. В таких малолюдных складах автоматика быстро и рационально распределяет паллеты с грузом по всему объему склада. Также проектируются автоматизированные контейнерные терминалы, примерами которых можно назвать проекты закрытого контейнерного склада фирмы «EZ-INRUS» и «Hong Kong International Distribution Center» расположенные в крупном морском порту Гонконга.

В направлении оптимизации транспортно-складского движения грузов существует множество разработок, среди них проекты фирм «UCM» и «Tubexpress» [66].

Формирование открытых контейнерных терминалов предоставляет большую планировочную свободу в виде «заполнения» композиционных пустот. Примером может выступать контейнерный склад фирмы CSX (США) и проект Распределительного контейнерного парка в Нидерландах.

Зарубежные научные труды многих ученых-транспортников и экономистов Англии, США, Японии, Германии, Франции, Китая и других передовых стран посвящены выбору рациональных компоновочных решений в размещении логистических распределительных терминалов.

Традиционная стратегия размещения складов, разработанная американским ученым Эдгаром Гувером [67] ещё в 30-е гг. прошлого столетия, выделяет стратегии расположения: в местах сбыта; в местах производства; промежуточное позиционирование («где-то посередине»). Использовался метод

прямого расчёта суммарных затрат на единицу товара по всем возможным вариантам размещения складов, с выбором наиболее экономичного. Метод применим при малом числе размещаемых ЛГРЦ.

Вопросам логистической оптимизации интермодальных грузопотоков значительное внимание уделяют ряд американских авторов [70,71, 68, 69, 72, 73]. Эти исследования направлены на повышение эффективности переработки и хранения грузов, поступающих и отправляемых через американские порты и продвигаемых в глубь территории страны и в обратном направлении. Решается задача размещения логистических терминалов (*inland ports* – «сухих» портов) на транспортных коридорах страны.

Возможности для развития складской инфраструктуры посредством создания логистических терминалов увеличились в конце XX века. Известные зарубежные ТЛЦ – это ТЛЦ в Сан Антонио, штат Техас (*Kelly Air Force Base [AFB]*), ТЛЦ в Колумбии, штат Огайо (авиационная база *Rickenbacker*), ТЛЦ в Канзас Сити, штат Миссури (авиационная база *Richards-Gebaur*) и Риверсайде, штат Калифорния (авиационная база *March*), ТЛЦ в Хэнтсвилл, штат Алабама и др.

Среди зарубежных авторов вопросами выбора оптимального места расположения логистических терминалов (внутренних портов) занимались американские исследователи, такие как Хардер (Harder, F.R.) [68], Гулей Т.Б., (Gooley, T.B.) [69], Ричардсон (Richardson, H.L.), Робинсон А.Е. (Robinson, A.E.) [70,71] и др.

Т. Гулей выделяет четыре основных фактора, которые необходимо учитывать при выборе наиболее эффективного месторасположения грузового терминала: материальная инфраструктура; близость поставщиков и покупателей; политические и налоговые соображения (расчеты, размышления, обсуждения); условия международной торговли.

А. Ричардсон в своей работе [70], выделяет основные критерии, по которым принимается решение о строительстве терминала в транспортном узле:

местоположение; стоимость; сервис; надёжность; время; безопасность; рабочая сила; инфраструктура; рынок; электронный обмен данными; таможня; экология.

На основе исследований данных ученых, компания ЛинксГрупп, совершенствуя цепи поставок на воздушном транспорте за счёт размещения дополнительных терминалов в транспортных узлах, приняла семь основных требований для строительства ТЛЦ: 1 – населённость не менее 3 млн человек; 2 – разнообразие видов транспорта; 3 – земельный участок от 5000 до 10000 акров; 4 – налоговые и другие стимулы; 5 – сильная база занятости; 6 – развитые средства телекоммуникации; 7 – таможенный статус внешнеторговой зоны.

В своих исследованиях Лалонд Б. (LaLonde B.), Гулей Т.Б. (Gooley T.B.), Хардер [74,69] исходят из того, что логистические терминалы (внутренние порты) должны быть соединены в единую сеть интермодальных железнодорожных терминальных хабов (ступиц) и предлагают методы для определения их места расположения: рыночные факторы (потребительские группы, специфика требований клиентов), физические факторы (присущие размеры и формы, малые затраты на развитие, возможности расширения, доступность к автомагистралям и железной дороге) и местные общественные мнения.

В работе [76] даются определения новых добавочных функций грузового терминала, таких как обработка, консолидация и распределение. Кроме того, грузовые терминалы расширяют логистическую область деятельности за счет выполнения различных сопутствующих логистических сервисов: низкого уровня (наклейка ярлыков, информационно-справочное обеспечение и др.) и высококласного (распределение грузов по цепям поставок, управление оборотом транспортных средств и контейнеров).

Работы René de Koster [75] фокусируются на проблемах управления запасами и логистических систем. Он проводил исследования, направленные на разработку методов оптимизации местоположения складов, включая учет географических и демографических факторов, чтобы минимизировать время доставки и расходы на логистику.

Richard E. Ward в своих исследованиях [77] касается проблем управления запасами, оптимизации складских операций и дизайна логистических систем. Он проводил исследования по разработке моделей и алгоритмов для оптимизации местоположения складов с целью минимизации затрат и времени на доставку товаров потребителям.

Профессор Hau L. Lee в Стэнфордском университете исследовал оптимизацию сетей распределения грузопотоков и мест оптимального расположения складов с учетом географических и экономических факторов [78].

Один из ведущих британских экспертов в области логистики и управления цепями поставок Martin Christopher занимался исследованиями по определению оптимальной структуры сети распределения и с учетом потребностей рынка и стратегических целей компании [79].

Ученый Michael Watson является одним из ведущих специалистов в области оптимизации цепей поставок, разработки алгоритмов и методов для определения оптимального расположения складов и минимизации затрат на складскую логистику [80].

Проф. Г. Поттгофф в своих трудах о транспортных потоках и расположении узловых пунктов, дал подробный пример определения транспортного центра, так, чтобы расстояния от отдельных транспортных источников до центра в сумме составляли бы наименьшее значение, используя потенциальную величину «Виаль» (экономико-географический центр тяжести) предложив «виальное уравнение», подобно целевой функции [81].

В работе [82] показано успешное применение многокритериального интеграла Шоке к реальной задаче выбора местоположения склада крупной логистической фирмы. Учитывая материальные и нематериальные факторы в проблеме выбора местоположения, в работе [83] предлагается гибридный метод принятия решений по нескольким критериям, которые позволяют выбрать оптимальное расположение.

Хотя существующие зарубежные методы и модели определения местоположения склада и других логистических объектов имеют свои преимущества и могут быть эффективными в различных рыночных условиях, они также ограничены в способности учитывать все аспекты сложных логистических систем (динамические изменения в спросе и предложении, в законодательстве и тарифах, разноразмерные критерии при принятии решений, расширение границ оптимизации, связанных с глобальной логистикой).

Несмотря на научный прогресс в области моделирования и оптимизации складских грузопотоков, существующие отечественные и зарубежные методы размещения ЛГРЦ (ТЛЦ) требуют дальнейшего развития для эффективного учета сложных объектов мультиагентной эксплуатации терминально-складских систем.

## **2.2 МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ВНУТРИУЗЛОВОЙ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ СКЛАДСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

Определение рационального количества складских комплексов и их местоположения в транспортно-складской системе узла является одной из основных задач при проектировании и связано с затратами на их организацию и функционирование.

Наибольшее применение получили:

1 – аналитические модели, минимизирующие общие затраты на работу склада;

2 – транспортные задачи (открытого и закрытого типа) поиска рационального количества логистических распределительных терминалов на заданной территории узла и определения рациональных мест их расположения при условии минимума расходов на завоз-вывоз грузов в закрытом и открытом виде (см. таблица 2.1);

3 – имитационное моделирование [63].

В таблице 2.1 сведены модели и методы, используемые для определения местоположения ЛГРЦ и формирования рациональной терминально-складской сети транспортного узла.

В приложении 2 представлен авторский расчетный пример использования гравитационного метода в расчете расстояний завоза-вывоза грузов и координат расположения терминалов для транспортных узлов «К» и «Р».

Таблица 2.1 – 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 зон 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 ЛГРЦ, 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.

Таблица 2.2 Сравнительная характеристика методов определения местоположения ЛГРЦ

№№ п/п	Метод расчета	Схема компоновки генплана узла	Технология работы ССХ узла	Конфигурация и показатели работы транспортного узла	Оперативное управление грузопотоками	Конфигурация путей сообщения видов транспорта	Конфигурация складской инфраструктуры	Рыночная конкуренция в «зонах охвата»
1	Экономико-математический метод	-	+	-	+	-	-	+
1.1	<b>Экономико-географический метод</b>	+	+	+	+	+	+	+
2	Метод многокритериальных взвешенных оценок	-	+	-	+	-	-	+
3	Метод пробной точки	+	+	-	+	-	-	-
4	Метод «Виаль»	+	+	-	+	-	-	+
5	Метод центра тяжести объектов	+	+	-	-	-	+	-
6	Гравитационный метод	+	+	+	+	+	-	-
7	Метод Вон Тунена	-	+	-	+	-	-	+
8	Модель Вебера	+	+	+	+	-	-	+
9	Модель Гувера	+	+	+	-	+	-	+
10	Модель М. Гринхарта	+	+	+	+	-	-	+
11	Планарная модель	+	-	+	-	-	+	-
12	Модель складирования внешнего и внутреннего размещения	-	+	-	-	+	+	-
13	Сетевая модель	+	+	+	+	+	+	-
14	Дискретная модель	+	+	+	+	-	+	+

Таким образом, из проведенного анализа существующих моделей и методов определения рациональных местоположений ЛГРЦ следует, что однозначных и универсальных подходов не существует.

Каждый метод 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, динамической системы тарифообразования совместно с конфигурацией транспортного узла, его коммуникаций и складской инфраструктуры. Это требует развития методики формирования сети узловых грузовых распределительных центров на конкурентных экономико-географических принципах размещения с учетом мультиагентности транспортного обслуживания.

### 2.3 КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКОГО ГРУЗОВОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА В ТРАНСПОРТНОМ УЗЛЕ

Складскую сеть на транспортном узле можно рассматривать как макрологистическую систему, состоящую из взаимосвязанных элементов.

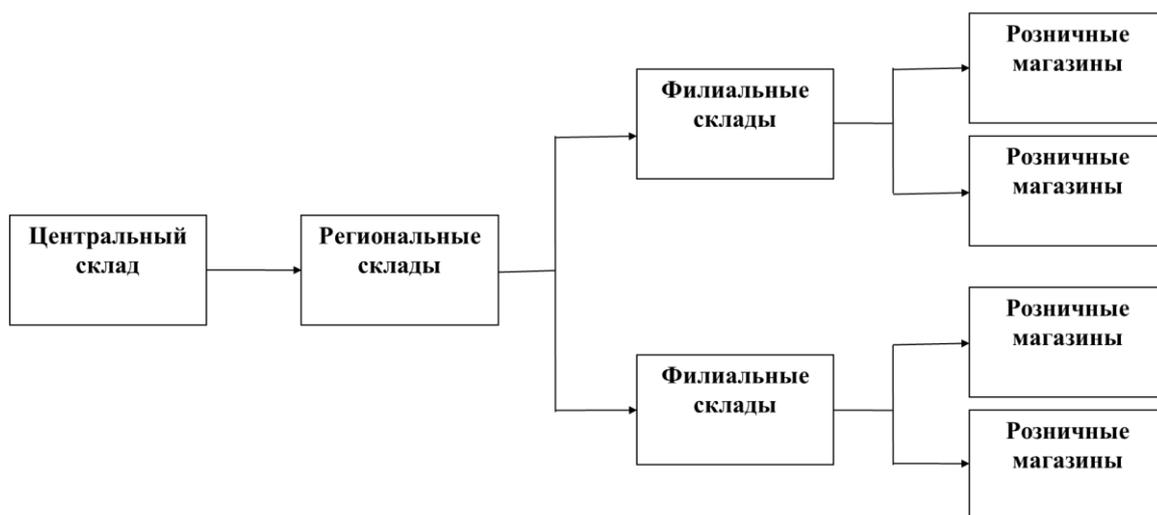


Рисунок 2.3 – Пример складской сети узла

Задача определения оптимального количества складов и их местоположения, по сути, сводится к поиску баланса между затратами и уровнем складского обслуживания.

Максимальное приближение складов к потребителям дает возможность более точно выполнять заказы клиентов, быстрее реагировать на изменения их потребностей, что в итоге позволяет также сократить расходы от упущенных продаж. В итоге существенно повышается уровень обслуживания клиентов, повышается конкурентоспособность.

Однако увеличение количества складов отрицательно сказывается на суммарных логистических издержках.

Критериями эффективности являются:

- минимальные приведенные расходы на погрузку и транспортировку ( $\mathcal{E}_{\text{тр}}$ ), сортировку ( $\mathcal{E}_{\text{сорт}}$ ), хранение ( $\mathcal{E}_{\text{хр}}$ ), и приведенные капитальные вложения ( $\Pi$ ) на единицу продукции:

$$Z^* = Z(\mathcal{E}_{\text{тр}}, \mathcal{E}_{\text{хр}}, \mathcal{E}_{\text{сорт}}, \Pi) \rightarrow \min,$$

- минимальные приведенные расходы на технико-технологические операции в единой системе транспортного узла, связанные с пропускной способностью путей сообщения видов транспорта и параметрами точек входа и выхода узлового грузопотока (размеры грузооборота ( $Q_{\text{год}}$ ), перерабатывающая способность ( $N_{\text{пер}}$ ), вместимость складов ( $E_{\text{скл}}$ ), стоянок, путей, парков и т.п.) на единицу продукции:

$$P^* = P(Q_{\text{год}}, E_{\text{скл}}, N_{\text{пер}}) \rightarrow \max,$$

- минимальные приведенные расходы, связанные с условиями размещения ЛГРЦ согласно топографических, геологических, блочно-модульных и др. особенностей проектирования на единицу продукции:

$$R^* = R(K_{\text{лгрц}}, \mathcal{E}_{\text{лгрц}}, C_{\text{пер}}, S_{\text{лгрц}}) \rightarrow \min.$$

Для оценки разработанных вариантов размещения терминалов можно руководствоваться основными оценочными показателями норм проектирования.

Сравнивая результаты показателей генеральных планов, делается вывод о наилучшем варианте расположения объектов в узле.

Предлагаемый в диссертации **экономико-географический метод разграничения «зон обслуживания» транспортно-складских объектов** [49,127,128,129] обладает достоинствами по нескольким ключевым причинам:

**1 – оптимизация распределения грузопотоков** позволяет находить наилучшие варианты распределения грузопотоков за счет разбиения их на части согласно размерам зон обслуживания. Это обеспечивает более эффективное использование складских ресурсов и повышение производительности транспортных средств.

**2 – использование алгебраических кривых высших порядков** позволяет учитывать область территории, обслуживаемой железнодорожной станцией, терминалом, портом и другими транспортно-складским объектом, что способствует улучшению планирования и управления транспортной логистикой.

**3 – модифицированная геометрическая маршрутизационная модель (ГММ)** складской сети учитывает реальные условия транспортировки грузов, опирается на фактическую транспортную сеть, включая дороги, узлы, перекрестки, железнодорожные пути и прочие инфраструктурные элементы.

**4 – линейная зависимость стоимости перевозок в транспортном узле от длины маршрута** (на первом этапе расчета). Предположение о линейной зависимости стоимости перевозки грузов от длины маршрута позволяет упростить вычисления и модели, что делает их применимыми для предварительного практического экспресс-анализа.

Это позволяет повысить эффективность управления транспортно-складскими грузопотоками, снизить затраты и увеличить эффективность работы ЛГРЦ.

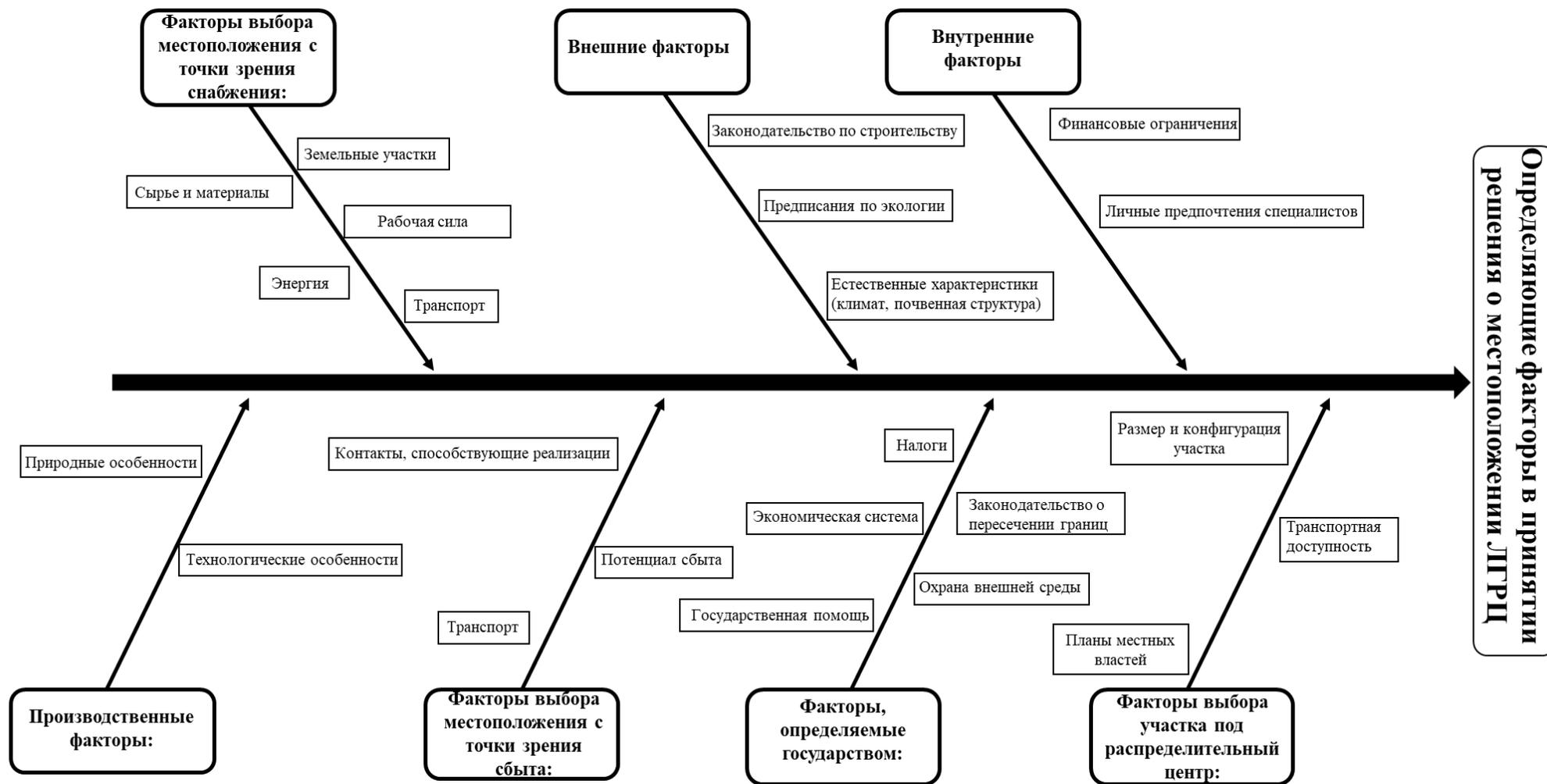


Рисунок 2.4 – Определяющие факторы в принятии решения о местоположении ЛГРЦ

Для эффективной оценки работы транспортно-складского комплекса, в узловой системе важное значение имеет выбор системы показателей, адекватно отражающих его местоположение в узловой системе, деятельность в условиях мультиагентности и рыночных принципах динамического тарифиобразования.

Адаптированные показатели оценки вариантов размещения ЛГРЦ на плане узла приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Показатели оценки вариантов размещения ЛГРЦ на плане узла с учетом экономико-географических принципов

№ п/п	Наименование	Обозначение	Расчетные формулы	Показатели
1	Общая площадь ЛГРЦ	$S_{общ}$	$S_{общ} = \frac{S_{пол}}{k_u}$	$S_{пол}$ – полезная площадь, т. е. площадь, занятая ЛГРЦ, м <sup>2</sup> ; $k_u$ – коэффициент использования площади склада.
2	Коэффициент развитости узла (агломерации)	$k_a$	$k_a = P \cdot (N \cdot n + M \cdot m)$	$P$ – численность населения узла (агломерации), млн чел.; $M$ – число городов в агломерации; $N$ – число поселков городского типа в агломерации; $n$ – доля поселков городского типа в городском населении агломерации; $m$ – доля городов в городском населении агломерации
3	Коэффициент централизованной формы товароснабжения	$k_{ц}$	$k_{ц} = \frac{D}{S}$	$D$ – стоимость продукции или услуг, произведенных крупнейшими поставщиками, $S$ – общая стоимость продукции или услуг всех поставщиков
4	Коэффициент децентрализованной формы товароснабжения	$k_{дц}$	$k_{дц} = \frac{S - D}{S}$	$D$ – стоимость продукции или услуг, произведенных крупнейшими поставщиками, $S$ – общая стоимость продукции или услуг всех поставщиков

Продолжение таблицы 2.3

3	Коэффициент использования территории узла складской инфраструктурой	$k_{тер}$	$k_{тер} = \frac{S_3}{S_{общ}}$	$S_3$ – площадь застройки складской инфраструктурой, $S_{общ}$ – общая площадь территории узла.
5	Средняя себестоимость транспортировки 1 т груза, руб./т-км	$e_{1т}$	$e_{1т} = \frac{\sum \mathcal{E}_{тск}}{Q_{год}}$	$\sum \mathcal{E}_{тск}$ – эксплуатационные расходы, тыс. руб., $Q_{год}$ – годовой грузооборот
6	Приведенные вложения на 1 т складского грузооборота, руб./т	$K_{1т}$	$K_{1т} = \frac{\sum K_{тск}}{Q_{год}}$	$\sum K_{тск}$ – капитальные вложения в объект, тыс. руб.; $Q_{год}$ – годовой грузооборот, т.
7	Приведенные затраты на 1 т складского грузооборота, руб./т	$\pi_{1т}$	$\pi_{1т} = \frac{\sum K \cdot E_n + \sum \mathcal{E}}{Q_{год}}$	$E_n$ – коэффициент приведения капитальных вложений к текущим затратам (0,10 – 0,125)
8	Оборачиваемость ЛГРЦ	$\Pi_o$	$\Pi_o = \frac{Q}{T \cdot Q_{общ}}$	$Q$ – количество продукции, отгруженной за период времени $T$ , $Q_{общ}$ – общее количество продукции, которое можно разместить на ЛГРЦ
9	Коэффициент близости (гравитационный коэффициент)	$a_j$	$a_j = \frac{P_{ij}}{P_{общ}}$	$P_{ij}$ – тонно-километровая (т-км) работа по доставке грузов; $P_{общ}$ – общая транспортная работа ЛГРЦ, т-км
10	Грузонапряженность 1 м <sup>2</sup> общей площади ЛГРЦ	$q_{лгрц}$	$q_{лгрц} = \frac{Q_{год}}{S_{общ}}$	$Q_{год}$ – годовой грузооборот склада, $S_{общ}$ – общая площадь склада.
11	Снижение расходов на транспортировку грузов по вариантам размещения, тыс руб.	$\Delta \mathcal{E}$	$\Delta \mathcal{E} = \mathcal{E}_{сущ} - \mathcal{E}_{пр}$	$\mathcal{E}_{сущ}$ , $\mathcal{E}_{пр}$ – расходы на транспортировку грузов при существующем и проектном положении ЛГРЦ на плане узла (агломерации), тыс. руб.

## 2.4 ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

Во второй главе проведен анализ теорий и методов отечественного и зарубежного опыта расчета и обоснования рациональных местоположений ЛГРЦ в системе «транспортный узел – терминал – клиент».

Анализируя методы определения местоположения складов и логистических объектов, можно выделить:

1 – наиболее перспективными являются модели, учитывающие не только затраты и расстояния, но также факторы, влияющие на экономическую эффективность, экологическую безопасность и удовлетворение потребностей клиентов;

2 – дальнейшее научное развитие должно также направляться на интеграцию методов и моделей, чтобы создать комплексные системы принятия решений, учитывающие широкий спектр факторов размещения и аспектов логистики;

3 – возможность варьирования подходов, используемых для выявления зон охвата потребителей грузораспределительными центрами (и количество этих центров), параметров территории транспортного узла, на которых могут находиться эти центры, а также ограничений, накладываемых на расположение центров, и иерархии в этих ограничениях;

4 – разработка цифровых методов и моделей размещения ЛГРЦ, способных эффективно обрабатывать большие объемы данных и учитывать динамические изменения во внешней среде и условиях рынка.

Экономико-географический метод разграничения «зон обслуживания» транспортно-складских объектов обладает достоинствами:

1 – оптимизация распределения грузопотоков позволяет находить наилучшие варианты распределения грузопотоков за счет разбиения их на части согласно размерам зон обслуживания.

2 – использование алгебраических кривых высших порядков позволяет более точно учитывать область территории, обслуживаемой железнодорожной

станцией, терминалом, портом и другими транспортно-складским объектом, что способствует улучшению планирования и управления транспортной логистикой.

3 – модифицированная геометрическая евклидова модель складской сети на первом этапе идеализирует реальную ситуацию, предполагая, что все транспортные маршруты прямолинейные и их длинами являются евклидовы расстояния между началами и концами транспортировки груза. На втором этапе учитываются фактические расстояния узловой сети.

4 – линейная зависимость стоимости перевозки от длины маршрута позволяет упростить вычисления и модели, что делает их применимыми для предварительного практического экспресс-анализа.

Таким образом, дальнейшее научное развитие в области определения местоположения складов и логистических объектов должно быть направлено на создание универсальной методики нахождения на территории транспортного узла местоположений ЛГРЦ, которые являются оптимальными в рамках имеющихся динамических параметров и ограничений.

### **3 ФОРМИРОВАНИЕ СЕТИ УЗЛОВЫХ ГРУЗОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ НА ПРИНЦИПАХ ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАЗМЕЩЕНИЯ С УЧЕТОМ МУЛЬТИАГЕНТНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

#### **3.1 КРИТЕРИИ РАЦИОНАЛЬНОСТИ КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ УЗЛОВОЙ СЕТИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ГРУЗОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЫНОЧНОЙ КОНКУРЕНЦИИ**

Необходимость сокращения расходов во всех звеньях транспортно-логистических цепей ставит задачу поиска таких местоположений ЛГРЦ, которые оказываются оптимальными в данных условиях и с учетом предъявляемых требований. Подразумевается получение ответов на два взаимосвязанных важных вопроса:

1-й – какое количество ЛГРЦ является целесообразным и где при этом они должны располагаться?

2-й – какую потребительскую область (с организационной и экономической точек зрения) целесообразнее обслуживать каждому из рассматриваемых ЛГРЦ?

Обычно, исходя таких параметров как расстояние транспортировки и вес грузовых отправок, путем расчетов находят «центры тяжести» географического местоположения существующих ЛГРЦ, а также места размещения возможных новых [30,42]. Однако, реальные условия эксплуатации зачастую требуют последующей корректировки полученных результатов.

Настоящее исследование направлено на разработку и модификацию экономико-географического метода [162,163,164,165,166] нахождения на территории транспортного узла таких местоположений ЛГРЦ, которые являются оптимальными в рамках имеющихся ограничений рыночной конкуренции и динамической системы тарифообразования, а также с учетом: доступности

транспортных коммуникаций и тарифов; возможности использования земельных участков; логистических требований к складским помещениям и участниками транспортировки груза; соответствия градостроительным, экологическим, природоохранным и др. нормам.

Важным шагом в исследованиях является проверка критериев рациональности, которые позволят оценивать местоположения ЛГРЦ в условиях мультиагентности транспортного обслуживания:

**Экономическая эффективность (Э)** – оптимизация затрат на транспортировку и складское обслуживание, учитывая стоимостные параметры по критерию минимума транспортных расходов.

**Временная эффективность (Т)** – оптимизация времени доставки грузов до конечных потребителей складских услуг.

**Устойчивость к изменениям (R)** – устойчивость складской системы к изменениям узловой инфраструктуры при изменении объемов грузопотоков.

**Экологическая устойчивость (У)** – минимизация вредных воздействий на окружающую среду, связанных с сокращением углеродного следа от грузового транспорта при развозе груза.

**Транспортная эффективность – (D)** максимальный охват транспортной инфраструктуры ЛГРЦ клиентуры с целью получения наибольшей выгоды в конкурентной среде.

В таблице 3.1 сведены параметры вышеприведенных критериев рациональности модифицированного экономико-географического метода размещения ЛГРЦ с учетом мультиагентности транспортно-складского обслуживания. Также в качестве дополнительных параметров могут использоваться вариативные характеристики зон охвата потребителей распределительными центрами, рыночные и конъюнктурные ограничения на расположение ЛГРЦ, иерархии в этих ограничениях.

Таблица 3.1 – Критерии рациональности экономико-географического метода размещения ЛГРЦ

Метод	Критерии	Параметры
Модифицированный экономико-географический метод размещения ЛГРЦ с учетом мультиагентности транспортно-складского обслуживания	$\exists \rightarrow \min$	<p><math>x_{ij}</math> – количество единиц груза, запланированных к перевозке от <math>i</math>-поставщика к <math>j</math>-потребителю.</p> $\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i; i = 1, 2, \dots, m; \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j; j = 1, 2, \dots, n;$ <p>Стоимость перевозки <math>C = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min</math></p>
	$T \rightarrow \min$	$T_{об} = \frac{\Sigma L}{V_{мар}} + n \cdot t_{п/в} + n \cdot t_{всп}$ , час, где $\Sigma L$ – расстояние следования автомобиля, км; $V_{мар}$ – маршрутная скорость движения автомобиля, км/час; $t_{п/в}$ – время на погрузку-выгрузку автомобиля, час; $t_{всп}$ – норма времени на вспомогательные операции, час; $n$ – количество грузовых операций
	$R \rightarrow \max$	$R = 1 - \frac{H}{H_{max}}$ , где $R$ – уровень относительной организации системы или «избыточность»; $H$ – текущее значение неопределенности системы; $H_{max}$ – максимально возможная неопределенность системы. В соответствии с [123] $H = -(p \cdot \log_a p + q \cdot \log_a q)$ . Для полностью детерминированной системы $H = 0$ и $R = 1$ . Если система полностью дезорганизована, $H = H_{max}$ и $R = 0$ . Следовательно, $0 \leq R < 1$ .
	$Y \rightarrow \min$	<p>Вредные воздействия на окружающую среду от выбросов транспортных средств оцениваются размером ущерба, который определяется по формулам [114]: 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; для ж.-д. транспорта по расходу топлива для выработки электроэнергии тепловой электростанцией и соответствующими размерами выбросов по формуле: <math>Y_{тепл}^{мэс} = 0,113 \cdot l \cdot a_{эл} \cdot 10^{-6}</math>, руб/т, где <math>a_{эл}</math> – удельный расход электроэнергии, кВт-ч/млн т-км</p>
	$D \rightarrow \max$	<p>Охват территории узла инфраструктурой ЛГРЦ оценивается коэффициентом Энгеля по формуле [81] <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» ЛГРЦ, чел.</p>

Таким образом, при проведении исследований значительно увеличиваются как спектр учитываемых факторов, так и массивы необходимой информации. Все это обеспечивает возможность учета всех факторов при принятии решения по созданию инновационных ЛГРЦ, целесообразность разработки инновационных методов и программных продуктов в математическом моделировании процессов узлового складского грузораспределения.

### 3.2 ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД РАЗМЕЩЕНИЯ УЗЛОВЫХ ГРУЗОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ С УЧЕТОМ МУЛЬТИАГЕНТНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Рассмотрим размещение логистических грузовых распределительных центров в транспортном узле на основе модификации экономико-географического метода [49,50,127,128] с учетом новых ограничений и критериев эффективности.

**Постановка задачи:** на заданной области транспортного узла, при известном числе 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.

$$\Pi = \arg \min_j \sum_{k=1}^n (p_k^{\text{гп}} + K_{\text{нп}}^j q_k^{\text{гп}} l_{jk}), \quad (3.1)$$

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.

Методом, применяемым для решения данной задачи, является авторский подход [49,50], основанный на экономико-географическом разграничении рыночных «зон обслуживания» транспортных объектов.

Рыночная ситуация в отношении ЛГРЦ представляет собой мультиагентность т.е. распределительные центры конкурируют между собой на рынке транспортно-логистических услуг. Экономико-географический метод разграничения «зон обслуживания» распределительных центров позволяет выявить зоны обслуживания, которые расположены в рассматриваемом регионе, и в соответствии со стоимостью грузоперевозок и отнесением зон обслуживания к какому-либо ЛГРЦ.

Рассмотрим авторскую модификацию и отличие метода экономико-географического разграничения «зон обслуживания» транспортно-складских объектов узла от рассмотренных данных в работах [30, 41, 42].

Первым отличием является то, что в диссертационном исследовании построение оптимизационной геометрической евклидовой модели позволяет находить наилучшие варианты распределения складских грузопотоков путем разбиения их на части согласно требованиям и размерам зонирования территории.

Второе отличие заключается в том, что впервые в транспортно-логистических исследованиях применены и изучены алгебраические кривые высших порядков в разграничении рыночных зон обслуживания ЛГРЦ, что позволяет учитывать зону охвата территории и мультиагентность транспортного обслуживания.

Третье отличие заключается в том, что узловая топология сети ЛГРЦ получила развитие в авторских публикациях [163-166].

Исследование модифицированного метода экономико-географического разграничения «зон обслуживания» является существующая и проектируемая новая логистическая складская инфраструктура транспортного узла.

Для пояснения метода первоначально исходим из того, что на основной части территории транспортного узла (рис. 3.1) располагается равномерно распределенный массив потребителей услуг, обслуживаемых ЛГРЦ, а также распределительными центрами.

При построении математической модели, границу указанного массива – зоны обслуживания (область анализа – основная застроенная часть узла) можно представить в виде некоторой геометрической фигуры, а также неправильной геометрической формы.

Для примера рассмотрим узел «Р» и его геометрическую интерпретацию, которая представлена в виде эллипса. Это объясняется тем, что указанная территория узла вытянута вдоль реки (рис. 3.1).

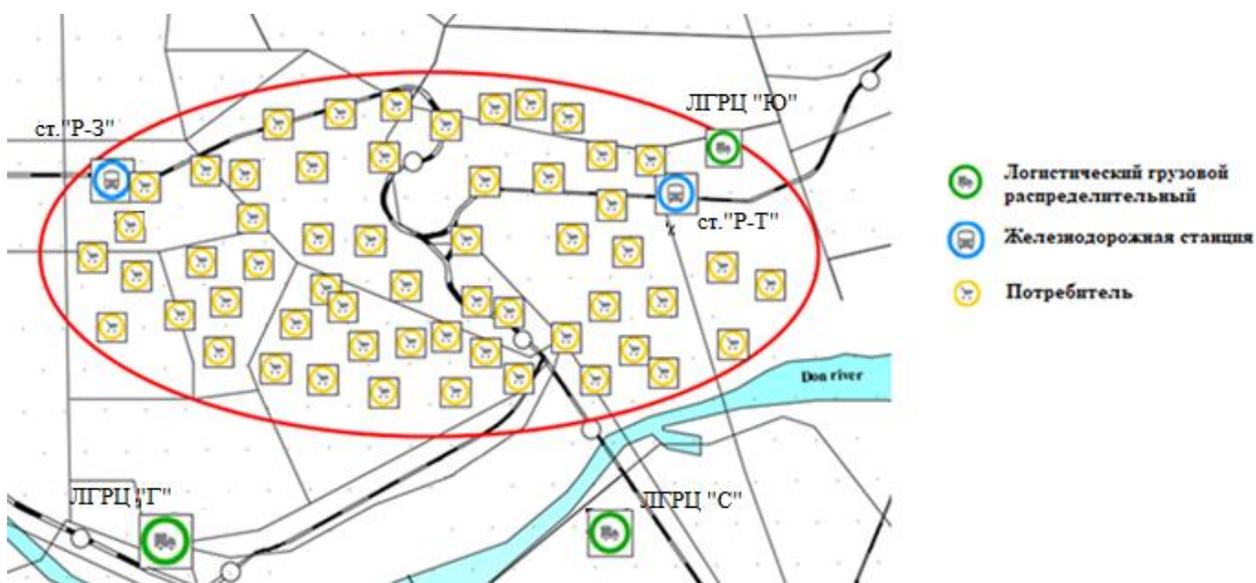


Рисунок 3.1 – Схематическое изображение области транспортно-складской инфраструктуры транспортного узла «Р»

Метод экономико-географического разграничения «зон обслуживания» ЛГРЦ позволяет строить *геометрическую евклидову модель транспортного*

узла (*ГЕМ ТУ*) территориального рынка грузовых перевозок. Первоначально, в этой модели реальная ситуация «идеализируется» в том смысле, что все транспортные маршруты подразумеваются прямолинейными и их длинами являются евклидовы расстояния между началами и концами транспортировки груза, то есть зависимость стоимости  $c$  перевозки грузов от длины  $l$  маршрута является линейной.

### **Описание *ГЕМ ТУ* мультиагентности складского рынка**

На плоской географической карте транспортного узла вводим декартову систему 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 (ЛГРЦ) ( $i = 1, 2 \dots, n$ ) определяется стоимость начально-конечных операций  $p_i$  и стоимость движенических 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:

$$C_i(x_i, y_i) = p_i + q_i \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}. \quad (3.2)$$

Границы зон обслуживания определяются уравнениями:

$$p_i + q_i \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} = p_j + q_j \sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2}. \quad (3.3)$$

Разграничительные линии формируют сложные сети на плоскости, отражающие конкуренцию между множеством складов. Эти линии могут принимать формы окружностей, гипербол, или более сложных кривых в зависимости от параметров.

Решения зависят от множества взаимосвязанных факторов, влияющих на распределение зон влияния и ресурсов.

### **Описание *ГЕМ ТУ* в случае двух участников складского рынка**

На карте рассматриваемого транспортного узла вводится декартова система координат. Если расстояние между 1-м и 2-м участниками (грузораспределительными центрами) равно  $L$  (км), то можно предполагать, что они находятся соответственно в точках  $O(0, 0)$  и  $A(L, 0)$ . Разграничение «зон обслуживания» указанных участника будет осуществляться по затратам на перевозку

грузов от пунктов их хранения до пунктов назначения. Эти пункты могут находиться в любых точках рассматриваемой плоскости узла.

Пусть  $p_i$  – стоимость начально-конечных операций, а  $q_i$  – стоимость движенических операций на 1 км пути, приходящихся на одну транспортную единицу для  $i$ -го участника ( $i = 1, 2$ ). Линия, разграничивающая «зоны обслуживания», записывается неявным уравнением вида:

$$p_1 + q_1\sqrt{x^2 + y^2} = p_2 + q_2\sqrt{(x - L)^2 + y^2}. \quad (3.4)$$

Отметим, что равенством (3.4) записывается набор алгебраических линий 2-го и 4-го порядков. При этом существенное значение имеют соотношения между параметрами  $L$ ,  $p_i$  и  $q_i$ , ( $i = 1, 2$ ). Ниже приведены пояснения как геометрической, так и логистической интерпретации в отношении некоторых из этих линий.

В простейших случаях, когда  $p_1 = p_2$  и  $q_1 \neq q_2$ , уравнением (3.4) задаются окружности. Если же  $q_1 = q_2$  и  $p_1 \neq p_2$ , то в зависимости от величины  $L$  линия может оказаться ветвью гиперболы, прямолинейным лучом или пустым множеством. Таким образом, в указанных здесь случаях получаются алгебраические линии 2-го порядка. Линии, имеющие гораздо более сложную аналитическую и геометрическую природу, получаются, когда у рассматриваемых участников отличаются как стоимости начально-конечных операций, так и стоимости движенических операций. Например, если  $p_1 > p_2$  и  $q_1 < q_2$ , то задаваемая уравнением (3.4) алгебраическая линия может иметь 4-й порядок и представлять собой улитку Паскаля [164-166].

В отношении «неравноправия» в «зонах обслуживания» рассматриваемых участников обратим внимание на то, что (как и окружность) улитка Паскаля в отличие, например, от гиперболы является ограниченной линией на плоскости. Поэтому в случаях, когда  $p_1 > p_2$  и  $q_1 < q_2$ , ограничиваемая этой линией «зона обслуживания» 2-го участника является множеством на плоскости (см. [163, 164]). Таким образом, несмотря то, что стоимость начально-конечных операций у 1-го участника может быть существенно больше, чем у 2-

го участника, но 1-й участник оказывается более конкурентоспособным в грузоперевозках к удаленным пунктам назначения.

### **Интерпретации методики расчета положения ЛГРЦ при железнодорожно-автомобильных перевозках грузов**

В части интерпретации методики расчета положения ЛГРЦ при железнодорожно-автомобильных перевозках грузов в узле предположим, что относящееся к железнодорожной составляющей звено логистической цепи представлено грузовыми станциями, например ст. «РЗ» и ст. «РТ». С этих станций тарно-штучные грузы доставляются автомобильным транспортом в ЛГРЦ, например – это ЛГРЦ «Г», «С» и «Ю». Далее в результате выполнения комплекса транспортно-складских и логистических услуг грузы из распределительных центров перевозятся автотранспортом потребителям розничной торговой сети. (Напомним, что представляющие потребителей пункты розничной торговли распределены на территории, ограниченной указанным на рис. 3.1 эллипсом). Кроме грузовых железнодорожных станций, рассматриваемые ЛГРЦ могут также получать продукцию от ряда производственных предприятий или некоторого центрального склада автомобильным или железнодорожным транспортом.

Отметим, что модифицированный экономико-географический метод разграничения «зон обслуживания» ЛГРЦ является универсальным в отношении наземных видов транспорта и применим также к мультимодальным грузоперевозкам.

В начале определяется стоимость  $c$  (тыс руб.) перевозки одной автотранспортной единицы с грузом к потребителям (по данным электронной биржи автомобильных перевозок ATI.SU [167]). Предварительно принята линейная зависимость стоимости от длины  $l$  (км) пройденного маршрута (для экспресса анализа). Данные обрабатываются методом наименьших квадратов.

Тогда для каждого узлового ЛГРЦ имеет место равенство:

$$c = p + q \cdot l, \quad (3.5)$$

где  $p$  и  $q$  – соответственно стоимость начально-конечных операций и стоимость движущихся операций на 1 км пути, приходящихся на одну транспортную единицу. Например, для узла «Р» при трех рассматриваемых ЛГРЦ, 60 потребителей и используемого автомобильного подвижного состава грузоподъемностью до 5 т величина  $q$  оказалась одинаковой и равной 1 тыс руб./км. для застроенной части города.

Последовательность решения задачи в таком случае можно разделить на 4 шага укрупненной блок-схемы, представленной на рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Блок-схема последовательности решения задачи размещения ЛГРЦ

Для выполнения многовариантных расчетов разработан авторский программный комплекс в среде *Maxima* (рассматривается в гл. 4 диссертации).

### 3.3 КОРРЕКТИРОВКА ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СКЛАДСКОЙ СИСТЕМЫ УЗЛА С УЧЕТОМ ВАРИАТИВНОСТИ РАССТОЯНИЙ ДОСТАВКИ И ОБЛАСТЕЙ ОХВАТА ПРИ РЫНОЧНОЙ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ КОНКУРЕНЦИИ

Геометрическая евклидова модель транспортного узла (ГЕМ ТУ) преобразуется в геометрическую маршрутизационную модель транспортного узла (ГММ ТУ) по разработанному алгоритму.

Первоначально все транспортные маршруты предполагаются прямолинейными и поэтому их длины представляют собой евклидовы расстояния между их началами и концами. Однако, реально длина маршрута, по которому осуществляется транспортировка груза, во многих случаях существенно превосходит евклидово расстояние от распределительного центра до потребителя (рисунок 3.3).

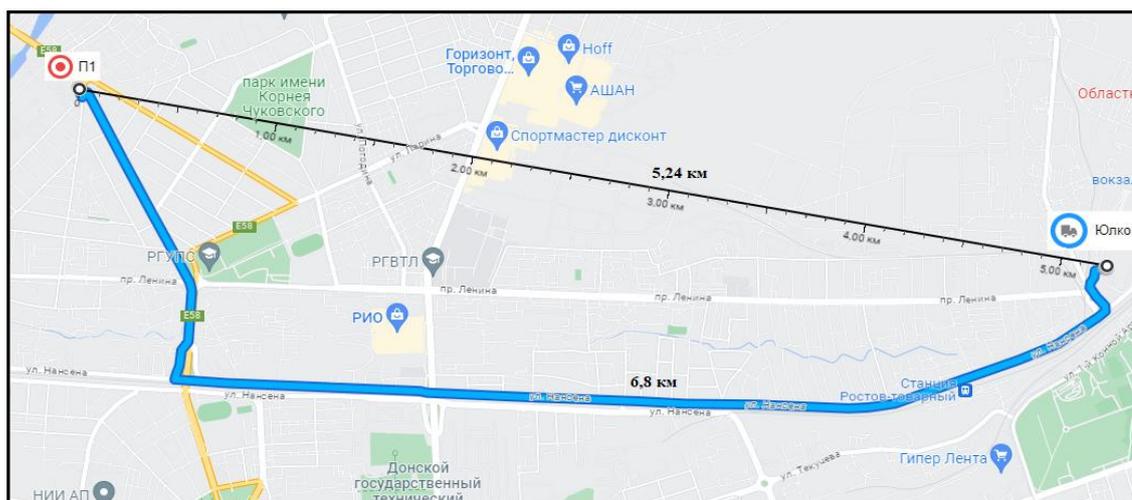


Рисунок 3.3 – Схема сравнения реальной длины маршрута с евклидовым расстоянием

Таким образом, актуальной и целесообразной является корректировка математической модели, в которой маршрут транспортировки грузов представлен в том же виде, как это происходит фактически.

#### Геометрическая маршрутизационная модель транспортного узла

В связи с этим введем в рассмотрение ГЕМ ТУ такое понятие как коэффициент непрямолинейности  $k_{нп}$  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  $\zeta$ , имеющей равномерный закон распределения. Для данного субъекта грузоперевозок коэффициентом непрямолинейности  $k_{нп}$  будем называть среднее арифметическое указанных отношений, вычисленных для всех рассматриваемых пунктов назначения (то есть выборочное среднее случайной величины  $\zeta$ ). Введенный таким образом коэффициент  $k_{кр}$  представляет собой характеристику расположения сети путей сообщений по отношению к рассматриваемым пунктам назначения. Исходя из значений коэффициентов непрямолинейности, вычисленных для каждого из участников мультиагентного территориального рынка (субъекта грузоперевозок), можно построить соответствующую ГММ ТУ. Также определяется средний коэффициент непрямолинейности  $K_{ср.нп} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_{нп.i}$ , который позволяет обобщить данные для группы потребителей и получить усредненное значение для оценки системы грузораспределения. Например, для потребителей узла «Р» диаграмма коэффициентов непрямолинейности маршрутов представлена на рис. 3.4.

Например, после вычислений  $K_{ср.нп}$  получено, что коэффициенты непрямолинейности для ЛГРЦ «Г», «С» и «Ю» соответственно равны  $k_r = 1,53$ ,  $k_c = 1,76$  и  $k_{ю} = 1,70$ . Этот показатель дает представление о средней степени отклонения фактических маршрутов от прямых расстояний для потребителей, обслуживаемых ЛГРЦ.

Таким образом, концепция ГЕМ ТУ получила развитие в виде *оптимизационной геометрической маршрутизационной модели (ОГЕМ)* рынка транспортно-складских услуг, образуемого ЛГРЦ на территории узла.

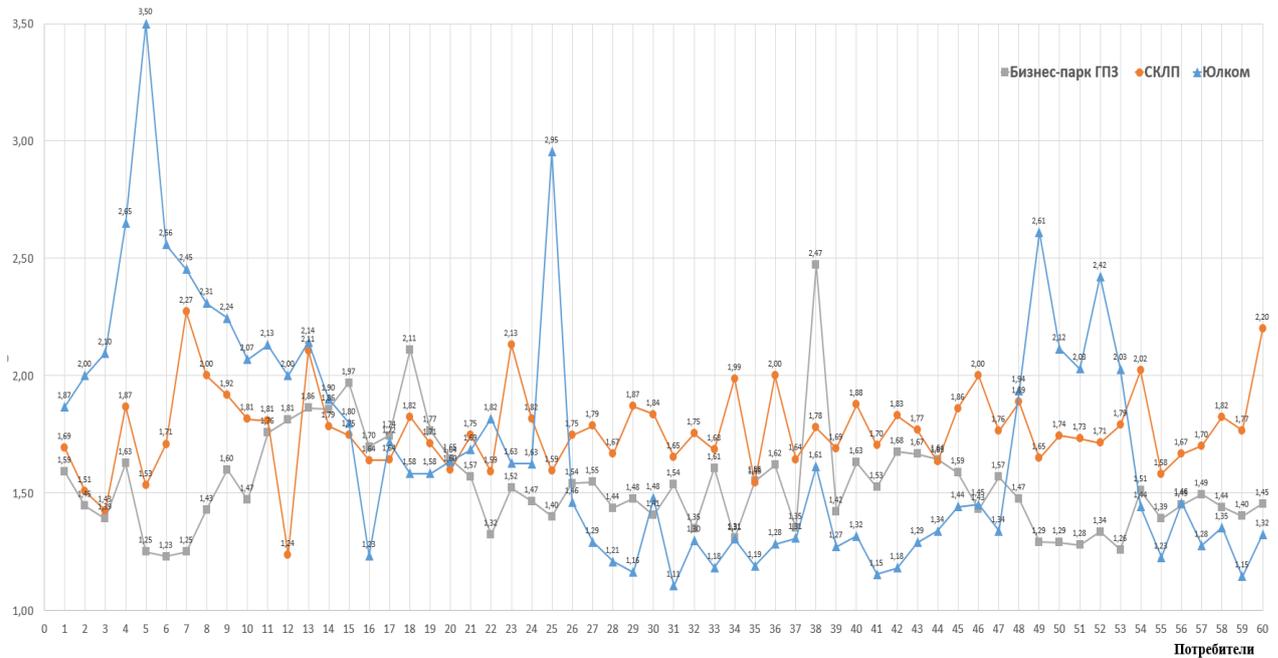


Рисунок 3.4 – Диаграмма коэффициентов непрямолинейности маршрутов потребителей узла «Р»

Для повышения точности расчетов вычисления выполняются в программном комплексе, разработанном в системе *Maxima*, используя её аналитические и графические возможности. Предложена цифровая интерпретация зон размещения ЛГРЦ и клиентов. На примере узла «Р» зонирование имеет вид (рисунок 3.5).

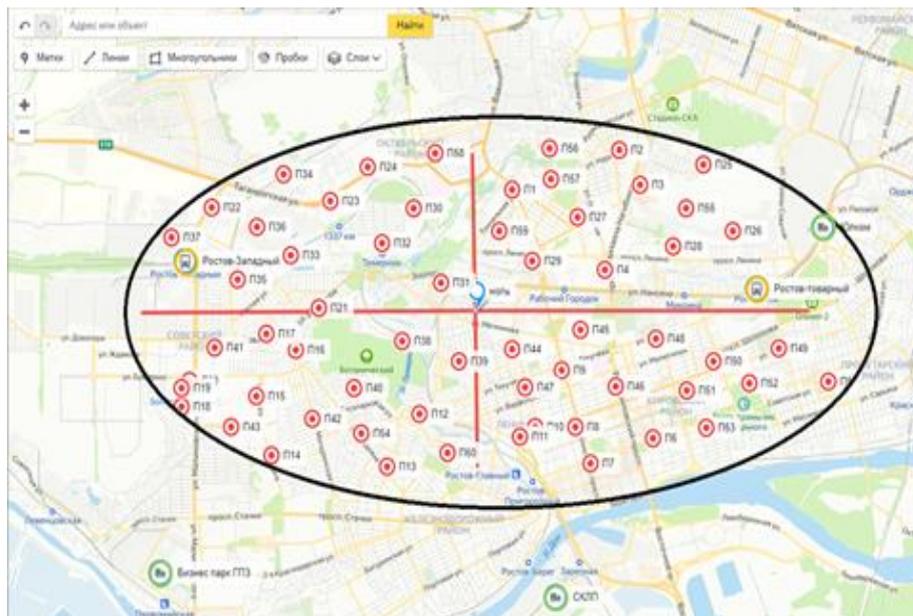


Рисунок 3.5 – Программная интерпретация схемы транспортного узла «Р»

### Общая схема построения ГММ ТУ в случае двух участников

В качестве субъектов перевозочного процесса будем рассматривать ЛГРЦ. Пусть  $l_e$  и  $l_m$  – евклидово расстояние и длины маршрута расстояние от рассматриваемого центра до потребителя. Будем предполагать, что отношение  $\frac{l_m}{l_e}$  представляет собой случайную величину, имеющую равномерное распределение. Таким образом, если коэффициент непрямолинейности  $k_{нп}$  центра определить как математическое ожидание указанной случайной величины, то эта числовая характеристика будет средним арифметическим значений отношения, вычисленных для всех рассматриваемых потребителей.

Как и при построении ГЕМ ТУ введем на плоской географической карте данного региона декартову систему координат. Обозначим  $L$  расстояние между 1-м и 2-м участниками (в данном случае, распределительными центрами) и будем предполагать, что они находятся соответственно в точках  $O(0,0)$  и  $A(L,0)$ . Пусть  $k_{нп1}$  и  $k_{нп2}$  – коэффициенты непрямолинейности 1-го и 2-го участников. Их «зоны обслуживания» разграничиваются линией, которая определяется стоимостями грузоперевозок от местоположений участников до пунктов назначения (потребителей).

В итоге формируется таблица значений коэффициентов непрямолинейности для каждого ЛГРЦ, также определяется среднеарифметическое значение всех коэффициентов. В результате формируются матрицы координат станций и терминалов, включающие координаты всех ЛГРЦ в декартовой системе, и матрицы координат потребителей, которые позволяют определить пространственное расположение всех потребителей относительно логистических центров.

Также составляются матрицы кратчайших (маршрутных) расстояний, учитывающих реальную транспортную сеть, в соответствии с коэффициентами непрямолинейности.

Все эти данные сводятся в общую таблицу (таблица 3.2), используемую для анализа, планирования и оптимизации транспортно-складских процессов,

что позволяет определить кратчайшие маршруты и принять обоснованные решения для улучшения развоза груза.

Таблица 3.2 – Сводная ведомость параметров транспортной сети, маршрутов и координат (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	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$n$	$L_{кри}$	$L_{евки}$	$K_{нпи}$	$K_{сри}$	$L_{кри}$	$L_{евки}$	$K_{нпи}$	$K_{сри}$	$L_{кри}$	$L_{евки}$	$K_{нпи}$	$K_{сри}$

Предполагается, что приходящиеся на одну транспортную единицу стоимости начально-конечных операций и стоимости движущихся операций на 1 км пути у участников одинаковые. Поэтому уравнение искомой линии имеет следующий вид:

$$k_1\sqrt{x^2 + y^2} = k_2\sqrt{(x - L)^2 + y^2}. \quad (3.6)$$

Исключая тривиальные ситуации, предполагаем, что  $k_1 \neq k_2$ . Пусть, например,  $k_1 < k_2$ . Выполнив преобразования, приходим к уравнению окружности:  $\left(x - \frac{L \cdot k_2^2}{k_2^2 - k_1^2}\right)^2 + y^2 = \left(\frac{L \cdot k_1 \cdot k_2}{k_2^2 - k_1^2}\right)^2$  с центром в точке  $C \cdot \left(\frac{L \cdot k_2^2}{k_2^2 - k_1^2}\right), 0$  и радиусом  $R = \frac{L \cdot k_1 \cdot k_2}{k_2^2 - k_1^2}$ . На рисунке ПЗ.1 (Приложение 3) приведена окружность, разделяющая «зоны обслуживания» участников. Рисунок выполнен графическими средствами системы *Maxima (FreeWare)*.

В приводимой общей схеме выбор местоположений участников имеет условный характер и необходим для того, чтобы в дальнейшем использовать аналитическую геометрию.

Теперь рассмотрим случай, когда  $p_i$  и  $q_i$  – стоимости приходящихся на одну транспортную единицу начально-конечных операций и движенических операций (на 1 км пути) – коэффициент дорожной непрямолинейности для  $i$ -го участника ( $i = 1,2$ ). «Зоны обслуживания» участников определяются стоимостями грузоперевозок от местоположений участников до пунктов назначения. Поэтому уравнение линии, разделяющей эти зоны, можно записать в неявном виде следующим образом:

$$p_1 + k_1 q_1 \sqrt{x^2 + y^2} = p_2 + k_2 q_2 \sqrt{(x - L)^2 + y^2} \quad (3.7)$$

Уравнением (3.7) записывается набор алгебраических линий 2-го и 4-го порядков. Как показано в [49,50,163,166], эти линии оказались востребованными в транспортно-логистических исследованиях. При этом порядок линий и их важные для приложений геометрические свойства определяются соотношениями, связывающие между собой параметры  $L$ ,  $p_i$  и  $q_i$  ( $i = 1,2$ ), которыми характеризуются грузоперевозки.

На рис. П3.2 (Прил. 3) приведен овал Декарта, который разграничивает «зоны обслуживания» рассматриваемых участников (ЛГРЦ) в предположении, что, например,  $L = 196,79$ ,  $p_1 = 18,11$ ,  $p_2 = 14,95$ ,  $q_1 = q_2 = 0,02$ ,  $k_1 = 1,25$ ,  $k_2 = 1,46$ .

Из рис. П.3.2 следует, что 2-й участник выигрывает у 1-го участника при перевозках в большинство тех пунктов назначения, которые могут быть расположены достаточно близко к обоим участникам (это является следствием неравенства  $p_1 < p_2$ ). Но поскольку в данном случае  $q_1 \cdot k_1 < q_2 \cdot k_2$ , то 2-й участник оказывается менее конкурентоспособным в перевозках на достаточно большие расстояния.

В процессе решения задачи по определению «зон обслуживания» ЛГРЦ предусматривается разбиение территории городской застройки узла сначала

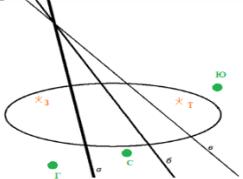
кривыми 1-го порядка в результате итераций согласно вариантам перемещения ЛГРЦ, а затем кривыми 3-го и 4-го порядка при изменении стоимостей начально-конечных операций ЛГРЦ.

Каждый из результатов представляет собой разбиение территории уплотненной городской застройки на «зоны обслуживания» трех рассматриваемых распределительных центров. Результат первой итерации показывает, что новое местоположение распределительного центра «Ю» определяется координатами  $x=8$  (км) и  $y=1,6$  (км). В соответствующем разбиении основной, наиболее уплотненно застроенной части городской территории (то есть массива потребителей услуг, предоставляемых рассматриваемыми ЛГРЦ) «зона обслуживания» этого распределительного центра представляет собой часть внутренности эллипса, расположенную правее прямой  $b$  и имеющую площадь равную  $16,77$  км<sup>2</sup>. При этом наибольшей оказывается равная  $36,21$  км<sup>2</sup> площадь «зоны обслуживания» центра «С», представляющей собой часть внутренности эллипса, которая расположена между прямыми  $a$  и  $b$ .

Обратим внимание на то, что последнюю выполняемую в процессе оптимизации итерацию мы определили тем условием, чтобы точка пересечения прямых,  $a$ ,  $b$  и  $c$  приблизилась вплотную к эллипсу.

На примере узла «Р» в таблице 3.3 представлены результаты первой, двух последних итераций, а также вариант с различными затратами  $p$  на начально-конечные операции.

Таблица 3.3 - Итерации определения «зон обслуживания» ЛГРЦ

№№ итераций	Координаты ЛГРЦ «Ю»		Площадь зоны обслуживания 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	

Продолжение таблицы 3.3

...	5	1,6	22,41	24,8	28,08	ЛГРЦ «Ю» у границы основной зоны	
...	5	1,2	22,4	23,7	29,2	ЛГРЦ «Ю» внутри основной зоны	
...	5	1,2	22,4	23,7	29,2	При изменении стоимостей начально-конечных операций	

Стоит отметить, что согласно методу экономико-географического разграничения «зон обслуживания» станций погрузки и транзитивности отношения равенства, три рассматриваемые линии *а*, *б* и *в* должны пересекаться в одной точке [49].

### 3.4 ПЕРСПЕКТИВНОЕ КОНФИГУРИРОВАНИЕ СЕТИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ГРУЗОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ УЗЛА С УЧЕТОМ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ РЫНКА ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСКИХ УСЛУГ

Конфигурирование транспортно-складской сети узла – это процесс определения оптимальной структуры и параметров сети ЛГРЦ для эффективного выполнения логистических операций в конкретном транспортном узле. Данный процесс включает в себя выбор оптимальных местоположений, определение структуры сети терминалов и складов, а также выбор эффективных транспортных и информационных связей (рисунок 3.6).

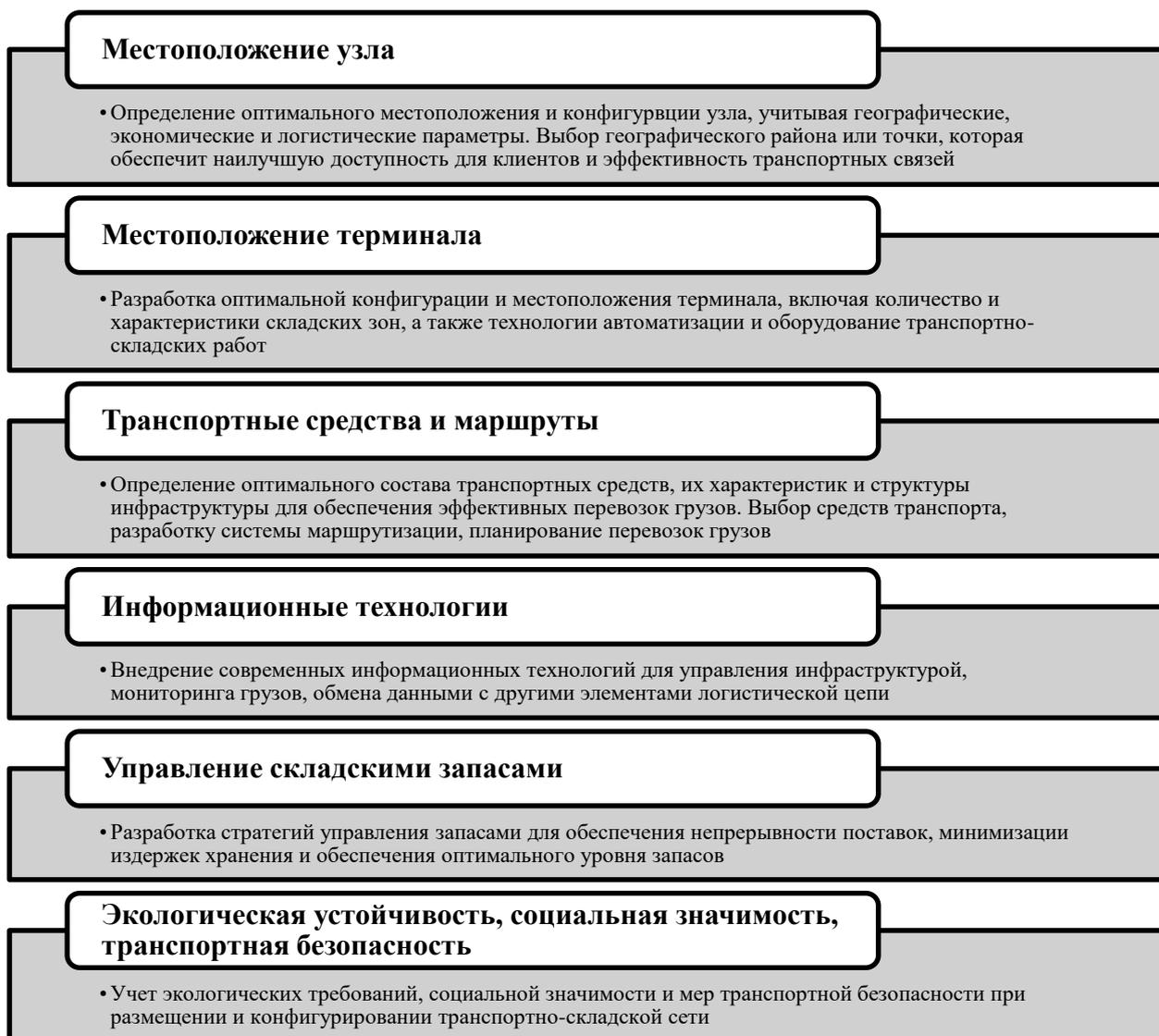
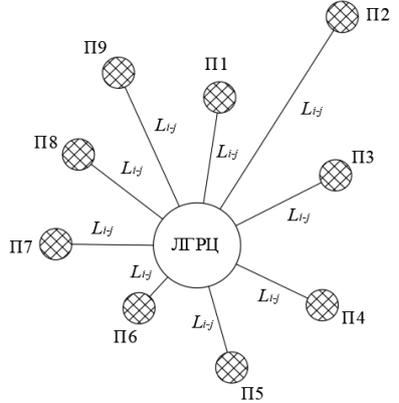
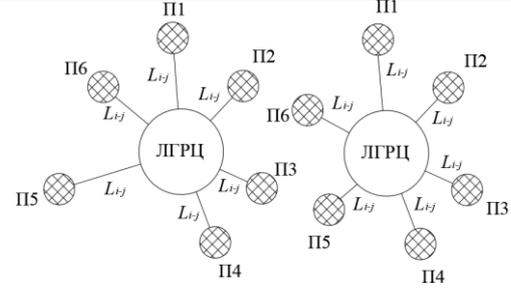


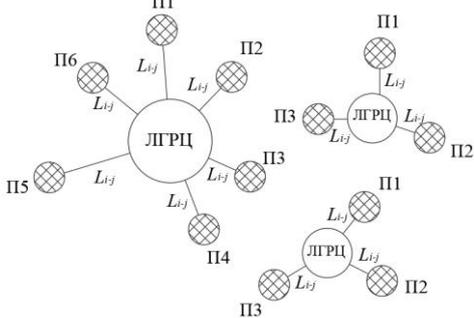
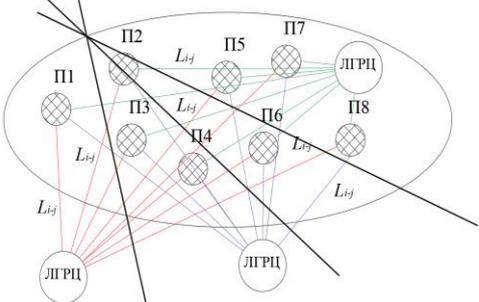
Рисунок 3.6 – Принципы конфигурирования транспортно-складской сети узла [49]

В условиях растущей рыночной конкуренции и изменений в потребительском поведении, эффективная складская сеть становится стратегическим преимуществом для транспортного узла. В таблице 3.4 представлены существующие и предлагаемые варианты формирования узловой сети складской инфраструктуры ЛГРЦ при конкретных условиях транспортного обслуживания.

Таблица 3.4 – Конфигурирование транспортно-складской сети узла

Описание модели сети	Достоинства сети	Недостатки сети	Топология сети и принцип расчета расходов на завоз-вывоз грузов
<b>Централизованная складская сеть</b>			
<p>Централизованная модель предполагает сосредоточивание всех логистических операций в едином терминале, который обслуживает все потребности транспортного узла, отвечая за хранение и распределение товаров</p>	<p><b>Экономия затрат:</b> позволяет сократить издержки на управление запасами и обслуживание. <b>Легкость управления:</b> обеспечивает более простое и единое управление логистическими складскими процессами.</p>	<p><b>Задержки в поставках:</b> Большие расстояния между центральным складом и точками потребления могут вызвать задержки в поставках. <b>Увеличенный риск:</b> «Потеря» центрального склада может существенно повлиять на логистическую цепочку поставки товаров.</p>	 <p><math>P = \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q}{q_i} \cdot C_i \right)</math>, где <math>P</math> – общая стоимость доставки груза, <math>n</math> – количество доступных вариантов транспортных средств, <math>Q</math> – Общий объем груза, <math>q_i</math> – объем груза, который может быть перевезен выбранным типом транспортного средства <math>i</math>, <math>C_i</math> – стоимость перевозки за единицу расстояния для выбранного типа транспортного средства <math>i</math>.</p>
<b>Децентрализованная складская сеть</b>			
<p>Децентрализованная модель включает нескольких терминалов, размещенных ближе к конечным потребителям. Каждый терминал обслуживает свою территорию, что обеспечивает более быструю доставку и удовлетворение потребностей клиентов.</p>	<p><b>Быстрая доставка:</b> сокращение время доставки и повышение уровня обслуживания клиентов. <b>Минимизация рисков:</b> Распределение запасов уменьшает риск при отказе одного из них.</p>	<p><b>Увеличенные затраты:</b> Дополнительные склады требуют дополнительных расходов и ресурсов для управления запасами и обслуживания.</p>	 <p><math>\sum P = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q}{q_i} \cdot C_i \right)</math></p>
<b>Комбинированная (гибридная) складская сеть</b>			

Продолжение таблицы 3.4

<p>Гибридная модель объединяет элементы централизованных и децентрализованных систем. Крупный центральный склад обслуживает товары с высокой оборачиваемостью, тогда как региональные склады могут быть предназначены для удовлетворения специфических потребностей клиентов.</p>	<p><b>Комбинация преимуществ:</b> позволяет использовать преимущества обеих систем, обеспечивая баланс между эффективностью и оперативностью.</p> <p><b>Гибкость в управлении:</b> адаптация сети под конкретные потребности.</p>	<p><b>Сложное управление:</b> Требуется более сложная система управления логистическими процессами.</p>	 $P = \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q}{q_i} \cdot C_i \right) + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q}{q_i} \cdot C_{ij} \right)$
<p><b>Модифицированная складская сеть согласно ГММ ТУ и мультиагентным условиям транспортного обслуживания</b></p>			
<p>Модель объединяет географическое размещение ЛГРЦ с учетом экономических параметров рыночных зон охвата территории узла, а также элементы централизованных и децентрализованных систем. Представлены линии разграничения зон транспортно-складских услуг с учетом рыночной конкуренции, что применимо для различных узловых систем и видов транспорта.</p>	<p><b>Комбинация преимуществ:</b> Экономико-географическая модель позволяет использовать преимущества всех систем распределения и учитывать рыночные особенности взаимодействия клиентуры.</p> <p><b>Гибкость в управлении:</b> Можно адаптировать структуру сети для любой транспортной системы под конкретные виды транспортно-складских услуг и виды транспорта.</p>	<p><b>Сложное управление:</b> Требуется формирование новых транспортно-логистических цепей поставки.</p>	 $P = \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q}{q_i} \cdot C_i \right) + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \left[ \left( \frac{Q}{q_i} \cdot (C_{ij} + T_{ij} + D_{ij} \cdot R_j) \right) \cdot E_j \cdot (1 - K_j) \right]$ <p>Где <math>T_{ij}</math> - транспортные расходы на единицу товара <math>i</math> из центрального склада в региональный склад <math>j</math>, <math>R_j</math> - рынок, обслуживаемый региональным складом <math>j</math>, <math>D_{ij}</math> - транспортные расходы на единицу товара <math>i</math> из регионального склада <math>j</math> к конечным потребителям в зоне охвата <math>j</math>, <math>E_j</math> - экономические параметры рыночной зоны охвата для склада <math>j</math> (например, уровень спроса, доходность и т.д.), <math>K_j</math> - коэффициент конкуренции в зоне охвата склада <math>j</math></p>

Известно, что грузораспределение не является статичным процессом. Гибкость и способность к адаптации к изменениям в спросе, условиям дорог, или даже кризисным ситуациям – важные критерии для успешной складской логистики. Разработанный модифицированный экономико-географический метод определения «зон обслуживания» узловых ЛГРЦ» позволяет оценить грузораспределение на основе активного взаимодействия рыночных механизмов, транспортной инфраструктуры зон обслуживания, а также выполнять экспресс-анализ существующих вариантов транспортно-складского обслуживания. Данный подход улучшает складское обслуживание потребителей, сокращает временные задержки и повышает общую эффективность узловой логистической складской системы.

### **3.5 ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ**

В третьей главе выполнена разработка методики формирования сети узловых грузовых распределительных центров на конкурентных экономико-географических принципах размещения с учетом мультиагентности транспортного обслуживания.

Разработан модифицированный экономико-географический метод размещения узловых грузовых распределительных центров с учетом мультиагентности транспортного обслуживания за счет: построения оптимизационной геометрической евклидовой модели узла, которая позволяет находить наилучшие варианты распределения грузопотоков путем разбиения их на части согласно требованиям и размерам зон обслуживания; впервые в транспортно-логистических исследованиях применены и изучены алгебраические кривые высших порядков в разграничении рыночных зон обслуживания ЛГРЦ, что позволяет наиболее точно учитывать зону охвата территории и мультиагентность транспортного обслуживания; геометрическая составляющая в разрабатываемом методе размещения ЛГРЦ, получила развитие за счет многовариантности топологий складских сетей.

Определены принципы программной реализации авторской методики определения конфигурации узловой сети ЛГРЦ.

Определены параметры обслуживания и критерии рациональности компоновочных решений узловой сети логистических грузовых распределительных центров в зависимости от рыночной мультиагентной конкуренции и динамической системы тарифообразования.

Предложен новый подход к принципам корректировки экономико-географической модели складской системы узла с учетом вариативности расстояний доставки и зон охвата при рыночной мультиагентной конкуренции.

Разработано перспективное конфигурирование сети логистических грузовых распределительных центров узла с учетом территориальной параметризации рынка складских услуг по вариантам мультиагентной конкуренции.

Сформирована геометрическая маршрутизационная модель транспортного узла, которая на основе кривых 2-го и 4-го порядка, позволяет определять эффективные зоны охвата клиентов ЛГРЦ при транспортно-складском обслуживании. Лучшим признан вариант, при котором суммарные затраты на транспортировку и хранение минимальны, а конкурентная эффективность обслуживания клиентов максимальна.

Рассмотрены существующие и предлагаемые варианты формирования узловой сети складской инфраструктуры ЛГРЦ при конкретных условиях транспортного обслуживания.

## **4 РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСА ДЛЯ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЕТИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ГРУЗОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ ТРАНСПОРТНОГО УЗЛА**

### **4.1 АЛГОРИТМ И ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС МОДИФИЦИРОВАННОГО ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДА РАЗМЕЩЕНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ГРУЗОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ В ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛАХ**

Для выполнения многовариантных расчетов разработан программный комплекс модифицированного экономико-географического метода размещения логистических грузовых распределительных центров в транспортных узлах в среде *Maxima*, блок-схема которого представлена на рис. 4.1. Аналитические и графические возможности этой системы позволяют получать обоснованную в геометрическом отношении и наглядную территориальную картину мультиагентного рынка грузоперевозок в рассматриваемом регионе. При этом, согласно выполненным аналитическим и геометрическим построениям, в качестве линий, разграничивающих «зоны обслуживания» ЛГРЦ, будут выступать дуги окружностей вместо прямых линий.

Для качественной обработки больших объемов данных, проведения статистического анализа и визуализации результатов узловых компоновочных решений, в программном комплексе использованы библиотеки языка программирования *Python*: *sys*, *os*, *ssl*, *subprocess*, *time*, *pprint*, *requests*, *ctypes*, *zipfile*, *urllib.request*, *json*, *pathlib*, *matplotlib.figure*, *math*, *numpy*, *PyQt5*, *matplotlib.pyplot*.

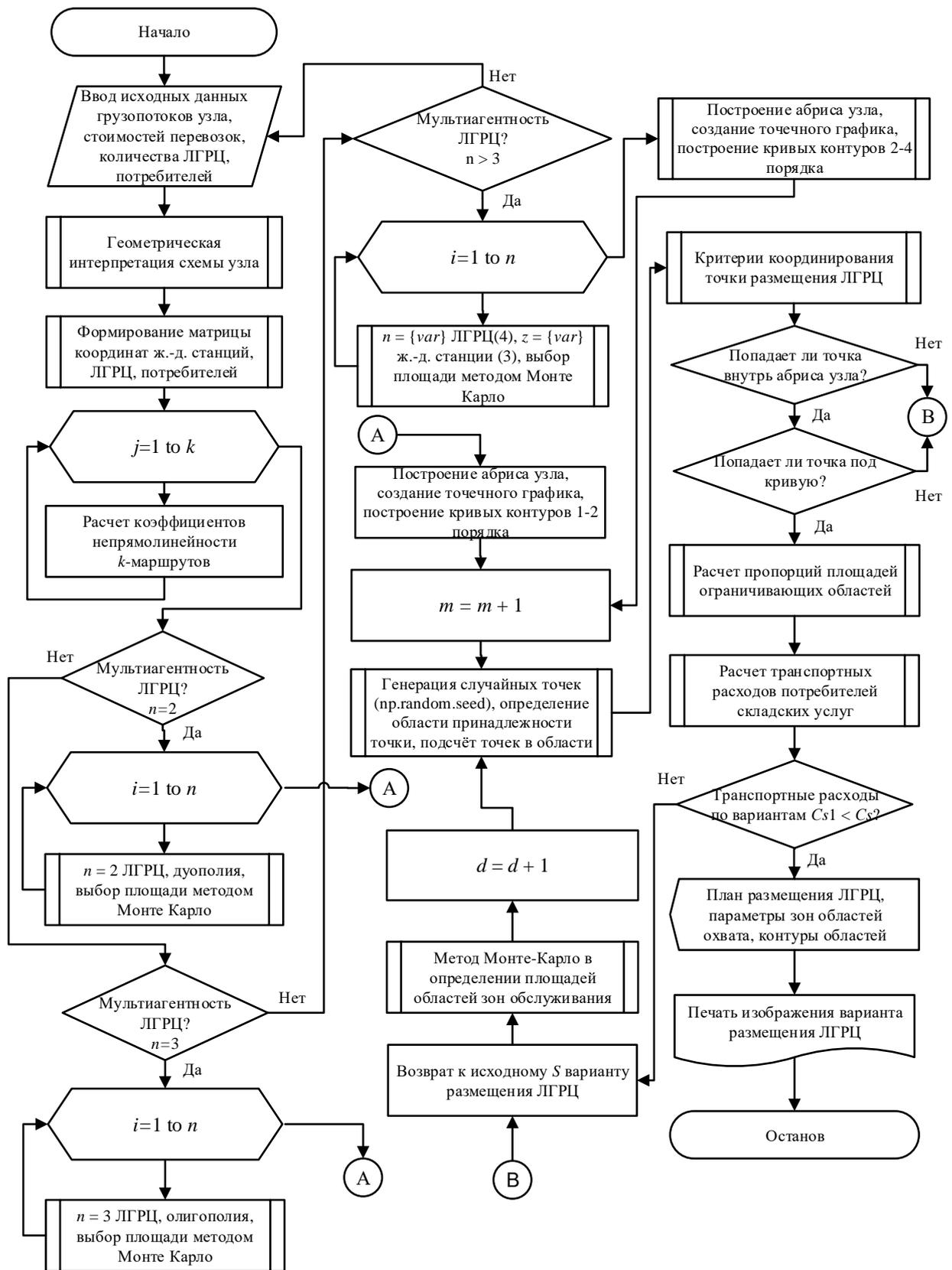


Рисунок 4.1 – Блок-схема программы проектирования сети ЛГРЦ

Листинги библиотек программного комплекса определения зон обслуживания ЛГРЦ по вариантам размещения в узле и видам транспортного обслуживания приведены в Приложении 4, П4.1.

## **4.2 АПРОБАЦИЯ УЗЛОВЫХ КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ПРОГРАММНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕТИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ГРУЗОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛОВ ЮГА РОССИИ**

Рассмотрены результаты работы программного комплекса на примере основных транспортных узлов (ТУ) юга России: Ростовском – «Р», Краснодарском – «К», Астраханском – «А», Минераловодском – «М».

**Транспортный узел «Р».** Основная территория ТУ «Р» представлена в виде эллипса, вытянутого вдоль реки. Потребители услуг ЛГРЦ равномерно распределены по этой территории. Железнодорожные перевозки выполняются двумя грузовыми станциями «Р-Т» и «Р-З», откуда грузы доставляются автомобильным транспортом в три ЛГРЦ: «Г», «С» и «Ю». После обработки грузы попадают в розничные торговые точки (принято 60 потребителей), равномерно распределённые по территории эллипса. ЛГРЦ также получают продукцию от различных производственных предприятий и центрального склада.

Переходим к построению оптимизационной геометрической евклидовой модели (ОГЕМ) для грузоперевозок в рассматриваемом транспортном узле. Оптимизационный алгоритм, основанный на методе Монте Карло, позволяет определить новое оптимальное местоположение центра. Вычисления выполняются в системе *Maxima*, используя её аналитические и графические возможности. Отметим теперь, что если в уравнении (3.2) предположить  $p_1 = p_2$  и  $q_1 = q_2$ , то получится, что «зоны обслуживания» участников разграничены

прямой линией  $x = \frac{L}{2}$ . Далее приведем преобразования уравнения (3.2), выполненные в среде Maple.

Программное определение эллипса узла «Р» и его визуализация:

*Ellips:=implicitplot((x-s1)^2/a^2+(y+t1)^2/b^2=1,x=-10..10,y=-10..10, colour=red, thickness=5, numpoints=100000):*

$$\left(\frac{x-s1}{a}\right)^2 + \left(\frac{y-t1}{b}\right)^2 = 1.$$

Определение «зоны обслуживания» прямыми линиями между ЛГРЦ «Г» и «С»:

*>Straight\_1\_2:=implicitplot([p+q\*sqrt((x-a1)^2+(y-b1)^2)= pi+qi \*sqrt((x-a2)^2+(y-b2)^2)], x=-10..10,y=-10..10, thickness=[6],color=[black], numpoints=19000000):*

$$p_i + q_i \sqrt{(x - a1)^2 + (y - b1)^2} = p_i + q_i \sqrt{(x - a2)^2 + (y - b2)^2}.$$

Определение «зоны обслуживания» прямыми линиями между ЛГРЦ «Г» и «Ю»:

*>Straight\_1\_3:=implicitplot([p+q\*sqrt((x-a1)^2+(y-b1)^2)= pi+qi\*sqrt((x-a3)^2+(y-b3)^2)], x=-10..10,y=-10..10, thickness=[5],color=[black], numpoints=19000000):*

$$p_i + q_i \sqrt{(x - a1)^2 + (y - b1)^2} = p_i + q_i \sqrt{(x - a3)^2 + (y - b3)^2}$$

Определение «зоны обслуживания» прямыми линиями между ЛГРЦ «С» и «Ю»:

*>Straight\_2\_3:=implicitplot([p+q\*sqrt((x-a2)^2+(y-b2)^2)= pi+qi\*sqrt((x-a3)^2+(y-b3)^2)], x=-10..10,y=-10..10, thickness=[4],color=[black], numpoints=19000000):*

$$p_i + q_i \sqrt{(x - a2)^2 + (y - b2)^2} = p_i + q_i \sqrt{(x - a3)^2 + (y - b3)^2}$$

На рис. 4.2 показаны результаты первой и двух последних итераций, выполненного в Maxima. Эти результаты представляют разбиение городской территории на «зоны обслуживания» трёх ЛГРЦ. Для «Г»–«С», «Г»–«Ю» и «С»–«Ю» разбиения представлены прямыми,  $a$ ,  $b$  и  $v$ .

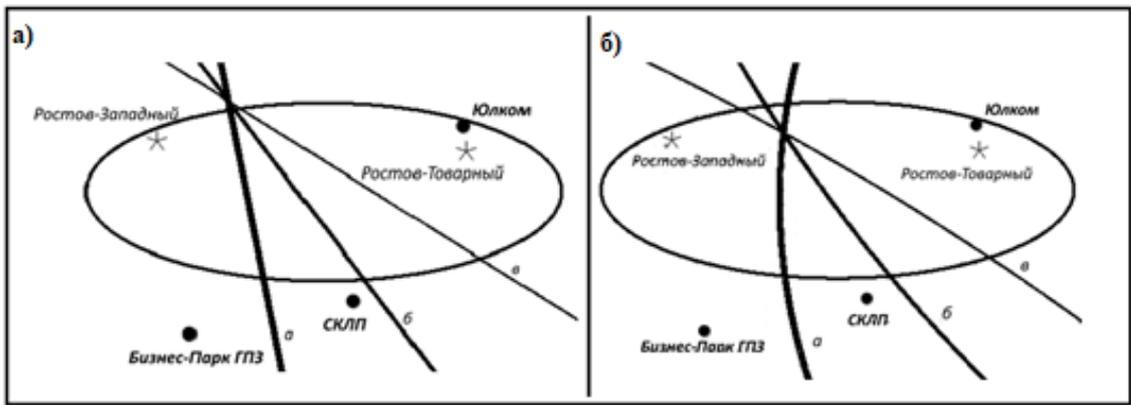


Рисунок 4.2 – Разбиение территории узла на «зоны обслуживания» центров (а, б)

Полученные результаты показывают, что оптимальное местоположение ЛГРЦ «Ю» определяются координатами  $x=5$  км и  $y=1,2$  км. В данном разбиении «зона обслуживания» этого центра представляет собой часть внутренней области эллипса, расположенной правее прямой  $в$ , и имеет площадь  $29,2$  км<sup>2</sup>. Последняя итерация в процессе оптимизации выполняется с условием, что точка пересечения линий  $а$ ,  $б$  и  $в$  максимально приближается к границе эллипса. Стоит отметить, что согласно методу экономико-географического разграничения «зон обслуживания» станций погрузки и транзитивности отношения равенства, три рассматриваемые линии  $а$ ,  $б$  и  $в$  должны пересекаться в одной точке.

Далее представим реализацию *ГММ*, упомянутую в 3-й главе данной работы, которая касается распределения грузопотоков на территории транспортного узла «Р», возникающих в результате функционирования рассматриваемых ЛГРЦ. Для точного анализа транспортных маршрутов и оценки их эффективности в работе ЛГРЦ, важно учитывать коэффициент непрямолинейности  $K_{непр}$  для каждого потребителя.

Также приведем программные преобразования вышеприведенных уравнений линий разграничения с учетом коэффициентов непрямолинейности для 3-х ЛГРЦ (листинг библиотеки *Maple*, П4.1.1, Прил. 4).

Определение «зоны обслуживания» дугами между ЛГРЦ «Г» и «С»:

>Curves\_1\_2:=implicitplot([ $p_i + q_i \cdot \sqrt{(x-a1)^2+(y-b1)^2} = p_i + K\_sk1 \cdot q_i \cdot \sqrt{(x-a2)^2+(y-b2)^2}$ ],  $x=-10..10,y=-10..10$ , thickness=[6],color=[black], numpoints=19000000):

$$p_i + q_i \sqrt{(x - a1)^2 + (y - b1)^2} = p_i + K\_sk1 \cdot q_i \sqrt{(x - a2)^2 + (y - b2)^2}$$

Определение «зоны обслуживания» дугами между ЛГРЦ «Г» и «Ю»:

>Curves\_1\_3:=implicitplot([ $p_i + K\_sk2 \cdot q_i \cdot \sqrt{(x-a1)^2+(y-b1)^2} = p_i + q_i \cdot \sqrt{(x-a3)^2+(y-b3)^2}$ ],  $x=-10..10,y=-10..10$ , thickness=[5],color=[black], numpoints=19000000):

$$p_i + q_i \sqrt{(x - a1)^2 + (y - b1)^2} = p_i + K\_sk2 \cdot q_i \sqrt{(x - a3)^2 + (y - b3)^2}$$

Определение «зоны обслуживания» дугами между ЛГРЦ «С» и «Ю»:

>Curves\_2\_3:=implicitplot([ $p_i + q_i \cdot \sqrt{(x-a2)^2+(y-b2)^2} = p_i + K\_sk3 \cdot q_i \cdot \sqrt{(x-a3)^2+(y-b3)^2}$ ],  $x=-10..10,y=-10..10$ , thickness=[4],color=[black], numpoints=19000000):

$$p_i + q_i \sqrt{(x - a2)^2 + (y - b2)^2} = p_i + K\_sk3 \cdot q_i \sqrt{(x - a3)^2 + (y - b3)^2}$$

Результаты, полученным в рамках ГММ для мультиагентной ситуации «зоны обслуживания» ЛГРЦ «Ю» представляет собой часть внутренности эллипса, лежащую правее дуг окружностей  $b$  и  $v$ , и имеет площадь равную 29,95 км<sup>2</sup>. «Зона обслуживания» ЛГРЦ «С» является частью внутренности эллипса, расположенной правее дуги  $a$  и левее дуги  $v$ , и имеет площадь равную 19,24 км<sup>2</sup>, а «зона обслуживания» ЛГРЦ «Г» – частью внутренности эллипса, лежащей левее дуг окружностей  $a$  и  $b$ , и имеет площадь равную 26,21 км<sup>2</sup>.

Видно, что геометрия, а также площади «зон обслуживания», получаемых при использовании ГММ ТУ, существенно отличаются от тех, что были в рамках ГЕМ ТУ. Таким образом, сравнивая оба подхода между собой т.е. ГЕМ ТУ и ГММ ТУ нахождением «зоны обслуживания» рассматриваемых ЛГРЦ получаем, что логистический терминал «Г» имеет «зона обслуживания» на 16,9 % больше, логистический терминал «С» имеет «зона обслуживания» на 23,5 % больше и логистический терминал «Ю» имеет «зона обслуживания» больше на 2,5 %.

Разработанная *ГММ ТУ* позволяет математически обоснованно и адекватно практическим ситуациям находить «зоны обслуживания» узловых ЛГРЦ, конкурирующих на территориальном мультиагентном рынке грузовых перевозок. Отсюда можно сделать вывод что, при оптимизации распределении грузопотоков в транспортном узле, использование геометрической маршрутизационной модели позволяет определять «зоны обслуживания» с существующей дорожной сетью, что в конечном итоге влияет на зоны обслуживания всех логистических терминалов в транспортном узле.

Рассмотрим результаты программного моделирования зон обслуживания ЛГРЦ на примере основных транспортных узлов: «Р», «К», «А», «М». Частный случай, когда грузы попадают в ЛГРЦ транспортных узлов: «Р», «К», «А», «М» с одной железнодорожной станции, а также ведомости транспортных расходов (тыс руб.) по вариантам обслуживания потребителей при итерациях размещения ЛГРЦ, представлены в приложении П4.2.

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».

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. 4.3–4.4.

Формируются ведомости (таблица 4.1-4.4) 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 является ЛГРЦ «Ю» (таблица 4.1, рисунок 4.3) (общее количество обслуживаемых потребителей – 39, начальное поступление груза со станции «Р-Т»).

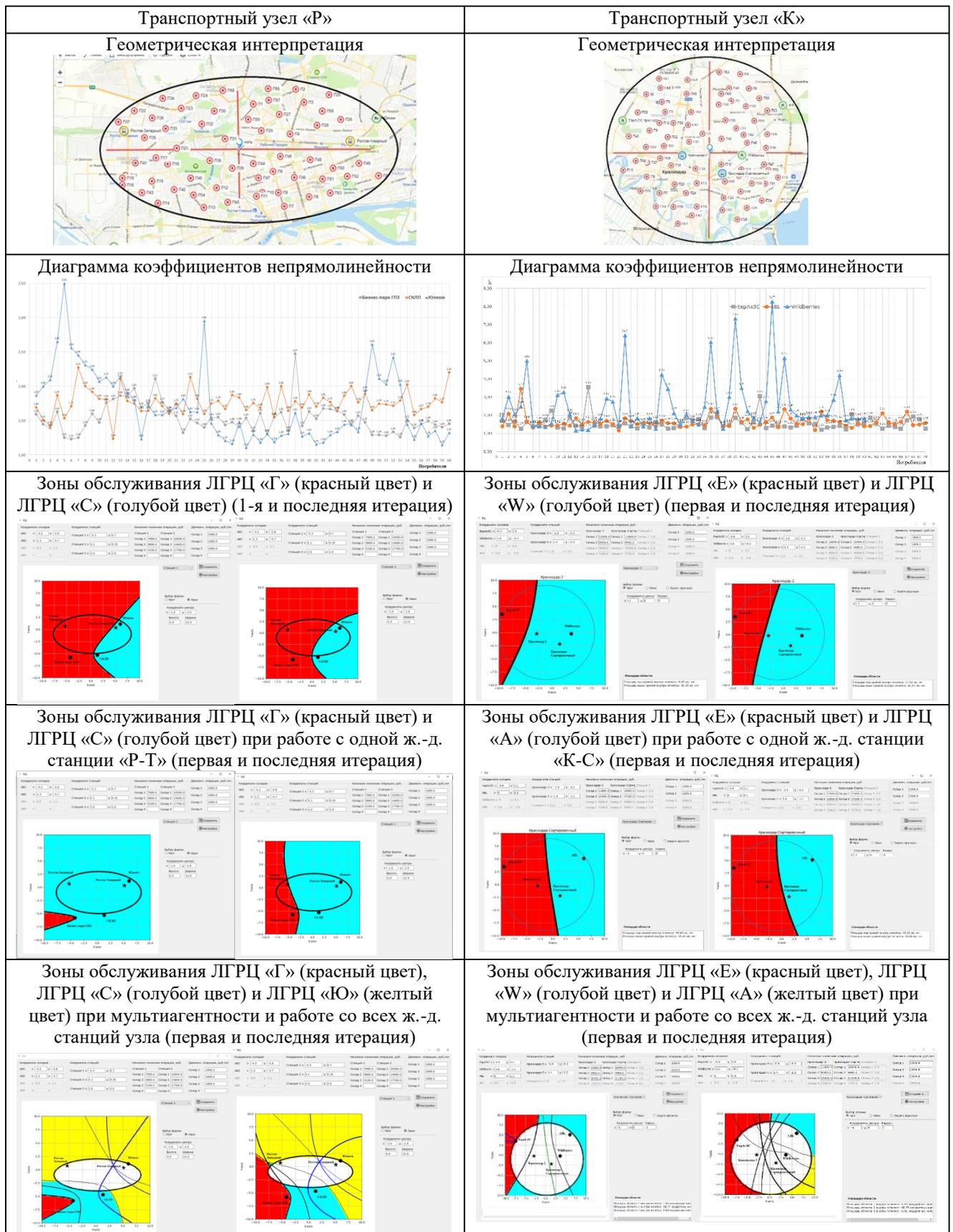
Таблица 4.1 – Стоимости транспортного обслуживания потребителей (тыс руб.) в зависимости от размеров зон обслуживания ЛГРЦ узла «Р» и вариантов поступления грузов

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 4.2 – 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». Результаты, полученные для мультиагентной ситуации определения зон обслуживания ЛГРЦ 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>. Из результатов моделирования сети ЛГРЦ транспортного узла «К» (рисунок 4.3) следует (табл. 4.2): 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 4.3 – Результаты программного моделирования зон обслуживания ЛГРЦ узла «Р», «К»**

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>.

Таблица 4.3 – 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 4.4 – 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» (рисунк 4.4) следует (табл. 4.3): 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>.



**Рисунок 4.4 – Результаты программного моделирования зон обслуживания ЛГРЦ узла «А», «М»**

Из результатов проектирования сети ЛГРЦ транспортного узла «М» (рисунок 4.4) следует (табл. 4.4): 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.

### **4.3 ПРОЕКТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В УЗЛЕ С УЧЕТОМ ЗНАЧИМЫХ ФАКТОРОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ГРУЗОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ**

Из результатов проектирования сети ЛГРЦ транспортного узла «Р» следует (табл. 4.5):

1 – получено перераспределение получателей транспортно-складских услуг по зонам обслуживания узловых ЛГРЦ (ЛГРЦ «Ю» обслуживает 39 потребителей с поступлением груза со станции «Р-Т», площадь зоны обслуживания – 29,95 км<sup>2</sup>; ЛГРЦ «С» обслуживает 6 потребителей при поступлении грузов со станции «Р-Т», площадь «зоны обслуживания» равной 19,24 км<sup>2</sup>; ЛГРЦ «Г» обслуживает 15 потребителей при поступлении грузов со станции «Р-3», площадь зоны равна 26,21 км<sup>2</sup>);

2 – получено сокращение транспортных расходов на 688 тыс руб. при одном полурейсе развоза 300 т груза;

3 – сократилась плата за вредные выбросы грузового автотранспорта на 37,9 тыс руб. за счет оптимизации маршрутов развоза груза;

4 – сократилось общее время работы грузового автотранспорта при одном полурейсе на 0,3 сут;

5 – уровень относительной организации системы транспортно-складского обслуживания ЛГРЦ увеличился в среднем на 2 %;

б – однако, транспортная привлекательность по коэффициенту Энгеля  $D = \frac{L}{\sqrt{SH}}$ , 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 (транспортных путей ЛГРЦ) и увеличения численности населения зоны (потребителей), но в перспективе это должно обеспечить увеличение прибыльности складского бизнеса.

Из результатов проектирования сети ЛГРЦ транспортного узла «К» следует (табл. 4.5):

1 – получено перераспределение получателей 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>; 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>. ЛГРЦ «W» оказался самым экономичным вариантом для 54 из 70 потребителей;

2 – получено сокращение транспортных расходов на 754 тыс руб. при одном полурейсе развоза 350 т груза;

3 – увеличились платы за вредные выбросы грузового автотранспорта на 100 тыс руб. за счет концентрации маршрутов на один терминал;

4 – сократилось общее время работы грузового автотранспорта при одном полурейсе на 0,16 сут;

5 – уровень относительной организации системы транспортно-складского обслуживания ЛГРЦ увеличился в среднем на 2-4 %;

б – 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

«К» - 3802,17 чел./км<sup>2</sup>, всего для зон обслуживания – 967000 чел), снизилась на 30 % из-за сокращения дальности маршрутов развоза грузов (транспортных путей ЛГРЦ) и увеличения населенности зоны (потребителей).

Из результатов проектирования сети ЛГРЦ транспортного узла «А» следует (табл. 4.5):

1 – ЛГРЦ «СК» (Ст. «К») является наиболее выгодным вариантом для большинства потребителей, 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>. ЛГРЦ «СК» оказался самым экономичным вариантом для 44 из 50 потребителей.

2 – получено сокращение транспортных расходов на 98,1 тыс руб. при одном полурейсе развоза 250 т груза;

3 – увеличились платы за вредные выбросы грузового автотранспорта на 30 тыс руб. за счет концентрации маршрутов на один терминал;

4 – сократилось общее время работы грузового автотранспорта при одном полурейсе на 0,3 сут;

5 – уровень относительной организации системы транспортно-складского обслуживания ЛГРЦ увеличился в среднем на 2-4 %;

6 – 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 % из-за сокращения дальности маршрутов развоза грузов (транспортных путей ЛГРЦ) и увеличения населенности зоны (потребителей).

Из результатов проектирования сети ЛГРЦ транспортного узла «М» следует (табл. 4.5):

1 – ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км») является наиболее выгодным вариантом для большинства потребителей. Распределение терминалов для оптимальных затрат выглядит следующим образом: 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;

2 – получено сокращение транспортных расходов на 73,9 тыс руб. при одном полурейсе развоза 200 т груза;

3 – увеличились платы за вредные выбросы грузового автотранспорта на 25 тыс руб. за счет концентрации маршрутов на один терминал;

4 – сократилось общее время работы грузового автотранспорта при одном полурейсе на 0,15 сут;

5 – уровень относительной организации системы транспортно-складского обслуживания ЛГРЦ увеличился по основному терминалу «СБ» с 0,768 до 0,945;

6 – 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 % из-за сокращения дальности маршрутов развоза грузов (транспортных путей ЛГРЦ) и увеличения населенности зоны (потребителей).

Таблица 4.5 – Ведомость показателей результатов проектирования сети ЛГРЦ транспортных узлов

ТУ	ЛГРЦ	Количество потребителей		Площадь «зоны обслуживания», 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

#### 4.4 ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ УЗЛОВЫХ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ГРУЗОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ

Интегральный показатель эффективности организации территориально-планировочных решений узловых логистических грузовых распределительных центров сформирован на основе метода экспертных оценок, так как анализируются разноразмерные параметры и слабоформализуемые проблемы транспортно-складского обслуживания.

##### *Транспортный узел «Р».*

ЛГРЦ «Ю». Согласно [114] количественная оценка мнений экспертов и обработка их результатов оценки качества проектирования узловой сети ЛГРЦ произведена по следующим показателям: количество потребителей, площадь «зоны обслуживания», км<sup>2</sup>, транспортные расходы, тыс руб., плата за выбросы от автотранспортных средств, тыс руб., временная эффективность доставки, сут, уровень относительной организации системы, рыночная привлекательность по коэффициенту Энгеля, транспортная доступность.

В таблице 4.10 определены доли обеспечения качества транспортно-складского обслуживания каждым участником:

$$\text{Если } \sum K = 8 = 100 \%, \text{ то } p_{\text{уч}} = \frac{\sum K_{\text{отв}}}{\sum K} \cdot 100 \%,$$

где  $\sum K$  – общее число показателей качества;  $\sum K_{\text{отв}}$  – число показателей качества, за выполнение которых несет ответственность определенный участник.

Доли ответственности в обеспечении качества организации работы узловой сети ЛГРЦ, исходя из таблицы 4.6 и с учетом предлагаемой системы показателей для оценки, распределяются следующим образом: региональный грузоперевозчик – 75,0 %; владелец складской инфраструктуры – 87,5 %; владелец подвижного состава – 62,5 %, клиент – 75,0 %.

Таблица 4.6 – Влияние участников транспортно-складского процесса

№ п/п	Наименование показателя	Региональный грузоперевозчик	Владелец складской инфраструктуры	Владелец подвижного состава	Клиент
1	Количество потребителей складских услуг	+	+	+	+
2	Площадь «зоны обслуживания», км <sup>2</sup>	-	+	+	+
3	Транспортные расходы, тыс руб.	+	+	+	+
4	Плата за выбросы от автотранспортных средств, тыс руб.	+	+	+	-
5	Временная эффективность доставки, сут	+	+	-	+
6	Уровень относительной организации системы	+	+	-	-
7	Транспортная привлекательность	-	+	-	+
8	Транспортная доступность	+	+	+	+

Применение метода экспертных оценок предполагает участие в экспертной группе определенного минимального количества экспертов, которое рассчитывается по формуле [114]:

$$m_{\min} = 2,5 + \frac{1,5}{\varepsilon}, \quad (4.1)$$

где  $\varepsilon$  – допустимая ошибка результатов экспертизы (принята равная 8 %).

$$m_{\min} = 2,5 + \frac{1,5}{0,08} = 21,25 \approx 21 \text{ эксперт.}$$

Для количественной оценки согласованности мнений экспертов использована величина коэффициента конкордации по Кендаллу [48, 131]:

$$W = \frac{12S}{m^2(k^3 - k)}, \quad (4.2)$$

где  $S$  – суммы квадратов отклонений;  $k$  – число факторов;  $m$  – число экспертов.

Суммы квадратов отклонений определены по формуле:

$$S = \sum_{i=1}^k (\sum_{j=1}^m r_{ij} - \bar{r})^2, \quad (4.3)$$

где  $r_{ij}$  – ранг, присвоенный  $j$ -м экспертом  $i$ -му фактору;  
 $\bar{r}$  – средняя величина суммы рангов,  $756 / 8 = 96$ .

В таблице 4.7 представлены результаты анкетирования членов экспертной группы, каждый из которых является представителем компаний – владельцев складской инфраструктуры, владельцев подвижного состава, ритейлеров.

Таблица 4.7 – Ранжирование факторов предпочтения вариантов организации транспортно-складской работы

Фактор		Количество потребителей складских услуг	Площадь «зоны обслуживания», км <sup>2</sup>	Транспортные расходы, тыс руб.	Плата за выбросы от автотранспортных средств, тыс руб.	Временная эффективность до-ставки, сут	Уровень относительной организации системы	Транспортная привлекательность	Транспортная доступность	Сумма значений рангов
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Эксперты	1	1	4	2	3	5	7	8	6	36
	2	2	3	1	4	6	8	7	5	36
	3	2	4	1	3	5	7	8	6	36
	4	3	5	1	6	2	7	8	4	36
	5	3	4	2	5	1	6	7	8	36
	6	4	3	2	5	1	8	7	6	36
	7	5	2	1	6	3	4	7	8	36
	8	6	3	2	7	4	5	8	1	36
	9	5	4	1	6	1	7	8	2	36
	10	5	4	1	6	2	7	8	3	36
	11	5	6	1	4	3	7	8	2	36
	12	4	3	2	6	5	7	8	1	36
	13	4	3	1	5	6	8	7	2	36
	14	1	3	2	4	5	8	7	6	36
	15	1	4	3	5	6	7	8	2	36
	16	3	1	2	5	4	7	8	6	36
	17	4	3	2	6	1	8	7	5	36
	18	3	2	1	5	4	8	6	7	36
	19	5	1	2	4	6	7	8	3	36
	20	4	3	2	5	6	8	7	1	36
	21	5	1	2	6	4	8	7	3	36
Сумма рангов		75	69	34	106	80	149	157	88	756
Отклонения		-21	-27	-62	10	-16	53	61	-8	-
Квадраты отклонений		441	729	384	100	256	2809	3721	64	11964

Коэффициент конкордации по Кендаллу равен:

$$W = \frac{12 \cdot 11964}{21^2(8^3 - 8)} = 0,646.$$

Полученное значение коэффициента конкордации больше 0,5 [65, 74, 114], что указывает на высокую степень согласованности мнений экспертов. Значимость коэффициента конкордации определим с помощью критерия согласования Пирсона:

$$\chi^2 = m(k - 1)W. \quad (4.4)$$

Таким образом,  $\chi^2 = 21 \cdot (8 - 1) \cdot 0,646 = 94,96$ .

Сравним полученное значение критерия согласования Пирсона с табличным  $\chi^2_{\text{табл}} = 30,5$ , для степеней свободы  $n = k - 1 = 8 - 1 = 7$  и при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ . Так как полученное значение  $\chi^2 = 94,96$  превышает табличное  $\chi^2_{\text{табл}} = 30,5$ , то согласно [114] мнения экспертов признаются окончательно согласованными и полученное значение коэффициента конкордации является статистически значимым.

Для оценки эффективности реализации различных планов распределения был использован интегральный критерий эффективности. Группой экспертов была выполнена оценка каждого из натуральных показателей. Коэффициент влияния для каждого  $i$ -го показателя  $k_B^i$ , установлен экспертным путем.

Интегральный критерий эффективности определяется по формуле:

$$E_j = \sum_{i=1}^k M_{nij}, \%, \quad (4.5)$$

где  $M_{nij}$  – доля влияния  $i$ -го показателя на эффективность  $j$ -го плана распределения на интегральный критерий эффективности, которая определяется по формуле:

$$M_{nij} = k_B^i P_{kij}, \%, \quad (4.6)$$

где  $P_{kij}$  – степень соответствия фактического  $i$ -го показателя оптимальной величине.

Степень несоответствия  $i$ -го показателя оптимальному значению:

$$P_{nij} = \frac{\Delta F_{ij}}{F_{\text{опт}}}, \text{ доля ед.}, \quad (4.7)$$

где  $F_{\text{опт}}$  – оптимальная величина для каждого  $i$ -го показателя,  $\Delta F_{ij}$  – величина отклонения фактических значений каждого  $i$ -го показателя  $j$ -го плана распределения от наилучших его из числа имеющегося набора значений:

$$\Delta F_{ij} = F_{\text{опт}} - F_{\text{ф}ij}, \text{ балл или тыс. руб.}, \quad (4.8)$$

где  $F_{\text{ф}ij}$  – фактическое значение для каждого  $i$ -го показателя.

Тогда степень соответствия фактического  $i$ -го показателя оптимальной величине:

$$P_{kij} = 1 - \frac{\Delta F_{ij}}{F_{\text{опт}}}, \text{ доля ед.} \quad (4.9)$$

В таблице 4.8, 4.9 приведены результаты интегральной оценки конфигурации транспортно-складской системы зоны обслуживания ЛГРЦ «Ю».

В таблице 4.10, 4.11 приведены результаты интегральной оценки конфигурации транспортно-складской системы зоны обслуживания ЛГРЦ «Г».

В таблице 4.12, 4.13 приведены результаты интегральной оценки конфигурации транспортно-складской системы зоны обслуживания ЛГРЦ «С».

Таким образом, реализация вариантов организации транспортно-складской работы ЛГРЦ в узле согласно модифицированному методу экономико-географического размещения обеспечивает наиболее эффективное использование складской инфраструктуры за счет сокращения транспортных расходов, максимального охвата клиентуры, учета рыночных принципов мультиагентности транспортного обслуживания и вариантов управления складскими грузопотоками в узле. Это позволяет улучшить качество транспортной работы, сокращать финансовые расходы на завоз-вывоз грузов ЛГРЦ.

Таблица 4.8 – Результаты оценки конфигурации транспортно-складской системы зоны обслуживания ЛГРЦ «Ю»

№ п/п	Наименование показателя	ЛГРЦ ТУ <sub>сущ.</sub>	ЛГРЦ ТУ <sub>проект</sub>	Коэффициент влияния, $k_B^i$ , %
1	Количество потребителей складских услуг	30	39	15
2	Площадь «зоны обслуживания», км <sup>2</sup>	18,1	29,95	20
3	Транспортные расходы, тыс руб.	1416,9	893,8	25
4	Плата за выбросы от автотранспортных средств, тыс руб.	116,5	122,6	12
5	Временная эффективность доставки, сут	0,55	0,46	8
6	Уровень относительной организации системы	0,796	0,823	5
7	Транспортная привлекательность	0,38	0,2	5
8	Транспортная доступность, балл	80	87	10
Итого				100

Таблица 4.9 – Интегральная оценка конфигурации транспортно-складской системы зоны обслуживания ЛГРЦ «Ю» в результате применения модифицированного метода экономико-географического размещения и программных алгоритмов

Наименование показателя	Параметры расчета интегрального критерия эффективности транспортно-складской сети узла					
	$F_{фij}$ , балл или ед. изм.	$F_{опт}$ , балл или ед.изм.	$\Delta F_{ij}$ , балл или ед.изм.	$P_{hij}$ , доля ед.	$P_{kij}$ , доля ед.	$M_{nij}$ , %
Количество потребителей складских услуг	30	39	9	0,23	0,77	11,55
Площадь «зоны обслуживания», км <sup>2</sup>	18,1	29,95	11,85	0,395	0,61	12,2
Транспортные расходы, тыс руб.	1416,9	893,8	523,1	0,585	0,415	10,4
Плата за выбросы от автотранспортных средств, тыс руб.	116,5	122,6	-6,1	-0,05	-0,95	-11,4
Временная эффективность доставки, сут	0,55	0,46	0,09	0,196	0,804	6,4
Уровень относительной организации системы	0,796	0,823	0,027	0,033	0,967	4,8
Транспортная привлекательность	0,38	0,2	-0,18	-0,46	-0,54	-2,7
Транспортная доступность	80	87	7	0,08	0,92	9,2
Интегральный показатель эффективности зоны обслуживания ЛГРЦ «Ю», $E_j$						40,45

Таблица 4.10 – Результаты оценки конфигурации транспортно-складской системы зоны обслуживания ЛГРЦ «Г»

№ п/п	Наименование показателя	ЛГРЦ ТУ <sub>сущ.</sub>	ЛГРЦ ТУ <sub>проект</sub>	Коэффициент влияния, $k_B^i$ , %
1	Количество потребителей складских услуг	25	15	15
2	Площадь «зоны обслуживания», км <sup>2</sup>	39,0	26,21	20
3	Транспортные расходы, тыс руб.	367,8	255,1	25
4	Плата за выбросы от автотранспортных средств, тыс руб.	59,39	17,12	12
5	Временная эффективность доставки, сут	0,35	0,19	8
6	Уровень относительной организации системы	0,789	0,792	5
7	Транспортная привлекательность	1,07	0,1	5
8	Транспортная доступность, балл	80	90	10
Итого				100

Таблица 4.11 – Интегральная оценка конфигурации транспортно-складской системы зоны обслуживания ЛГРЦ «Г» в результате применения модифицированного метода экономико-географического размещения и программных алгоритмов

Наименование показателя	Параметры расчета интегрального критерия эффективности транспортно-складской сети узла					
	$F_{\phi ij}$ , балл или ед. изм.	$F_{opt}$ , балл или ед.изм.	$\Delta F_{ij}$ , балл или ед.изм.	$P_{hij}$ , доля ед.	$P_{kij}$ , доля ед.	$M_{nij}$ , %
Количество потребителей складских услуг	25	15	-10	-0,67	-0,33	-4,95
Площадь «зоны обслуживания», км <sup>2</sup>	39,0	26,21	-12,79	-0,49	-0,51	-10,2
Транспортные расходы, тыс руб.	367,8	255,1	112,7	0,44	0,56	14,0
Плата за выбросы от автотранспортных средств, тыс руб.	59,39	17,12	42,27	0,71	0,29	3,48
Временная эффективность доставки, сут	0,35	0,19	0,16	0,84	0,16	1,28
Уровень относительной организации системы	0,789	0,792	0,003	0,003	0,997	4,98
Транспортная привлекательность	1,07	0,1	-0,97	-0,91	-0,09	-0,45
Транспортная доступность	80	90	10	0,11	0,89	8,9
Интегральный показатель эффективности зоны обслуживания ЛГРЦ «Г» , $E_j$						17,04

Таблица 4.12 – Результаты оценки конфигурации транспортно-складской системы зоны обслуживания ЛГРЦ «С»

№ п/п	Наименование показателя	ЛГРЦ ТУ <sub>сущ.</sub>	ЛГРЦ ТУ <sub>проект</sub>	Коэффициент влияния, $k_B^i$ , %
1	Количество потребителей складских услуг	5	6	15
2	Площадь «зоны обслуживания», км <sup>2</sup>	18,3	19,24	20
3	Транспортные расходы, тыс руб.	141,8	90,0	25
4	Плата за выбросы от автотранспортных средств, тыс руб.	3,56	1,92	12
5	Временная эффективность доставки, сут	0,14	0,08	8
6	Уровень относительной организации системы	0,827	0,819	5
7	Транспортная привлекательность	0,07	0,03	5
8	Транспортная доступность, балл	80	85	10
Итого				100

Таблица 4.13 – Интегральная оценка конфигурации транспортно-складской системы зоны обслуживания ЛГРЦ «С» в результате применения модифицированного метода экономико-географического размещения и программных алгоритмов

Наименование показателя	Параметры расчета интегрального критерия эффективности транспортно-складской сети узла					
	$F_{\phi ij}$ , балл или ед. изм.	$F_{\text{опт}}$ , балл или ед.изм.	$\Delta F_{ij}$ , балл или ед.изм.	$P_{hij}$ , доля ед.	$P_{kij}$ , доля ед.	$M_{nij}$ , %
Количество потребителей складских услуг	5	6	1	0,17	0,83	12,45
Площадь «зоны обслуживания», км <sup>2</sup>	18,3	19,24	0,94	0,05	0,95	19,0
Транспортные расходы, тыс руб.	141,8	90,0	51,8	0,37	0,63	15,75
Плата за выбросы от автотранспортных средств, тыс руб.	3,56	1,92	1,64	0,46	0,54	6,48
Временная эффективность доставки, сут	0,14	0,08	0,06	0,43	0,57	4,56
Уровень относительной организации системы	0,827	0,819	-0,008	-0,01	-0,967	-4,84
Транспортная привлекательность	0,07	0,03	-0,04	-0,57	-0,43	-2,15
Транспортная доступность	80	85	5	0,06	0,94	9,4
Интегральный показатель эффективности зоны обслуживания ЛГРЦ «С» , $E_j$	60,65					

## 4.5 ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

В четвертой главе представлена апробация авторской методики выбора рациональных экономико-географических параметров сети логистических грузовых распределительных центров транспортных узлов.

Для выполнения многовариантных расчетов разработан алгоритм и программный комплекс модифицированного экономико-географического метода размещения ЛГРЦ в транспортных узлах в среде *Maxima*. Для качественной обработки больших объемов данных, проведения статистического анализа и визуализации результатов компоновочных решений, в программном комплексе использованы библиотеки языка программирования *Python*.

Рассмотрены результаты работы программного комплекса на примере основных транспортных узлов юга России: «Р», «К», «А», «М».

Разработаны узловые модельные схемы «зон обслуживания» потребителей по вариантам мультиагентности. Программным способом определены параметры «зон обслуживания» ЛГРЦ, которые очерчиваются линиями 2–4 порядка. Также приведены программные преобразования уравнений линий разграничения с учетом коэффициентов непрямолинейности маршрутов обслуживания потребителей услуг ЛГРЦ.

Сформированы ведомости транспортных расходов по вариантам мультиагентного обслуживания потребителей при итерациях размещения ЛГРЦ.

В результате проектирования сети ЛГРЦ основных транспортных узлов получено перераспределение количества получателей транспортно-складских услуг, определены параметры площадей зон обслуживания по вариантам, 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 кон-

центрации 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.

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 %).

Таким образом, разработанный авторский программный комплекс по определению мест размещения узловых ЛГРЦ по вариантам мультиантенности транспортного обслуживания на основе модифицированного экономико-географического метода позволяет математически обоснованно и адекватно реальным условиям находить «зоны влияния» узловых ЛГРЦ, конкурирующих на рынке транспортно-складских услуг. Использование геометрической маршрутизационной модели позволяет учитывать конфигурацию существующей дорожной сети, а программная многовариантность расчетов позволяет повышать точность определения зон обслуживания ЛГРЦ в транспортном узле и сокращать транспортные расходы. Представленный подход может быть также использован как метод экспресс-анализа для предварительной оценки вариантов размещения узловых ЛГРЦ и потребителей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований получена научно-обоснованная методика формирования узловой сети грузовых распределительных терминалов на принципах экономико-географического размещения в условиях мультиагентности транспортно-складского обслуживания:

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 (например, 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 терминалов требует развития на основе учета современных мультиагентных экономико-географических принципов.

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 логистических грузовых распределительных центров транспортных узлов 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 экологических

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 %).

В качестве рекомендаций по результатам выполненного исследования следует указать:

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 прямолинейных для повышения точности результатов.

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 основных ЛГРЦ и их показателей 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.

Перспективы дальнейшей разработки темы диссертационной работы связаны с развитием методологии оценки складской инфраструктуры с учетом принципов цифровизации логистических решений в грузораспределении. В связи с этим повышается научный интерес к применению модифицированных положений экономико-математических методов, теории пространственно-географического планирования, игровых рыночных стратегий и мультиагентных технологий транспортного обслуживания.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Федеральная служба государственной статистики (Росстат). – URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport/publications> (дата обращения: 23.11.2023).

2 Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года : [утверждена Распоряжением Правительства РФ от 17 июня 2008 г. № 877-р]. – Текст : электронный // Министерство транспорта Российской Федерации : официальный сайт – URL: <https://www.mintrans.ru/documents/1/1010> (дата обращения: 12.01.2023).

3 Рынок складской недвижимости России [текст]. – <https://cre.ru/content/upload/marker/report/16626966463415.pdf> (дата обращения: 12.01.2023).

4 Попов, П. В. Построение модели формирования региональной складской сети / П. В. Попов, В. Е. Хартовский // Вестник МГСУ. 2016. №8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/postroenie-modeli-formirovaniya-regionalnoy-skladskoy-seti> (дата обращения: 13.08.2023).

5 Гаджинский, А. М. Современный склад. Организация, технологии, управление и логистика: Учебно-практическое пособие / А. М. Гаджинский. – Москва: ТК, 2007. – 176 с. – ISBN 978-5-482-01313-7, 5-482-01313-8.

6 Халын, В.Г. Анализ рынка логистической складской недвижимости Юга России / В. Г. Халын // Проблемы экономики и менеджмента. – 2012. №10(14). – С. 103 – 111.

7 Ельдештейн, Ю. М. Логистика / Ю.М. Ельдештейн // Электронный учебно-методический комплекс. – Красноярск, 2006. – 508 с. URL: [http://www.kgau.ru/distance/fub\\_03/eldeshtein/logistika/index.html](http://www.kgau.ru/distance/fub_03/eldeshtein/logistika/index.html) (дата обращения: 23.11.2022).

8 Гундорова, Е.П. Технические средства железных дорог / Е.П. Гундорова // Учебник для техникумов и колледжей ж.-д. транспорта. – М.: Маршрут, 2003. – 496 с. – ISBN 5-89035-078-1.

9 Социально-экономическое положение Северо-Кавказского федерального округа // Федеральная служба государственной статистики (Росстат). – URL: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/sev-kavkaz\\_fo3.pdf](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/sev-kavkaz_fo3.pdf) (дата обращения 17.05.2023).

10 Меринов, Ю.Н. Делимитация Ростовской агломерации / Ю. Н. Меринов, Ю.Ю. Меринова // Интернет-журнал «Науковедение». – 2014. – №6 (25). – С. 13. – DOI 10.15862/84EVN614.

11 Стратегия развития транспортного комплекса Ростовской области до 2030 года. – Текст: электронный // Официальный портал правительства Ростовской области: официальный сайт. – URL: <https://www.donland.ru/documents/13544> (дата обращения 27.06.2023).

12 Стратегия социально-экономического развития Ростовской области на период до 2030 года. – Текст: электронный // Официальный портал правительства Ростовской области: официальный сайт. – URL: <https://www.donland.ru/activity/2158> (дата обращения 27.06.2023).

13 Лаппо, Г.М. Агломерации России в XXI веке. Городские агломерации России / Г.М. Полян, П.М. Селиванова, Т.И. // Электронная версия бюллетеня Население и общество. Институт демографии Государственного университета – Высшей школы экономики. – 25 января — 7 февраля 2010. – № 407-408. – [сайт]. – URL: <http://www.demoscope.ru/weekly/2010/0407/> (дата обращения 25.03.2023).

14 Лаппо, Г.М. Агломерации России в XXI веке / Г.М. Лаппо, П.М. Полян, Т.Г. Селиванова // Вестник Фонда регионального развития Иркутской области. – 2007. – № 1. – С. 45-52.

15 Логистический центр: проектирование и создание // Электронный журнал «Генеральный директор» [сайт]. – URL: <https://www.gd.ru/articles/9647-logisticheskiy-tsentr> (дата обращения: 21.09.2022).

16 Дроздова, Е. И. «Грузовая деревня» — современная модель организации инфраструктуры транспортно-логистических центров / Е. И. Дроздова, Н.

А. Клычёва. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2022. — № 35 (430). — С. 82-83. — URL: <https://moluch.ru/archive/430/94716/> (дата обращения: 15.08.2023).

17 Курова, А. Ю. Организационно-методическое обеспечение процессов формирования и функционирования логистических центров: диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Курова Александра Юрьевна; ФГБОУ ВПО ГУП. – Москва, 2015. – 139 с.

18 Вакуленко, С.П. Компонировка железнодорожного хозяйства перспективных грузовых деревень / С. П. Вакуленко, П. В. Куренков, Д. Ю. Роменский, К. А. Калинин, М. В. Роменская // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2022. – Т. 19. – Вып. 4. – С. 763-774. DOI 10.20295/1815-588X-2022-4-763-774.

19 Инвестиционный портал Калужской области: «грузовые деревни» [сайт]. – URL: <https://investkaluga.com/o-kaluzhskoy-oblasti/logistika/freight-village-ru/> (дата обращения: 16.08.2023).

20 Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года: [утверждена распоряжением Правительства РФ от 27.11. 2021 №3363-р]. – Текст: электронный // Министерство транспорта Российской Федерации: официальный сайт – URL: <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZlOOpQhLl0nUT91RjCbeR.pdf> (дата обращения: 22.07.2022).

21 Дегтяренко, В.Н. Транспортные узлы промышленных районов: Учебник для вузов. [текст] / В.Н. Дегтяренко – М.: Стройиздат, 1974. – 303 с.

22 Громов, Н.Н. Управление на транспорте / Н.Н. Громов, В.А. Персианов // М: Транспорт, 1990 - 336с.

23 Персианов, В.А. Моделирование транспортных систем / В.А. Персианов, К.Ю. Скалов, Н.С. Усков // М.: Транспорт, 1972. - 208 с.

24 Белоусов, И.И. Проблема взаимодействия различных видов транспорта / И.И Белоусов, А.В. Комаров. // Изд. АН СССР. М., 1961. – 347 с.

25 Скалов, К.Ю. Методика технико-экономических расчётов при развитии транспортных узлов / К.Ю. Скалов, Э.Е. Островской, Г.С. Молярчук //Изд. «Транспорт», 1972. – 568 с.

26 Типовая методика выбора транзитной или складской формы поставок продукции производственно-технического назначения промышленным предприятиям / Научно-исследовательский институт экономики и организации материально-технического снабжения // (НИИМС). М., 1967. – 112 с.

27 Методика оптимального размещения баз материально технического снабжения Госснаба СССР / Научно-исследовательский институт экономики и организации материально-технического снабжения // (НИИМС). М., 1971 . – 112 с.

28 Образцов, В.Н. Избранные труды. Том 1 / В.Н. Образцов // М.: Издательство академии наук СССР, 1955. – 448 с.

29 Звонков, В.В. Великие стройки коммунизма и транспорт / В.В. Звонков – М.: Изд-во АН СССР, 1952. – 94 с.

30 Гусев, С. Проблемы определения местоположения склада / С. Гусев // Логистика. – 2011. – № 2(55). –53-55 с.

31 Болотный, Р.А. Разработка метода оценки геодинамического риска с целью повышения экологической безопасности освоения подземного пространства мегаполиса: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Болотный Руслан Александрович. – Москва: ГОУ ВПО МГГУ, 2009. – 149 с.

32 Определение экономической эффективности задержки вагонов для увеличения перевалки грузов по прямому варианту в морских и речных портах (обменного парка) – Методические указания / ИКТП Госплана СССР Москва - 1964 г. – 44 с.

33 Числов, О.Н. Комплексные методы рационального размещения элементов транспортно-технологических систем в железнодорожных узлах: монография [текст] // О.Н. Числов; Рост. гос. ун-т путей сообщения. – Ростов н/Д, 2009. – 294 с.

34 Миротин, Л.Б. Логистика, технология, проектирование складов, транспортных узлов и терминалов / Л. Б. Миротин, А. В. Бульба, В. А. Демин. – Ростов н/Д : Феникс, 2009. – 408 с.

35 Миротин, Л.Б. Некрасов А.Г. интегрированный логистический подход к транспортным процессам / Л.Б. Миротин, А.Г. Некрасов // Железнодорожный транспорт. №4, 2004. – 36 – 40 с.

36 Богачев, В. А. Системы аналитических вычислений при изучении рынков сбыта в условиях олигополии / В. А. Богачев, Т. В. Богачев // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2014. – № 2. – С. 112–116. – ISSN 0201-727X.

37 Козлов, П. А. Организационные подходы и модели оптимизации работы транспорта в современных условиях / П. А. Козлов, О. В. Осокин, Н. А. Тушин // Мир транспорта. – 2011. – № 5. – С. 18–23. – ISSN 1992-3252.

38 Мадера, А.Г. Где разместить распределительный склад? / А.Г. Мадера // Логистика. 2004, №3. – 33 с.

39 Наумик, В. Т. Транзитом или базой? / В. Т. Наумик. — Москва: Экономика, 2006

40 Числов, О.Н. Методы формирования и принципы интеллектуализации в управлении терминальноскладской 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.

41 TufanDemirel, Nihan ÇetinDemirel, Cengiz Kahraman, Multi-criteria warehouse location selection using Choquet integral, Expert Systems with Applications. – Volume 37, Issue 5, May 2010, Pages 3943-3952.

42 Харитонов, Д. М. Определение оптимального места расположения распределительных центров / Д. М. Харитонов // Наука в современном мире: приоритеты развития. – 2019. – № 1(5). – 124-129 с.

43 Кусраева, Р. Ю. Выбор местоположения склада с помощью метода анализа иерархий / Р. Ю. Кусраева // Евразийское Научное Объединение. –

2017. – Т. 2. – № 6(28). – 122-128 с.

44 Жуляева, М. С. Методы определения местоположения склада / М. С. Жуляева, Д. И. Васильев // Актуальные проблемы современной экономической науки : материалы V международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 2 частях, Омск, 15–17 мая 2017 года. Том Часть 1. – Омск: Омский государственный университет путей сообщения, 2017. – 297-303 с.

45 Вдовин, В. Н. Задача размещения терминалов по переработке мелких партий груза / В. Н. Вдовин // Вестник Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева. – 2020. – № 2. – 103-107 с. – DOI 10.51885/15614212\_2020\_2\_103.

46 Ходош, М.С. Организация экономика и управление перевозками грузов автомобильным транспортом / М.С. Ходош, Б.А. Дасковский Б.А. // М: Транспорт 1989. – 289 с.

47 Миротин, Л.Б. Интегрированная логистика накопительно-распределительных комплексов: Учебн. для транспортных ВУЗов / Л.Б. Миротин – М.: Изд. «Экзамен», 2003.

48 Типовая методика выбора транзитной или складской формы поставок продукции производственно-технического назначения промышленным предприятиям. / Научно-исследовательский институт экономики и организации материально-технического снабжения (НИИМС). М., 1967. – 112 с.

49 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.

50 Method of economic-geographical delimitation of competitive territories which served by the logistics cargo distribution centers of a transport hub, Oleg Chislov, Victor Bogachev, Vla-dimir Trapenov, Vyacheslav Zadorozhniy, Alexandra Kravets, Taras Bogachev, E3S Web Conf. 371 05065 (2023) – DOI:

51 Воскресенская, Т. П. Методика и алгоритмизация принятия решений по формированию терминальной сети в регионе / Т. П. Воскресенская, О. Д. Покровская // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2010. – № 3(7). – 74-84 с.

52 Покровская, О. Д. Формализация задачи комплексного расчета параметров терминальной сети региона / О. Д. Покровская, И. В. Воскресенский // Транспорт Урала. – 2011. – № 1(28). – 6-9 с.

53 Покровская, О. Д. Алгоритмизация комплексного расчета параметров терминальной сети региона / О. Д. Покровская, И. В. Воскресенский // Транспорт Урала. – 2011. – № 1(28). – 10-13. – с.

54 Покровская, О. Д. Формирование терминальной сети региона для организации перевозок грузов : специальность 05.22.01 "Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Покровская Оксана Дмитриевна. – Новокузнецк, 2011. – 235 с.

55 Елисеев, С.Ю. Построение и оптимизация функционирования международных транспортно-логистических систем. / С.Ю. Елисеев // М.: РАН ВИНТИ, 2006. – 241с.

56 Коровяковский, Е.К. Содержательное описание логистического центра и его роли в системе международных транспортных коридоров / Е.К. Коровяковский, О.Д. Покровская // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2014. №3 (40) – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhatelnoe-opisanie-logisticheskogo-tsentra-i-ego-rol-i-v-sisteme-mezhdunarodnyh-transportnyh-koridorov> (дата обращения: 17.08.2022).

57 Прокофьева, Т.А. Развитие логистической инфраструктуры как стратегическое направление интеграции России в систему международных транспортных коридоров // В центре экономики. 2021. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-logisticheskoy-infrastruktury-kak>

strategicheskoe-napravlenie-integratsii-rossii-v-sistemu-mezhdunarodnyh-transportnyh (дата обращения: 17.08.2022).

58 Панасенко, Н. Н. Контейнеризация международной транспортной системы / Н. Н. Панасенко, П. В. Яковлев // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология. 2016. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/konteynerizatsiya-mezhdunarodnoy-transportnoy-sistemy> (дата обращения: 20.08.2022).

59 Реутов, Е. В. Развитие транспортно-логистических центров в условиях деятельности международных транспортных коридоров / Е. В. Реутов, Д. С. Королева // Инновационный потенциал развития науки в современном мире: достижения и инновации: Сборник научных статей по материалам III Международной научно-практической конференции, Уфа, 09 июня 2020 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2020. – 137-146 с.

60 Правдин, Н.В. Взаимодействие видов транспорта в узлах / Н.В. Правдин В.Я. Негрей // Минск: «Вышэйшая школа», 1977. – 296 с.

61 Рахмангулов, А. Н. Факторы выбора мест размещения логистических распределительных центров / А. Н. Рахмангулов, А. А. Кайгородцев // Сборник научных трудов SWorld. – 2012. – Т. 1, № 4. – 27-36 с.

62 Байгина, А. А. Технико-экономическое обоснование размещения и строительства распределительного центра / А. А. Байгина, И. С. Биба, А. Ю. Тюрин // Логистический аудит транспорта и цепей поставок : Материалы IV Международной научно-практической конференции. В 2-х томах, Тюмень, 28 апреля 2021 года. Том 1. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2021. – 279-286 с.

63 Вольхин, Е. Г. Модели размещения распределительных центров / Е. Г. Вольхин // Управленец. – 2018. – Т. 9, № 2. – 54-60 с. – DOI 10.29141/2218-5003-2018-9-2-9.

64 Департамент транспорта и инфраструктуры Аналитический доклад

«Анализ состояния и современных тенденций развития транспортно-логистических центров в целях выработки рекомендаций по их развитию в рамках Евразийского экономического союза» – М., 2021.

65 Бенсон Д., Уайтхед Дж. Транспорт и доставка грузов. Пер. с англ. В.В. Космина. М.: Транспорт, 1990 – 280 с.

66 Современные тенденции в архитектурных решениях [сайт]. – URL: [https://old.archvuz.ru/PDF/%23%2038%20PDF/ArchPHE%2338\(Art4\)pp38-52Klimenko.pdf](https://old.archvuz.ru/PDF/%23%2038%20PDF/ArchPHE%2338(Art4)pp38-52Klimenko.pdf) (дата обращения 06.05.2022).

67 Hoover, Edgar M. “Some Programmed Models of Industry Location.” Land Economics, vol. 43, no. 3, 1967, pp. 303–11. JSTOR, DOI 10.2307/3145155.

68 Harder, F. R. Mpos and railroad intermodal terminals: successful development strategies / F.R. Harder // Eno Transportation Foundation – 1999. – Vol. 2. – P. 31–44. ISSN 0278-9434.

69 Gooley, T. B. One Location, Many Options. Logistics Management and Distribution Report, November 1998a, pp. 81–89.

70 Richardson, H. L. Select the Best Port for Your Needs / H. L. Richardson. –Transportation & Distribution. – 1991. – Vol. 32(10). – P. 79–81.

71 Robinson, A.E. Inland Ports and Supply Chain Management International Business Association's / A. E. Robinson // Eighth Annual Conference: On Global Perspectives. – Cancun, Mexico, 1999.

72 Nottenboom, T., Rodrigue, J. Port Regionalization: Toward a New Phase in Port Development. Maritime Policy and Management. 32(3). July, 2005.

73 Walter, C.K and Poist, F.R. 2004. North American inland port development: International vs domestic shipper preferences. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management 34: 579–597.

74 LaLonde, B. J. Intermodal Freight Requirements. TR News, Vol. 192, September-October 1997, pp. 13–17.

75 Yu, Yugang & De Koster, René. (2009). Open Location Management in Automated Warehousing Systems. Erasmus Research Institute of Management

(ERIM), ERIM is the joint research institute of the Rotterdam School of Management, Erasmus University and the Erasmus School of Economics (ESE) at Erasmus Uni, Research Paper.

76 Inland Port Feasibility Study, Project No. 06-023 Final Report, Prepared by the Tioga Group Inc., Railroad Industries, Inc. and Iteris for the Southern California Association of Governments (SCAG), August 2008

77 Richard E. Ward Fundamentals of Inventory Management and Control – Hardcover // Amacom Books – 2nd Ring edition (Dec 1 1990). – ISBN 978-0761205708.

78 Erraoui, Yassine & Charkaoui, Abdelkadir & Abdelwahed, Echchatbi. (2021). Assessment of a New Model to Optimize Flow in Distribution Networks. DOI 10.1007/978-3-030-62199-5\_35.

79 Christopher, Martin & Holweg, Matthias. (2017). Supply chain 2.0 revisited: a framework for managing volatility-induced risk in the supply chain. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. 47. 2-17. DOI 10.1108/IJPDLM-09-2016-0245.

80 Michael Watson, Sara Lewis, Peter Cacioppi, and Jay Jayaraman. 2012. Supply Chain Network Design: Applying Optimization and Analytics to the Global Supply Chain (1st. ed.). FT Press. – ISBN 978-0-13-301737-3.

81 Поттгофф, Г. Теория транспортных потоков / Г. Поттгофф. – Берлин, 1962. – 343 с.

82 TufanDemirel, Nihan ÇetinDemirel, Cengiz Kahraman, Multi-criteria warehouse location selection using Choquet integral, Expert Systems with Applications. – Volume 37, Issue 5, May 2010, Pages 3943-3952.

83 Ashrafzadeh, Maysam & Mokhatab rafiei, Farimah & Mollaverdi, Naser & Zare, Zahra. (2012). Application of fuzzy TOPSIS method for the selection of Warehouse Location: A Case Study. Interdiscipl J Contemp Res Business. 3.

84 Z. Almetova, V. Shepelev, S. Shepelev, Cargo Transit Terminal Locations According to the Existing Transport Network Configuration, Procedia Engineering, Volume 150, 2016, Pages 1396-1402, ISSN 1877-7058,

<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.335>.

85 Szczepański, Emilian & Jachimowski, Roland & Izdebski, Mariusz & Jacyna-Gołda, Ilona. (2019). Warehouse location problem in supply chain designing: a simulation analysis. Archives of Transport. 50. 101-110. 10.5604/01.3001.0013.5752.

86 Гай, В. А. Определение местоположения распределительного контейнерного терминала в Западно-Сибирском регионе / В. А. Гай // Логистика и управление цепями поставок. – 2010. – № 3(38). – 60-63 с.

87 Числов, О.Н. Модифицированный гравитационный метод в размещении распределительных терминалов портовых железнодорожных транспортно-технологических систем [электронный ресурс] / О.Н. Числов, В.Л. Люц // Инженерный вестник Дона - №4, 2012 (<http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1420>) (дата обращения 09.09.2022)

88 Тюнен И.-Г. Изолированное государство. М.: Экономическая жизнь, 1926. 326 с.

89 Вебер А., Теория размещения промышленности. Л.; М.: Книга, 1926. 220 с.

90 Кузнецова, Н.Г. Региональная экономика / Н. Г. Кузнецова. Ростов-на-Дону: Феникс, 2003.

91 Задорожний, В. М. Развитие методов распределения порожних вагонопотоков припортовой транспортно-технологической системы в конкурентных условиях : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Задорожний Вячеслав Михайлович. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2018. – 229 с.

92 История железнодорожного транспорта России. Т. 1. 1836–1917 / под редакцией Е. Я. Красковского, М. М. Уздина. – Санкт-Петербург, 1994. – 336 с. – ISBN 5-85952-005-0.

93 Методы управления параметрами грузо- и вагонопотоков припортовых транспортно-технологических систем: модели и алгоритмы : монография / О. Н. Числов, В. М. Задорожний, А. С. Кравец, Д. С. Безусов ; под редакцией

О. Н. Числова ; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов-на-Дону, 2020. – 250 с. – ISBN 978-5-907295-27-8.

94 Себестоимость железнодорожных перевозок : учебник для вузов железнодорожного транспорта / Н. Г. Смехова, А. И. Купоров, Ю. Н. Кожевников [и др.] ; под редакцией Н. Г. Смеховой и А. И. Купорова. – Москва : Маршрут, 2003. – 494 с.

95 Москвичев, О. В. Терминальная инфраструктура и контейнерные поезда: кластеризация объектов / О. В. Москвичев // Мир транспорта. – 2017. – Т. 15, № 5 (72). – С. 158–173. – ISSN 1992-3252.

96 Морозова, Т. Г. Региональная экономика : учебник для студентов вузов, обучающихся по экономическим специальностям / Т. Г. Морозова. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : ЮНИТИ-ДАНА, 2017. – 527 с. – ISBN 978-5-238-01300-8

97 Мулен, Э. Кооперативное принятие решений: Аксиомы и модели / Э. Мулен ; перевод с английского О. Р. Меньшиковой. – Москва : Мир, 1991. – 463 с. – ISBN 5-03-002131-0 (в пер.).

98 Нестерова, Н. С. Мультимодальная транспортная сеть как элемент единой транспортной системы страны и ее регионов / Н. С. Нестерова, С. М. Гончарук // Вестник транспорта Поволжья. – 2016. – № 1(55). – С. 66–73. – ISSN 1997-0722.

99 Персианов, В. А. Моделирование транспортных систем / В. А. Персианов, К. Ю. Скалов, Н. Ю. Усков. – Москва : Транспорт, 1972. – 208 с.

100 Петров, М. Б. Методология организации региональной транспортной системы : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Петров Михаил Борисович. – Москва : МИИТ, 2004. – 48 с.

101 Рахмангулов, А. Н. Железнодорожные транспортно-технологические системы: организация функционирования : монография / А. Н. Рахмангулов, О. А. Копылова, П. Н. Мишкурин. – Магнитогорск : Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2014. – 300 с. – ISBN 978-5-9967-0459-0.

102 Стратегия экономического развития ЮФО до 2025 года. – Текст : электронный // Министерство экономического развития Российской Федерации : официальный сайт. – URL: <https://www.economy.gov.ru> (дата обращения: 18.03.2021).

103 Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года : [утверждена Распоряжением Правительства РФ от 17 июня 2008 г. № 877-р]. – Текст : электронный // Министерство транспорта Российской Федерации : официальный сайт – URL: <https://www.mintrans.ru/documents/1/1010> (дата обращения: 24.03.2021).

104 Транспорт России: Всероссийская транспортная еженедельная информационно-аналитическая газета [сайт]. – URL: <http://www.transportrussia.ru> (дата обращения: 21.03.2021).

105 Транспорт и связь в России : статистический сборник // Федеральная служба государственной статистики (Росстат). – URL : [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/3e4fc4004e3423529616fe18bf0023dd](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/3e4fc4004e3423529616fe18bf0023dd) (дата обращения 18.09.2021).

106 Прейскурант № 10-01 «Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые российскими железными дорогами». – Текст : электронный. – URL: [http://doc.rzd.ru/doc/public/ru%3Fid%3D6188%26layerid%3D5104%26STRUCTURE\\_ID](http://doc.rzd.ru/doc/public/ru%3Fid%3D6188%26layerid%3D5104%26STRUCTURE_ID) (дата обращения: 24.06.2021).

107 Официальный сайт Северо-Кавказской железной дороги – филиала ОАО «РЖД» [сайт]. – URL: <http://skzd.rzd.ru/> (дата обращения: 03.03.2021).

108 Генеральный план и транспорт промышленных предприятий: учеб. для вузов / В.М. Акулиничев, А.С. Гельман, В.И. Тиверовский, Б.Ф. Шаульский. – М.: Стройиздат, 1990. – 303 с.

109 Дегтяренко, В.Н. Транспортные узлы промышленных районов: учебник для вузов / В.Н. Дегтяренко. – М.: Стройиздат, 1974. – 303 с.

- 110 Еловой, И.А. Эффективность логистических транспортно-технологических систем (теория и методы расчета): монография / И.А. Еловой. – Гомель: БелГУТ, 2000.– 290 с.
- 111 Желтиков, В.П. Экономическая география: учеб. пособие для вузов / В.П. Желтиков. – Ростов н/Д : Феникс, 2003. – 384 с.
- 112 Журавлев, Н.П. Транспортно-грузовые системы: учебник для вузов ж.-д. транспорта / Н.П. Журавлев, О.Б. Маликов. – М.: Маршрут, 2006.–368 с.
- 113 Мамаев, Э.А. Моделирование региональных транспортных систем в условиях конкуренции: дис. д-ра техн. наук / Мамаев Э.А.– М., 2006.–348 с.
- 114 Защита атмосферы от промышленных загрязнений / Справочник в двух частях: пер. с англ. / под ред. С. Колверт, Г. Инглунд. – М.: Металлургия, 1988.
- 115 Луканин, В. Н. Промышленно-транспортная экология: учебник / В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко; ред. В.Н. Луканин. – М. : Высш. шк., 2001. – 273 с.
- 116 Отраслевые правила по охране труда в хозяйстве грузовой и коммерческой работы на федеральном железнодорожном транспорте. ПОТ РО – 13153 – ЦМ – 933 –03. – М.: ВНИИЖТ, 2003 – 47 с.
- 117 Попов, Э.В. Экспертные системы / Э.В. Попов. – М. : Наука, 1987. – 283 с.
- 118 Правдин, Н.В. Моделирование генерального плана агрегированного комплекса промышленного узла с оптимальным размещением производственно-транспортно-технологических систем: статья / Н.В. Правдин, О.Н. Числов / Транспорт: наука, техника, управление // ВИНТИ. – Москва. – 2008. – № 11. – С. 2–8.
- 119 Правдин, Н.В. О рациональном размещении промышленных предприятий и транспортно-складских систем в узлах / Н.В. Правдин, О.Н. Числов // Вестник РГУПС. Науч.-техн. журнал, № 1(33). – 2009. – С. 91–101.
- 120 Прейскурант № 10-01. Тарифы по перевозке грузов и услуг инфраструктуры, выполняемые Российскими железными дорогами. – М.: Красный

пролетарий, 2003.

121 Региональная экономика: учеб. для вузов / под ред. Т.Г. Морозовой. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ, 2002. – 468 с.

122 Сергеев, В.И. Глобальные логистические системы: учеб. пособие / В.И. Сергеев, А.А. Кизим, П.А. Эльяшевич; под общ. ред. В.И. Сергеева. – СПб.: Издательский дом «Бизнес-пресса», 2001. – 240 с.

123 Шеннон, К. Работы по теории информации и кибернетике / под. ред Р.Л. Добрушина и О.Б. Лупанова.– М.: Иностран. лит.,1963. – 832 с.

124 Халын, В.Г. Развитие логистических систем распределения на основе активизации транзитного потенциала ЮФО: диссертация на соискание ученой степени доктора экономических наук / Халын Виктор Геннадьевич; ФГБОУ ВО РИНХ. – Ростов-на-Дону, 2020. – 279 с.

125 Селезнева, Т.О. Основы логистики. Учебное пособие по направлениям подготовки 38.03.01 Экономика, 38.03.02 Менеджмент / Т.О. Селезнева, С. И. Лилимберг, Г. В. // Костанай: Костанайский филиал ФГБОУ ВО «ЧелГУ», 2021. – 116 с.

126 Николайчук, В.Е. Логистический менеджмент: Учебник / В. Е. Николайчук, - 2-е изд. - М.: и К, 2017. - 980 с. ISBN 978-5-394-01632-5.

127 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.

128 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, Екатеринбург, 18 мая 2023 года. Том Выпуск 7 (255). – Екатеринбург: Уральский государственный университет путей сообщения, 2023. – С. 11-14.

129 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.

130 Носков, С. И. Двухкритериальная транспортная задача / С. И. Носков, А. И. Рязанцев // Т-Comm. 2019. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dvuhkriterialnaya-transportnaya-zadacha> (дата обращения: 09.09.2023).

131 Альпидовский, А. Д. Решение задачи логистического обоснования выбора местоположения складов / А. Д. Альпидовский // Научные проблемы водного транспорта. 2002. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reshenie-zadachi-logisticheskogo-obosnovaniya-vybora-mestopolozheniya-skladov> (дата обращения: 01.09.2023).

132 Чебакова, Е. О. Учебно-наглядное пособие для практических занятий / Е. О. Чебакова, О. В. Быкова // кафедра «Логистика». – Электрон. Дан. – Омск: СибАДИ, 2016. – URL: [http://bek.sibadi.org/cgi-bin/irbis64r\\_plus/cgiirbis\\_64\\_ft.exe](http://bek.sibadi.org/cgi-bin/irbis64r_plus/cgiirbis_64_ft.exe).

133 Магомедова, Н. М. Анализ технической оснащённости грузовых фронтов РОстовского ТСК / Н. М. Магомедова, В. В. Трапенов // Труды Международной научно-практической конференции "транспорт-2013" – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2013. – С. 127-128.

134 Трапенов, В. В. Особенности применения нормативно-правовой документации в разработке генеральных схем развития производственно-транспортно-технологических систем / В. В. Трапенов // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения, 2014. – С. 257-259.

135 Трапенов, В. В. Актуальные вопросы распределения грузопотоков и размещения логистических транспортно-складских комплексов в крупных городских агломерациях / В. В. Трапенов // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2015. – № 4. – С. 113-123. – ISSN: 1818-5509

136 Трапенов, В. В. Структурирование нормативно-правовой документации по проектированию и размещению промышленно-транспортных объектов / В. В. Трапенов // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения, 2015. – С. 126-127.

137 Трапенов, В. В. Анализ технических решений и проблем в формировании объединенной складской системы транспортного узла / В. В. Трапенов // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения, 2015. – С. 244-246.

138 Пасечная, Е. В. Транспортные узлы крупных городских агломераций / Е. В. Пасечная, В. В. Трапенов // Инженерный вестник Дона. – 2016. – № 4(43). – С. 92. – eISSN: 2073-8633.

139 Трапенов, В. В. Сравнительная эффективность методов выбора рационального местоположения распределительных терминалов в региональной транспортной системе / В. В. Трапенов // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения 2017. – С. 220-223.

140 Трапенов, В. В. Структурированный подход к выбору компоновочных решений объектов терминальных комплексов / В. В. Трапенов // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения, 2017. – С. 197-199.

141 Магомедова, Н. М. Коммерческо-правовое обеспечение деятельности железнодорожного транспорта : учебное пособие / Н. М. Магомедова, В. В. Трапенов ; Ростовский государственный университет путей сообщения. – Ростов-на-Дону : Ростовский государственный университет путей сообщения, 2017. – 52 с. – ISBN 978-5-88814-669-9.

142 Числов, О. Н. Актуальные вопросы размещения предприятий и складских объектов промышленно-транспортных зон / О. Н. Числов, В. В. Трапенов // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения, 2018. – С. 92-96.

143 Трапенов, В. В. Направления территориального развития транспортных систем городских агломераций / В. В. Трапенов // Сборник научных

трудов II международной научно-практической конференции, Ростовский государственный университет путей сообщения, 2018. – С. 39-41.

144 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. – ISSN: 2664-5025.

145 Трапенов, В. В. Перспективные методы компоновочных решений складских систем транспортных узлов / В. В. Трапенов // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения, 2020. – С. 222-225.

146 Трапенов, В. В. Анализ производственных мощностей Северо-Кавказской дирекции по управлению терминально-складским комплексом / В. В. Трапенов, В. В. Алабина // Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, Ростовский государственный университет путей сообщения, 2020. – С. 234-237.

147 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. – ISSN: 2664-5025

148 Трапенов, В. В. "Зеленая логистика" в эксплуатации транспортно-складских комплексов / В. В. Трапенов, В. В. Алабина // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения, 2021. – С. 267-271.

149 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, Ростовский государственный университет путей сообщения, 2022. – С. 233-236

150 On one approach to choosing unloading stations according to egalitarian principles in transport-type optimization problems / V. Bogachev, V. Zadorozhniy, A. Kravets [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. 05066. – DOI 10.1051/e3sconf/202337105066.

151 Трапенов, В. В. О вопросе развития теории линейных городов в задаче о размещении транспортно - логистических терминалов / В. В. Трапенов, В. А. Богачев // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения, 2023. – С. 339-342.

152 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. <https://doi.org/10.1063/5.0146708>.

153 Рымкевич, А. А. Управление транспортно-логистическим терминалом: модели, показатели и оптимизация / А. А. Рымкевич, А. В. Новичихин // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2019. – № 5. – С. 221-224. – ISSN: 2311-8342.

154 Новичихин, А. В. Управление транспортно-логистическим терминалом на основе теории систем массового обслуживания / А. В. Новичихин, А. А. Рымкевич, И. А. Серебряков // Экономика и менеджмент систем управления. – 2018. – № 2-2(28). – С. 283-288. – ISSN: 2223-0432.

155 Gorbunova, M. Improvement of the system of transport-transfer hubs on the example of St. Petersburg agglomeration / M. Gorbunova, A. Novichikhin // E3S Web of Conferences : International Scientific Conference Transport Technologies in the 21st Century (TT21C-2023) “Actual problems of Decarbonization of Transport and Power Engineering: Ways of Their Innovative Solution”, Rostov-on-Don, Russia, 05–07 апреля 2023 года. Vol. 383. – Rostov-on-Don, Russia: EDP Sciences, 2023. – P. 01006. – DOI 10.1051/e3sconf/202338301006.

156 Псеровская, Е. Д. Городская логистика в условиях взаимодействия видов транспорта / Е. Д. Псеровская, А. П. Грефенштейн // Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта. – 2023. – № 2(9). – С. 49-54. – DOI 10.52170/2712-9195\_2023\_2\_49. – eISSN: 2712-9195.

157 Псеровская, Е. Д. Расположение городского распределительного центра: научно-методологический подход / Е. Д. Псеровская, А. П. Грефенштейн // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 3(83). – С. 131-140. – DOI 10.46973/0201-727X\_2021\_3\_131. – ISSN: 0201-727X.

158 Псеровская, Е. Д. Оценка эффективности распределительного центра при разных вариантах консолидации грузопотоков / Е. Д. Псеровская, А. П. Грефенштейн // Транспорт Урала. – 2021. – № 3(70). – С. 22-27. – DOI 10.20291/1815-9400-2021-3-22-27. – ISSN: 1815-9400.

159 Нутович, В. Е. Методы и алгоритмы интеллектуального управления логистическими потоками грузовых перевозок с использованием Национальной цифровой транспортно-логистической платформы / В. Е. Нутович // Цифровая трансформация транспорта: проблемы и перспективы : Материалы международной научно-практической конференции, Москва, 28 сентября 2022 года / Институт управления и цифровых технологий. Кафедра «Цифровые технологии управления транспортными процессами». – Москва: Российский университет транспорта, 2022. – С. 82-87.

160 Ларин, О. Н. Транспортные системы крупных городов: вопросы эффективности / О. Н. Ларин // Мир транспорта. – 2023. – Т. 21, № 2(105). – С. 138-142. – DOI 10.30932/1992-3252-2023-21-2-16. – ISSN: 1992-3252.

161 Терминальные системы транспорта: учебное пособие / О. Н. Числов, Н. М. Магомедова, В. В. Трапенов ; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2023. – 100 с. – ISBN 978-5-907494-54-1.

162 Крыньский, Х.Э. Математика для экономистов. М.: Статистика. 1970. 580 с.

163 Chislov, O.N. Modelling of the rail freight traffic by the methods of economic-geographical delimitation in the region of the south-easter coast of the Baltic sea / O.N. Chislov., V.A. Bogachev, V.M. Zadorozhniy, T.V. Bogachev, O.I. Demchenko, V.V. Khan // Transport Problems, SUT, 2019. – Vol. 14. No. 2. – P. 77-87. Print edition: ISSN 1896-0596. Online edition: ISSN 2300-861X. DOI: 10.20858/tp.

2019.14.2.7.

164 Chislov, O.N. Methods of Analytical Modeling the Process of Freight Transportation Management in the Regional Transport Complex /O. N. Chislov, V. M. Zadorozhniy, V. A. Bogachev, A. S. Kravets, I. N. Egorova, T. A. Bogachev // Decision Support Methods in Modern Transportation Systems and Networks, Lecture Notes in Networks and Systems, Springer, 2021. – P. 197–210. DOI: 10.1007/978-3-030-71771-1\_13.

165 Числов, О.Н. Распределение вагонопотоков операторской компании в припортовых транспортных узлах методом экономико-географического разграничения / О.Н. Числов, В.А. Богачев, В.М. Задорожний, Т.В. Богачев // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2016. № 3 (48). – С. 302 - 313.

166 Chislov, O.N. Mathematical modeling of cargo flow distribution in a regional multimodal transportation system /O. Chislov, V. Bogachev, V. Zadorozhniy, A. Kravets, M. Bakalov, T. Bogachev // Transport Problems, SUT, 2021. – Vol. 16. – No. 2. – P. 141-152. DOI: 10.21307/tp-2021-031.

167 Биржа грузоперевозок и крупнейшая экосистема сервисов для транспортной логистики в России и СНГ [сайт]. – URL: <https://ati.su/> (дата обращения: 06.05.2022).

168 Лебедева, Н. А. Оценка транспортной обеспеченности Северо-Западного федерального округа / Н. А. Лебедева // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. – 2021. – № 2. – С. 47-54. – DOI 10.17586/2310-1172-2021-14-2-47-54.

169 Сай, В. М. Интегральная оценка предприятий / В. М. Сай, С. В. Сизый, В. К. Фомин // Экономика железных дорог. – 2010. – № 1. – С. 18–27. – ISSN 1727- 6500.

170 Генеральный план города Ростова-на-Дону [сайт]. – URL: [https://rostov-gorod.ru/administration/structure/departments/daig/action/\\_garbage/\\_genplan/](https://rostov-gorod.ru/administration/structure/departments/daig/action/_garbage/_genplan/) (дата обращения: 08.09.2022).

171 Генеральный план Минераловодского муниципального округа

[сайт]. – URL: <https://min-vodi.ru/gradostroitelstvo/genplan/> (дата обращения: 08.09.2022).

172 Генеральный план города Краснодар [сайт]. – URL: <https://genplan.krd.ru/> (дата обращения: 08.09.2022).

173 Генеральный план города Астрахань [сайт]. – URL: <http://map.30gorod.ru/#/app/app/tp/geoportal/task/c1ef40e1c22e4060ac260da04a92f3fc> (дата обращения: 08.09.2022).

174 Нефедов, Д. Г. Математические модели и методы решения задач оптимального размещения элементов распределенной производственной структуры : специальность 05.13.18 "Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Нефедов Денис Геннадьевич. – Челябинск, 2015. – 120 с.

175 Михайлов, Р. А. Модели оптимального размещения складских комплексов с учетом различного потребительского спроса населения в задаче логистического управления товародвижением : специальность 05.13.10 "Управление в социальных и экономических системах" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Михайлов Роман Александрович. – Воронеж, 2012. – 18 с.

176 Перведенцев, П. А. Разработка логистических методов выбора вариантов складских распределительных систем : специальность 08.00.05 "Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности, в т.ч.: экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами; управление инновациями; региональная экономика; логистика; экономика труда; экономика народонаселения и демография; экономика природопользования; экономика предпринимательства; маркетинг; менеджмент; ценообразование; экономическая безопасность; стандартизация и управление качеством продукции; землеустройство; рекреация и туризм)" : диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Перведенцев Павел Александрович. – Санкт-Петербург, 2006. – 160 с.



Рисунок П1.1 – Распределение предложения качественной складской недвижимости и введенных в эксплуатацию складских площадей в регионах России



Рисунок П1.2 – Динамика объема ввода складских площадей в регионах России



Рисунок П1.3 – Динамика доли вакантных площадей в регионах России

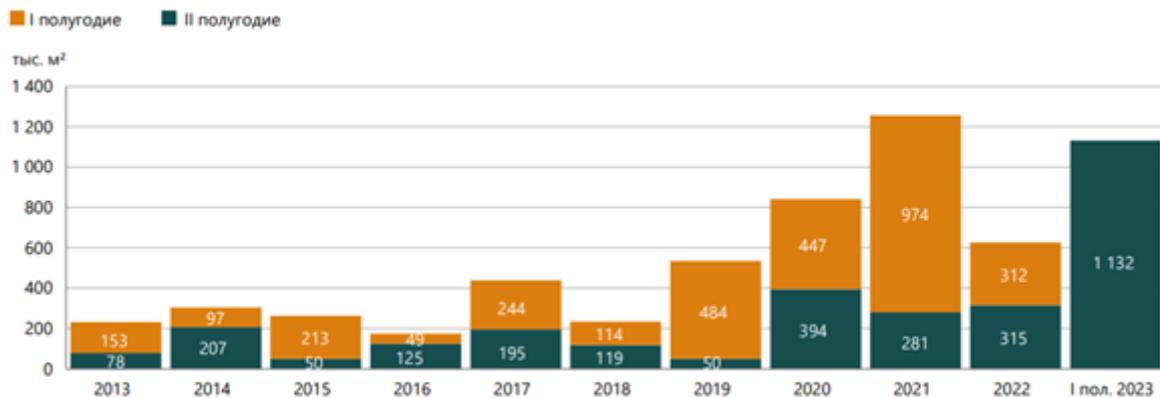


Рисунок П1.4 – Динамика объема спроса в регионах России

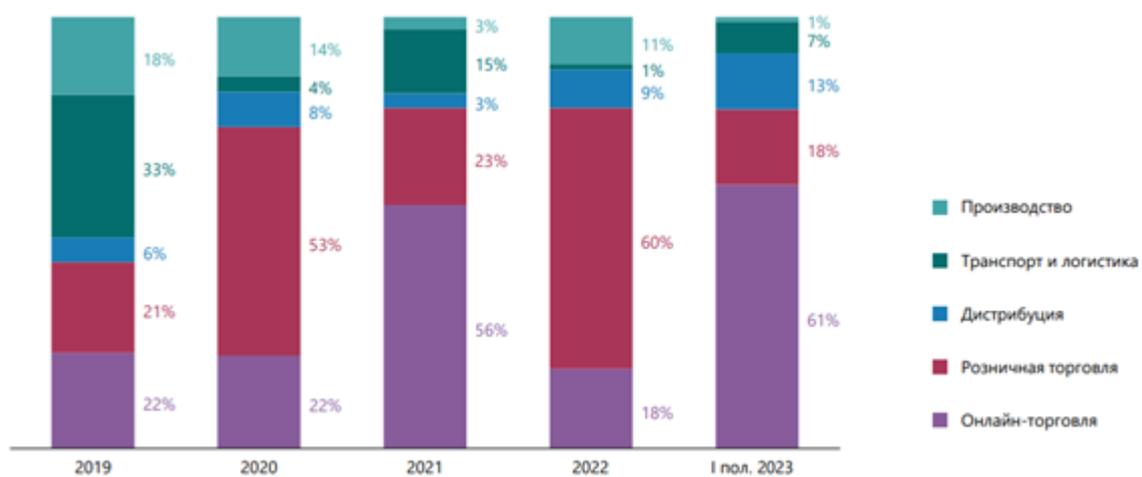


Рисунок П1.5 – Динамика спроса по профилю арендатора/покупателя в регионах России

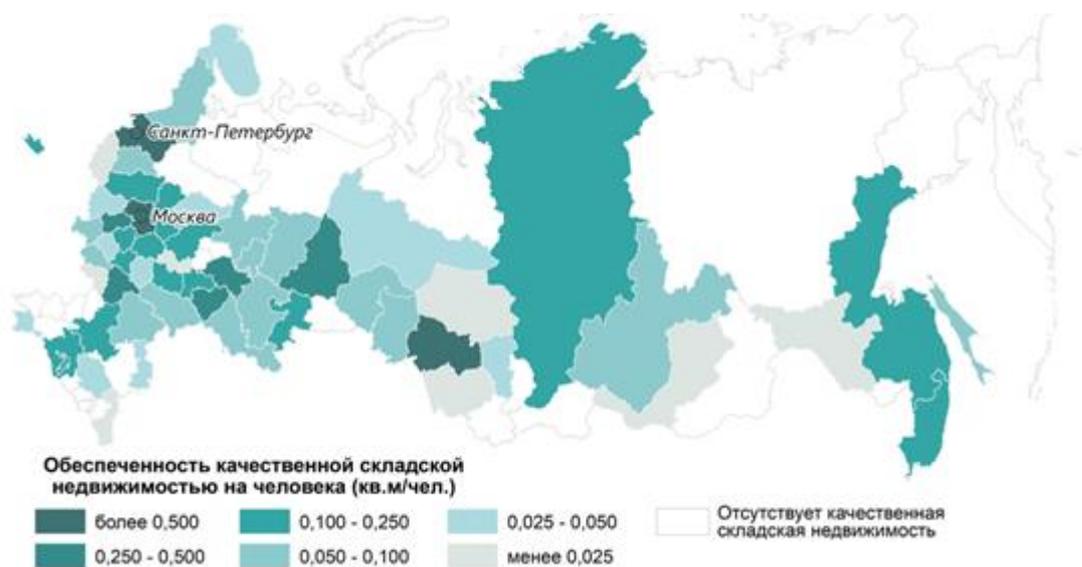


Рисунок П1.6 – Обеспеченность качественной складской недвижимостью (м²/чел.)

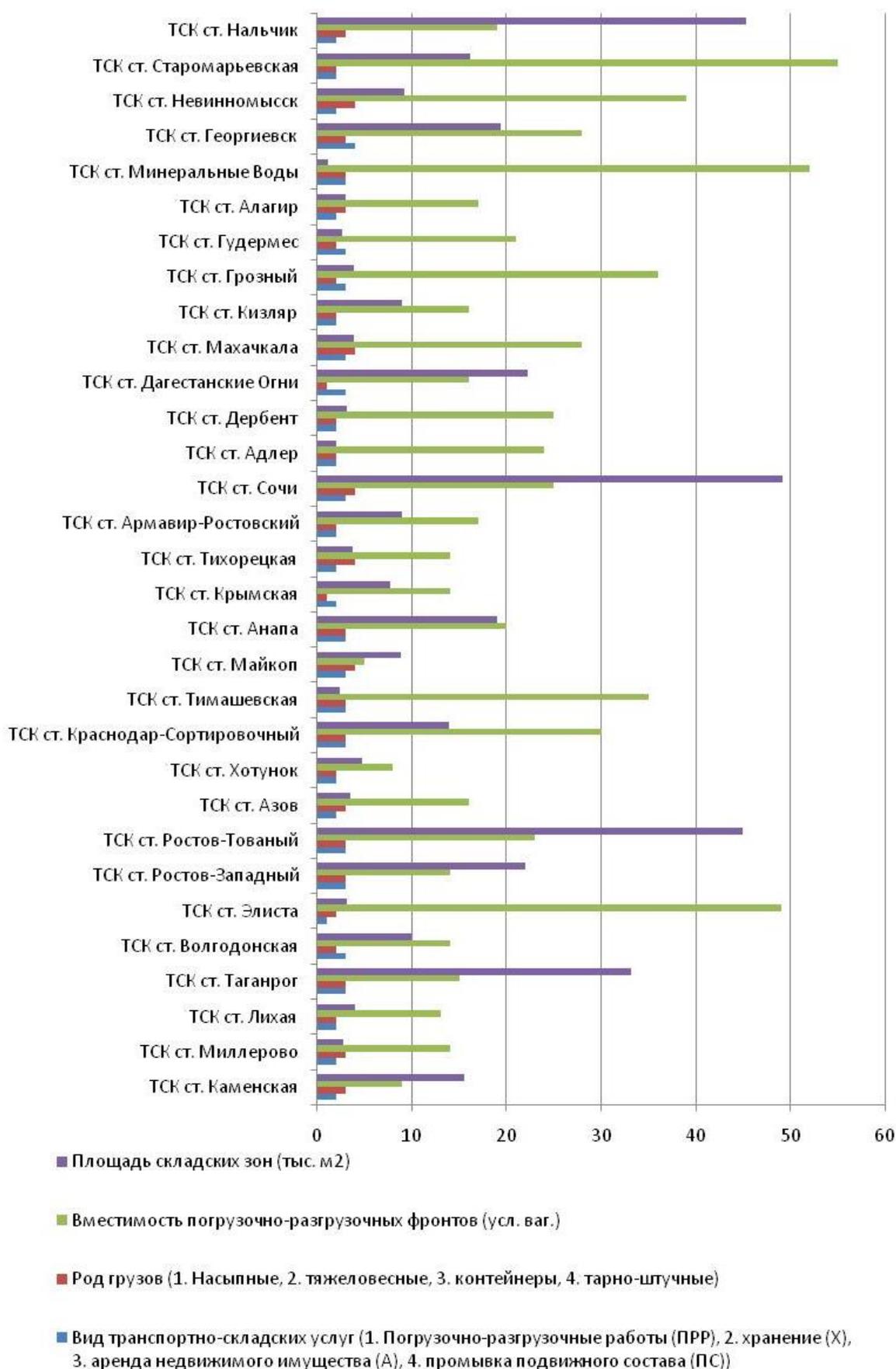


Рисунок П1.7 – Показатели железнодорожных транспортно-складских комплексов

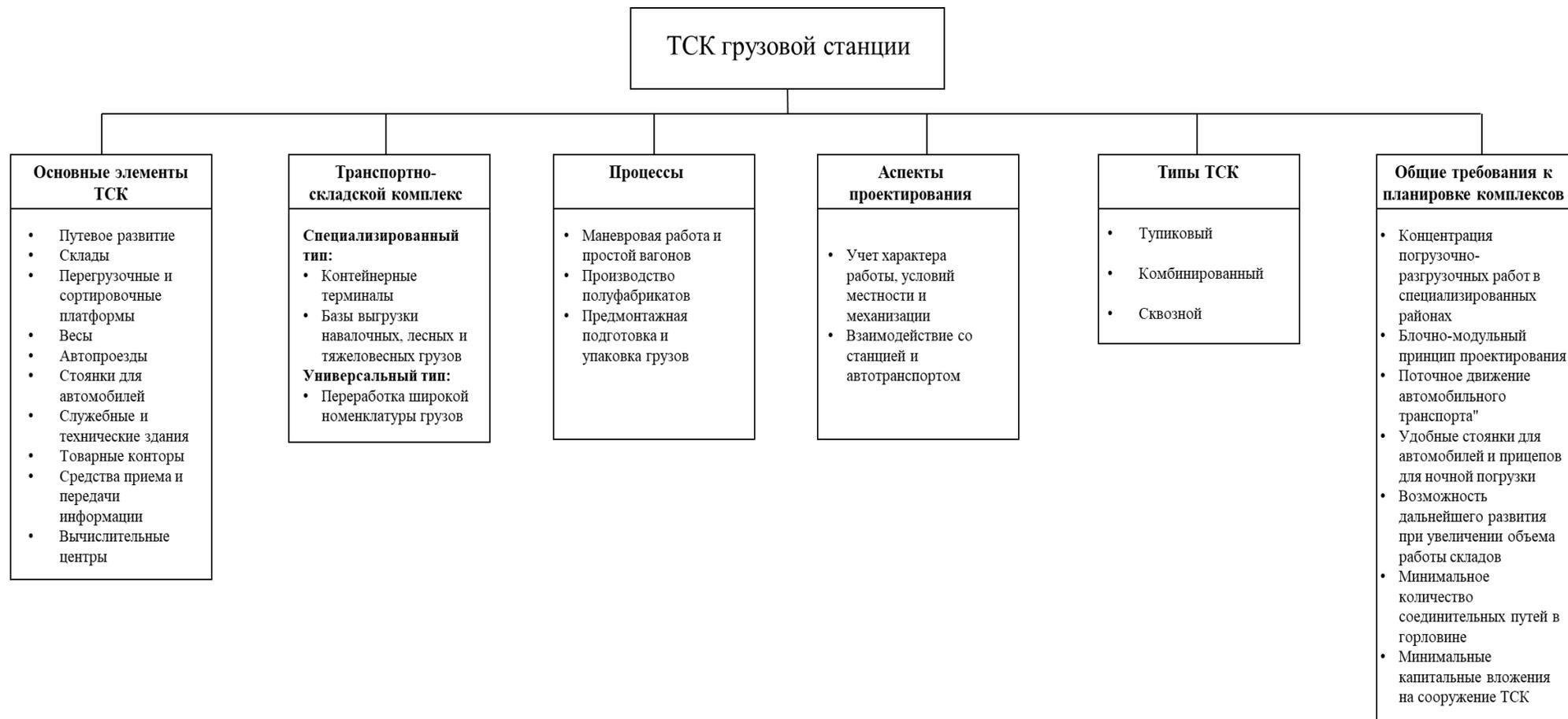


Рисунок П1.8 – Сведения о транспортно-складского комплекса грузовой станции

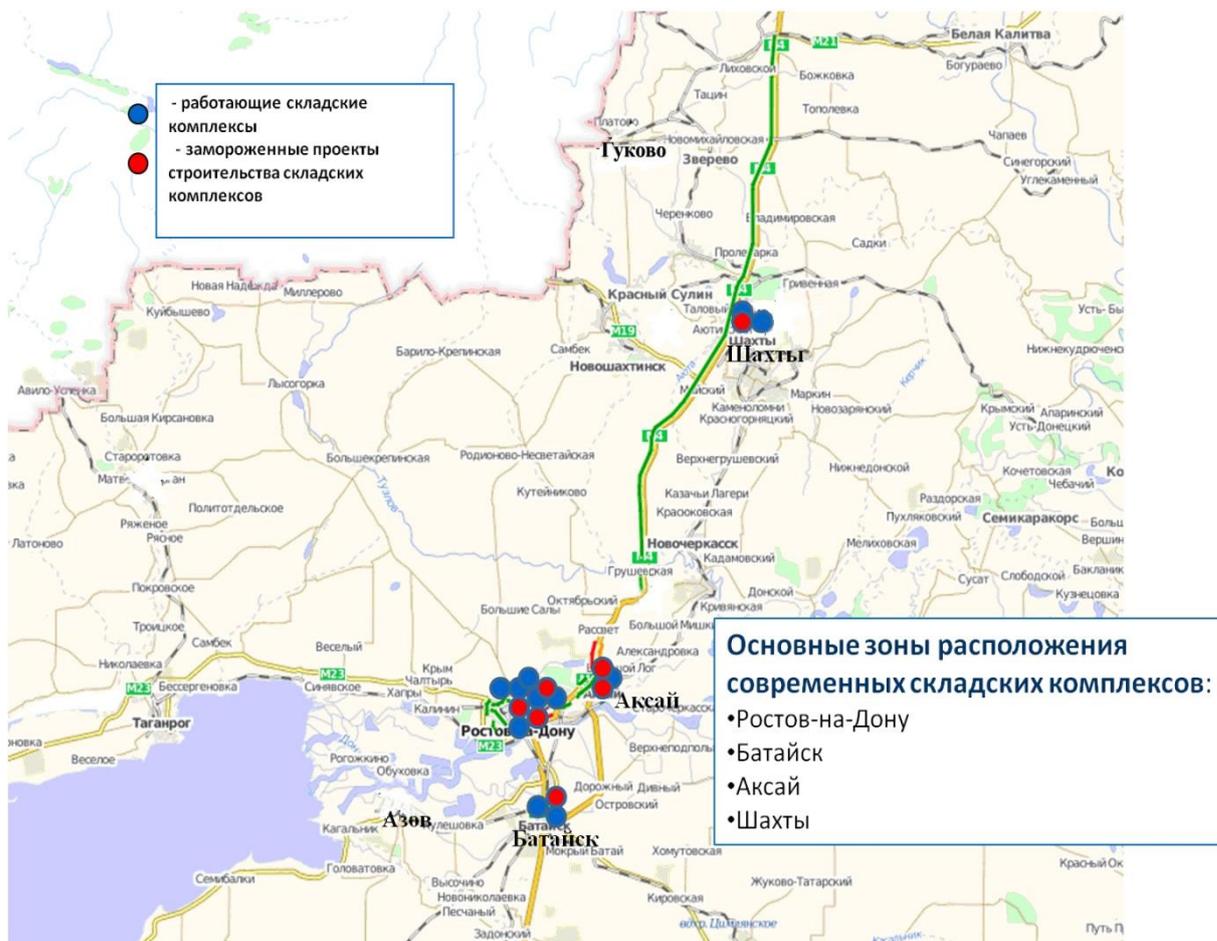


Рисунок П1.9 – Зоны расположения складских комплексов узла «Р»

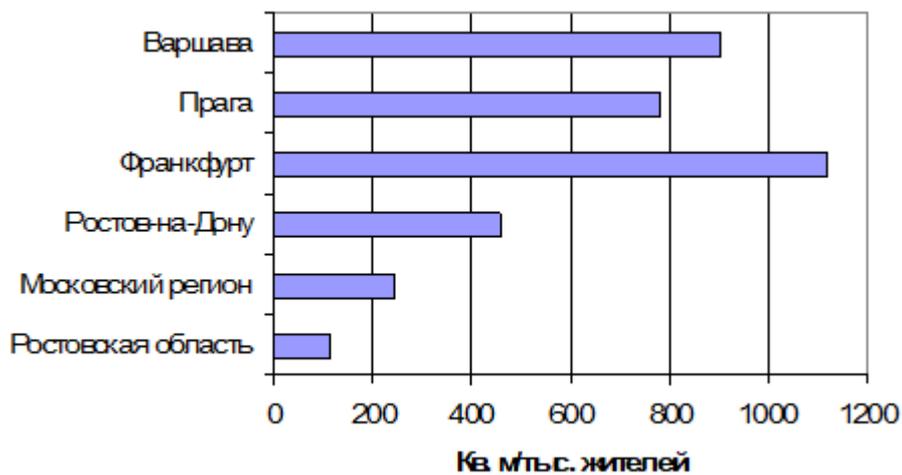


Рисунок П1.10 – Показатели обеспеченности складскими мощностями

#### Основные условия эффективного функционирования склада, как элемента/звена логистической системы

- Элемент логистической системы. Эффективность работы склада отвечает эффективному функционированию логистической системы в целом.
- Взаимодействие и взаимоотношение склада как на уровне всей логистической системы, так и внутри субъекта логистической системы.
- Технические и технологические решения на складе исходят из логистической необходимости и экономической целесообразности
- Применяется автоматизированная система управления информационными потоками, независимо от уровня технической оснащенности самого склада.
- Предусматривается единый подход к документообороту между всеми участниками логистической системы.
- Внедряется штриховое кодирование груза на предприятиях – изготовителях.

#### Основные функции в рамках логистической системы

- Выравнивание интенсивности материальных потоков в соответствии со спросом потребителя
- Формирование ассортимента внутрискладского потока в соответствии с заказом клиента
- Обеспечение концентрации и хранения запасов
- Сглаживание асинхронности производственного процесса
- Утилизация партии отгрузки
- Предоставление услуги

Рисунок П1.11 – Основы управления складской логистикой

Таблица П1.1 – Классификация транспортно-складских комплексов

№ п/п	Параметры классификации	Виды складов		
1	По роду специализации	специализированные, универсальные, смешанные		
2	По физическому состоянию хранящихся и перерабатываемых грузов	- склады твердых (штучных) грузов; - склады сыпучих (навалочных) грузов; - склады жидких (наливных) грузов; - склады газообразных грузов		
3	По виду складирования	- склады с напольным хранением; - склады со стеллажным хранением; - склады со смешанным хранением		
4	По типу конструкции	-открытые склады; - площадки под навесом; - закрытые склады		
5	По перерабатываемому грузопотоку:	Склады промышленных предприятий	Складские базы	Перевалочные склады в местах общего пользования
5.1	Мелкие	До 1-5	До 10	До 100
5.2	Средние	5-25	10-50	100-500
5.3	Крупные	Свыше 25	Свыше 50	Свыше 500
6	По наличию внешних транспортных связей	склады с причалами, склады с железнодорожными подъездами, склады с автодорожными подъездами, склады со смешанными транспортными связями		
7	По обеспечению таможенных режимов	склады временного хранения, таможенные склады		
8	По отраслям логистики	производственные склады, склады торговых, транспортных, экспедиторских и логистических организаций		
9	По площади хранения	склады, складские комплексы, грузовые терминалы, транспортно-логистические центры		
10	По высоте хранения:			
10.1	Одноэтажные склады	низкие, полезная высота складирования (до 5 м)		
10.2	Средние	полезная высота складирования от 5 до 8 м		
10.3	Высотные	высота зоны складирования выше 8 м		
11	По режиму хранения	склады без отопления, отопливаемые, склады-холодильники, склады с фиксированным климатическим режимом		
12	По условиям хранения:			
12.1	Открытые склады	Предназначаются для хранения материалов, не требующих защиты от атмосферных воздействий (бетонных и железобетонных конструкций, кирпича, керамических труб и т. д.).		
12.2	Полузакрытые склады	Навесы сооружают для материалов, не изменяющих своих свойств от перемены температур и влажности воздуха, но требующих защиты от прямого воздействия солнца и атмосферных осадков (деревянных изделий и деталей, толя, рубероида, шифера и др.).		

Продолжение таблицы П.1.1

12.3	Закрытые склады	Служат для хранения материалов дорогостоящих или портящихся на открытом воздухе (цемента, извести, гипса, фанеры, гвоздей, спецодежды и др.). Их сооружают надземными и подземными, одноэтажными и многоэтажными, отапливаемыми и неотапливаемыми.
12.4	Специальные склады	Служат для хранения горюче-смазочных материалов (ГСМ), взрывчатых веществ (ВВ), химических материалов и т. п.
12.5	Универсальные склады	Предназначены для хранения различных видов материалов
13	По технологическим операциям:	
13.1	1 класс	Осуществляют только прием и выдачу грузов
13.2	2 класс	Выполняют сортировку мелких отправок (грузосортировочные комплексы)
13.3	3 класс	Комбинированные, осуществляют прием, выдачу грузов и сортировку мелких отправок
14	По технической оснащённости:	
14.1	Немеханизированные	применяется ручной труд при перевозках, складировании и перемещении грузов
14.2	Механизированные	используются средства механизации с ручным управлением на основных операциях перемещения и складирования грузов и отдельные ручные операции
14.3	Высокомеханизированные	используются средства механизации с ручным управлением на операциях складирования и других операциях при полном отсутствии ручных работ
14.4	Автоматизированные	применяются полуавтоматические механизмы с вводом команд оператором
14.5	Автоматические склады	все работы производятся с применением автоматических механизмов, управляемых ЭВМ в реальном времени, причем команды от ЭВМ вводятся также автоматически по каналам связи
15	По функциональному назначению	склады длительного хранения, перевалочные, распределительные, специальные, универсальные
16	По срокам хранения:	
16.1	Временного хранения грузов	срок хранения от 0 до 5 суток
16.2	Краткосрочного хранения	срок хранения от 5 до 20 суток
16.3		
16.4	Со средними сроками хранения	срок хранения от 20 до 40 суток
16.5	Длительного хранения	срок хранения от 40 до 90 суток
16.6	Долгосрочного хранения	срок хранения от 90 суток до 1 года
16.7	многолетнего хранения	срок хранения несколько лет

Продолжение таблицы П.1.1

17	По типу внешних систем, взаимодействующих через склады	производство – склад – транспорт; транспорт – склад – производство; транспорт 1 – склад – транспорт 2; производство 1 – склад – производство 2
18	По оценочной стоимости	склады I, II, III, IV категории
19	По техническим характеристикам и оснащению:	
19.1	Склад класса А+	Высшая категория складов согласно общей классификации. Такие помещения отвечают самым высоким требованиям складского хозяйства.
19.2	Склад класса А	Современное одноэтажное складское здание, построенное с использованием высококачественных материалов. Высота потолка от 10 м, позволяющая установку многоуровневого стеллажного оборудования. Достаточная территория для стоянки и маневрирования большегрузных автопоездов. Расположение на основных магистралях, обеспечивающих хороший подъезд.
19.3	Склад класса В+	Категория В+ объединяет складские помещения, построенные или переоборудованные под выполнение задач хранения различных типов грузов. Сооружения данной категории имеют ряд преимуществ, таких как приемлемая стоимость в сочетании со всеми необходимыми условиями складского хозяйства
19.4	Склад класса В	Капитальное здание одно- или многоэтажное (реконструированные бывшие производственные помещения, с необходимыми коммуникациями и оборудованием). Высота потолков от 4,5 до 8 м. Пол - асфальт или бетон без покрытия. Пожарная сигнализация и гидратная система пожаротушения. Пандус для разгрузки автотранспорта. Офисные помещения при складе. Телефонные линии. Охрана по периметру территории.
19.5	Склад класса С	Капитальное производственное помещение или утепленные ангары. Высота потолков от 3,5 до 18 м. Пол - асфальт или бетонные плиты. Ворота на нулевой отметке, автомашина заходит внутрь помещения.
19.6	Склад класса D	Подвальные помещения или объекты гражданской обороны, неотапливаемые производственные помещения или ангары.
20	Прирельсовые склады	
20.1	общего пользования	Принадлежат предприятиям железной дороги и служат для хранения различных грузов, за исключением скоропортящихся и опасных грузов, сроком до 3 суток
20.2	необщего пользования	Склады, арендуемые у железной дороги, или собственные предприятий и организаций, находящиеся в пределах станций
21	По конструкции прирельсовые склады:	
21.1	Закрытые	Для хранения ценных продовольственных и промышленных товаров, которые необходимо предохранять от влияния температуры окружающей среды или действия атмосферных осадков. Строятся обычно в комплексе с крытой и открытой платформами

Продолжение таблицы П.1.1

21.2	крытые платформы	Для хранения малоценных грузов, требующих защиты от атмосферных осадков, но не боящихся воздействия ветра, влажного воздуха (профильная сталь, газовые трубы, оборудование без упаковки и др.). Строят как продолжение крытых складов на тех же площадках.
21.3	одно- и многопролетные склады ангарного типа	Поверхность асфальтобетонных полов ровная и гладкая, водонепроницаемая, хорошо сопротивляется воздействию химических веществ. Допускаемая нагрузка на пол составляет 35 кН/м <sup>2</sup> . Дверные проемы устраивают раздвижными высотой 3,6 м и шириной 2,5 м. Расстояние между дверями кратно шагу колонны и равно 12 м. Для ввода железнодорожных путей внутрь устраивают ворота размером 4,8×5,7 м.
22	В зависимости от рода груза прирельсовые склады подразделяются:	
22.1	универсальные склады (общие)	Грузы различных наименований, не оказывающие вредного воздействия друг на друга
22.2	Специальные	Для хранения грузов только одного наименования
22.3	крытые платформы	Для хранения малоценных грузов, требующих защиты от атмосферных осадков
22.3	открытые площадки	Предназначенные для хранения, погрузки и выгрузки универсальных контейнеров, тяжеловесных, длиномерных и лесных грузов оборудуют различными устройствами и оснащают подъемно-транспортными машинами (козловые, мостовые, стреловые краны, погрузчики и пр.)
22.4	повышенные пути и эстакады	Для выгрузки сыпучих грузов, перевозимых на открытом подвижном составе.
23	В зависимости от особенностей хранения:	
23.1	Общетоварные	предназначены для хранения различных видов материалов, не требующих создания специальных условий хранения
23.2	Специальные	предназначены для хранения продукции, требующей специальных условий и режима хранения

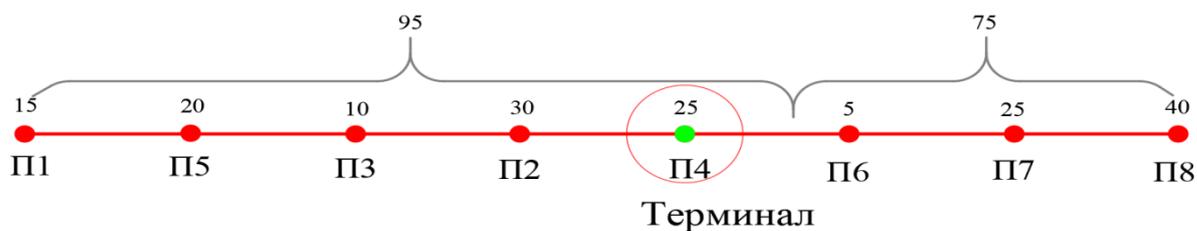


Рисунок П2.1– Определение оптимального места расположения склада на участке обслуживания методом пробной точки

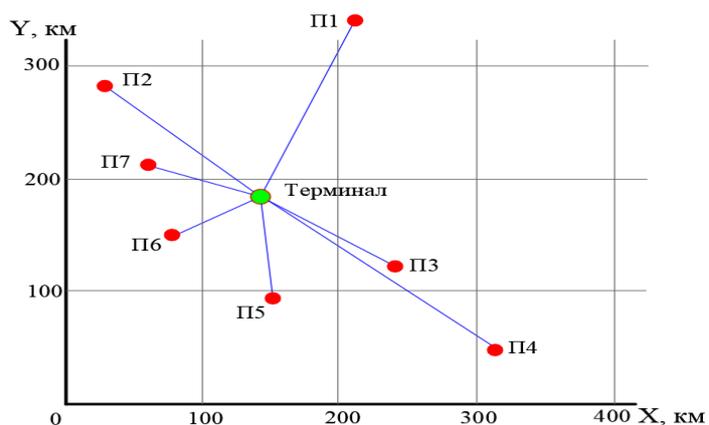


Рисунок П2.2 – Определение местоположения склада методом «Центра тяжести»

Таблица П2.1 – Сравнительная оценка методов определения местоположения склада

Критерий	Метод Гувера	Модель Рейли	Метод Вон Тунена	Метод пробной точки	Метод центра тяжести	Сетевая модель	Модель Вебера
Точность	+	+	-	-	-	-	-
Многофакторность	+	+	-	-	-	-	-
Гибкость	-	-	-	-	+	+	-
Простота реализации	-	-	-	-	+	-	-
Учет конфигурации транспортной инфраструктуры	-	+	-	-	-	-	-
Учет правил складской логистики	+	-	-	-	+	-	-

Таблица П2.2 – Достоинства и недостатки методов определения местоположения склада

Метод	Краткое описание	Достоинства	Недостатки
Метод центра тяжести	Определяет положение склада в точке, минимизирующей транспортные затраты. Использует координаты объектов, тоннаж и тарифы перевозки. Результат указывает примерное место, требующее дальнейшего анализа.	Простота расчетов, учет географического расположения клиентов (объектов)	Не учитывает качественные факторы: мощность транспортной инфраструктуры, рыночные отношения, конкуренцию и др.
Модель Рейли (гравитационный метод)	Определяет центр притяжения грузопотоков, используя дробно-степенную функцию для расчета транспортных потоков на основе расстояний и грузооборота объектов. Метод оценивает устойчивость транспортных связей между логистическими терминалами и складами.	Учет географического расположения клиентов и конфигурацию транспортной инфраструктуры	Не учитывает стоимость аренды, налоги, динамику тарифообразования и т. д. Требуется модификация согласно параметрам решаемой задачи.
Метод пробной точки	Метод пробной точки определяет оптимальное местоположение склада путем сравнения объемов завоза товаров слева и справа от каждой пробной точки на обслуживаемом участке.	Быстрота расчета и оценки эффективности мест расположения склада (предварительно)	Не точные результаты из-за ограниченного объема данных, временных ограничений, не учитывает стоимость строительных затрат
Метод многокритериальных взвешенных оценок	Оценивает потенциальные места размещения склада по нескольким критериям. Используется шкала оценок и веса критериев, определенные экспертным путем. Метод помогает выбрать лучший вариант на основе совокупной взвешенной оценки.	Учет нескольких критериев, таких как стоимость, доступность, конфигурация транспортной инфраструктуры	Требуется большого объема исходных данных и временных затрат на их анализ, сложен в реализации.
Модель Вон Тунена	Анализирует транспортные и внутрискладские затраты. Основана на минимизации расстояний и затрат для определения эффективного размещения склада.	Учитывает экологические и географические факторы	Не учитывает конфигурацию транспортной инфраструктуры, рыночную конъюнктуру
Модель Вебера	Учитывает динамику изменения грузопотока, что позволяет размещать склад либо возле источника сырья, либо возле рынка готовой продукции.	Учет пространственного распределения ресурсов и положение мест спроса	Не учитывает транспортные маршруты, стоимостные показатели складской деятельности

Продолжение таблицы П.2.2

Модель Гувера	Используется для анализа мест размещения терминала, учитывая факторы затрат, спроса и рентабельности.	Учет влияния транспортных расходов на принятие решения о местоположении склада	Ограниченность в применении из-за одностороннего взгляда на транспортно-складскую и логистическую деятельность
Модель Гринхарта	Критерий минимального грузооборота, а также требования по обеспечению экономической и экологической безопасности. Учитывает факторы, направленные на снижение эксплуатационных расходов и повышение рентабельности деятельности склада.	Учет факторов, влияющих на потребность в складских помещениях	Сложность учета технологии и параметров транспортировки, перспектив развития всей складской инфраструктуры
Метод «Виаль»	Позволяет выбрать оптимальное местоположение транспортно-складского центра, минимизируя суммарное расстояние от различных транспортных источников. Величина «виаля» определяется как сумма произведений транспортной массы от источников на расстояние до центра.	Учет эффективности доставки груза на основе анализа различных местоположений складов	Требует значительных вычислительных ресурсов и ограничений на размерность исходных данных
Планарная модель	Представляет собой простой алгоритм для определения оптимальных мест размещения складов. Учитывает отсутствие топографических, административных и социальных ограничений.	Учет факторов геометрии коммуникаций и пространственного распределения грузопотоков	Может быть ограничен в применении из-за необходимости упрощения модели
Модель складирования внешнего и внутреннего размещения	Позволяет моделировать внешнее размещение склада как его географическое расположение. При этом внутреннее размещение оптимизируется с учетом зонной планировки для эффективного распределения запасов внутри склада.	Учет внутренних и внешних факторов, влияющих на размещение склада	Сложность учета в одной модели внутренних и внешних факторов, что выражается в необходимости упрощения модели

Продолжение таблицы П.2.2

Сетевая модель	Определяет место размещения склада на основе его привязки к транспортным путям: автомобильным, железнодорожным, водным и воздушным.	Учитывает параметры инфраструктуры узла и транспортно-складскую сеть, а также конфигурацию транспортных маршрутов	Требует значительных вычислительных ресурсов по обработке больших объемов данных и ограничений на их размерность
Дискретная модель	Учитывает все основные факторы, включая затраты, динамические тарифы и другие влияющие факторы. Требует специализированного программного обеспечения для анализа и оптимизации.	Динамическая модель, способная адаптироваться к изменениям параметров и условий размещения	Менее точные результаты из-за необходимости упрощений модели, дополнительные оптимизационные алгоритмы

**Применение гравитационного метода в расчете расстояний завоза-вывоза грузов и координат расположения терминалов транспортного узлов «К» и «Р» [87, 130]**

Транспортные расходы на доставку товара со складской сети потребителю, меняются от места их расположения на обслуживаемой территории. Поэтому появляется необходимость дополнительных критериев оценки вариантов размещения «складской сети узла» и качества транспортного обслуживания, для которого введем термин – «величина транспортного тяготения».

Для оценки вариантов взаимодействия распределительных логистических терминалов с расположением предлагаемых получателей груза (складской сети)

узла выполним интерпретацию гравитационной модели [7]:  $W_{ij} = \alpha \cdot \frac{q_{ij} \cdot Q_i}{l_{ij}^2}$ , где

$q_{ij}$  – объем складского грузопотока,  $Q_i$  – мощность складской сети узла;  $l_{ij}^2$  – расстояние между получателем (складом) и терминалом;  $\alpha$  – коэффициент, рассчитываемый отношением  $\alpha_j = P_{ij}/P_{\text{общ}}$ , где  $P_{ij}$  – тонно-километровая работа по доставке грузов;  $P_{\text{общ}}$  – общая транспортная работа.

Из зависимости следует, что чем больше величина показателя  $W$ , тем устойчивее транспортные связи между логистическим терминалом и предполагаемым получателем (складом). Рассмотрим на примере схему компоновки производственно-транспортно-складских объектов узлов «К» и «Р» (рис. 1, 3) и графы связей логистических терминалов ( $T_1, T_2$ ) с зарезервированными промышленными зонами узлов (рис. 2, 4).



Рисунок П2.3 – Схема компоновки производственно-транспортно-складских объектов узла «К»

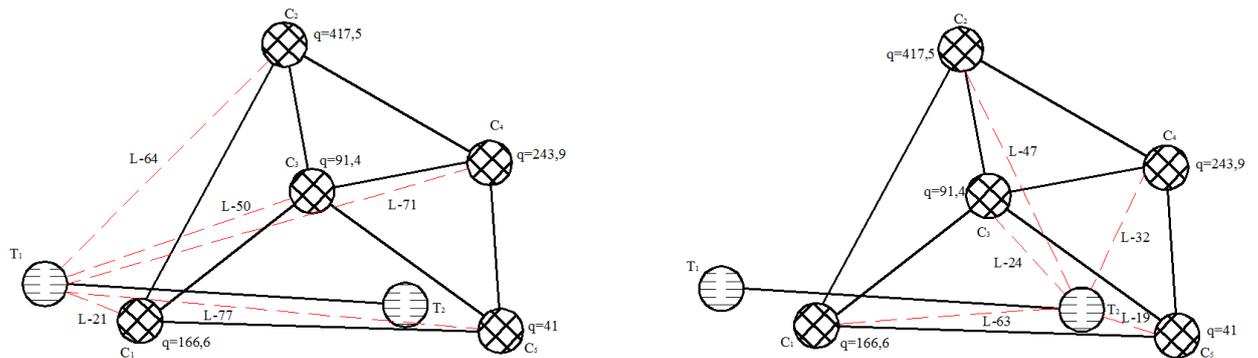


Рисунок П2.4 – Варианты взаимодействия логистических терминалов ( $T_1, T_2$ ) с зарезервированными промышленными зонами узла «К»



Рисунок П2.5 – Схема компоновки производственно-транспортно-складских объектов узла «Р»

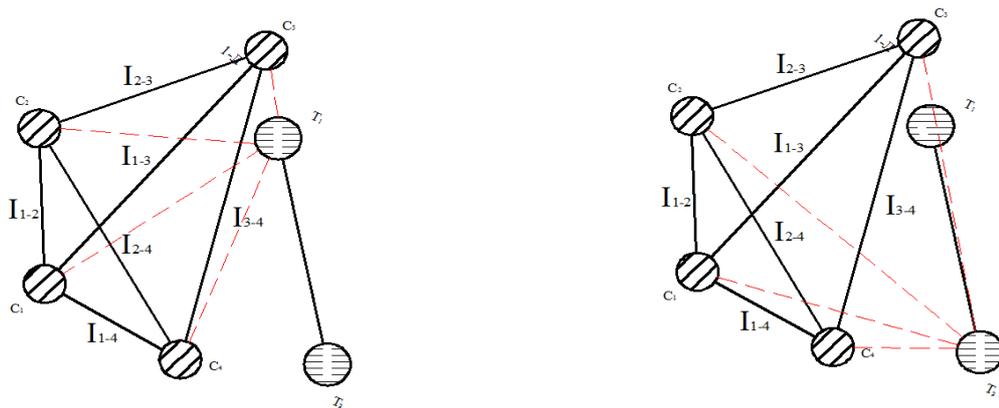


Рисунок П2.6 – Варианты взаимодействия логистических терминалов (Т1, Т2) с зарезервированными промышленными зонами узла «Р»

Составим матрицы расстояний и объемов перевозок для обоих вариантов узла «К» (табл. Т2.2, 2.3).

Таблица П2.3 – Матрица расстояний по вариантам взаимодействия логистических терминалов и складов

$i \backslash j$	C1	C2	C3	C4	C5	$\sum l_{ij}$
T1	21	64	50	71	77	283
T2	63	47	24	32	19	185

Таблица П2.4 – Матрица объемов потребления терминала

$i \backslash j$	C1	C2	C3	C4	C5	$\sum q_i = Q$
T1	166,6	417,5	91,4	243,9	41	960,4
T2	166,6	417,5	91,4	243,9	41	960,4

Тогда, транспортная работа (т-км) для каждого склада будет определяться по формуле  $p_{ij} = q_j \cdot l_{ij}$ , для первого варианта составит:

$$p_{T1-C1} = 166,6 \cdot 21 = 3498,6 \text{ тыс т – км}; p_{T1-C2} = 417,5 \cdot 64 = 26720 \text{ тыс т – км}; p_{T1-C3} = 91,4 \cdot 50 = 4570 \text{ тыс т – км}; p_{T1-C4} = 243,9 \cdot 71 = 17316,9 \text{ тыс т – км}; p_{T1-C5} = 41 \cdot 77 = 3157 \text{ тыс т – км}.$$

Для второго варианта:

$$p_{T2-C1} = 166,6 \cdot 63 = 10495,8 \text{ тыс т – км}; p_{T2-C2} = 417,5 \cdot 47 = 19622,5 \text{ тыс т – км}; p_{T2-C3} = 91,4 \cdot 24 = 2193,6 \text{ тыс т – км}; p_{T2-C4} = 243,9 \cdot 32 = 7804,8 \text{ тыс т – км}; p_{T2-C5} = 41 \cdot 19 = 779 \text{ тыс т – км}.$$

Таблица П2.5 – Матрица общей транспортной работы, тыс т-км

$i \backslash j$	C1	C2	C3	C4	C5	$\sum p_{ij} = P_{общ}$
T1	3498,6	26720	4570	17316,9	3157	55262,5
T2	10495,8	19622,5	2193,6	7804,8	779	40895,7

Далее определяем коэффициенты пропорциональности гравитационной модели. Для первого варианта значения составят:

$$\alpha_{T1-C1} = \frac{3498,6}{55262,5} = 0,0633; \alpha_{T1-C2} = \frac{26720}{55262,5} = 0,4835; \alpha_{T1-C3} = \frac{4570}{55262,5} = 0,0826;$$

$$\alpha_{T1-C4} = \frac{17316,9}{55262,5} = 0,3133; \alpha_{T1-C5} = \frac{3157}{55262,5} = 0,0571;$$

Для второго варианта:

$$\alpha_{T2-C1} = \frac{10495,8}{40895,7} = 0,2566; \alpha_{T2-C2} = \frac{19622,5}{40895,7} = 0,4798; \alpha_{T2-C3} = \frac{2193,6}{40895,7} = 0,0536;$$

$$\alpha_{T2-C4} = \frac{7804,8}{40895,7} = 0,1908; \alpha_{T2-C5} = \frac{779}{40895,7} = 0,0190;$$

Таблица П2.6 – Матрица коэффициентов пропорциональности по вариантам взаимодействия логистических терминалов со складами

$i \backslash j$	C1	C2	C3	C4	C5	$\sum \alpha_{ij}$
T1	0,063308753	0,483510517	0,082696222	0,313357159	0,057127346	1
T2	0,256648009	0,479818171	0,053638891	0,190846470	0,019048457	1

После определения коэффициентов пропорциональности определим значения гравитационных связей и сведем их в табл. П2.6.

Таблица П2.7 – Матрица гравитационных связей узла

$i \backslash j$	C1	C2	C3	C4	C5	$\sum w_{ij}=W$
T1	22,9663653	47,3309434	2,9002697	14,5581989	0,3792195	88,1349969
T2	10,3443379	87,0909762	8,1684687	43,6457906	2,0724421	151,3220158

Составим матрицы расстояний и объемов перевозок для вариантов узла «Р» (табл. П2.7, 2.11).

Таблица П2.8 – Матрица расстояний вариантов взаимодействия логистических терминалов и складов узла «Р»

$i \backslash j$	C1	C2	C3	C4	$\sum l_{ij}$
T1	29	21	13	25	88
T2	34	30	35	24	123

Таблица П2.9 – Матрица объемов потребления грузов узла «Р»

$i \backslash j$	C1	C2	C3	C4	$\sum q_i=Q_i$
T1	526,31	1052,63	451,12	360,9	2390,96
T2	526,31	1052,63	451,12	360,9	2390,96

Транспортная работа (т-км) для каждого склада узла «Р», определяемая по формуле  $p_{ij} = q_j \cdot l_{ij}$ , для первого варианта составит:

$p_{T1-C1} = 526,31 \cdot 29 = 15262,99$  тыс т – км;  $p_{T1-C2} = 1052,63,5 \cdot 21 = 22105,23$  тыс т – км;  $p_{T1-C3} = 451,12 \cdot 13 = 5864,56$  тыс т – км;  $p_{T1-C4} = 360,9 \cdot 25 = 9022,5$  тыс т – км.

Для второго варианта:

$p_{T2-C1} = 526,31 \cdot 34 = 17894,54$  тыс т – км;  $p_{T2-C2} = 1052,63 \cdot 30 = 31578,9$  тыс т – км;  $p_{T2-C3} = 451,12 \cdot 35 = 15789,2$  тыс т – км;  $p_{T2-C4} = 360,9 \cdot 24 = 8661,6$  тыс т – км.

Таблица П2.10 – Матрица общей транспортной работы узла «Р», тыс т-км

$i \backslash j$	C1	C2	C3	C4	$\sum p_{ij}=P_{общ}$
T1	15262,99	22105,23	5864,56	9022,5	52255,28
T2	17894,54	31578,9	15789,2	8661,6	73924,24

Определим коэффициенты пропорциональности в модифицированной гравитационной модели для узла «Р». Для первого варианта значения составят:

$$\alpha_{T1-c1} = \frac{15262,99}{52255,28} = 0,292085; \alpha_{T1-c2} = \frac{22105,23}{52255,28} = 0,423023; \alpha_{T1-c3} = \frac{5864,56}{52255,28} = 0,112229;$$

$$\alpha_{T1-c4} = \frac{9022,5}{52255,28} = 0,172661;$$

Для второго варианта:

$$\alpha_{T2-c1} = \frac{17894,54}{73924,24} = 0,242065; \alpha_{T2-c2} = \frac{31578,9}{73924,24} = 0,427179; \alpha_{T2-c3} = \frac{15789,2}{73924,24} = 0,213586;$$

$$\alpha_{T2-c4} = \frac{8661,6}{73924,24} = 0,111716;$$

Таблица П2.11 – Матрица коэффициентов пропорциональности по вариантам взаимодействия логистических терминалов со складами узла «Р»

$i \backslash j$	C1	C2	C3	C4	$\sum \alpha_{ij}$
T1	0,292085	0,423023	0,112229	0,172661	1
T2	0,242065	0,427179	0,213586	0,111716	1

Таблица П2.12 – Матрица гравитационных связей узла «Р»

$i \backslash j$	C1	C2	C3	C4	$\sum w_{ij} = W$
T1	1496,297	5707,020	6380,609	1380,635	14964,561
T2	1088,569	2796,440	2054,527	4369,437	10308,973

Исходя из результатов расчетов видно, что «величина транспортного тяготения» системных структур различны и составляют для узла «К»: в первом варианте – 88,1349969, а во втором – 151,3220158. Таким образом, развоз грузопотока по данному критерию и схеме «компоновка производственно-транспортно-складских объектов – грузополучатель», будет целесообразным с логистического терминала *T2*. «Величина транспортного тяготения» системных структур для узла «Р»: в первом варианте – 14964,561, а во втором – 10308,973. Таким образом, развоз грузопотока по схеме «компоновка производственно-транспортно-складских объектов – грузополучатель», будет целесообразным с логистического терминала *T1*.

Окончательное решение по определению местоположения распределительного терминала в транспортных узлах необходимо осуществлять с использованием математического аппарата одновременно нескольких экономико-математических методов, что повысит достоверность решения.

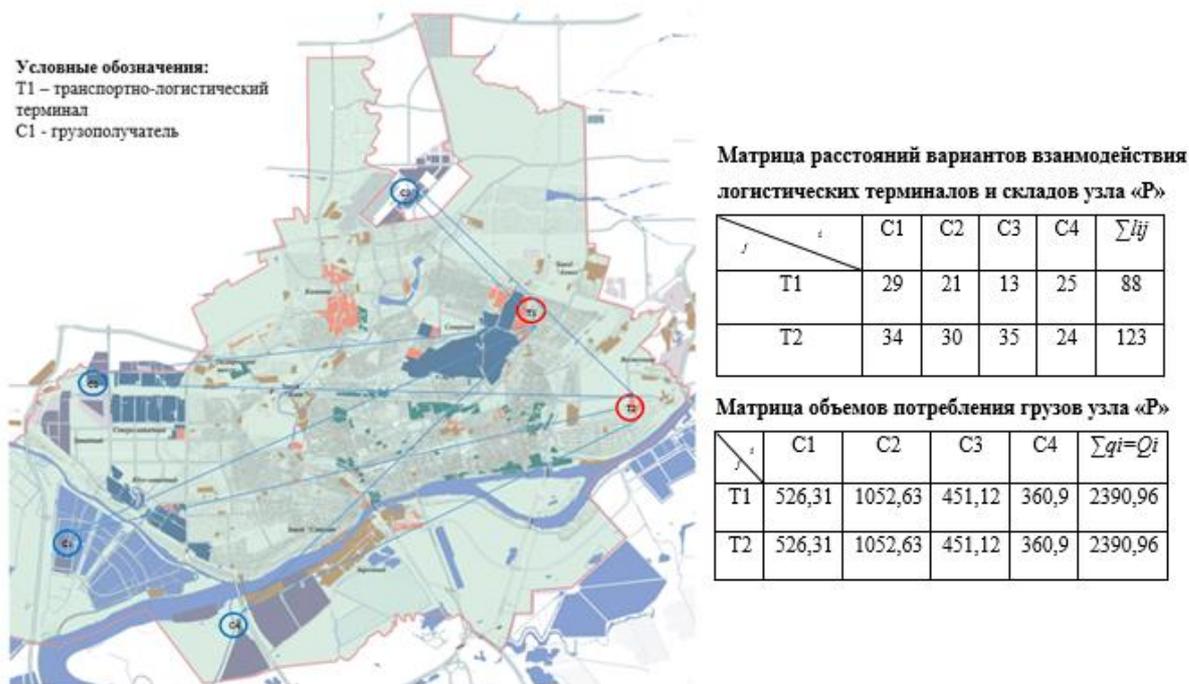


Рисунок П2.7 – Схема транспортного узла «Р»

Таблица П2.13 – Перечень нормативных документов проектирования ТСК

№№ пп	Обозначение документа	Наименование документа
1	СНиП П-89-80*	Генеральные планы промышленных предприятий
2	СНиП 2.04.02-84*	Водоснабжение. Наружные сети и сооружения
3	СНиП 2.04.03-85	Канализация. Наружные сети и сооружения
4	СНиП 42-01-2002	Газораспределительные системы
5	СНиП 2.05.02-85	Автомобильные дороги
6	СНиП 2.05.03-84*	Мосты и трубы
7	СНиП 2.05.06-85*	Магистральные трубопроводы
8	СНиП 2.05.07-91*	Промышленный транспорт
9	СНиП 2.05.13-90	Нефтепродуктопроводы, прокладываемые на территории городов и других населенных пунктов
10	СН 387-78	Инструкция по разработке схем генеральных планов групп предприятий с общими объектами (промышленных узлов)

Таблица П2.14– Показатели генеральных планов терминала

№ п/п	Наименование	Обозначение	Расчетные формулы	Показатели
1	Площадь в пределах ограждения, га	$S_{\text{общ}}$	По варианту плана	–
2	Площадь застройки складскими зданиями и сооружениями, м <sup>2</sup>	$S_{\text{скл}}$	$S_{\text{скл}} = \sum_1^n L_{\text{скл}}^n \cdot B_{\text{скл}}^n$	$L_{\text{скл}}^n$ – длина $n$ -го склада, м; $B_{\text{скл}}^n$ – ширина $n$ -го склада, м
3	Площадь застройки производственно-техническими зданиями и сооружениями, м <sup>2</sup>	$S_{\text{техн}}$	$S_{\text{техн}} = \sum_1^n L_{\text{техн}}^n \cdot B_{\text{техн}}^n$	$L_{\text{техн}}^n$ – длина $n$ -го здания, м; $B_{\text{техн}}^n$ – ширина $n$ -го здания, м
4	Площадь асфальтированных автопроездов, м <sup>2</sup>	$S_{\text{авт}}$	$S_{\text{авт}} = \sum_1^n L_{\text{авт}}^n \cdot B_{\text{авт}}^n$	$L_{\text{авт}}^n$ – длина автопроезда, м; $B_{\text{авт}}^n$ – ширина автопроезда, м
5	Протяженность (площадь) железнодорожных путей (устройств), м	$\Sigma L_{\text{жд}} (S_{\text{жд}})$	-	–
6	Общая площадь застройки, м <sup>2</sup>	$S_3$	$S_3 = S_{\text{скл}} + S_{\text{техн}} + S_{\text{авт}} + \Sigma L_{\text{жд}} \cdot B_{\text{жд}}$	$B_{\text{жд}}$ – ширина полосы отвода ж.-д. пути, м
7	Протяженность ограждения (забора), км	$\Sigma L_{\text{огр}}$	По генплану	–
8	Коэффициент застройки	$k_3$	$k_3 = \frac{S_{\text{скл}}}{S_{\text{общ}}}$	Новый показатель
9	Коэффициент использования территории	$k_{\text{тер}}$	$k_{\text{тер}} = \frac{S_3}{S_{\text{общ}}}$	Новый показатель
10	Капитальные вложения на 1 т грузооборота, руб./т	$K_{1т}$	$K_{1т} = \frac{\Sigma K}{Q_{\text{год}}}$	$\Sigma K_{\text{тек}}$ – капитальные вложения в объект, тыс. руб.; $Q_{\text{год}} = Q_{\text{пр+}} + Q_{\text{отпр}}$ , тыс. т
11	Себестоимость переработки 1 т груза, руб./т	$e_{1т}$	$e_{1т} = \frac{\Sigma \mathcal{E}}{Q_{\text{год}}}$	$\Sigma \mathcal{E}_{\text{тек}}$ – эксплуатационные расходы по объекту, тыс. руб.
12	Приведенные затраты на 1 т грузооборота, руб./т	$\pi_{1т}$	$\pi_{1т} = \frac{\Sigma K \cdot E_n + \Sigma \mathcal{E}}{Q_{\text{год}}}$	$E_n$ – коэффициент приведения капитальных вложений к текущим затратам (0,10 – 0,125)
13	Снижение расходов на транспортировку грузов, тыс руб.	$\Delta \mathcal{E}$	$\Delta \mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{сущ}} - \mathcal{E}_{\text{пр}}$	$\mathcal{E}_{\text{сущ}}$ , $\mathcal{E}_{\text{пр}}$ – расходы на транспортировку грузов при существующем и проектном положении, тыс. руб.

Таблица П2.15 – Показатели эффективности функционирования склада

№ п/п	Наименование показателя	Содержание показателя
1	Грузооборот склада (т)	$\Gamma_0/C_{cp}$ , где $\Gamma_0$ – товарооборот за период, руб., $C_{cp}$ – средняя стоимость 1 т груза, руб./т
2	Себестоимость складской переработки (руб./т груза)	$C = P_э/\Gamma$ , где $P_э$ – сумма эксплуатационных расходов за год, руб., $\Gamma$ – грузооборот, т
3	Коэффициент использования складской площади	$\alpha = \frac{S_{п}}{S_{общ}}$ , где $S_{п}$ – полезная площадь склада м <sup>2</sup> , $S_{общ}$ – общая площадь склада м <sup>2</sup>
4	Оборот склада	$\Pi_0 = \frac{E}{t_{cp}^{xp}}$ , где $E$ – емкость стеллажа, $t_{cp}^{xp}$ – среднее время хранения грузов на складе – $t_{cp}^{xp} = \frac{t_d}{Q}$ ;
5	Пропускная способность склада	$\Pi_{скл} = \frac{E\Gamma}{t_{cp}} = E\Pi_0$ , где $E$ – емкость склада $E = S\delta\alpha$ , где $\delta$ – нагрузка на 1 м <sup>2</sup> , т/м <sup>2</sup> , $S$ – общая площадь склада, м <sup>2</sup> , $\alpha$ – коэффициент использования общей площади склада
6	Уровень механизации складских работ	$У = \frac{P_m}{P_{общ}}$ , где $P_m$ – количество механизированных процессов, $P_{общ}$ – общее количество технологических процессов
7	Оборачиваемость склада	$\Pi_0 = \frac{Q}{TQ_{общ}}$ , где $Q$ – количество продукции, отгруженной за период времени $T$ , $Q_{общ}$ – общее количество продукции, которое можно разместить на складе

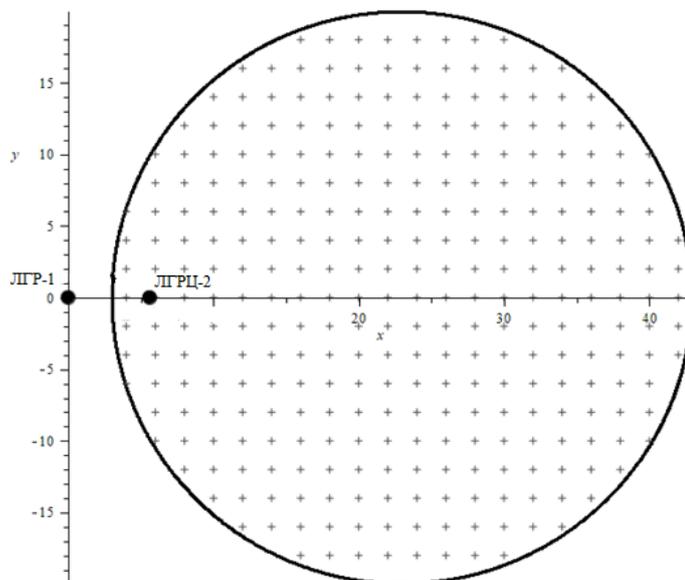


Рисунок ПЗ.1 – Разделение окружностью плоскости узла на зоны обслуживания при двух ЛГРЦ

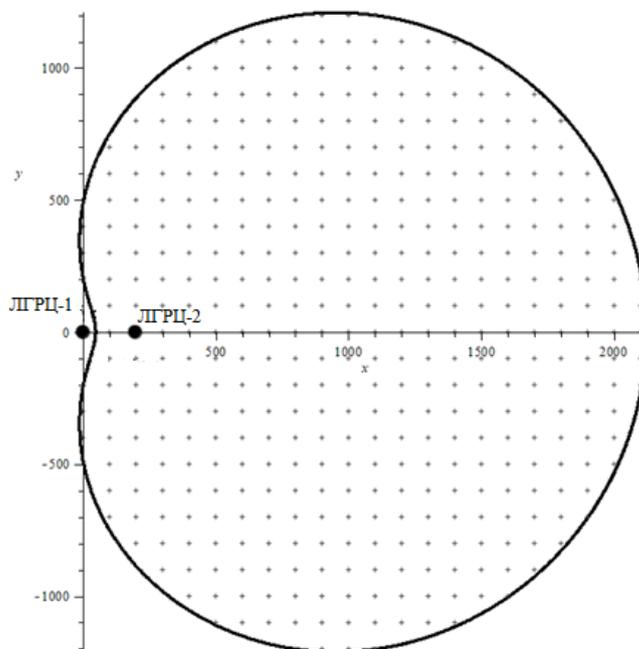


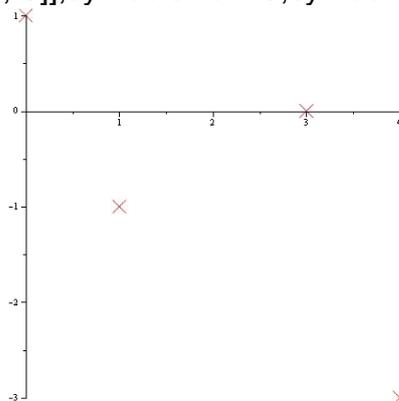
Рисунок ПЗ.2 – Овал Декарта, разграничивающий «зоны обслуживания» при двух ЛГРЦ

$(L = 196,79, p_1 = 18,11, p_2 = 14,95, q_1 = q_2 = 0,02, k_1 = 1,25, k_2 = 1,46)$

**4.1 Листинги библиотек программного комплекса определения зон обслуживания ЛГРЦ по вариантам размещения в узле и видам транспортного обслуживания**

**4.1.1 Листинг библиотеки *Maple* предварительного математического расчета координатной сетки узла, построения кривых и формирования зон обслуживания ЛГРЦ «Г»(1), ЛГРЦ «С»(2), ЛГРЦ «Ю»(3)**

```
> p1:=9000: p2:=14600: p3:=17700:
q1:=1000: q2:=1000: q3:=1000:
a1:=-4.2: b1:=-5.8:
a2:=1.3: b2:=-4.7:
a3:=6: b3:=1.1:
> c1:=-5.3: d1:=0.7:
c2:=5.1: d2:=0.35:
> s1:=0.3: t1:=1.0:
a:=8: b:=3:
>
> restart;
> p1:=10500:
p2:=14600:
p3:=17700:
q1:=1000: q2:=1000: q3:=1000:
a1:=-4.2: b1:=-5.8:
a2:=1.3: b2:=-4.7:
a3:=6: b3:=1.1:
> c1:=-5.3:
d1:=0.7:
c2:=5.1: d2:=0.35:
> s1:=0.3:
a:=8: t1:=1.0: b:=3:
> pointplot([[0,1],[1,-1],[3,0],[4,-3]],symbolsize=25,symbol=diagonalcross, color=brown);
```

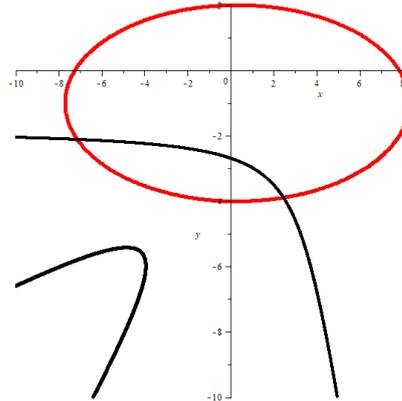


```
> Curves_2:=implicitplot([17000+1000*sqrt((x-a1)^2+(y-b1)^2)=9800+1000*sqrt((x-
a2)^2+(y-b2)^2), 17000+1000*sqrt((x-a1)^2+(y-b1)^2)=5100+1000*sqrt((x-a3)^2+(y-
b3)^2), 9800+1000*sqrt((x-a2)^2+(y-b2)^2)=5100+1000*sqrt((x-a3)^2+(y-b3)^2)], x=-
10..10,y=-10..10, thickness=[7,6,5],color=[black,black,black], numpoints=19000000):
>
```

```

> Curves_21:=implicitplot([17000+1000*sqrt((x-a1)^2+(y-b1)^2)=9800+1000*sqrt((x-
a2)^2+(y-b2)^2)], x=-10..10,y=-10..10, thickness=[6],color=[black],
numpoints=19000000):
> Curves_22:=implicitplot([ 17000+1000*sqrt((x-a1)^2+(y-b1)^2)=5100+1000*sqrt((x-
a3)^2+(y-b3)^2)], x=-10..10,y=-10..10, thickness=[5],color=[black],
numpoints=19000000):
> Curves_23:=implicitplot([9800+1000*sqrt((x-a2)^2+(y-b2)^2)=5100+1000*sqrt((x-
a3)^2+(y-b3)^2)], x=-10..10,y=-10..10, thickness=[4],color=[black],
numpoints=19000000):
> Ellips:=implicitplot((x-s1)^2/a^2+(y+t1)^2/b^2=1,x=-10..10,y=-10..10, colour=red, thick-
ness=5, numpoints=100000):
> print(display( Ellips,Curves_21,Curves_22,Curves_23)):

```



```

> GPZ2:={}:
for i from -100 to 100 by 2 do
for j from -100 to 100 by 2 do
if evalf(17000+1000*sqrt((i/10-a1)^2+(j/10-b1)^2)<=9800+1000*sqrt((i/10-a2)^2+(j/10-
b2)^2)) and evalf(17000+1000*sqrt((i/10-a1)^2+(j/10-
b1)^2))<=evalf(5100+1000*sqrt((i/10-a3)^2+(j/10-b3)^2)) then GPZ2:=`un-
ion`(GPZ2,{[i/10,j/10]}): fi: od: od: GPZ2:
GPZpoints2:=pointplot(GPZ2,axes=boxed,symbolsize=8,sym-
bol=point,color=red):#COLOR(128, 128, 128)

```

```

SKLP2:={}:
for i from -100 to 100 by 2 do
for j from -100 to 100 by 2 do
if evalf(9800+1000*sqrt((i/10-a2)^2+(j/10-b2)^2))<=evalf(17000+1000*sqrt((i/10-
a1)^2+(j/10-b1)^2)) and evalf(9800+1000*sqrt((i/10-a2)^2+(j/10-
b2)^2))<=evalf(5100+1000*sqrt((i/10-a3)^2+(j/10-b3)^2)) then SKLP2:=`un-
ion`(SKLP2,{[i/10,j/10]}): fi: od: od:
SKLPpoints2:=pointplot(SKLP2,axes=boxed,symbolsize=6,symbol=point,
color="Aqua"):#COLOR(240, 240, 0)

```

```

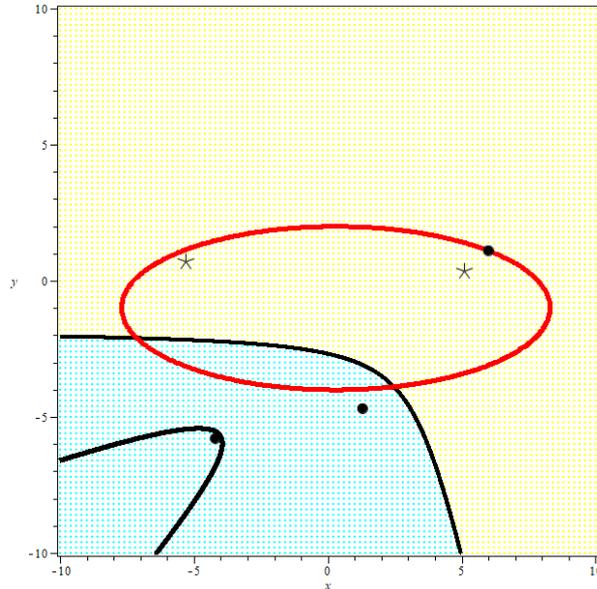
ULkom2:={}:
for i from -100 to 100 by 2 do
for j from -100 to 100 by 2 do
if evalf(5100+1000*sqrt((i/10-a3)^2+(j/10-b3)^2))<=evalf(17000+1000*sqrt((i/10-
a1)^2+(j/10-b1)^2)) and evalf(5100+1000*sqrt((i/10-a3)^2+(j/10-
b3)^2))<=evalf(9800+1000*sqrt((i/10-a2)^2+(j/10-b2)^2)) then ULkom2:=`un-
ion`(ULkom2,{[i/10,j/10]}): fi: od: od: ULkom2:
ULkompoints2:=pointplot(ULkom2,axes=boxed,symbolsize=8,symbol=point, color=yel-
low):#COLOR(128, 128, 128)

```

```

> Ports1:=pointplot([[c1,d1],[c2,d2]],axes=boxed,symbolsize=21,symbol=asterisk):
Stations1:=pointplot([[a1,b1],[a2,b2],[a3,b3]],axes=boxed,symbolsize=14,sym-
bol=solidcircle):
print(display(GPZpoints2,SKLPpoints2, ULkompoints2, Curves_21, Curves_22,
Curves_23, Ellips,Stations1,Ports1 )):

```



```

> p1:=10500: p2:=14600: p3:=17700:
Ports1:=pointplot([[c1,d1],[c2,d2]],axes=boxed,symbolsize=21,symbol=asterisk):
Stations1:=pointplot([[a1,b1],[a2,b2],[a3,b3]],axes=boxed,symbolsize=14,sym-
bol=solidcircle):
Curves_1:=implicitplot([p1+q1*sqrt((x-a1)^2+(y-b1)^2)=p2+q2*sqrt((x-a2)^2+(y-b2)^2),
p1+q1*sqrt((x-a1)^2+(y-b1)^2)=p3+q3*sqrt((x-a3)^2+(y-b3)^2), p2+q2*sqrt((x-a2)^2+(y-
b2)^2)=p3+q3*sqrt((x-a3)^2+(y-b3)^2)], x=-10..10,y=-10..10, thick-
ness=[3,2,1],color=[black,black,black], numpoints=19000000):
#print(display(Stations1, Ports1, Curves_1, Ellips));

```

```

GPZ:={}:
for i from -100 to 100 by 5 do
for j from -100 to 100 by 5 do
if evalf(p1+q1*sqrt((i/10-a1)^2+(j/10-b1)^2))<=evalf(p2+q2*sqrt((i/10-a2)^2+(j/10-b2)^2))
and evalf(p1+q1*sqrt((i/10-a1)^2+(j/10-b1)^2))<=evalf(p3+q3*sqrt((i/10-a3)^2+(j/10-
b3)^2)) then GPZ:=`union`(GPZ,{{i/10,j/10}}): fi: od: od: GPZ:
GPZpoints:=pointplot(GPZ,axes=boxed,symbolsize=7,symbol=diagonalcross,
color=red):#COLOR(128, 128, 128)

```

```

SKLP:={}:
for i from -100 to 100 by 5 do
for j from -100 to 100 by 5 do
if evalf(p2+q2*sqrt((i/10-a2)^2+(j/10-b2)^2))<=evalf(p1+q1*sqrt((i/10-a1)^2+(j/10-b1)^2))
and evalf(p2+q2*sqrt((i/10-a2)^2+(j/10-b2)^2))<=evalf(p3+q3*sqrt((i/10-a3)^2+(j/10-
b3)^2)) then SKLP:=`union`(SKLP,{{i/10,j/10}}): fi: od: od: SKLPpoints:=point-
plot(SKLP,axes=boxed,symbolsize=7,symbol=diagonalcross,
color=black):#COLOR(128, 128, 128)

```

```

ULkom:={}:
for i from -100 to 100 by 5 do

```

```

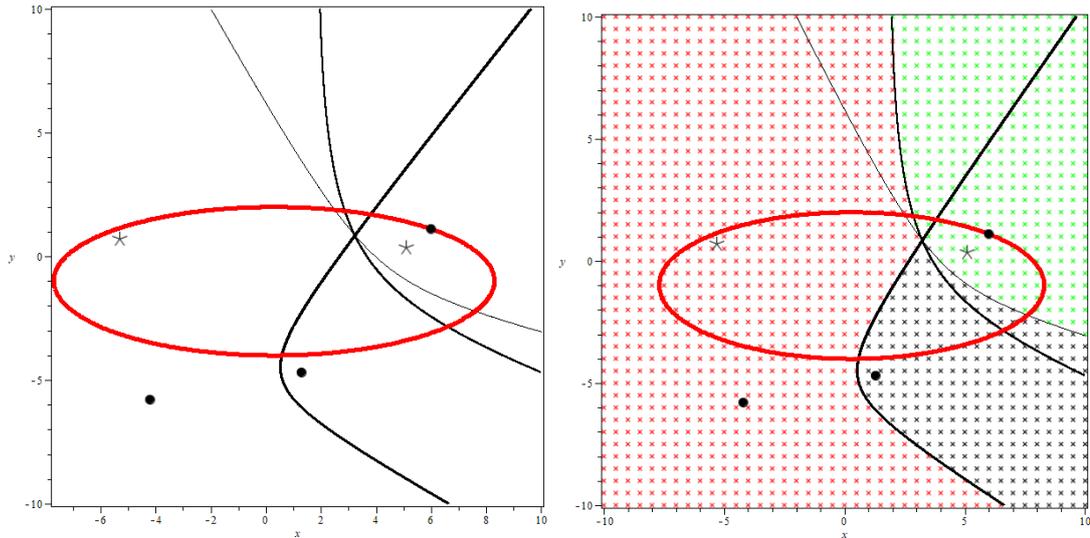
for j from -100 to 100 by 5 do
if evalf(p3+q3*sqrt((i/10-a3)^2+(j/10-b3)^2))<=evalf(p1+q1*sqrt((i/10-a1)^2+(j/10-b1)^2))
and evalf(p3+q3*sqrt((i/10-a3)^2+(j/10-b3)^2))<=evalf(p2+q2*sqrt((i/10-a2)^2+(j/10-
b2)^2)) then ULkom:=`union`(ULkom,{[i/10,j/10]}): fi: od: od: ULkom:
ULkompoints:=pointplot(ULkom,axes=boxed,symbolsize=7,symbol=diagonalcross,
color=green):#COLOR(RGB, 128, 128, 128)

```

```

> print(display(Curves_1, Ellips, Stations1, Ports1));
print(display( GPZpoints,SKLPpoints,ULkompoints, Curves_1, Ellips,Sta-
tions1,Ports1)):
print(p1):

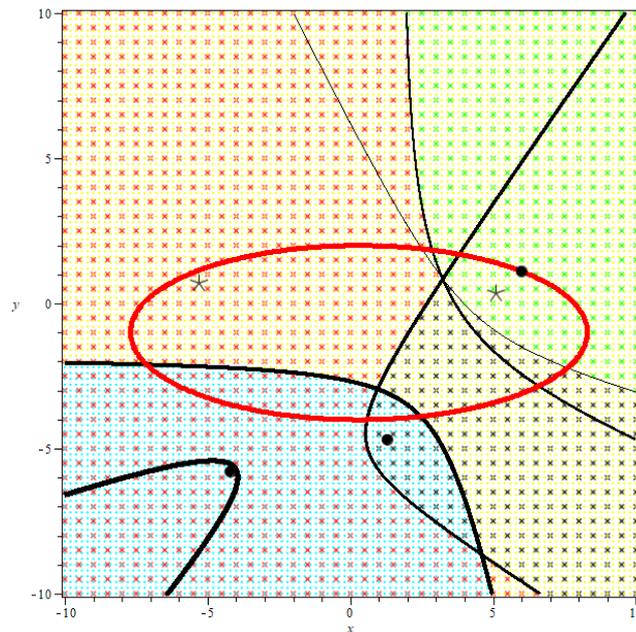
```



```

print(display( GPZpoints,SKLPpoints,ULkompoints, GPZpoints2,SKLPpoints2,
ULkompoints2, Curves_1,Curves_21, Curves_22, Curves_23,Ellips, Stations1, Ports1
));

```



#### 4.1.2 Листинг библиотеки итеративного расчета площадей зон обслуживания ЛГРЦ согласно вариантам перемещения в системе *Maxima* с графическими приложениями *Python*

```
from pprint import pprint
import ctypes
import json
import sys

import numpy as np
from PyQt5 import QtWidgets
import matplotlib.pyplot as plot
from PyQt5.QtWidgets import QDialog, QApplication, QPushButton, QVBoxLayout, QLineEdit,
QDialogButtonBox, QLabel
from matplotlib.backends.backend_qt5agg import FigureCanvasQTAgg as FigureCanvas
from matplotlib.backends.backend_qt5agg import NavigationToolbar2QT as NavigationToolbar

from PyQt5.QtCore import QTimer, pyqtSignal, QThread, Qt
from PyQt5.QtWidgets import QMessageBox, QFileDialog
from PyQt5.QtGui import QFont
from PyQt5 import QtWidgets, QtGui, QtCore

# from Preloader import Preloader
from ui.u_main import Ui_main

from ui.settings import Ui_settings
import app_resource

myappid = 'mycompany.myproduct.subproduct.version'
ctypes.windll.shell32.SetCurrentProcessExplicitAppUserModelID(myappid)

DATA_FILE = "data_file.json"

class PointInputDialog(QDialog):
    def __init__(self, parent=None, x=None, y=None):
        super().__init__(parent)

        self.setWindowTitle("Добавить/Редактировать точку")

        self.layout = QVBoxLayout()

        # Поля для ввода X и Y
        self.x_input = QLineEdit(self)
        self.y_input = QLineEdit(self)

        # Если переданы значения, заполняем поля для редактирования
        if x is not None and y is not None:
            self.x_input.setText(str(x))
            self.y_input.setText(str(y))

        self.layout.addWidget(QLabel("Координата X:"))
        self.layout.addWidget(self.x_input)
        self.layout.addWidget(QLabel("Координата Y:"))
        self.layout.addWidget(self.y_input)

        # Кнопки OK и Cancel
        self.buttons = QDialogButtonBox(QDialogButtonBox.Ok | QDialogButtonBox.Cancel, self)
        self.buttons.accepted.connect(self.accept)
        self.buttons.rejected.connect(self.reject)
```

```

self.layout.addWidget(self.buttons)

self.setLayout(self.layout)

def get_coordinates(self):
    try:
        x = float(self.x_input.text())
        y = float(self.y_input.text())
        return x, y
    except ValueError:
        QMessageBox.warning(self, "Ошибка", "Введите числовые значения для X и Y!")
        return None, None

class Settings_Win(QtWidgets.QDialog, Ui_settings):
    def __init__(self, data):
        super().__init__()
        self.setupUi(self)
        self.setWindowIcon(QtGui.QIcon(":/settings.png"))
        self.data = data

        self._set_events()
        self._load_data()

    def _set_events(self):
        self.spin_sklad.valueChanged.connect(self._change_spin_value)
        self.spin_station.valueChanged.connect(self._change_spin_value)

        self.name_sklad_1.textChanged.connect(self._change_input_values)
        self.name_sklad_2.textChanged.connect(self._change_input_values)
        self.name_sklad_3.textChanged.connect(self._change_input_values)
        self.name_sklad_4.textChanged.connect(self._change_input_values)
        self.name_stancia_1.textChanged.connect(self._change_input_values)
        self.name_stancia_2.textChanged.connect(self._change_input_values)
        self.name_stancia_3.textChanged.connect(self._change_input_values)

        self.cb_koef_sk_1.clicked.connect(self._cb_koef_event)
        self.cb_koef_sk_2.clicked.connect(self._cb_koef_event)
        self.cb_koef_sk_3.clicked.connect(self._cb_koef_event)
        self.cb_koef_sk_4.clicked.connect(self._cb_koef_event)

        self.in_koef_sk_1.textChanged.connect(self._change_input_values)
        self.in_koef_sk_2.textChanged.connect(self._change_input_values)
        self.in_koef_sk_3.textChanged.connect(self._change_input_values)
        self.in_koef_sk_4.textChanged.connect(self._change_input_values)

    def _set_cb_koef_state(self):
        """Установка состояния cb_koef_ в зависимости от значения в data"""
        if self.data.get("cb_koef_sk_1"):
            self.cb_koef_sk_1.setChecked(True)
        else:
            self.cb_koef_sk_1.setChecked(False)

        if self.data.get("cb_koef_sk_2"):
            self.cb_koef_sk_2.setChecked(True)
        else:
            self.cb_koef_sk_2.setChecked(False)

        if self.data.get("cb_koef_sk_3"):
            self.cb_koef_sk_3.setChecked(True)
        else:

```

```

        self.cb_koef_sk_3.setChecked(False)

    if self.data.get("cb_koef_sk_4"):
        self.cb_koef_sk_4.setChecked(True)
    else:
        self.cb_koef_sk_4.setChecked(False)

def _set_in_koef_state(self):
    print('....._set_in_koef_state')
    """"Установка состояния in_koef_sk_ в зависимости от чек бокса""""
    if self.cb_koef_sk_1.isChecked():
        self.in_koef_sk_1.setEnabled(True)
    else:
        self.in_koef_sk_1.setDisabled(True)

    if self.cb_koef_sk_2.isChecked():
        self.in_koef_sk_2.setEnabled(True)
    else:
        self.in_koef_sk_2.setDisabled(True)

    if self.cb_koef_sk_3.isChecked():
        self.in_koef_sk_3.setEnabled(True)
    else:
        self.in_koef_sk_3.setDisabled(True)

    if self.cb_koef_sk_4.isChecked():
        self.in_koef_sk_4.setEnabled(True)
    else:
        self.in_koef_sk_4.setDisabled(True)

def _cb_koef_event(self):
    """"В зависимости от состояния чекбокса включает\выключает поле коэффициент""""
    names = [self.in_koef_sk_1, self.in_koef_sk_2, self.in_koef_sk_3, self.in_koef_sk_4]
    source: QtWidgets.QCheckBox = self.sender()

    source_num = int(source.objectName()[-1])
    name_obj = names[source_num - 1]
    print(f".....{source.objectName()} .....")
    if source.isChecked():
        self.data[source.objectName()] = True
        name_obj.setEnabled(True)
    else:
        self.data[source.objectName()] = False
        name_obj.setDisabled(True)

def _load_data(self):
    if not self.data.get("spin_sklad"):
        self.data['spin_sklad'] = 2
        self.name_sklad_1.setEnabled(True)
        self.name_sklad_2.setEnabled(True)
        self.name_sklad_3.setEnabled(False)
        self.name_sklad_4.setEnabled(False)

        self.label_sk_1.setEnabled(True)
        self.label_sk_2.setEnabled(True)
        self.label_sk_3.setEnabled(False)
        self.label_sk_4.setEnabled(False)

        self.cb_koef_sk_1.setEnabled(True)
        self.cb_koef_sk_2.setEnabled(True)

```

```

self.cb_koef_sk_3.setEnabled(False)
self.cb_koef_sk_4.setEnabled(False)

self.in_koef_sk_1.setEnabled(False)
self.in_koef_sk_2.setEnabled(False)
self.in_koef_sk_3.setEnabled(False)
self.in_koef_sk_4.setEnabled(False)

if not self.data.get("spin_station"):
    self.data['spin_station'] = 1
    self.name_stancia_1.setEnabled(True)
    self.name_stancia_2.setEnabled(False)
    self.name_stancia_3.setEnabled(False)

    self.label_st_1.setEnabled(True)
    self.label_st_2.setEnabled(False)
    self.label_st_3.setEnabled(False)

self.spin_sklad.setValue(int(self.data.get("spin_sklad", 2)))
self.spin_station.setValue(int(self.data.get("spin_station", 1)))

self.name_sklad_1.setText(self.data.get("name_sklad_1"))
self.name_sklad_2.setText(self.data.get("name_sklad_2"))
self.name_sklad_3.setText(self.data.get("name_sklad_3"))
self.name_sklad_4.setText(self.data.get("name_sklad_4"))

self.name_stancia_1.setText(self.data.get("name_stancia_1"))
self.name_stancia_2.setText(self.data.get("name_stancia_2"))
self.name_stancia_3.setText(self.data.get("name_stancia_3"))

self.in_koef_sk_1.setText(self.data.get("in_koef_sk_1", "0"))
self.in_koef_sk_2.setText(self.data.get("in_koef_sk_2", "0"))
self.in_koef_sk_3.setText(self.data.get("in_koef_sk_3", "0"))
self.in_koef_sk_4.setText(self.data.get("in_koef_sk_4", "0"))

self._set_sklad(self.data.get("spin_sklad"))
self._set_station(self.data.get("spin_station"))

self._set_cb_koef_state()
self._set_in_koef_state()

def _set_sklad(self, count_sklad):
    names_sklads = [self.name_sklad_1, self.name_sklad_2, self.name_sklad_3,
self.name_sklad_4]
    labels_sk = [self.label_sk_1, self.label_sk_2, self.label_sk_3, self.label_sk_4]
    cb_koefs = [self.cb_koef_sk_1, self.cb_koef_sk_2, self.cb_koef_sk_3, self.cb_koef_sk_4]
    list_in_koef = [self.in_koef_sk_1, self.in_koef_sk_2, self.in_koef_sk_3, self.in_koef_sk_4]
    for ii in range(0, len(names_sklads)):
        names_sklads[ii].setEnabled(False)
        labels_sk[ii].setEnabled(False)
        cb_koefs[ii].setEnabled(False)
        list_in_koef[ii].setEnabled(False)

match count_sklad:
    case 1:
        self.label_sk_1.setEnabled(True)
        self.name_sklad_1.setEnabled(True)
        self.cb_koef_sk_1.setEnabled(True)
    case 2:
        self.label_sk_1.setEnabled(True)

```

```

self.label_sk_2.setEnabled(True)
self.name_sklad_1.setEnabled(True)
self.name_sklad_2.setEnabled(True)
self.cb_koef_sk_1.setEnabled(True)
self.cb_koef_sk_2.setEnabled(True)
case 3:
self.label_sk_1.setEnabled(True)
self.label_sk_2.setEnabled(True)
self.name_sklad_1.setEnabled(True)
self.name_sklad_2.setEnabled(True)
self.name_sklad_3.setEnabled(True)
self.label_sk_3.setEnabled(True)

self.cb_koef_sk_1.setEnabled(True)
self.cb_koef_sk_2.setEnabled(True)
self.cb_koef_sk_3.setEnabled(True)
case 4:
self.label_sk_1.setEnabled(True)
self.label_sk_2.setEnabled(True)
self.name_sklad_1.setEnabled(True)
self.name_sklad_2.setEnabled(True)
self.name_sklad_3.setEnabled(True)
self.label_sk_3.setEnabled(True)
self.name_sklad_4.setEnabled(True)
self.label_sk_4.setEnabled(True)

self.cb_koef_sk_1.setEnabled(True)
self.cb_koef_sk_2.setEnabled(True)
self.cb_koef_sk_3.setEnabled(True)
self.cb_koef_sk_4.setEnabled(True)

def _set_station(self, count_station):
self.name_stancia_1.setEnabled(False)
self.name_stancia_2.setEnabled(False)
self.name_stancia_3.setEnabled(False)

self.label_st_1.setEnabled(False)
self.label_st_2.setEnabled(False)
self.label_st_3.setEnabled(False)

match count_station:
case 1:
self.label_st_1.setEnabled(True)
self.name_stancia_1.setEnabled(True)
case 2:
self.label_st_1.setEnabled(True)
self.name_stancia_1.setEnabled(True)
self.label_st_2.setEnabled(True)
self.name_stancia_2.setEnabled(True)
case 3:
self.label_st_1.setEnabled(True)
self.name_stancia_1.setEnabled(True)
self.label_st_2.setEnabled(True)
self.name_stancia_2.setEnabled(True)
self.label_st_3.setEnabled(True)
self.name_stancia_3.setEnabled(True)
case 4:
self.label_st_1.setEnabled(True)
self.name_stancia_1.setEnabled(True)
self.label_st_2.setEnabled(True)

```

```

        self.name_stancia_2.setEnabled(True)
        self.label_st_3.setEnabled(True)
        self.name_stancia_3.setEnabled(True)
        self.label_st_4.setEnabled(True)
        self.name_stancia_4.setEnabled(True)
        self.cb_koef_sk_1.setEnabled(True)
        self.cb_koef_sk_2.setEnabled(True)
        self.cb_koef_sk_3.setEnabled(True)
        self.cb_koef_sk_4.setEnabled(True)

def _change_spin_value(self):
    source: QtWidgets.QSpinBox = self.sender()
    value = int(source.text())
    self.data[source.objectName()] = value
    count = value

    if source.objectName() == 'spin_station':
        self._set_station(count)

    if source.objectName() == 'spin_sklad':
        self._set_sklad(count)

        if value == 3:
            self.cb_koef_sk_4.setChecked(False)
            self.data["cb_koef_sk_4"] = False

        if value == 2:
            self.cb_koef_sk_3.setChecked(False)
            self.data["cb_koef_sk_3"] = False

        self._set_cb_koef_state()
        self._set_in_koef_state()

def _change_input_values(self):
    source: QtWidgets.QLineEdit = self.sender()
    value = source.text()
    self.data[source.objectName()] = value

def closeEvent(self, event):
    # lb_obj = [self.label_sk_1, self.label_sk_2, self.label_sk_3, self.label_sk_4,
    #          self.label_st_1, self.label_st_2, self.label_st_3]
    in_obj = [self.name_sklad_1, self.name_sklad_2, self.name_sklad_3, self.name_sklad_4,
             self.name_stancia_1, self.name_stancia_2, self.name_stancia_3]
    msg = "Заполните название, либо отключите элементы:\n"
    error = ""

    for item in in_obj:
        if item.isEnabled() and item.text() == "":
            error += item.placeholderText() + '\n'
    if error:
        reply = QtWidgets.QMessageBox.information(self, 'Упс, есть проблема', msg + error,
        QMessageBox.Ok)

        if reply == QtWidgets.QMessageBox.Yes:
            # тут делайте что вам надо перед закрытием диалога
            event.accept()
        else:
            event.ignore()

class Main(QtWidgets.QMainWindow, Ui_main):

```

```

"""Main form"""

def __init__(self):
    super().__init__()
    self.setupUi(self)
    self.setWindowIcon(QtGui.QIcon(":/logo.png"))

    self._s1, self._t1 = 0.3, 1.0
    self._a, self._b = 8, 4

    self._win_settings = None # Окно настроек
    self._draw_pressed = None # Отображает какой выбран график
    self._event_registration() # Подключение обработчиков событий на форме
    self._data = {}

    self.figure = plot.figure()
    self.canvas = FigureCanvas(self.figure)

    self._load_data()
    # self._set_plots_list()
    self._select_stations_list()
    self._init_points_list()

    # create a horizontal layout
    self.horizontalLayout_4 = QtWidgets.QHBoxLayout(self.frame)
    self.horizontalLayout_4.setObjectName("horizontalLayout_4")

    self.horizontalLayout_4.addWidget(self.canvas)

    # self._draw_buttons = {"btn_draw": self.btn_draw, "btn_draw_2": self.btn_draw_2,
    "btn_draw_3": self.btn_draw_3}

    # .....

def _event_registration(self):
    self.btn_save.clicked.connect(self._btn_save_click)
    self.btn_settings.clicked.connect(self._btn_settings)
    self.list_plots.currentTextChanged.connect(self._plot)

    self.cb_cicle.clicked.connect(self._cb_cicle_env)
    self.cb_oval.clicked.connect(self._cb_oval_env)
    self.cb_other.clicked.connect(self._cb_other_env)

    self.btn_settings.setIcon(QtGui.QIcon(":/settings.png"))
    self.btn_save.setIcon(QtGui.QIcon(":/disk.png"))
    self.list_plots.activated.connect(self._event_change_stations)

    d = [self.in_sk1_x, self.in_sk1_y, self.in_sk2_x, self.in_sk2_y,
        self.in_sk3_x, self.in_sk3_y, self.in_sk4_x, self.in_sk4_y,
        self.in_st_1_x, self.in_st_1_y, self.in_st_2_x, self.in_st_2_y, self.in_st_3_x,
self.in_st_3_y,
        self.n_k_st1_sk1, self.n_k_st1_sk2, self.n_k_st1_sk3, self.n_k_st1_sk4,
        self.n_k_st2_sk1, self.n_k_st2_sk2, self.n_k_st2_sk3, self.n_k_st2_sk4,
        self.n_k_st3_sk1, self.n_k_st3_sk2, self.n_k_st3_sk3, self.n_k_st3_sk4,
        self.dvij_sk1, self.dvij_sk2, self.dvij_sk3, self.dvij_sk4,
        self.center_x, self.center_y,
        self.in_radius, self.in_width, self.in_hieght
    ]
    for i in d:
        i.textChanged.connect(self._change_params)

```

```

# Кнопка для добавления точки
self.add_point_button.clicked.connect(self.open_add_point_dialog)
# Кнопка для редактирования выбранной точки
self.edit_point_button.clicked.connect(self.edit_selected_point)
# Кнопка для удаления выбранной точки
self.remove_point_button.clicked.connect(self.remove_selected_point)

def _load_data(self):
    with open(DATA_FILE, "r") as read_file:
        data = json.load(read_file)
        self._data = data

    self.n_k_st1_sk1.setText(str(self._data.get("n_k_st1_sk1")))
    self.n_k_st1_sk2.setText(str(self._data.get("n_k_st1_sk2")))
    self.n_k_st1_sk3.setText(str(self._data.get("n_k_st1_sk3")))
    self.n_k_st1_sk4.setText(str(self._data.get("n_k_st1_sk4")))

    self.n_k_st2_sk1.setText(str(self._data.get("n_k_st2_sk1")))
    self.n_k_st2_sk2.setText(str(self._data.get("n_k_st2_sk2")))
    self.n_k_st2_sk3.setText(str(self._data.get("n_k_st2_sk3")))
    self.n_k_st2_sk4.setText(str(self._data.get("n_k_st2_sk4")))

    self.n_k_st3_sk1.setText(str(self._data.get("n_k_st3_sk1")))
    self.n_k_st3_sk2.setText(str(self._data.get("n_k_st3_sk2")))
    self.n_k_st3_sk3.setText(str(self._data.get("n_k_st3_sk3")))
    self.n_k_st3_sk4.setText(str(self._data.get("n_k_st3_sk4")))

    self.dvij_sk1.setText(str(self._data.get("dvij_sk1")))
    self.dvij_sk2.setText(str(self._data.get("dvij_sk2")))
    self.dvij_sk3.setText(str(self._data.get("dvij_sk3")))
    self.dvij_sk4.setText(str(self._data.get("dvij_sk4")))

    # -----
    self.in_skl1_x.setText(str(self._data.get("in_skl1_x", "")))
    self.in_skl1_y.setText(str(self._data.get("in_skl1_y", "")))
    self.in_skl2_x.setText(str(self._data.get("in_skl2_x", "")))
    self.in_skl2_y.setText(str(self._data.get("in_skl2_y", "")))
    self.in_skl3_x.setText(str(self._data.get("in_skl3_x", "")))
    self.in_skl3_y.setText(str(self._data.get("in_skl3_y", "")))
    self.in_skl4_x.setText(str(self._data.get("in_skl4_x", "")))
    self.in_skl4_y.setText(str(self._data.get("in_skl4_y", "")))

    self.in_st_1_x.setText(str(self._data.get("in_st_1_x", "")))
    self.in_st_1_y.setText(str(self._data.get("in_st_1_y", "")))
    self.in_st_2_x.setText(str(self._data.get("in_st_2_x", "")))
    self.in_st_2_y.setText(str(self._data.get("in_st_2_y", "")))
    self.in_st_3_x.setText(str(self._data.get("in_st_3_x", "")))
    self.in_st_3_y.setText(str(self._data.get("in_st_3_y", "")))

    # -----

    self.center_x.setText(str(self._data.get("center_x")))
    self.center_y.setText(str(self._data.get("center_y")))
    self.in_radius.setText(str(self._data.get("in_radius")))
    self.in_width.setText(str(self._data.get("in_width")))
    self.in_hieght.setText(str(self._data.get("in_hieght")))

    self._manual_x_points = self._data.get("manual_x_points", [])
    self._manual_y_points = self._data.get("manual_y_points", [])

```

```

# установка названий из настроек
self._change_after_settings()

self.cb_cicle.setChecked(True)
if data.get('cb_cicle'):
    self._cb_cicle_env()
    self.cb_cicle.setChecked(True)
    self.cb_oval.setChecked(False)
else:
    self._cb_oval_env()
    self.cb_cicle.setChecked(False)
    self.cb_oval.setChecked(True)

self.list_plots.setCurrentIndex(0)

def _change_after_settings(self):
    sklad_count = self._data.get('spin_sklad')

    self.label_skl_1.setText(self._data.get('name_sklad_1'))
    self.label_skl_2.setText(self._data.get('name_sklad_2'))
    self.label_skl_3.setText(self._data.get('name_sklad_3'))
    self.label_skl_4.setText(self._data.get('name_sklad_4'))

    self.lb_stancia_1.setText(self._data.get('name_stancia_1'))
    self.lb_stancia_2.setText(self._data.get('name_stancia_2'))
    self.lb_stancia_3.setText(self._data.get('name_stancia_3'))

    labels = [self.label_skl_1, self.label_skl_2, self.label_skl_3, self.label_skl_4]
    lb_x = [self.label_skl1_x, self.label_skl2_x, self.label_skl3_x, self.label_skl4_x]
    lb_y = [self.label_skl1_y, self.label_skl2_y, self.label_skl3_y, self.label_skl4_y]
    ins_x = [self.in_skl1_x, self.in_skl2_x, self.in_skl3_x, self.in_skl4_x]
    ins_y = [self.in_skl1_y, self.in_skl2_y, self.in_skl3_y, self.in_skl4_y]

    # Начально-конечные
    lb_skl1_x = [self.lb_sklad_1, self.lb_sklad_2, self.lb_sklad_3, self.lb_sklad_4]
    in_st1_sk = [self.n_k_st1_sk1, self.n_k_st1_sk2, self.n_k_st1_sk3, self.n_k_st1_sk4]

    lb_skl2 = [self.lb_sklad_11, self.lb_sklad_22, self.lb_sklad_33, self.lb_sklad_44]
    in_st2_sk = [self.n_k_st2_sk1, self.n_k_st2_sk2, self.n_k_st2_sk3, self.n_k_st2_sk4]

    lb_skl3 = [self.lb_sklad_111, self.lb_sklad_222, self.lb_sklad_33, self.lb_sklad_444]
    in_st3_sk = [self.n_k_st3_sk1, self.n_k_st3_sk2, self.n_k_st3_sk3, self.n_k_st3_sk4]

    # Движенч
    lb_dvij = [self.lb_sklad_1111, self.lb_sklad_2222, self.lb_sklad_3333, self.lb_sklad_4444]
    in_dvij = [self.dvij_sk1, self.dvij_sk2, self.dvij_sk3, self.dvij_sk4]

    # Disabled all
    for s in range(0, len(labels)):
        labels[s].setDisabled(True)
        lb_x[s].setDisabled(True)
        lb_y[s].setDisabled(True)
        ins_x[s].setDisabled(True)
        ins_y[s].setDisabled(True)
        lb_skl1_x[s].setDisabled(True)
        in_st1_sk[s].setDisabled(True)
        lb_skl2[s].setDisabled(True)
        in_st2_sk[s].setDisabled(True)
        lb_skl3[s].setDisabled(True)

```

```

in_st3_sk[s].setDisabled(True)
lb_dvij[s].setDisabled(True)
in_dvij[s].setDisabled(True)

for s in range(0, sklad_count):
    labels[s].setEnabled(True)
    lb_x[s].setEnabled(True)
    lb_y[s].setEnabled(True)
    ins_x[s].setEnabled(True)
    ins_y[s].setEnabled(True)
    lb_sk1_x[s].setEnabled(True)
    in_st1_sk[s].setEnabled(True)
    lb_sk2[s].setEnabled(True)
    in_st2_sk[s].setEnabled(True)
    lb_sk3[s].setEnabled(True)
    in_st3_sk[s].setEnabled(True)
    lb_dvij[s].setEnabled(True)
    in_dvij[s].setEnabled(True)

# Stations
station_count = self._data.get('spin_station')

self.label_st_1.setText(self._data.get('name_stancia_1'))
self.label_st_2.setText(self._data.get('name_stancia_2'))
self.label_st_3.setText(self._data.get('name_stancia_3'))

st_labels = [self.label_st_1, self.label_st_2, self.label_st_3]
st_lb_x = [self.lb_st_1_x, self.lb_st_2_x, self.lb_st_3_x]
st_lb_y = [self.lb_st_1_y, self.lb_st_2_y, self.lb_st_3_y]
st_ins_x = [self.in_st_1_x, self.in_st_2_x, self.in_st_3_x]
st_ins_y = [self.in_st_1_y, self.in_st_2_y, self.in_st_3_y]

# Disabled all
for ss in range(0, len(st_labels)):
    st_labels[ss].setDisabled(True)
    st_lb_x[ss].setDisabled(True)
    st_lb_y[ss].setDisabled(True)
    st_ins_x[ss].setDisabled(True)
    st_ins_y[ss].setDisabled(True)

for ss in range(0, station_count):
    st_labels[ss].setEnabled(True)
    st_lb_x[ss].setEnabled(True)
    st_lb_y[ss].setEnabled(True)
    st_ins_x[ss].setEnabled(True)
    st_ins_y[ss].setEnabled(True)

self._select_stations_list()

def _select_stations_list(self):
    """ Выпадающий список станций """
    self.list_plots.clear()
    self._draw_pressed = self.list_plots.currentData()

    spin_station = int(self._data.get('spin_station'))

    for i in range(1, spin_station + 1):
        self.list_plots.addItem(self._data.get(f"name_stancia_{i}"), f'st_{i}')

    if spin_station > 1:

```

```

self.list_plots.addItem('Совмещение', 'st_all')

def _event_change_stations(self):

    """В зависимости от настроек Кол-во складов меняются графики 2склада 3склада 4
    склада"""
    print('....')
    # self.list_plots.clear()
    # print(self.list_plots.currentData())

    # self.list_plots.setCurrentIndex(-1)
    print('index: ', self.list_plots.currentIndex() + 1)
    print('ddd: ', self.list_plots.currentData())

def _2sklada(self):
    _p = self._data
    _n = self._n_k_list
    k_sklad_1, k_sklad_2 = _p.get("k_sklad_1"), _p.get("k_sklad_2")
    # cb_koef_sk_1, cb_koef_sk_2 = _p.get("cb_koef_sk_1"), _p.get("cb_koef_sk_2")
    num_l = self.list_plots.currentIndex()

    self.figure.clear()
    self._plt = self.figure.add_subplot(111)
    # //////////////////////////////////////

    if not _p.get("cb_koef_sk_1"):
        k_sklad_1 = 1
    if not _p.get("cb_koef_sk_2"):
        k_sklad_2 = 1

    curve_21 = _p[_n[num_l][0]] + k_sklad_1 * _p["dvij_sk1"] * np.sqrt(
        (self._X - _p["in_skl1_x"]) ** 2 + (self._Y - _p["in_skl1_y"]) ** 2) - (
        _p[_n[num_l][1]] + k_sklad_2 * _p["dvij_sk2"] * np.sqrt(
            (self._X - _p["in_skl2_x"]) ** 2 + (self._Y - _p["in_skl2_y"]) ** 2))

    GPZpoints2 = np.array([
        [i / 10, j / 10] for i in range(-100, 101, 2) for j in range(-100, 101, 2) if
        _p[_n[num_l][0]] + k_sklad_1 * _p["dvij_sk1"] * np.sqrt(((i / 10 - _p["in_skl1_x"]) ** 2) + (
            j / 10 - _p["in_skl1_y"]) ** 2)) <= _p[_n[num_l][1]] + k_sklad_2 * _p["dvij_sk2"] *
np.sqrt(
        ((i / 10 - _p["in_skl2_x"]) ** 2) + ((j / 10 - _p["in_skl2_y"]) ** 2))
    ]).reshape(-1, 2)

    SKLPpoints2 = np.array([
        [i / 10, j / 10] for i in range(-100, 101, 2) for j in range(-100, 101, 2) if
        _p[_n[num_l][1]] + k_sklad_2 * _p["dvij_sk2"] * np.sqrt(((i / 10 - _p["in_skl2_x"]) ** 2) + (
            j / 10 - _p["in_skl2_y"]) ** 2)) <= _p[_n[num_l][0]] + k_sklad_1 * _p["dvij_sk1"] *
np.sqrt(
        ((i / 10 - _p["in_skl1_x"]) ** 2) + ((j / 10 - _p["in_skl1_y"]) ** 2))
    ]).reshape(-1, 2)

    curve_values = _p[_n[num_l][0]] + k_sklad_1 * _p["dvij_sk1"] * np.sqrt(
        (self._x_rand - _p["in_skl1_x"]) ** 2 + (self._y_rand - _p["in_skl1_y"]) ** 2) - \
        (_p[_n[num_l][1]] + k_sklad_2 * _p["dvij_sk2"] * np.sqrt(
            (self._x_rand - _p["in_skl2_x"]) ** 2 + (self._y_rand - _p["in_skl2_y"]) ** 2))

    # Проверка, попадает ли точка внутрь эллипса
    inside_ellipse = ((self._x_rand - self._s1) / self._a) ** 2 + ((self._y_rand + self._t1) / self._b)
** 2 <= 1

```

```

# Проверка, попадает ли точка под кривую
below_curve = curve_values <= 0

# Подсчет точек в разных областях
points_below_curve_and_inside_ellipse = np.sum(inside_ellipse & below_curve)
points_above_curve_and_inside_ellipse = np.sum(inside_ellipse & ~below_curve)

# Площадь ограничивающего прямоугольника
rect_area = (self._x_max - self._x_min) * (self._y_max - self._y_min) # Площадь в квадрат-
ных километрах

# Пропорции областей
area_below_monte_carlo = (points_below_curve_and_inside_ellipse / self._num_points) *
rect_area
area_above_monte_carlo = (points_above_curve_and_inside_ellipse / self._num_points) *
rect_area

print(f"Площадь под кривой внутри эллипса: {area_below_monte_carlo:.2f} кв. км")
print(f"Площадь выше кривой внутри эллипса: {area_above_monte_carlo:.2f} кв. км")

# Точки Ports1 и Stations1
Ports1 = self._dots_station
Stations1 = np.array([[_p["in_sk1_x"], _p["in_sk1_y"]], [_p["in_sk2_x"], _p["in_sk2_y"]]])

# //////////////////////////////////////

self._plt.contour(self._X, self._Y, curve_21, levels=[0], colors='black', linewidths=6)

self._plt.scatter(GPZpoints2[:, 0], GPZpoints2[:, 1], color='red', s=80)
self._plt.scatter(SKLPpoints2[:, 0], SKLPpoints2[:, 1], color='aqua', s=60)
self._plt.scatter(Ports1[:, 0], Ports1[:, 1], color='black', marker='*', s=210)
self._plt.scatter(Stations1[:, 0], Stations1[:, 1], color='black', marker='o', s=140)

def _3sklada(self):
    _p = self._data
    _n = self._n_k_list
    num_l = self.list_plots.currentIndex()

    print("i> ", num_l)

    print('_n[i][0]> ', _p[_n[num_l][0]])
    print("_p[_n[num_l][1]]", _p[_n[num_l][1]])
    print("_p[_n[num_l][2]]", _p[_n[num_l][2]])
    print("_p[_n[num_l][3]]", _p[_n[num_l][3]])

    k_sklad_1, k_sklad_2, k_sklad_3 = _p.get("k_sklad_1"), _p.get("k_sklad_2"),
    _p.get("k_sklad_3")

    cb_koef_sk_1, cb_koef_sk_2, cb_koef_sk_3 = _p.get("cb_koef_sk_1"),
    _p.get("cb_koef_sk_2"), _p.get(
        "cb_koef_sk_3")

    # self.figure.clear()
    # self._plt = self.figure.add_subplot(111)
    # //////////////////////////////////////

    if not cb_koef_sk_1:      k_sklad_1 = 1
    if not cb_koef_sk_2:      k_sklad_2 = 1
    if not cb_koef_sk_3:      k_sklad_3 = 1

```

```

curve_21 = _p[_n[num_l][0]] + k_sklad_1 * _p["dvi_j_sk1"] * np.sqrt(
    (self._X - _p["in_skl1_x"]) ** 2 + (self._Y - _p["in_skl1_y"]) ** 2) - (
        _p[_n[num_l][1]] + k_sklad_2 * _p["dvi_j_sk2"] * np.sqrt(
            (self._X - _p["in_skl2_x"]) ** 2 + (self._Y - _p["in_skl2_y"]) ** 2))
curve_22 = _p[_n[num_l][0]] + k_sklad_1 * _p["dvi_j_sk1"] * np.sqrt(
    (self._X - _p["in_skl1_x"]) ** 2 + (self._Y - _p["in_skl1_y"]) ** 2) - (
        _p[_n[num_l][2]] + k_sklad_3 * _p["dvi_j_sk3"] * np.sqrt(
            (self._X - _p["in_skl3_x"]) ** 2 + (self._Y - _p["in_skl3_y"]) ** 2))
curve_23 = _p[_n[num_l][1]] + k_sklad_2 * _p["dvi_j_sk2"] * np.sqrt(
    (self._X - _p["in_skl2_x"]) ** 2 + (self._Y - _p["in_skl2_y"]) ** 2) - (
        _p[_n[num_l][2]] + k_sklad_3 * _p["dvi_j_sk3"] * np.sqrt(
            (self._X - _p["in_skl3_x"]) ** 2 + (self._Y - _p["in_skl3_y"]) ** 2))

# Точки GPZpoints2, SKLPpoints2, ULkompoints2

GPZpoints2 = np.array([
    [i / 10, j / 10] for i in range(-100, 101, 2) for j in range(-100, 101, 2) if
        _p[_n[num_l][0]] + k_sklad_1 * _p["dvi_j_sk1"] * np.sqrt(((i / 10 - _p["in_skl1_x"]) ** 2) + (
            (j / 10 - _p["in_skl1_y"]) ** 2)) <= _p[_n[num_l][1]] + k_sklad_2 * _p["dvi_j_sk2"] *
np.sqrt(
    ((i / 10 - _p["in_skl2_x"]) ** 2) + ((j / 10 - _p["in_skl2_y"]) ** 2)) and
        _p[_n[num_l][0]] + k_sklad_1 * _p["dvi_j_sk1"] * np.sqrt(((i / 10 - _p["in_skl1_x"]) ** 2) + (
            (j / 10 - _p["in_skl1_y"]) ** 2)) <= _p[_n[num_l][2]] + k_sklad_3 * _p["dvi_j_sk3"] *
np.sqrt(
    ((i / 10 - _p["in_skl3_x"]) ** 2) + ((j / 10 - _p["in_skl3_y"]) ** 2))
]).reshape(-1, 2)

SKLPpoints2 = np.array([
    [i / 10, j / 10] for i in range(-100, 101, 2) for j in range(-100, 101, 2) if
        _p[_n[num_l][1]] + k_sklad_2 * _p["dvi_j_sk2"] * np.sqrt(((i / 10 - _p["in_skl2_x"]) ** 2) + (
            (j / 10 - _p["in_skl2_y"]) ** 2)) <= _p[_n[num_l][0]] + k_sklad_1 * _p["dvi_j_sk1"] *
np.sqrt(
    ((i / 10 - _p["in_skl1_x"]) ** 2) + ((j / 10 - _p["in_skl1_y"]) ** 2)) and
        _p[_n[num_l][1]] + k_sklad_2 * _p["dvi_j_sk2"] * np.sqrt(((i / 10 - _p["in_skl2_x"]) ** 2) + (
            (j / 10 - _p["in_skl2_y"]) ** 2)) <= _p[_n[num_l][2]] + k_sklad_3 * _p["dvi_j_sk3"] *
np.sqrt(
    ((i / 10 - _p["in_skl3_x"]) ** 2) + ((j / 10 - _p["in_skl3_y"]) ** 2))
]).reshape(-1, 2)

ULkompoints2 = np.array([
    [i / 10, j / 10] for i in range(-100, 101, 2) for j in range(-100, 101, 2) if
        _p[_n[num_l][2]] + k_sklad_3 * _p["dvi_j_sk3"] * np.sqrt(((i / 10 - _p["in_skl3_x"]) ** 2) + (
            (j / 10 - _p["in_skl3_y"]) ** 2)) <= _p[_n[num_l][0]] + k_sklad_1 * _p["dvi_j_sk1"] *
np.sqrt(
    ((i / 10 - _p["in_skl1_x"]) ** 2) + ((j / 10 - _p["in_skl1_y"]) ** 2)) and
        _p[_n[num_l][2]] + k_sklad_3 * _p["dvi_j_sk3"] * np.sqrt(((i / 10 - _p["in_skl3_x"]) ** 2) + (
            (j / 10 - _p["in_skl3_y"]) ** 2)) <= _p[_n[num_l][1]] + k_sklad_2 * _p["dvi_j_sk2"] *
np.sqrt(
    ((i / 10 - _p["in_skl2_x"]) ** 2) + ((j / 10 - _p["in_skl2_y"]) ** 2))
]).reshape(-1, 2)

# Проверка, попадает ли точка внутрь эллипса
inside_ellipse = ((self._x_rand - self._s1) / self._a) ** 2 + ((self._y_rand + self._t1) / self._b)
** 2 <= 1

# Вычисление значений для трёх кривых
curve_values_1 = _p[_n[num_l][0]] + k_sklad_1 * _p["dvi_j_sk1"] * np.sqrt(
    (self._x_rand - _p["in_skl1_x"]) ** 2 + (self._y_rand - _p["in_skl1_y"]) ** 2)
curve_values_2 = _p[_n[num_l][1]] + k_sklad_2 * _p["dvi_j_sk2"] * np.sqrt(
    (self._x_rand - _p["in_skl2_x"]) ** 2 + (self._y_rand - _p["in_skl2_y"]) ** 2)

```

```

curve_values_3 = _p[_n[num_l]][2]] + k_sklad_3 * _p["dvi_j_skl3"] * np.sqrt(
    (self._x_rand - _p["in_skl3_x"]) ** 2 + (self._y_rand - _p["in_skl3_y"]) ** 2)

# Определение области принадлежности каждой точки
region_1 = inside_ellipse & (curve_values_1 < curve_values_2) & (curve_values_1 <
curve_values_3)
region_2 = inside_ellipse & (curve_values_2 < curve_values_1) & (curve_values_2 <
curve_values_3)
region_3 = inside_ellipse & (curve_values_3 < curve_values_1) & (curve_values_3 <
curve_values_2)

# Подсчёт точек в каждой области
points_in_region_1 = np.sum(region_1)
points_in_region_2 = np.sum(region_2)
points_in_region_3 = np.sum(region_3)

# Площадь ограничивающего прямоугольника (в квадратных километрах)
rect_area = (self._x_max - self._x_min) * (self._y_max - self._y_min)

# Вычисление площадей (в квадратных километрах)
area_region_1 = (points_in_region_1 / self._num_points) * rect_area
area_region_2 = (points_in_region_2 / self._num_points) * rect_area
area_region_3 = (points_in_region_3 / self._num_points) * rect_area

print(f"Площадь области 1 внутри эллипса: {area_region_1:.2f} квадратных километ-
ров")
print(f"Площадь области 2 внутри эллипса: {area_region_2:.2f} квадратных километ-
ров")
print(f"Площадь области 3 внутри эллипса: {area_region_3:.2f} квадратных километ-
ров")

# Точки Ports1 и Stations1
Ports1 = self._dots_station
Stations1 = np.array([[_p["in_skl1_x"], _p["in_skl1_y"]], [_p["in_skl2_x"], _p["in_skl2_y"]],
[_p["in_skl3_x"], _p["in_skl3_y"]], ])

self._plt.contour(self._X, self._Y, curve_21, levels=[0], colors='black', linewidths=6)
self._plt.contour(self._X, self._Y, curve_22, levels=[0], colors='black', linewidths=5)
self._plt.contour(self._X, self._Y, curve_23, levels=[0], colors='black', linewidths=4)

self._plt.scatter(GPZpoints2[:, 0], GPZpoints2[:, 1], color='red', s=80)
self._plt.scatter(SKLPpoints2[:, 0], SKLPpoints2[:, 1], color='aqua', s=60)
self._plt.scatter(ULkomppoints2[:, 0], ULkomppoints2[:, 1], color='yellow', s=80)

self._plt.scatter(Ports1[:, 0], Ports1[:, 1], color='black', marker='*', s=210)
self._plt.scatter(Stations1[:, 0], Stations1[:, 1], color='black', marker='o', s=140)

# //////////////////////////////////////

def _4sklada(self):
    _p = self._data
    _n = self._n_k_list
    num_l = self.list_plots.currentIndex()

    print("i> ", num_l)

    print('_n[i][0]> ', _p[_n[num_l]][0])
    print("_p[_n[num_l]][1]", _p[_n[num_l]][1])
    print("_p[_n[num_l]][2]", _p[_n[num_l]][2])
    print("_p[_n[num_l]][3]", _p[_n[num_l]][3])

```

```

k_sklad_1, k_sklad_2 = _p.get("k_sklad_1"), _p.get("k_sklad_2")
k_sklad_3, k_sklad_4 = _p.get("k_sklad_3"), _p.get("k_sklad_4")

cb_koef_sk_1, cb_koef_sk_2 = _p.get("cb_koef_sk_1"), _p.get("cb_koef_sk_2")
cb_koef_sk_3, cb_koef_sk_4 = _p.get("cb_koef_sk_3"), _p.get("cb_koef_sk_4")

# self.figure.clear()
# self._plt = self.figure.add_subplot(111)
# //////////////////////////////////////

if not cb_koef_sk_1:      k_sklad_1 = 1
if not cb_koef_sk_2:      k_sklad_2 = 1
if not cb_koef_sk_3:      k_sklad_3 = 1
if not cb_koef_sk_4:      k_sklad_4 = 1

## Построение контуров
# x = np.linspace(-10, 10, 400)
# y = np.linspace(-10, 10, 400)
# self._X, self._Y = np.meshgrid(x, y)

curve_21 = _p[_n[num_l][0]] + k_sklad_1 * _p["dvij_sk1"] * np.sqrt(
    (self._X - _p["in_skl1_x"]) ** 2 + (self._Y - _p["in_skl1_y"]) ** 2) - (
    _p[_n[num_l][1]] + k_sklad_2 * _p["dvij_sk2"] * np.sqrt(
    (self._X - _p["in_skl2_x"]) ** 2 + (self._Y - _p["in_skl2_y"]) ** 2))
curve_22 = _p[_n[num_l][0]] + k_sklad_1 * _p["dvij_sk1"] * np.sqrt(
    (self._X - _p["in_skl1_x"]) ** 2 + (self._Y - _p["in_skl1_y"]) ** 2) - (
    _p[_n[num_l][2]] + k_sklad_3 * _p["dvij_sk3"] * np.sqrt(
    (self._X - _p["in_skl3_x"]) ** 2 + (self._Y - _p["in_skl3_y"]) ** 2))
curve_23 = _p[_n[num_l][1]] + k_sklad_2 * _p["dvij_sk2"] * np.sqrt(
    (self._X - _p["in_skl2_x"]) ** 2 + (self._Y - _p["in_skl2_y"]) ** 2) - (
    _p[_n[num_l][2]] + k_sklad_3 * _p["dvij_sk3"] * np.sqrt(
    (self._X - _p["in_skl3_x"]) ** 2 + (self._Y - _p["in_skl3_y"]) ** 2))
curve_24 = _p[_n[num_l][0]] + k_sklad_1 * _p["dvij_sk1"] * np.sqrt(
    (self._X - _p["in_skl1_x"]) ** 2 + (self._Y - _p["in_skl1_y"]) ** 2) - (
    _p[_n[num_l][3]] + k_sklad_4 * _p["dvij_sk4"] * np.sqrt(
    (self._X - _p["in_skl4_x"]) ** 2 + (self._Y - _p["in_skl4_y"]) ** 2))
curve_25 = _p[_n[num_l][1]] + k_sklad_2 * _p["dvij_sk2"] * np.sqrt(
    (self._X - _p["in_skl2_x"]) ** 2 + (self._Y - _p["in_skl2_y"]) ** 2) - (
    _p[_n[num_l][3]] + k_sklad_4 * _p["dvij_sk4"] * np.sqrt(
    (self._X - _p["in_skl4_x"]) ** 2 + (self._Y - _p["in_skl4_y"]) ** 2))
curve_26 = _p[_n[num_l][2]] + k_sklad_3 * _p["dvij_sk3"] * np.sqrt(
    (self._X - _p["in_skl3_x"]) ** 2 + (self._Y - _p["in_skl3_y"]) ** 2) - (
    _p[_n[num_l][3]] + k_sklad_4 * _p["dvij_sk4"] * np.sqrt(
    (self._X - _p["in_skl4_x"]) ** 2 + (self._Y - _p["in_skl4_y"]) ** 2))

# Точки GPZpoints2, SKLPpoints2, ULkpoints2

GPZpoints2 = np.array([
    [i / 10, j / 10] for i in range(-100, 101, 2) for j in range(-100, 101, 2) if
    _p[_n[num_l][0]] + k_sklad_1 * _p["dvij_sk1"] * np.sqrt(((i / 10 - _p["in_skl1_x"]) ** 2) + (
    (j / 10 - _p["in_skl1_y"]) ** 2)) <= _p[_n[num_l][1]] + k_sklad_2 * _p["dvij_sk2"] *
np.sqrt(
    ((i / 10 - _p["in_skl2_x"]) ** 2) + ((j / 10 - _p["in_skl2_y"]) ** 2)) and
    _p[_n[num_l][0]] + k_sklad_1 * _p["dvij_sk1"] * np.sqrt(((i / 10 - _p["in_skl1_x"]) ** 2) + (
    (j / 10 - _p["in_skl1_y"]) ** 2)) <= _p[_n[num_l][2]] + k_sklad_3 * _p["dvij_sk3"] *
np.sqrt(
    ((i / 10 - _p["in_skl3_x"]) ** 2) + ((j / 10 - _p["in_skl3_y"]) ** 2)) and
    _p[_n[num_l][0]] + k_sklad_1 * _p["dvij_sk1"] * np.sqrt(((i / 10 - _p["in_skl1_x"]) ** 2) + (

```

```

        (j / 10 - _p["in_skl1_y"]) ** 2)) <= _p[_n[num_l]][3]] + k_sklad_4 * _p["dvij_sk4"] *
np.sqrt(
    ((i / 10 - _p["in_skl4_x"]) ** 2) + ((j / 10 - _p["in_skl4_y"]) ** 2))
)].reshape(-1, 2)

SKLPpoints2 = np.array([
    [i / 10, j / 10] for i in range(-100, 101, 2) for j in range(-100, 101, 2) if
    _p[_n[num_l]][1]] + k_sklad_2 * _p["dvij_sk2"] * np.sqrt(((i / 10 - _p["in_skl2_x"]) ** 2) + (
        (j / 10 - _p["in_skl2_y"]) ** 2)) <= _p[_n[num_l]][0]] + k_sklad_1 * _p["dvij_sk1"] *
np.sqrt(
    ((i / 10 - _p["in_skl1_x"]) ** 2) + ((j / 10 - _p["in_skl1_y"]) ** 2)) and
    _p[_n[num_l]][1]] + k_sklad_2 * _p["dvij_sk2"] * np.sqrt(((i / 10 - _p["in_skl2_x"]) ** 2) + (
        (j / 10 - _p["in_skl2_y"]) ** 2)) <= _p[_n[num_l]][2]] + k_sklad_3 * _p["dvij_sk3"] *
np.sqrt(
    ((i / 10 - _p["in_skl3_x"]) ** 2) + ((j / 10 - _p["in_skl3_y"]) ** 2)) and
    _p[_n[num_l]][1]] + k_sklad_2 * _p["dvij_sk2"] * np.sqrt(((i / 10 - _p["in_skl2_x"]) ** 2) + (
        (j / 10 - _p["in_skl2_y"]) ** 2)) <= _p[_n[num_l]][3]] + k_sklad_4 * _p["dvij_sk4"] *
np.sqrt(
    ((i / 10 - _p["in_skl4_x"]) ** 2) + ((j / 10 - _p["in_skl4_y"]) ** 2))
)].reshape(-1, 2)

ULkompoints2 = np.array([
    [i / 10, j / 10] for i in range(-100, 101, 2) for j in range(-100, 101, 2) if
    _p[_n[num_l]][2]] + k_sklad_3 * _p["dvij_sk3"] * np.sqrt(((i / 10 - _p["in_skl3_x"]) ** 2) + (
        (j / 10 - _p["in_skl3_y"]) ** 2)) <= _p[_n[num_l]][0]] + k_sklad_1 * _p["dvij_sk1"] *
np.sqrt(
    ((i / 10 - _p["in_skl1_x"]) ** 2) + ((j / 10 - _p["in_skl1_y"]) ** 2)) and
    _p[_n[num_l]][2]] + k_sklad_3 * _p["dvij_sk3"] * np.sqrt(((i / 10 - _p["in_skl3_x"]) ** 2) + (
        (j / 10 - _p["in_skl3_y"]) ** 2)) <= _p[_n[num_l]][1]] + k_sklad_2 * _p["dvij_sk2"] *
np.sqrt(
    ((i / 10 - _p["in_skl2_x"]) ** 2) + ((j / 10 - _p["in_skl2_y"]) ** 2)) and
    _p[_n[num_l]][2]] + k_sklad_3 * _p["dvij_sk3"] * np.sqrt(((i / 10 - _p["in_skl3_x"]) ** 2) + (
        (j / 10 - _p["in_skl3_y"]) ** 2)) <= _p[_n[num_l]][3]] + k_sklad_4 * _p["dvij_sk4"] *
np.sqrt(
    ((i / 10 - _p["in_skl4_x"]) ** 2) + ((j / 10 - _p["in_skl4_y"]) ** 2))
)].reshape(-1, 2)

Astra2points2 = np.array([
    [i / 10, j / 10] for i in range(-100, 101, 2) for j in range(-100, 101, 2) if
    _p[_n[num_l]][3]] + k_sklad_4 * _p["dvij_sk4"] * np.sqrt(((i / 10 - _p["in_skl4_x"]) ** 2) + (
        (j / 10 - _p["in_skl4_y"]) ** 2)) <= _p[_n[num_l]][0]] + k_sklad_1 * _p["dvij_sk1"] *
np.sqrt(
    ((i / 10 - _p["in_skl1_x"]) ** 2) + ((j / 10 - _p["in_skl1_y"]) ** 2)) and
    _p[_n[num_l]][3]] + k_sklad_4 * _p["dvij_sk4"] * np.sqrt(((i / 10 - _p["in_skl4_x"]) ** 2) + (
        (j / 10 - _p["in_skl4_y"]) ** 2)) <= _p[_n[num_l]][1]] + k_sklad_2 * _p["dvij_sk2"] *
np.sqrt(
    ((i / 10 - _p["in_skl2_x"]) ** 2) + ((j / 10 - _p["in_skl2_y"]) ** 2)) and
    _p[_n[num_l]][3]] + k_sklad_4 * _p["dvij_sk4"] * np.sqrt(((i / 10 - _p["in_skl4_x"]) ** 2) + (
        (j / 10 - _p["in_skl4_y"]) ** 2)) <= _p[_n[num_l]][2]] + k_sklad_3 * _p["dvij_sk3"] *
np.sqrt(
    ((i / 10 - _p["in_skl3_x"]) ** 2) + ((j / 10 - _p["in_skl3_y"]) ** 2))
)].reshape(-1, 2)

# Проверка, попадает ли точка внутрь эллипса
inside_ellipse = ((self._x_rand - self._s1) / self._a) ** 2 + ((self._y_rand + self._t1) / self._b)
** 2 <= 1

# Вычисление значений для четырех кривых
curve_values_1 = _p[_n[num_l]][0]] + k_sklad_1 * _p["dvij_sk1"] * np.sqrt(
    (self._x_rand - _p["in_skl1_x"]) ** 2 + (self._y_rand - _p["in_skl1_y"]) ** 2)

```

```

curve_values_2 = _p[_n[num_l]][1] + k_sklad_2 * _p["dvi_j_sk2"] * np.sqrt(
    (self._x_rand - _p["in_skl2_x"]) ** 2 + (self._y_rand - _p["in_skl2_y"]) ** 2)
curve_values_3 = _p[_n[num_l]][2] + k_sklad_3 * _p["dvi_j_sk3"] * np.sqrt(
    (self._x_rand - _p["in_skl3_x"]) ** 2 + (self._y_rand - _p["in_skl3_y"]) ** 2)
curve_values_4 = _p[_n[num_l]][3] + k_sklad_4 * _p["dvi_j_sk4"] * np.sqrt(
    (self._x_rand - _p["in_skl4_x"]) ** 2 + (self._y_rand - _p["in_skl4_y"]) ** 2)

# Определение области принадлежности каждой точки
region_1 = inside_ellipse & (curve_values_1 < curve_values_2) & (curve_values_1 <
curve_values_3) & (
    curve_values_1 < curve_values_4)
region_2 = inside_ellipse & (curve_values_2 < curve_values_1) & (curve_values_2 <
curve_values_3) & (
    curve_values_2 < curve_values_4)
region_3 = inside_ellipse & (curve_values_3 < curve_values_1) & (curve_values_3 <
curve_values_2) & (
    curve_values_3 < curve_values_4)
region_4 = inside_ellipse & (curve_values_4 < curve_values_1) & (curve_values_4 <
curve_values_2) & (
    curve_values_4 < curve_values_3)

# Подсчёт точек в каждой области
points_in_region_1 = np.sum(region_1)
points_in_region_2 = np.sum(region_2)
points_in_region_3 = np.sum(region_3)
points_in_region_4 = np.sum(region_4)

# Площадь ограничивающего прямоугольника
rect_area = (self._x_max - self._x_min) * (self._y_max - self._y_min)

# Вычисление площадей в квадратных километрах
area_region_1_km2 = (points_in_region_1 / self._num_points) * rect_area
area_region_2_km2 = (points_in_region_2 / self._num_points) * rect_area
area_region_3_km2 = (points_in_region_3 / self._num_points) * rect_area
area_region_4_km2 = (points_in_region_4 / self._num_points) * rect_area

print(f"Площадь области 1 внутри эллипса: {area_region_1_km2} км2")
print(f"Площадь области 2 внутри эллипса: {area_region_2_km2} км2")
print(f"Площадь области 3 внутри эллипса: {area_region_3_km2} км2")
print(f"Площадь области 4 внутри эллипса: {area_region_4_km2} км2")

# Точки Ports1 и Stations1
Ports1 = self._dots_station
Stations1 = np.array(
    [[_p["in_skl1_x"], _p["in_skl1_y"]], [_p["in_skl2_x"], _p["in_skl2_y"]], [_p["in_skl3_x"],
_p["in_skl3_y"]],
    [_p["in_skl4_x"], _p["in_skl4_y"]]])

self._plt.contour(self._X, self._Y, curve_21, levels=[0], colors='black', linewidths=6)
self._plt.contour(self._X, self._Y, curve_22, levels=[0], colors='black', linewidths=5)
self._plt.contour(self._X, self._Y, curve_23, levels=[0], colors='black', linewidths=4)
self._plt.contour(self._X, self._Y, curve_24, levels=[0], colors='black', linewidths=4)
self._plt.contour(self._X, self._Y, curve_25, levels=[0], colors='black', linewidths=4)
self._plt.contour(self._X, self._Y, curve_26, levels=[0], colors='black', linewidths=4)

self._plt.scatter(GPZpoints2[:, 0], GPZpoints2[:, 1], color='green', s=80)
self._plt.scatter(SKLPpoints2[:, 0], SKLPpoints2[:, 1], color='aqua', s=60)
self._plt.scatter(ULkompoinpoints2[:, 0], ULkompoinpoints2[:, 1], color='yellow', s=80)
self._plt.scatter(Astra2points2[:, 0], Astra2points2[:, 1], color='red', s=80)
self._plt.scatter(Ports1[:, 0], Ports1[:, 1], color='black', marker='*', s=210)

```

```

self._plt.scatter(Stations1[:, 0], Stations1[:, 1], color='black', marker='o', s=140)
# //////////////////////////////////////

def _btn_settings(self):
    self._win_settings = Settings_Win(data=self._data)
    self._win_settings.exec()
    self._data = {}
    self._data.update(self._win_settings.data)

    self._change_after_settings()

def _draw_figure(self):
    """Рисует в зависимости от настроек различную фигуру. Круг, Овал. Free-form"""
    center_x = float(self._data.get("center_x"))
    center_y = float(self._data.get("center_y"))
    cb_cicle = self._data.get("cb_cicle")
    cb_oval = self._data.get("cb_oval")
    cb_other = self._data.get("cb_other")

    shape = 'circle'

    if cb_cicle:        shape = 'circle'
    if cb_oval:        shape = 'oval'
    if cb_other:       shape = 'other'

    points = 100
    width = float(self._data.get("in_width"))
    height = float(self._data.get("in_hieght"))
    radius = float(self._data.get("in_radius"))
    theta = np.linspace(0, 2 * np.pi, points)
    match shape:
        case 'circle':
            # Вычисляем точки для круга
            x = center_x + radius * np.cos(theta)
            y = center_y + radius * np.sin(theta)
            self._plt.plot(x, y)
        case 'oval':
            # Вычисляем точки для овала
            x = center_x + (width / 2) * np.cos(theta)
            y = center_y + (height / 2) * np.sin(theta)
            self._plt.plot(x, y)
        case 'other':
            pass

    # self._plt.plot(x, y)

    # Построение эллипса
    print('self._X: ', self._X)
    print('self._Y: ', self._Y)
    print('self._a: ', self._a)
    print('self._b: ', self._b)
    print('self._s1: ', self._s1)

    # ellipse = ((self._X - self._s1) ** 2) / (self._a ** 2) + ((self._Y + self._t1) ** 2) / (self._b ** 2)
- 1
    # self._plt.contour(self._X, self._Y, ellipse, levels=[0], colors='black', linewidths=5)

def _plot(self, changed_value=False):
    print('plot>>>')
    color_green = '#80c762'

```

```

color_black = '#40005d'
color_red = "#f7a583"
color_blue = "#73ced0"
color_red_1 = "#d63232"
# -----S T A R T   V 1-----
# -----S T A R T   V 1-----
self.figure.clear()
self._plt = self.figure.add_subplot(111)

# Построение контуров
x = np.linspace(-10, 10, 400)
y = np.linspace(-10, 10, 400)
self._X, self._Y = np.meshgrid(x, y)

# Метод Монте-Карло для определения площадей областей
self._num_points = 1000000 # Количество случайных точек
self._x_min, self._x_max = -10, 10
self._y_min, self._y_max = -10, 10
# Генерация случайных точек
np.random.seed(0)
self._x_rand = np.random.uniform(self._x_min, self._x_max, self._num_points)
self._y_rand = np.random.uniform(self._y_min, self._y_max, self._num_points)

# n_k_st1_sk1 = self._data.get("n_k_st1_sk1")

self._n_k_list = [["n_k_st1_sk1", "n_k_st1_sk2", "n_k_st1_sk3", "n_k_st1_sk4"],
                  ["n_k_st2_sk1", "n_k_st2_sk2", "n_k_st2_sk3", "n_k_st2_sk4"],
                  ["n_k_st3_sk1", "n_k_st3_sk2", "n_k_st3_sk3", "n_k_st3_sk4"]]
print("dddddd> ", self._n_k_list[0][0])

# Отображение станций из настроек сколько включено
spin_station = int(self._data.get('spin_station', 1))
_p = self._data
match spin_station: # Ports1
    case 1:
        self._dots_station = np.array([[_p["in_st_1_x"], _p["in_st_1_y"]]])
    case 2:
        self._dots_station = np.array([[_p["in_st_1_x"], _p["in_st_1_y"]], [_p["in_st_2_x"],
_p["in_st_2_y"]]])
    case 3:
        self._dots_station = np.array([[_p["in_st_1_x"], _p["in_st_1_y"]], [_p["in_st_2_x"],
_p["in_st_2_y"]],
                                     [_p["in_st_3_x"], _p["in_st_3_y"]]])

spin_sklad = int(self._data.get("spin_sklad", 2))
match spin_sklad:
    case 1 | 2:
        self._2sklada()
    case 3:
        self._3sklada()
    case 4:
        self._4sklada()

self._draw_figure()

self._plt.grid(True)
self._plt.set(xlabel='X-axis')
self._plt.set(ylabel='Y-axis')

plot_name = self.list_plots.currentData()
print('plot_name: ', plot_name)
match plot_name:
    case 'st_1':
        self._plt.set(title=f"{self._data['name_stancia_1']}")

```

```

        case 'st_2':          self._plt.set(title=f"{self._data['name_stancia_2']}")
        case 'st_3':          self._plt.set(title=f"{self._data['name_stancia_3']}")
        case 'st_all':        self._plt.set(title="совмещениуе")
# self._plt.set(title=f"{self._data['name_stancia_1']}")
self.canvas.draw()
# ----- E N D   V 1-----
# ----- E N D   V 1-----
# case "plot_all":
#     print('case "plot_all"')
#     try:
#
#         self.figure.clear()
#
#         self.canvas.draw()
#     except Exception as e:
#         QtWidgets.QMessageBox.question(self, 'Упс4',
#                                         f'Невозможно построить с данными параметрами: plot_all
{e}',
#                                         QtWidgets.QMessageBox.Yes)
def open_add_point_dialog(self):
    dialog = PointInputDialog(self)
    if dialog.exec_() == QDialog.Accepted:
        x, y = dialog.get_coordinates()
        if x is not None and y is not None:
            self.points_list.addItem(f"Точка: X = {x}, Y = {y}")

            self._add_manual_points(x, y)

def _add_manual_points(self, x, y):
    self._manual_x_points.append(x)
    self._manual_y_points.append(y)

def _remove_manual_points(self, index):
    self._manual_x_points.pop(index)
    self._manual_y_points.pop(index)

def _init_points_list(self):
    """вносит точки в элемент points_list"""
    if self._manual_x_points:
        for i, x in enumerate(self._manual_x_points):
            y = self._manual_y_points[i]
            self.points_list.addItem(f"Точка: X = {x}, Y = {y}")

def edit_selected_point(self):
    selected_item = self.points_list.currentItem()
    current_index = [x.row() for x in self.points_list.selectedIndexes()]

    if selected_item:
        # Извлекаем текущие координаты из выбранного элемента списка
        item_text = selected_item.text()
        parts = item_text.replace("Точка: ", "").split(", ")
        x = float(parts[0].split(" ")[1])
        y = float(parts[1].split(" ")[1])

        # Открываем диалог редактирования с текущими координатами
        dialog = PointInputDialog(self, x=x, y=y)
        if dialog.exec_() == QDialog.Accepted:
            new_x, new_y = dialog.get_coordinates()
            if new_x is not None and new_y is not None:
                selected_item.setText(f"Точка: X = {new_x}, Y = {new_y}")

```

```

        self._manual_x_points[current_index[0]] = new_x
        self._manual_y_points[current_index[0]] = new_y
    else:
        QMessageBox.warning(self, "Ошибка", "Пожалуйста, выберите точку для редактирования!")

    def remove_selected_point(self):
        current_index = [x.row() for x in self.points_list.selectedIndexes()]

        if self.points_list.count() <= 3:
            QMessageBox.warning(self, "Ошибка", "Нельзя удалить точку: минимум должно быть 3 точки!")
            return

        selected_item = self.points_list.currentItem()
        if selected_item:
            self.points_list.takeItem(self.points_list.row(selected_item))
            # self._manual_points.pop(current_index[0], None)
            self._remove_manual_points(index=current_index[0])
        else:
            QMessageBox.warning(self, "Ошибка", "Пожалуйста, выберите точку для удаления!")

# =====
    def closeEvent(self, event):
        pass
        # reply = QtWidgets.QMessageBox.question(self, 'Закрытие приложения',
        #                                       'Вы уверены, что хотите закрыть программу?',
        #                                       QtWidgets.QMessageBox.Yes, QtWidgets.QMessageBox.No)
        # if reply == QtWidgets.QMessageBox.Yes:
        #     # тут делайте что вам надо перед закрытием диалога
        #     event.accept()
        # else:
        #     event.ignore()

    def _hide_show_shape_elements(self, show_shape: str = 'circle'):
        cicle_shape = [self.lb_radius, self.in_radius]
        oval_shape = [self.lb_hight, self.lb_width, self.in_width, self.in_hieght]
        cicle_oval_shape = [self.label_13, self.label_11, self.center_x, self.label_12, self.center_y]

        other_shape = [self.add_point_button, self.edit_point_button, self.remove_point_button,
self.points_list,
                    self.in_other_radius, self.lb_other_radius]
        for_hide = []
        for_show = []

        for_hide.extend(other_shape)
        for_hide.extend(cicle_oval_shape)
        for_hide.extend(oval_shape)
        for_hide.extend(cicle_shape)

        match show_shape:
            case 'circle':
                for_show.extend(cicle_oval_shape)
                for_show.extend(cicle_shape)
            case 'oval':
                for_show.extend(cicle_oval_shape)
                for_show.extend(oval_shape)
            case 'other':
                for_show.extend(other_shape)

```

```

for elem in for_hide:      elem.hide()

for elem in for_show:     elem.show()

def _cb_cicle_env(self):
    print('cb_cicle 1')
    self._data['cb_cicle'] = True
    self._data['cb_oval'] = False
    self._data['cb_other'] = False
    self._plot()

    self._hide_show_shape_elements(show_shape='circle')

def _cb_oval_env(self):
    self._data['cb_oval'] = True
    self._data['cb_cicle'] = False
    self._data['cb_other'] = False
    self._plot()

    self._hide_show_shape_elements(show_shape='oval')

def _cb_other_env(self):
    self._data['cb_oval'] = False
    self._data['cb_cicle'] = False
    self._data['cb_other'] = True
    self._plot()
    self._hide_show_shape_elements(show_shape='other')

def _change_params(self):
    source: QtWidgets.QLineEdit = self.sender()
    value = source.text()
    try:
        # self._data[source.objectName()] = value
        self._data[source.objectName()] = float(value)
    except:
        # source.setText(str(self._data[source.objectName()]))
        source.setText("")
        self._data[source.objectName()] = source.text()

    if self._draw_pressed:
        self._plot(changed_value=True)

def _btn_save_click(self):
    self._data['manual_x_points'] = self._manual_x_points
    self._data['manual_y_points'] = self._manual_y_points
    with open(DATA_FILE, "w") as write_file:
        json.dump(self._data, write_file)

def main():
    app = QtWidgets.QApplication(sys.argv) # Новый экземпляр QApplication
    window = Main() # Создаём объект класса Dep_build_room
    window.show() # Показываем окно
    app.exec_() # и запускаем приложение

if __name__ == '__main__':
    main()
# 1243

```

## П4.2 Варианты программного моделирования сети логистических грузовых распределительных центров транспортного узла «Р»

Таблица П4.1 – Координаты станций и терминалов узла «Р»

Наименование	x	y
Ст. «Р-З»	-5,3	0,7
Ст. «Р-Т»	5,1	0,35
ЛГРЦ «Г»	-4,2	-5,8
ЛГРЦ «С»	1,3	-4,7
ЛГРЦ «Ю»	6	1,1

Таблица П4.2 – Координаты потребителей узла «Р»

Наименование	x	y
П1	0,7	1,9
П2	2,6	2,6
П3	3	2
П4	2,4	0,6
П5	6,4	-1,1
П6	3,2	-2
П7	2	-2,5
П8	1,7	-1,9
П9	1,5	-1
П10	0,9	-2
П11	0,7	-2,1
П12	-1	-1,7
П13	-1,6	-2,6
П14	-3,7	-2,3
П15	-4	-1,3
П16	-3,2	-0,7
П17	-3,8	-0,4
П18	-5,3	-1,5
П19	-5,3	-1,2
П20	-5,2	-1
П21	-2,8	0,1
П22	-4,7	1,7
П23	-2,6	1,8
П24	-1,9	2,3
П25	4,2	2,3
П26	4,7	1,3
П27	1,9	1,5
П28	3,6	1
П29	1,1	0,7
П30	-1,1	1,6
П31	-0,5	0,4
П32	-1,7	1,1

Продолжение таблицы П.4.2

П33	-3,3	0,9
П34	-3,4	2,2
П35	-4,3	0,5
П36	-3,9	1,3
П37	-5,5	1,2
П38	-1,3	-0,5
П39	-0,3	-0,8
П40	-2,2	-1,2
П41	-4,7	-0,5
П42	-3	-1,7
П43	-4,4	-1,9
П44	0,6	-0,6
П45	1,9	-0,3
П46	2,5	-1,2
П47	0,8	-1,3
П48	3,3	-0,4
П49	5,5	-0,6
П50	4,3	-0,8
П51	3,8	-1,3
П52	4,9	-1,2
П53	4,2	-1,9
П54	-2,1	-2
П55	3,9	1,6
П56	1,4	2,6
П57	1,4	2,1
П58	-0,6	2,5
П59	0,4	1,3
П60	-0,5	-2,3

Таблица П4.3 – Ведомость расстояний и коэффициентов непрямолинейности потребителей узла «Р»

№№	ЛГРЦ «Г»				ЛГРЦ «С»				ЛГРЦ «Ю»			
	Лкр	Левк	Кнепр	Кср	Лкр	Левк	Кнепр	Кср	Лкр	Левк	Кнепр	Кср
П1	14	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	
П3	15,3	11	1,39		9,7	6,8	1,43		6,5	3,1	2,1	
П4	15,3	9,4	1,63		9,9	5,3	1,87		9,8	3,7	2,65	
П5	15	12	1,25		9,2	6	1,53		8,4	2,4	3,5	
П6	11,2	9,1	1,23		5,3	3,1	1,71		11	4,3	2,56	
П7	10	8	1,25		5	2,2	2,27		13	5,3	2,45	
П8	11,3	7,9	1,43		5,6	2,8	2		12	5,2	2,31	
П9	12,8	8	1,6		6,9	3,6	1,92		11	4,9	2,24	
П10	10,6	7,2	1,47		4,9	2,7	1,81		12	5,8	2,07	
П11	12,3	7	1,76		4,7	2,6	1,81		13	6,1	2,13	
П12	9,6	5,3	1,81		4,7	3,8	1,24		15	7,5	2	
П13	8,2	4,4	1,86		7,8	3,7	2,11		18	8,4	2,14	

Продолжение таблицы П.4.3

П14	5,2	2,8	1,86		10	5,6	1,79		19	10	1,9	
П15	6,5	3,3	1,97		11	6,3	1,75		18	10	1,8	
П16	7,3	4,3	1,7		10	6,1	1,64		11,6	9,4	1,23	
П17	7,5	4,3	1,74		11	6,7	1,64		17	9,9	1,72	
П18	5,7	2,7	2,11		13,5	7,4	1,82		19	12	1,58	
П19	5,3	3	1,77		13	7,6	1,77		19	12	1,58	
П20	5,1	3,1	1,65		12	7,5	1,6		18	11	1,64	
П21	8	5,1	1,57		11	6,3	1,75		15	8,9	1,69	
П22	7,8	5,9	1,32		14	8,8	1,59		20	11	1,82	
П23	10,2	6,7	1,52		16	7,5	2,13		14	8,6	1,63	
П24	11	7,5	1,47		11	7,5	1,82		13	8	1,63	
П25	16,8	12	1,4		11,8	7,4	1,59		6,5	2,2	2,95	
П26	18,5	12	1,54		11,7	6,7	1,75		1,9	1,3	1,46	
П27	14,7	9,5	1,55		10,9	6,1	1,79		5,3	4,1	1,29	
П28	15,8	11	1,44		10	6	1,67		2,9	2,4	1,21	
П29	12,4	8,4	1,48		10,1	5,4	1,87		5,7	4,9	1,16	
П30	10,4	7,4	1,41		12,3	6,7	1,84		10,5	7,1	1,48	
П31	10,6	6,9	1,54		9,1	5,5	1,65		7,3	6,6	1,11	
П32	8,9	6,6	1,35		11,4	6,5	1,75		10	7,7	1,3	
П33	9	5,6	1,61		12,3	7,3	1,68		11	9,3	1,18	
П34	8,9	6,8	1,31		16,7	8,4	1,99		12,4	9,5	1,31	
П35	7,6	4,9	1,55		11,9	7,7	1,55		11,9	10	1,19	
П36	9,4	5,8	1,62		16	8	2		12,7	9,9	1,28	
П37	7,3	5,4	1,35		14,8	9	1,64		14,4	11	1,31	
П38	9,4	3,8	2,47		8,9	5	1,78		12,1	7,5	1,61	
П39	9,1	6,4	1,42		7,1	4,2	1,69		8,4	6,6	1,27	
П40	7,5	4,6	1,63		9,2	4,9	1,88		11,2	8,5	1,32	
П41	5,8	3,8	1,53		12,6	7,4	1,7		12,7	11	1,15	
П42	6,2	3,7	1,68		9,7	5,3	1,83		11,1	9,4	1,18	
П43	4,5	2,7	1,67		11,5	6,5	1,77		14,2	11	1,29	
П44	12	7,3	1,64		6,7	4,1	1,63		7,5	5,6	1,34	
П45	13,5	8,5	1,59		8	4,3	1,86		6,2	4,3	1,44	
П46	12,6	8,8	1,43		7	3,5	2		6,1	4,2	1,45	
П47	11,3	7,2	1,57		6	3,4	1,76		7,5	5,6	1,34	
П48	14,3	9,7	1,47		8,5	4,5	1,89		6	3,1	1,94	
П49	15,5	12	1,29		9,4	5,7	1,65		4,7	1,8	2,61	
П50	14,2	11	1,29		8,2	4,7	1,74		5,5	2,6	2,12	
П51	12,8	10	1,28		7,1	4,1	1,73		6,7	3,3	2,03	
П52	14,7	11	1,34		8,4	4,9	1,71		6,3	2,6	2,42	
П53	12,6	10	1,26		6,8	3,8	1,79		7,1	3,5	2,03	
П54	6,5	4,3	1,51		8,9	4,4	2,02		12,4	8,6	1,44	
П55	15,3	11	1,39		10,6	6,7	1,58		2,7	2,2	1,23	
П56	14,2	9,8	1,45		12	7,2	1,67		7	4,8	1,46	
П57	14,2	9,5	1,49		11,4	6,7	1,7		6	4,7	1,28	
П58	12,1	8,4	1,44		13,5	7,4	1,82		9,2	6,8	1,35	
П59	11,5	8,2	1,4		10,6	6	1,77		6,3	5,5	1,15	
П60	8	5,5	1,45		6,6	3	2,2		9,8	7,4	1,32	

Таблица П4.4 – Ведомость расстояний и стоимостей начально конечных операций

Станции узла «Р»	ЛГРЦ ( $l$ - расстояние, км; $p$ – стоимость начально конечных операций, руб.)					
	«Г»		«С»		«Ю»	
	$l$	$p$	$l$	$p$	$l$	$p$
«Р-3»	10,5	10500	14,6	14600	17,7	17700
«Р-Т»	17	17000	9,8	9800	5,1	5100

Таблица П4.5 – Ведомость транспортных расходов (тыс руб.) по вариантам обслуживания потребителей узла «Р» при итерациях размещения ЛГРЦ.

Потребитель	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
П1	31,0	24,5	20,8	25,6	15,0	27,6	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П2	32,9	25	20,8	25,6	12,3	27,6	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П3	32,3	24,4	18,8	24,3	11,6	28,2	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П4	32,3	24,4	18,8	24,3	15,8	27,6	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П5	32	24,1	18	24,6	13,5	27,6	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П6	28,2	20,7	14,5	22,6	21,9	28,7	ЛГРЦ «С» (ст. «Р-Т»)
П7	27	19,5	14	24,7	23,9	30,7	ЛГРЦ «С» (ст. «Р-Т»)
П8	28,3	20,8	15,3	24,1	21,9	30,7	ЛГРЦ «С» (ст. «Р-Т»)
П9	29,8	22,3	16,8	24,5	21,9	28,7	ЛГРЦ «С» (ст. «Р-Т»)
П10	27,6	20,1	14,7	23,1	22	30,7	ЛГРЦ «С» (ст. «Р-Т»)
П11	29,3	21,8	14,7	23,1	23,5	31	ЛГРЦ «С» (ст. «Р-Т»)
П12	26,6	19,1	15,5	24,2	30	37,9	ЛГРЦ «Г» (ст. «Р-3»)
П13	25,4	17,9	18,8	29,6	37	44,9	ЛГРЦ «Г» (ст. «Р-3»)
П14	22	14,5	21	34,6	38	45,9	ЛГРЦ «Г» (ст. «Р-3»)
П15	23,5	16	22	34,6	37	44,9	ЛГРЦ «Г» (ст. «Р-3»)
П16	24,3	16,8	21	33,4	23,5	28,6	ЛГРЦ «Г» (ст. «Р-3»)
П17	24,5	17	22	35,6	26,9	36,6	ЛГРЦ «Г» (ст. «Р-3»)
П18	22,7	15,2	24,3	39,9	28,9	45,9	ЛГРЦ «Г» (ст. «Р-3»)

Продолжение таблицы П.4.5

П19	22,3	14,8	23	39,9	28,9	45,9	ЛГРЦ «Г» (ст. «Р-3»)
П20	22,1	14,6	23	39,9	28,9	45,9	ЛГРЦ «Г» (ст. «Р-3»)
П21	25	17,5	22	39,6	33,5	42,4	ЛГРЦ «Г» (ст. «Р-3»)
П22	24,8	17,3	25	43,6	40	48,9	ЛГРЦ «Г» (ст. «Р-3»)
П23	27,2	19,7	27	45,6	30	44,9	ЛГРЦ «Г» (ст. «Р-3»)
П24	28	20,5	22	39,6	29	44,9	ЛГРЦ «Г» (ст. «Р-3»)
П25	33,8	26,3	24,6	42,4	9,7	21,6	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П26	35,5	28	24,4	42,4	8	20,9	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П27	31,7	24,2	21,9	39,6	10,4	22,9	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П28	32,8	25,3	21	39,6	8	20,9	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П29	29,4	21,9	21,1	39,6	11,4	23,9	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П30	27,4	19,9	24,3	43,6	15,6	28,1	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П31	27,6	20,1	21,1	39,6	12,6	25,1	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П32	25,9	18,4	23,8	41,6	17,6	31,2	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П33	23,6	16,1	24	42,6	19	32,6	ЛГРЦ «Г» (ст. «Р-3»)
П34	25,6	18,1	25,3	43,9	19	32,6	ЛГРЦ «Г» (ст. «Р-3»)
П35	26,5	19	24,8	42,4	17	30,5	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П36	28,5	21	26,5	44,1	18	31,5	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П37	27,3	19,8	25	42,6	16,8	30,3	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П38	29,3	21,8	26	43,6	18,8	32,3	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П39	30,8	23,3	27,5	45,1	20,3	33,8	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П40	32,2	24,7	28,9	46,5	21,7	35,2	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П41	30,2	22,7	26,9	44,5	19,7	33,2	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П42	31,7	24,2	28,4	46	21,2	34,7	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П43	34,1	26,6	30,8	48,4	23,6	37,1	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)

Продолжение таблицы П.4.5

П44	35,6	28,1	32,3	49,9	25,1	38,6	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П45	36,4	28,9	33,1	50,7	25,9	39,4	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П46	37,9	30,4	34,6	52,2	27,4	40,9	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П47	39,3	31,8	36	53,6	28,8	42,3	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П48	38,1	30,6	34,8	52,4	27,6	41,1	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П49	40,1	32,6	36,8	54,4	29,6	43,1	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П50	41,6	34,1	38,3	55,9	31,1	44,6	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П51	43,1	35,6	39,8	57,4	32,6	46,1	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П52	44,9	37,4	41,6	59,2	34,4	47,9	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П53	43,7	36,2	40,4	58	33,2	46,7	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П54	45,2	37,7	41,9	59,5	34,7	48,2	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П55	46,7	39,2	43,4	61	36,2	49,7	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П56	45,5	38	42,2	59,8	35	48,5	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П57	47	39,5	43,7	61,3	36,5	50	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П58	48,5	41	45,2	62,8	38	51,5	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П59	49,3	41,8	46	63,6	38,8	52,3	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
П60	50,8	43,3	47,5	65,1	40,3	53,8	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
Итого	1946,9	1496,1	1627,7	2541,2	1478,5	2220,1	

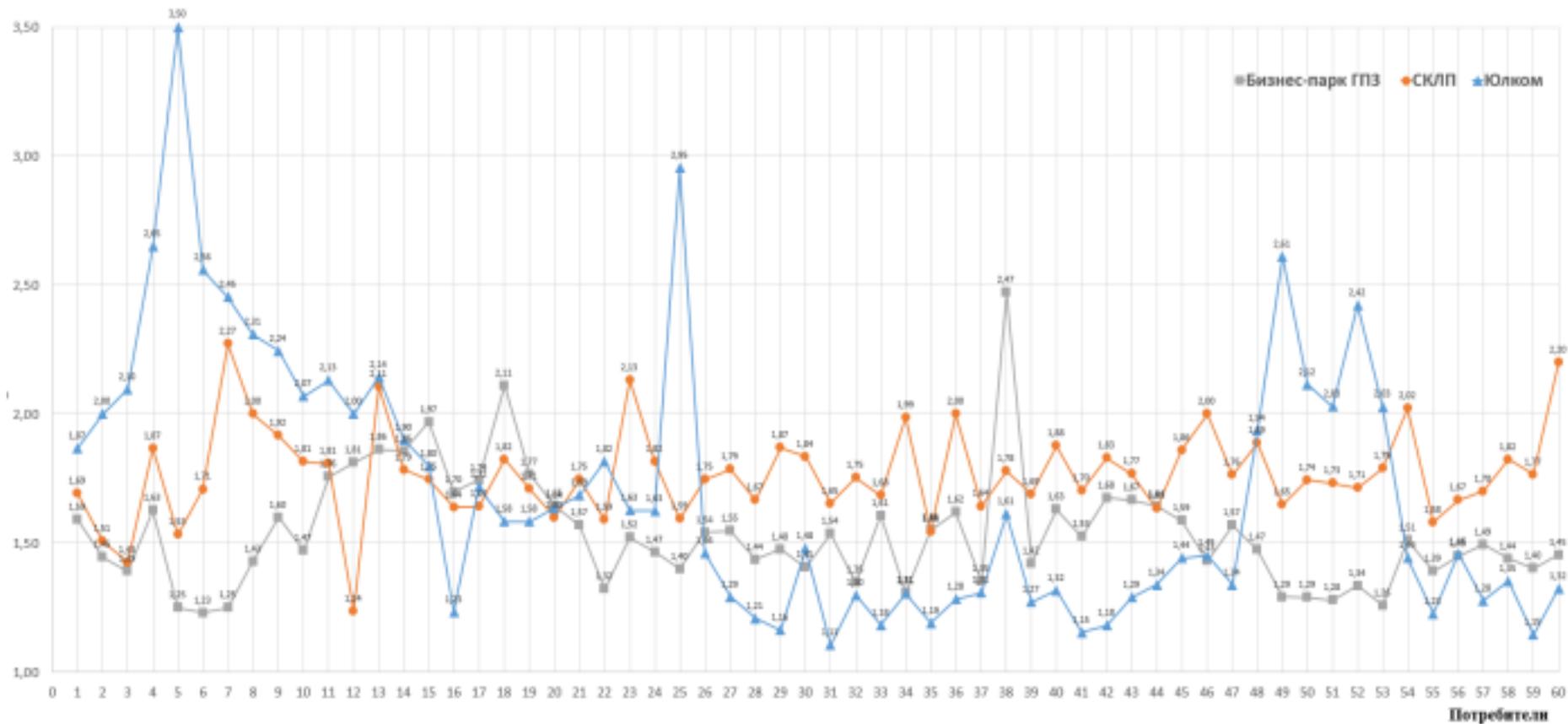


Рисунок П4.2 – Диаграммы отношений длин маршрутов к евклидовым расстояниям узла «Р»

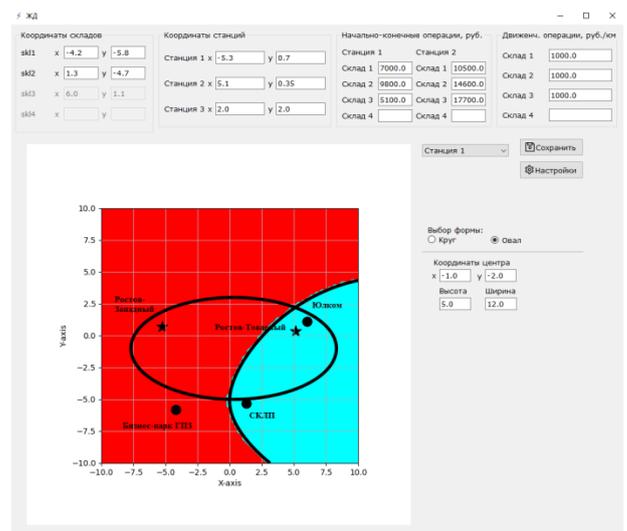
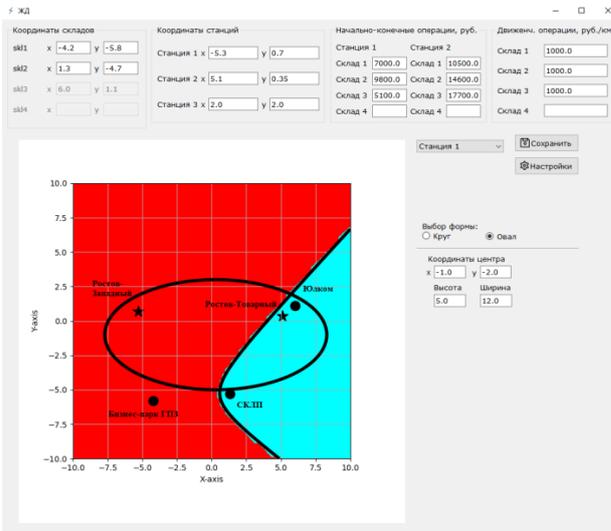


Рисунок П4.3 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «Г» (красный цвет) и ЛГРЦ «С» (голубой цвет) (первая и последняя итерация)

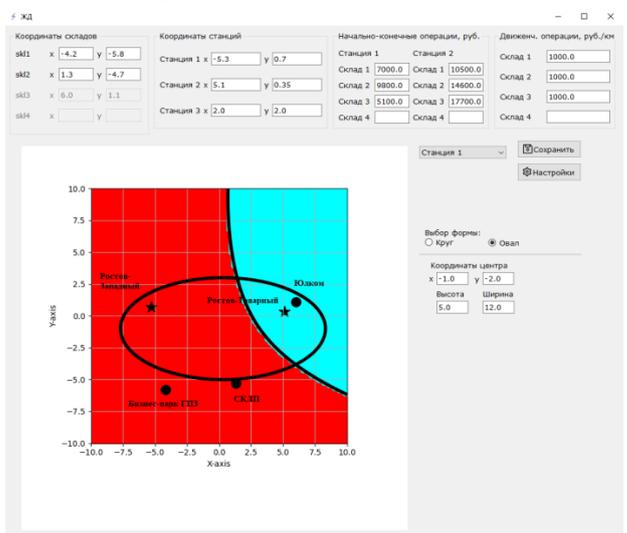
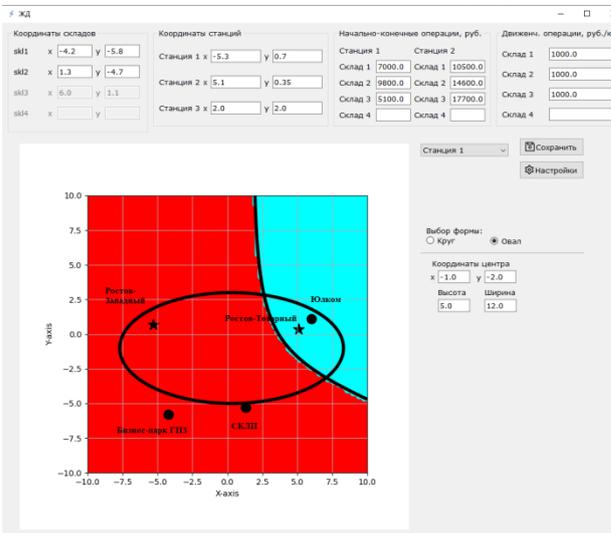


Рисунок П4.4 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «Г» (красный цвет) и ЛГРЦ «Ю» (голубой цвет) (первая и последняя итерация)

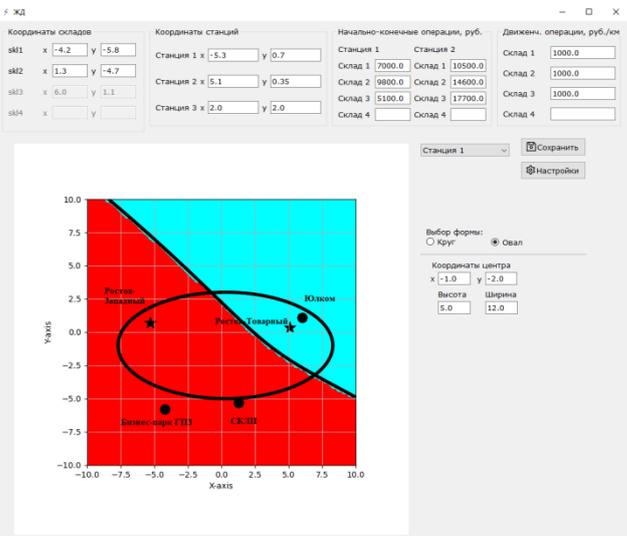
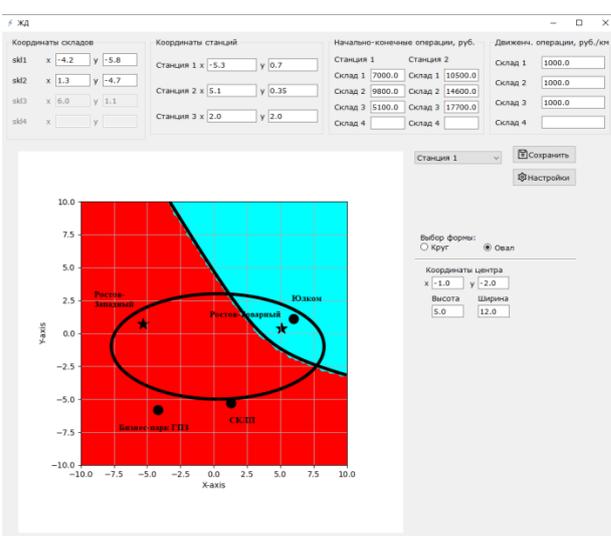


Рисунок П4.5 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «С» (красный цвет) и ЛГРЦ «Ю» (голубой цвет) (первая и последняя итерация)

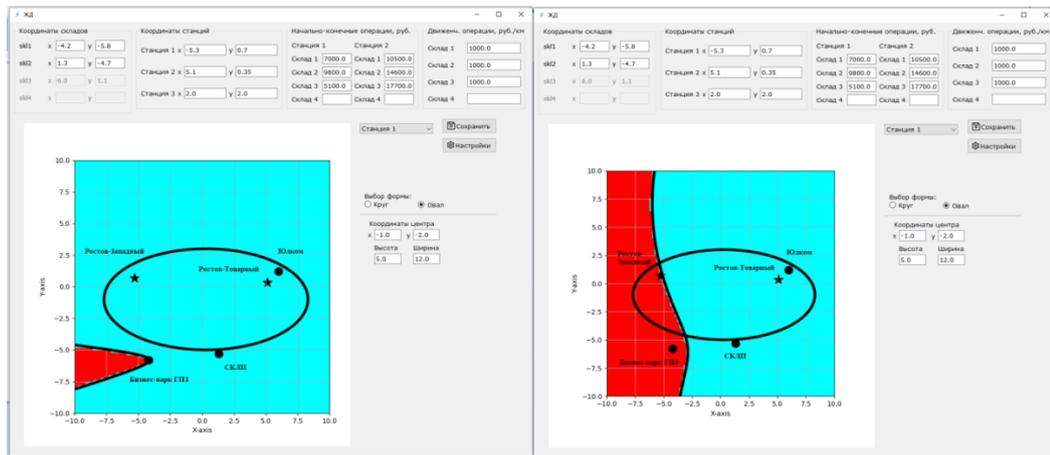


Рисунок П4.6 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «Г» (красный цвет) и ЛГРЦ «С» (голубой цвет) при обслуживании с одной ж.-д. станции (первая и последняя итерация)

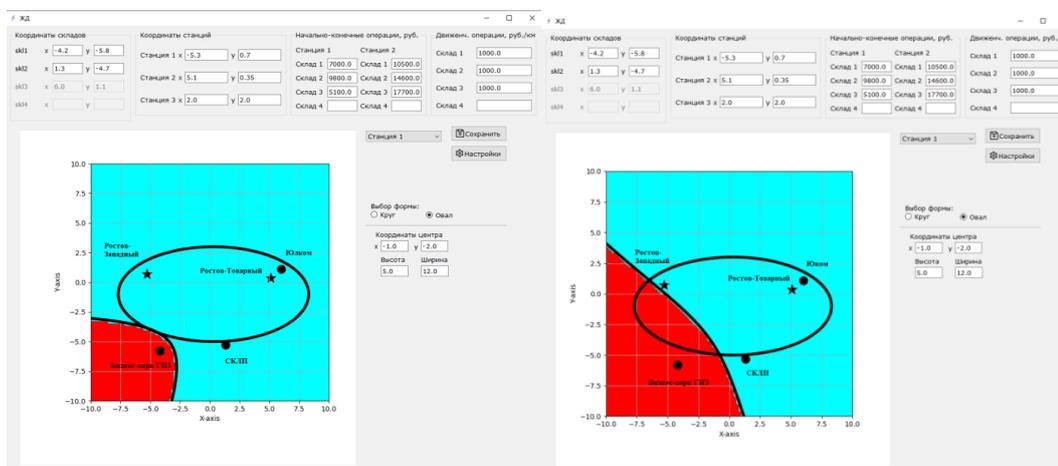


Рисунок П4.7 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «Г» (красный цвет) и ЛГРЦ «Ю» (голубой цвет) при обслуживании с одной ж.-д. станции (первая и последняя итерация)

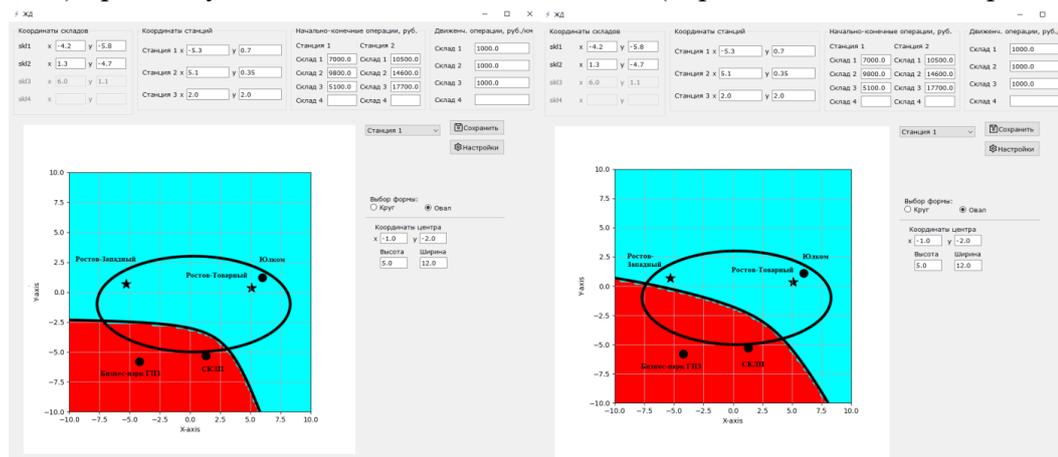


Рисунок П4.8 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «С» (красный цвет) и ЛГРЦ «Ю» (голубой цвет) при обслуживании с одной ж.-д. станции «Р-Т» (первая и последняя итерация)

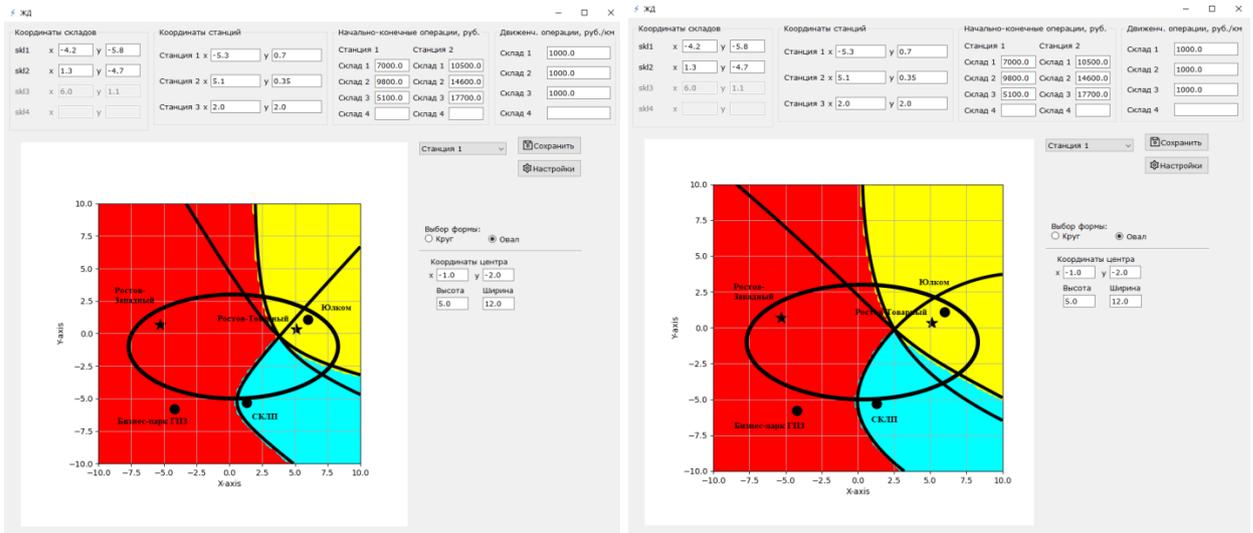


Рисунок П4.9 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «Г» (красный цвет), ЛГРЦ «С» (голубой цвет) и ЛГРЦ «Ю» (желтый цвет) при мультиагентности и обслуживании с одной ж.-д. станции «Р-3» (первая и последняя итерация)

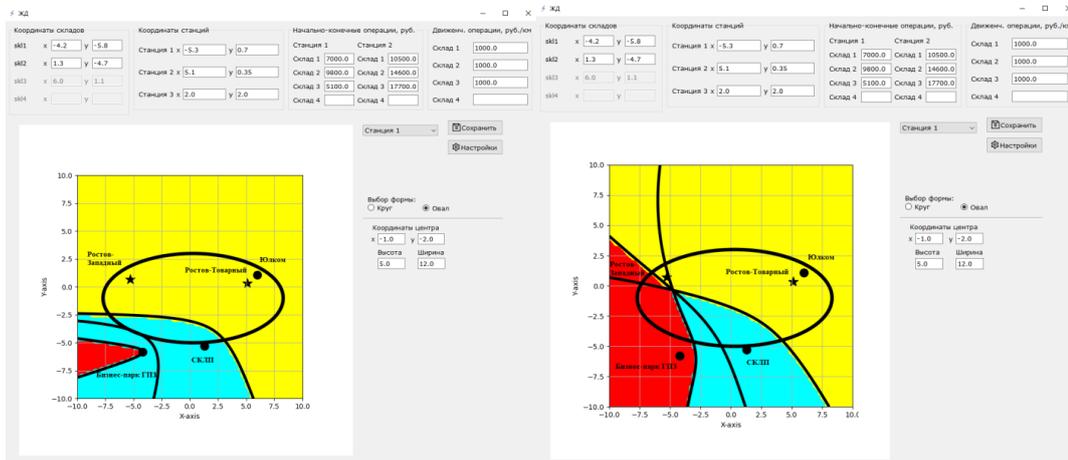


Рисунок П4.10 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «Г» (красный цвет), ЛГРЦ «С» (голубой цвет) и ЛГРЦ «Ю» (желтый цвет) при мультиагентности и обслуживании с одной ж.-д. станции «Р-Т» (первая и последняя итерация)

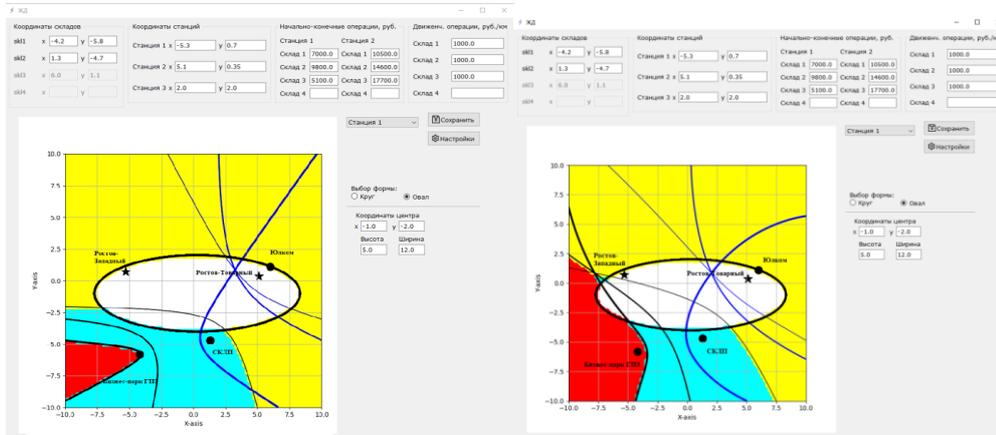


Рисунок П4.11 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «Г» (красный цвет), ЛГРЦ «С» (голубой цвет) и ЛГРЦ «Ю» (желтый цвет) при мультиагентности и обслуживании с двух ж.-д. станций «Р-Т» и «Р-3» (первая и последняя итерация)

### П4.3 Варианты программного моделирования сети логистических грузовых распределительных центров транспортного узла «А»

Таблица П4.6 – Координаты станций и терминалов узла «А»

Наименование	x	y
Ст. «А-2»	1,2	5,5
Ст. «К»	-0,3	-3,4
Ст. «Л»	-4,3	-1,1
ЛГРЦ «СК»	-0,9	-2,1
ЛГРЦ «ПЭК»	0,1	-5,0
ЛГРЦ «БС»	0,6	2
ЛГРЦ «ДС»	-3,5	1,5

Таблица П4.7 – Координаты потребителей узла «А»

Наименование	x	y
П1	-0,6	-1,9
П2	1,1	-0,9
П3	-0,3	-0,4
П4	-1,6	-1,2
П5	1,9	0,8
П6	0,6	0,3
П7	0,4	-1,6
П8	-1,2	-2,4
П9	-2,3	-1,4
П10	0,3	-2,5
П11	-1,9	-2,6
П12	-3	-2,1
П13	-0,9	-0,9
П14	-1	0,4
П15	-0,8	1,1
П16	1,3	0,5
П17	-0,5	2,1
П18	1,1	2,4
П19	1,6	0,3
П20	0,4	1,4
П21	1,2	-0,3
П22	0,6	0,8
П23	0,3	2,8
П24	1,3	4,9
П25	2,2	5
П26	2,2	4,2
П27	1,9	4,6
П28	1,3	-1,7
П29	1,7	-0,5
П30	1,4	4,4
П31	2,5	3,5

Продолжение таблицы П.4.7

П32	1,8	3,5
П33	2,2	3,2
П34	2	2,8
П35	1,6	1,2
П36	1,3	1,2
П37	1	-2,1
П38	-1,8	-3,1
П39	-1	-0,4
П40	-2,1	-0,7
П41	-0,8	-3,9
П42	-1	-1,4
П43	-0,6	-2,9
П44	0,9	-3,2
П45	0,3	-1
П46	-0,6	1,5
П47	0,5	-0,5
П48	-0,5	0,4
П49	0,7	-2,9
П50	-1,8	-1,8

Таблица П4.8 – Ведомость расстояний и коэффициентов непрямолинейности потребителей узла «А»

№№	ЛГРЦ «СК»				ЛГРЦ «ПЭК»				ЛГРЦ «БС»				ЛГРЦ «ДС»			
	Лкр	Левк	Кнепр	Кср	Лкр	Левк	Кнепр	Кср	Лкр	Левк	Кнепр	Кср	Лкр	Левк	Кнепр	Кср
П1	0,7	0,4	1,75	1,7	4,8	3,2	1,5	1,56	5,3	4	1,33	1,63	7	4,5	1,56	1,57
П2	3,4	2,4	1,42		7,3	4,2	1,74		4,4	2,9	1,52		6,7	5,1	1,31	
П3	2,7	1,8	1,5		6,7	4,6	1,46		4	2,5	1,6		4,7	3,7	1,27	
П4	1,9	1	1,9		5	3,9	1,28		5,1	3,7	1,38		5,5	3,3	1,67	
П5	5,4	4,1	1,32		9,7	6,1	1,59		2,1	1,6	1,31		6,6	5,3	1,25	
П6	4	2,9	1,38		8	5,4	1,48		2,2	1,6	1,38		5,1	4,3	1,19	
П7	2,1	1,4	1,5		6	3,4	1,76		4,9	3,6	1,36		6,6	4,9	1,35	
П8	1,6	0,4	4		3,7	2,8	1,32		6,1	4,8	1,27		6,7	4,5	1,49	
П9	2,5	1,5	1,67		5,5	4,3	1,28		5,9	4,5	1,31		6,3	3,1	2,03	
П10	2,5	1,3	1,92		5,4	2,5	2,16		5,9	4,5	1,31		7,5	5,4	1,39	
П11	2,5	1	2,5		4	3,11	1,29		7,1	5,2	1,37		7,7	4,4	1,75	
П12	3,1	2	1,55		6	4,2	1,43		6,9	5,5	1,25		7,3	3,7	1,97	
П13	2,3	1,2	1,92		6,4	4,1	1,56		4,5	3,3	1,36		5,1	3,5	1,46	
П14	4,4	2,5	1,76		7,8	5,5	1,42		3,1	2,3	1,35		3,9	2,6	1,5	
П15	4,8	3,2	1,5		8,9	6,1	1,46		2,9	1,7	1,71		4,3	2,6	1,65	
П16	4,6	3,5	1,31		8,6	5,7	1,51		1,9	1,5	1,27		5,8	4,9	1,18	
П17	5,4	4,2	1,29		9,5	7,1	1,34		1,7	1,1	1,55		4,9	3	1,63	
П18	6,6	4,9	1,35		10,6	7,5	1,41		0,9	0,6	1,5		6,8	4,6	1,48	
П19	5,3	3,6	1,47		9,1	5,5	1,65		2,9	2	1,45		7,2	5,3	1,36	
П20	5,6	3,9	1,44		9,2	6,4	1,44		0,8	0,5	1,6		6,3	4	1,58	
П21	4,9	2,8	1,75		8,4	4,8	1,75		3,1	2,4	1,29		6,7	5	1,34	
П22	5	3,4	1,47		9	5,9	1,53		1,4	1,2	1,17		6,1	4,1	1,49	
П23	7,1	5	1,42		11,3	7,7	1,47		3,4	0,8	4,25		6,7	4	1,68	
П24	13,2	7,4	1,78		17,4	10	1,74		8,4	3,1	2,71		13,8	5,9	2,34	
П25	12,1	7,8	1,55		16,6	10,1	1,64		7,6	3,5	2,17		13	6,7	1,94	
П26	11,7	7,1	1,65		16,8	9,4	1,79		7,8	2,7	2,89		13,1	6,4	2,05	

Продолжение таблицы П.4.8

П27	11,8	7,3	1,62	16,9	9,8	1,72	7,9	3	2,63	13,2	6,2	2,13
П28	3,7	2,4	1,54	6,8	3,5	1,94	5,7	3,7	1,54	8	5,7	1,4
П29	4	3,1	1,29	7,8	4,7	1,66	3,4	2,7	1,26	7,1	5,5	1,29
П30	14,4	6,9	2,09	18,7	9,5	1,97	11,9	2,5	4,76	17,2	5,7	3,02
П31	8,2	6,6	1,24	12	8,8	1,36	3,8	2,5	1,52	9,1	6,3	1,44
П32	8,1	6,3	1,29	12,3	8,7	1,41	4	2	2	9,5	5,7	1,67
П33	7,8	6,2	1,26	11,6	8,4	1,38	3,4	2	1,7	8,7	5,9	1,47
П34	7,5	5,7	1,32	11,3	8	1,41	3,1	1,7	1,82	8,4	5,7	1,47
П35	6,4	4,5	1,42	10,2	6,8	1,5	1,5	1,1	1,36	7,4	5,1	1,45
П36	4,9	1,6	3,06	9,1	6,3	1,44	1,2	0,9	1,33	6,3	4,7	1,34
П37	2,7	2,1	1,29	4,7	3	1,57	5,4	4,2	1,29	7,5	5,7	1,32
П38	2,3	1,3	1,77	3,6	2,6	1,38	7	5,6	1,25	7,7	4,9	1,57
П39	2,8	1,6	1,75	6,9	4,6	1,5	4	2,9	1,38	4,4	3,1	1,42
П40	3,3	1,7	1,94	6,5	4,8	1,35	5,8	3,8	1,53	6,3	2,6	2,42
П41	3,6	1,7	2,12	2,3	1,5	1,53	8,3	5,9	1,41	9	6	1,5
П42	1	0,6	1,67	4,9	3,7	1,32	4,7	3,8	1,24	6,1	3,9	1,56
П43	2,1	0,8	2,63	3,8	2,2	1,73	6,2	5	1,24	7,9	5,2	1,52
П44	2,9	1,2	2,42	3,1	2,1	1,48	7,1	5,5	1,29	7,8	5,3	1,47
П45	2	1,6	1,25	6,3	3,9	1,62	4,1	3	1,37	5,8	4,5	1,29
П46	4,9	3,6	1,36	9,3	6,5	1,43	2,3	1,4	1,64	4,7	2,8	1,68
П47	2,8	2,2	1,27	7,3	4,5	1,62	4,3	2,5	1,72	6,1	4,5	1,36
П48	3,6	2,6	1,38	7,9	5,5	1,44	2,6	1,9	1,37	3,7	3,1	1,19
П49	3,2	1,8	1,78	6,4	2,1	3,05	6,3	4,9	1,29	8	6,1	1,31
П50	2	0,8	2,5	4,9	3,7	1,32	6,2	4,5	1,38	3,7	3,7	1,78

Таблица П4.9 – Ведомость расстояний и стоимостей начально конечных операций

Станции узла «А»	ЛГРЦ ( $l$ - расстояние, км; $p$ – стоимость начально конечных операций, руб.)							
	«СК»		«ПЭК»		«БС»		«Д»	
	$l$	$p$	$l$	$p$	$l$	$p$	$l$	$p$
«А-2»	14,4	14400	15,1	15100	10,2	10200	16,3	16300
«К»	2,4	2400	1,1	1100	7	7000	9,5	9500
«П	8,1	8100	9,8	9800	8,7	8700	3	3000

Таблица П4.10 – Ведомость транспортных расходов (тыс руб.) по вариантам обслуживания потребителей узла «А» при итерациях размещения ЛГРЦ

Потребитель	ЛГРЦ «СК» (Ст. «А-2»)	ЛГРЦ «ПЭК» (Ст. «А-2»)	ЛГРЦ «БС» (Ст. «А-2»)	ЛГРЦ «ДС» (Ст. «А-2»)	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)	ЛГРЦ «ПЭК» (Ст. «К»)	ЛГРЦ «БС» (Ст. «К»)	ЛГРЦ «ДС» (Ст. «К»)	ЛГРЦ «СК» (Ст. «П»)	ЛГРЦ «ПЭК» (Ст. «П»)	ЛГРЦ «БС» (Ст. «П»)	ЛГРЦ «ДС» (Ст. «П»)	Оптимальный вариант
П1	15,1	19,9	15,5	23,3	3,1	5,9	12,3	16,5	8,8	14,6	14	10	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П2	17,8	22,4	14,6	23	5,8	8,4	11,4	16,2	11,5	17,1	13,1	9,7	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П3	17,1	21,8	14,2	21	5,1	7,8	11	14,2	10,8	16,5	12,7	7,7	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П4	16,3	20,1	15,3	21,8	4,3	6,1	12,1	15	10	14,8	13,8	8,5	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П5	19,8	24,8	12,3	22,9	7,8	10,8	9,1	16,1	13,5	19,5	10,8	9,6	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П6	18,4	23,1	12,4	21,4	6,4	9,1	9,2	14,6	12,1	17,8	10,9	8,1	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П7	16,5	21,1	15,1	22,9	4,5	7,1	11,9	16,1	10,2	15,8	13,6	9,6	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П8	16	18,8	16,3	23	4	4,8	13,1	16,2	9,7	13,5	14,8	9,7	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П9	16,9	20,6	16,1	22,6	4,9	6,6	12,9	15,8	10,6	15,3	14,6	9,3	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П10	16,9	20,5	16,1	23,8	4,9	6,5	12,9	17	10,6	15,2	14,6	10,5	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П11	16,9	19,1	17,3	24	4,9	5,1	14,1	17,2	10,6	13,8	15,8	10,7	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П12	17,5	21,1	17,1	23,6	5,5	7,1	13,9	16,8	11,2	15,8	15,6	10,3	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)

Продолжение таблицы П.4.10

П13	16,7	21,5	14,7	21,4	4,7	7,5	11,5	14,6	10,4	16,2	13,2	8,1	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П14	18,8	22,9	13,3	20,2	6,8	8,9	10,1	13,4	12,5	17,6	11,8	6,9	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П15	19,2	24	13,1	20,6	7,2	10	9,9	13,8	12,9	18,7	11,6	7,3	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П16	19	23,7	12,1	22,1	7	9,7	8,9	15,3	12,7	18,4	10,6	8,8	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П17	19,8	24,6	11,9	21,2	7,8	10,6	8,7	14,4	13,5	19,3	10,4	7,9	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П18	21	25,7	11,1	23,1	9	11,7	7,9	16,3	14,7	20,4	9,6	9,8	ЛГРЦ «БС» (Ст. «К»)
П19	19,7	24,2	13,1	23,5	7,7	10,2	9,9	16,7	13,4	18,9	11,6	10,2	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П20	20	24,3	11	22,6	8	10,3	7,8	15,8	13,7	19	9,5	9,3	ЛГРЦ «БС» (Ст. «К»)
П21	19,3	23,5	13,3	23	7,3	9,5	10,1	16,2	13	18,2	11,8	9,7	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П22	19,4	24,1	11,6	22,4	7,4	10,1	8,4	15,6	13,1	18,8	10,1	9,1	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П23	21,5	26,4	13,6	23	9,5	12,4	10,4	16,2	15,2	21,1	12,1	9,7	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П24	27,6	32,5	18,6	30,1	15,6	18,5	15,4	23,3	21,3	27,2	17,1	16,8	ЛГРЦ «БС» (Ст. «К»)
П25	26,5	31,7	17,8	29,3	14,5	17,7	14,6	22,5	20,2	26,4	16,3	16	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П26	26,1	31,9	18	29,4	14,1	17,9	14,8	22,6	19,8	26,6	16,5	16,1	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П27	26,2	32	18,1	29,5	14,2	18	14,9	22,7	19,9	26,7	16,6	16,2	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)

Продолжение таблицы П.4.10

П28	18,1	21,9	15,9	24,3	6,1	7,9	12,7	17,5	11,8	16,6	14,4	11	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П29	18,4	22,9	13,6	23,4	6,4	8,9	10,4	16,6	12,1	17,6	12,1	10,1	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П30	28,8	33,8	22,1	33,5	16,8	19,8	18,9	26,7	22,5	28,5	20,6	20,2	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П31	22,6	27,1	14	25,4	10,6	13,1	10,8	18,6	16,3	21,8	12,5	12,1	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П32	22,5	27,4	14,2	25,8	10,5	13,4	11	19	16,2	22,1	12,7	12,5	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П33	22,2	26,7	13,6	25	10,2	12,7	10,4	18,2	15,9	21,4	12,1	11,7	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П34	21,9	26,4	13,3	24,7	9,9	12,4	10,1	17,9	15,6	21,1	11,8	11,4	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П35	20,8	25,3	11,7	23,7	8,8	11,3	8,5	16,9	14,5	20	10,2	10,4	ЛГРЦ «БС» (Ст. «К»)
П36	19,3	24,2	11,4	22,6	7,3	10,2	8,2	15,8	13	18,9	9,9	9,3	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П37	17,1	19,8	15,6	23,8	5,1	5,8	12,4	17	10,8	14,5	14,1	10,5	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П38	16,7	18,7	17,2	24	4,7	4,7	14	17,2	10,4	13,4	15,7	10,7	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П39	17,2	22	14,2	20,7	5,2	8	11	13,9	10,9	16,7	12,7	7,4	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П40	17,7	21,6	16	22,6	5,7	7,6	12,8	15,8	11,4	16,3	14,5	9,3	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П41	18	17,4	18,5	25,3	6	3,4	15,3	18,5	11,7	12,1	17	12	ЛГРЦ «ПЭЖ» (Ст. «К»)
П42	15,4	20	14,9	22,4	3,4	6	11,7	15,6	9,1	14,7	13,4	9,1	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)

Продолжение таблицы П.4.10

П43	16,5	18,9	16,4	24,2	4,5	4,9	13,2	17,4	10,2	13,6	14,9	10,9	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П44	17,3	18,2	17,3	24,1	5,3	4,2	14,1	17,3	11	12,9	15,8	10,8	ЛГРЦ «ПЭК» (Ст. «К»)
П45	16,4	21,4	14,3	22,1	4,4	7,4	11,1	15,3	10,1	16,1	12,8	8,8	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П46	19,3	24,4	12,5	21	7,3	10,4	9,3	14,2	13	19,1	11	7,7	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П47	17,2	22,4	14,5	22,4	5,2	8,4	11,3	15,6	10,9	17,1	13	9,1	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П48	18	23	12,8	20	6	9	9,6	13,2	11,7	17,7	11,3	6,7	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П49	17,6	21,5	16,5	24,3	5,6	7,5	13,3	17,5	11,3	16,2	15	11	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
П50	16,4	20	16,4	20	4,4	6	13,2	13,2	10,1	14,7	14,9	6,7	ЛГРЦ «СК» (Ст. «К»)
Итого	961,4	1171,3	740,5	11800	361,4	471,3	580,5	840	646,4	906,3	665,5	515	

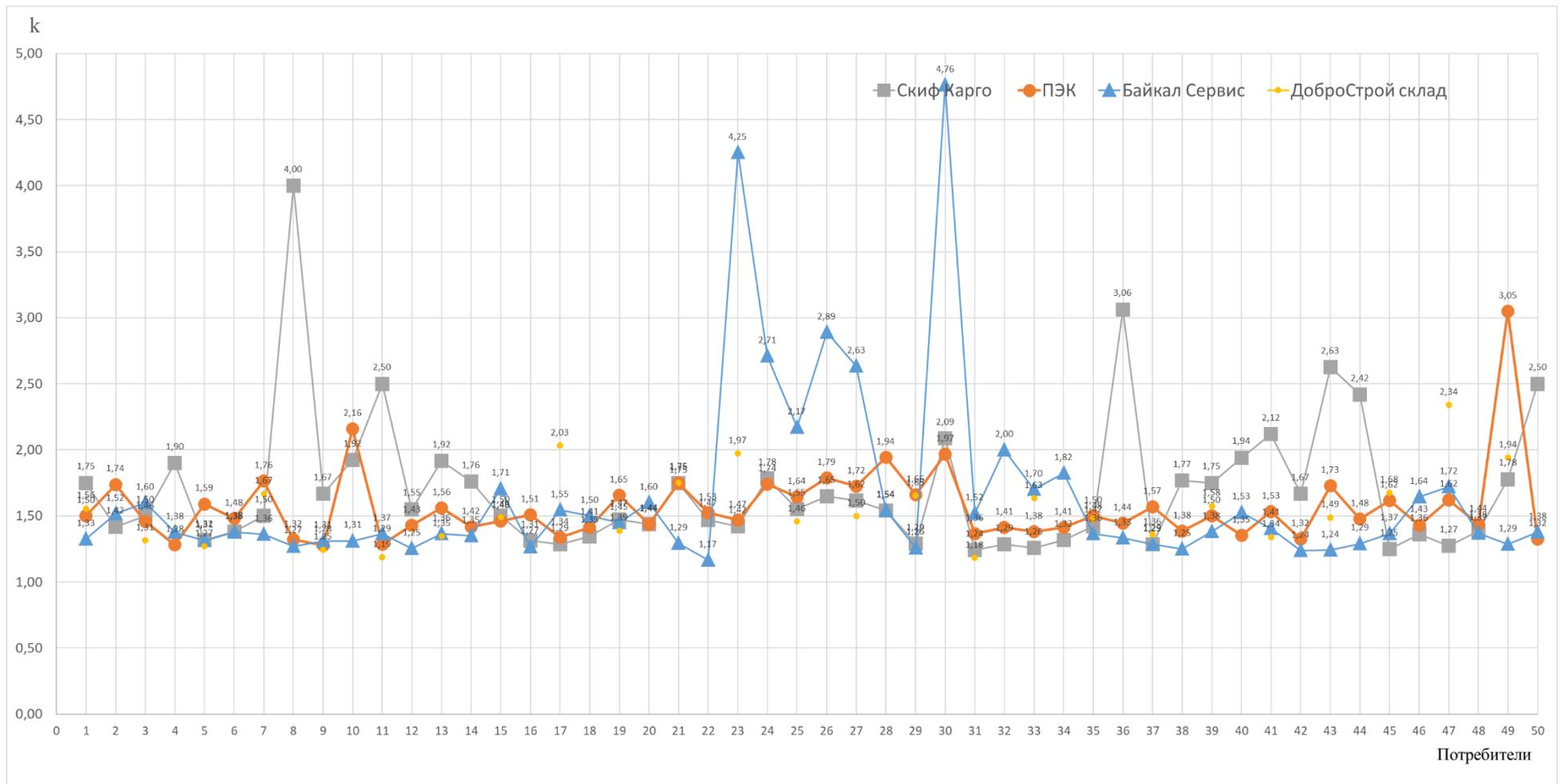


Рисунок П4.13 – Диаграммы отношений длин маршрутов к евклидовым расстояниям узла «А»

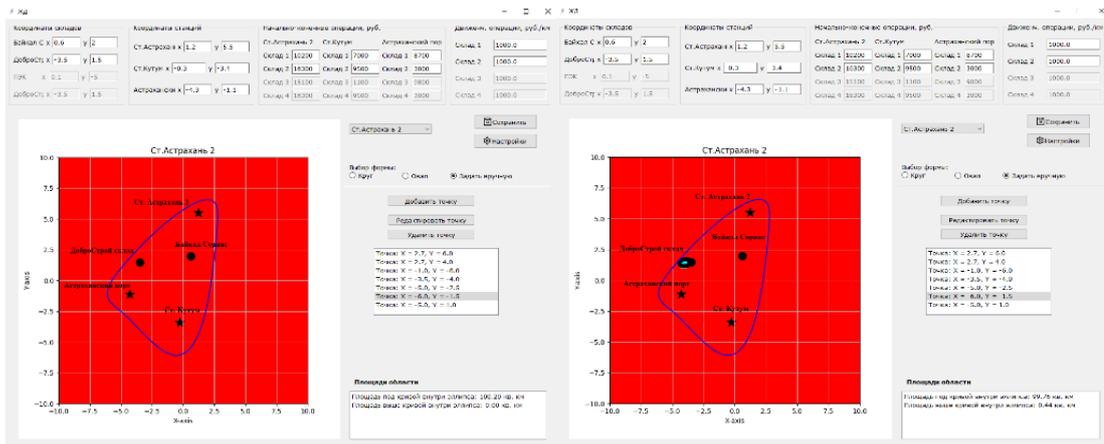


Рисунок П4.14 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «БС» (красный цвет) и ЛГРЦ «ДС» (нет), (первая и последняя итерация)

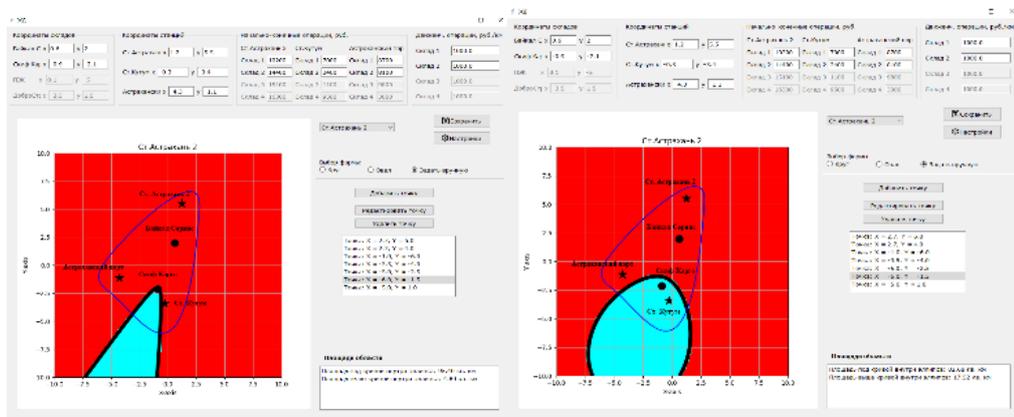


Рисунок П4.15 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «БС» (красный цвет) и ЛГРЦ «СК» (голубой цвет) (первая и последняя итерация)

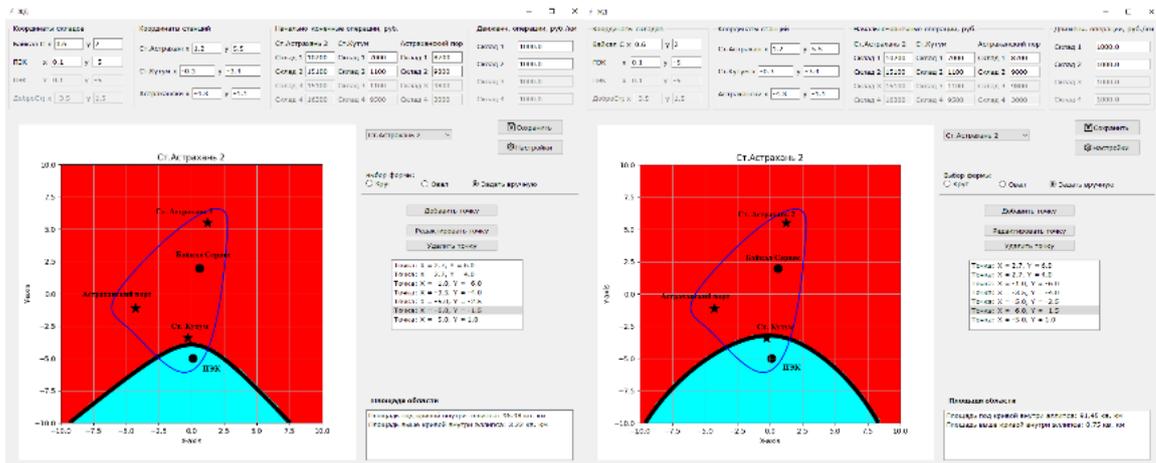


Рисунок П4.16 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «БС» (красный цвет) и ЛГРЦ «ПЭК» (голубой цвет) (первая и последняя итерация)

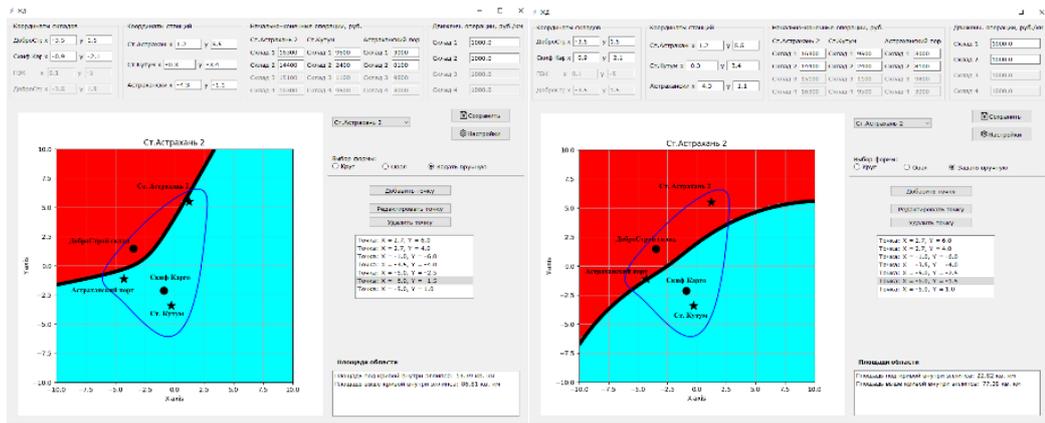


Рисунок П4.17 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «ДС» (красный цвет) и ЛГРЦ «СК» (голубой цвет) (первая и последняя итерация)

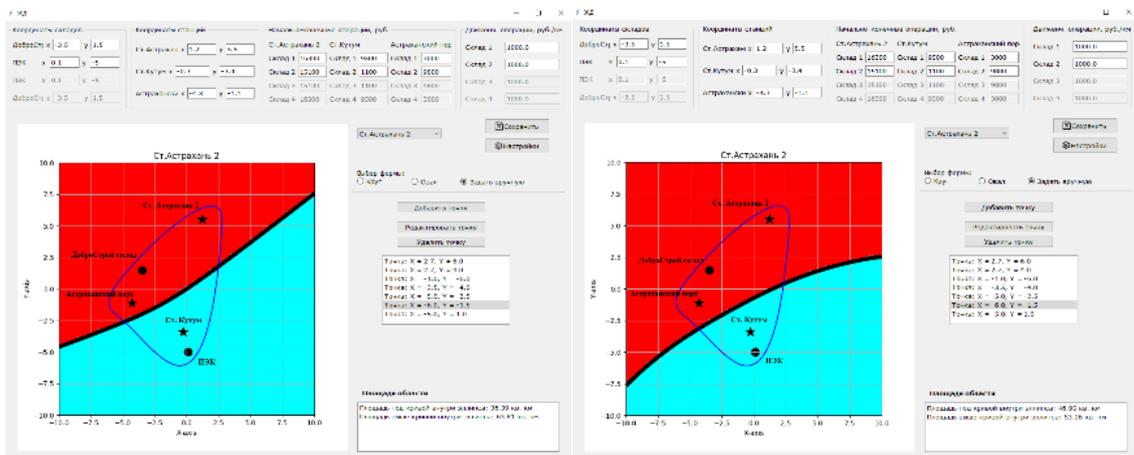


Рисунок П4.18 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «ДС» (красный цвет) и ЛГРЦ «ПЭК» (голубой цвет) (первая и последняя итерация)

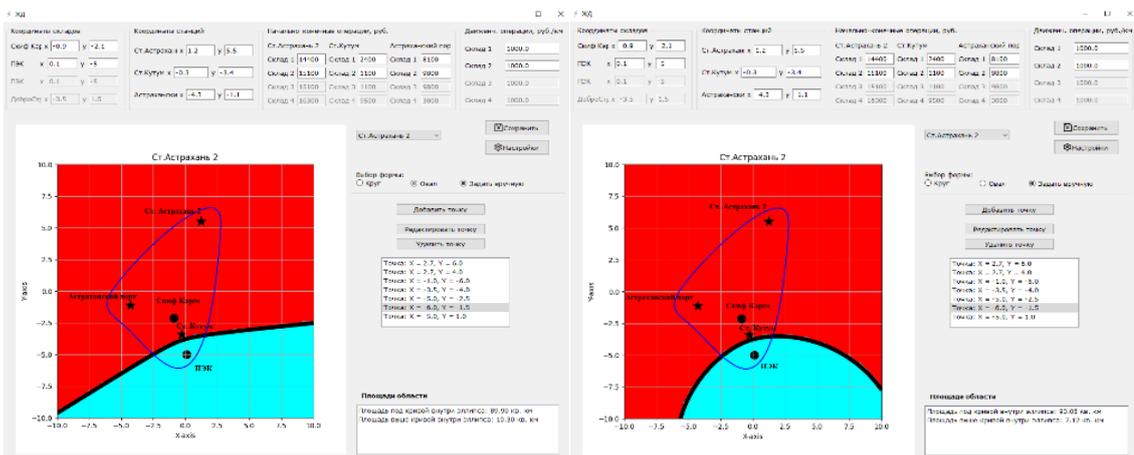


Рисунок П4.19 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «СК» (красный цвет) и ЛГРЦ «ПЭК» (голубой цвет) (первая и последняя итерация)

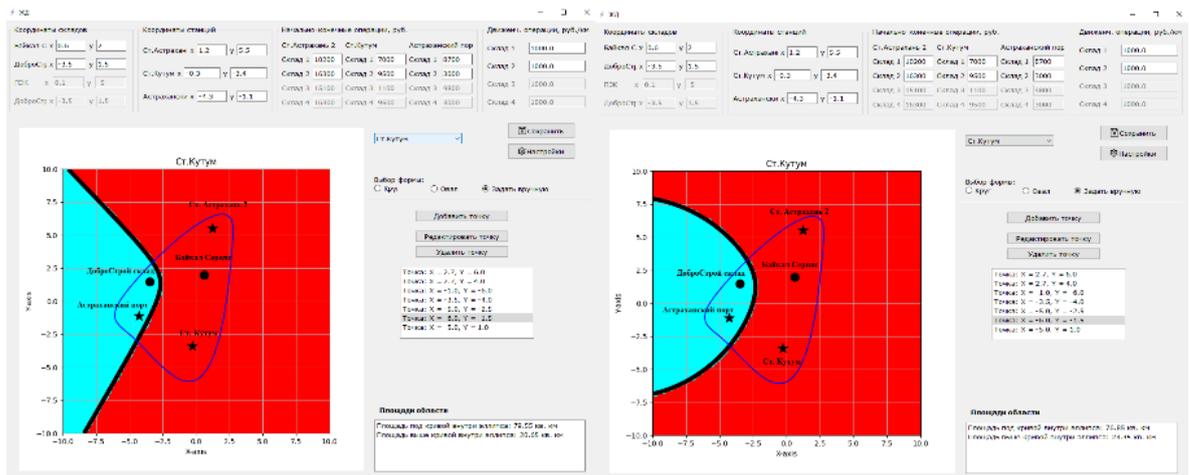


Рисунок П4.20 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «БС» (красный цвет) и ЛГРЦ «ДС» (голубой цвет) при обслуживании с одной ж.-д. станции «К» (первая и последняя итерация)

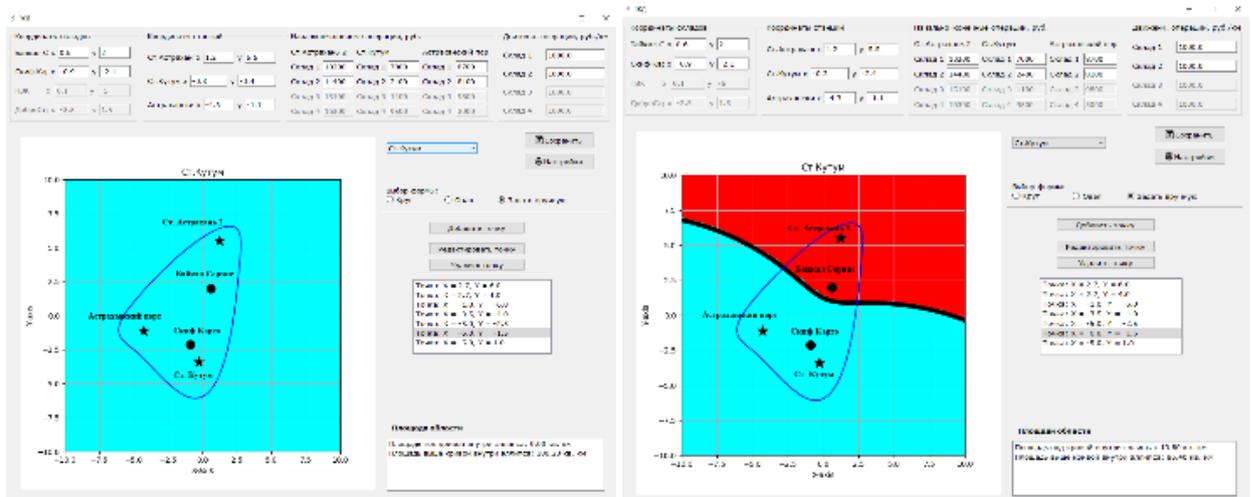


Рисунок П4.21 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «БС» (красный цвет) и ЛГРЦ «СК» (голубой цвет) при обслуживании с одной ж.-д. станции «К» (первая и последняя итерация)

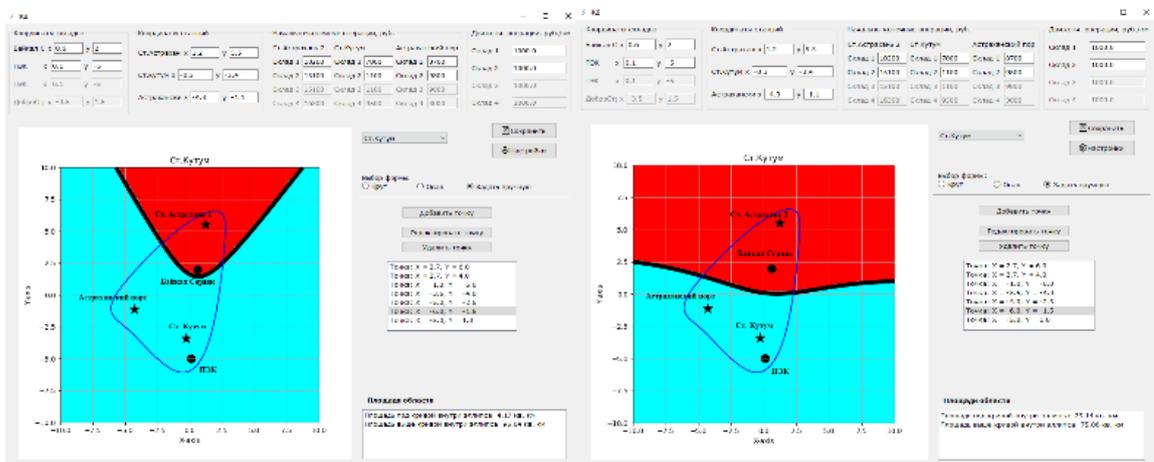


Рисунок П4.22 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «БС» (красный цвет) и ЛГРЦ «ПЭК» (голубой цвет) при обслуживании с одной ж.-д. станции «К» (первая и последняя итерация)

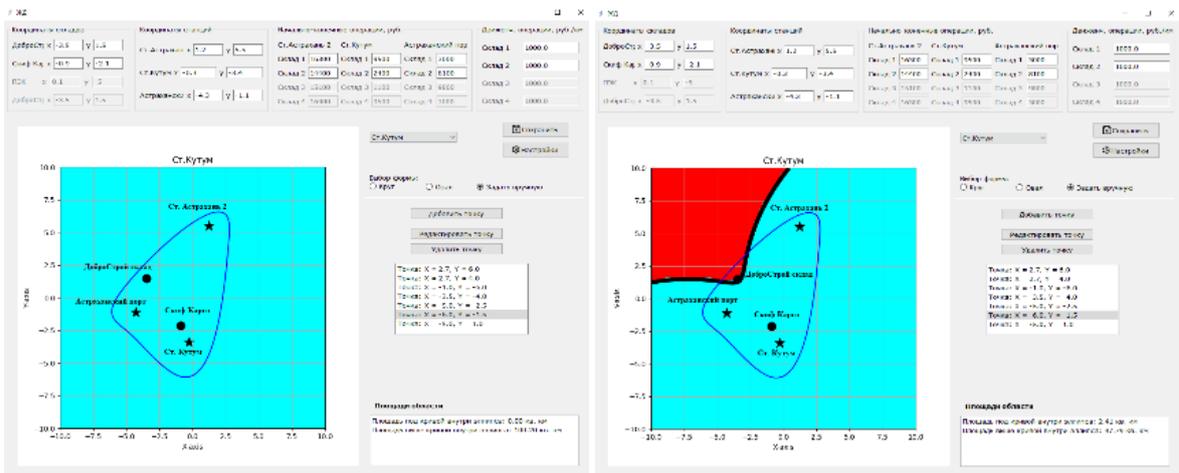


Рисунок П4.23 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «ДС» (красный цвет) и ЛГРЦ «СК» (голубой цвет) при обслуживании с одной ж.-д. станции «К» (первая и последняя итерация)

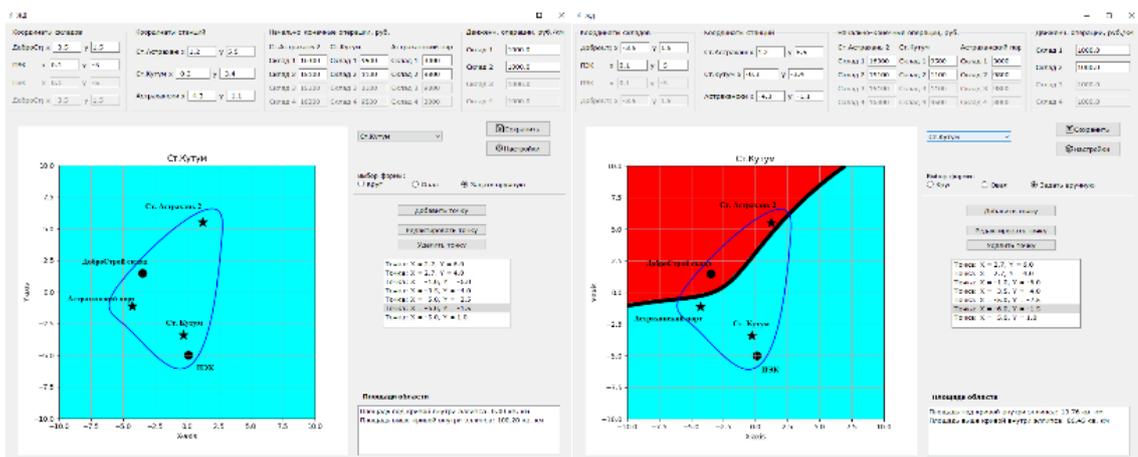


Рисунок П4.24 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «ДС» (красный цвет) и ЛГРЦ «ПЭК» (голубой цвет) при обслуживании с одной ж.-д. станции «К» (первая и последняя итерация)

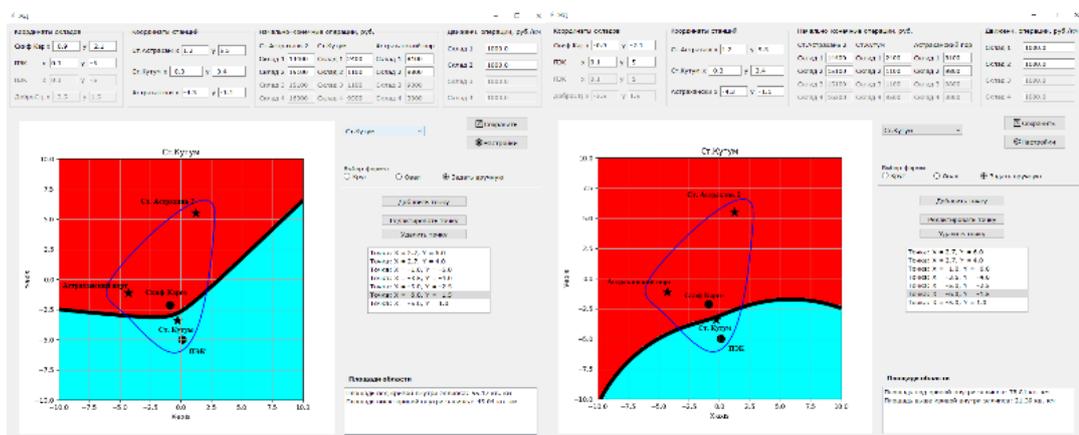


Рисунок П4.25 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «СК» (красный цвет) и ЛГРЦ «ПЭК» (голубой цвет) при обслуживании с одной ж.-д. станции «К» (первая и последняя итерация)

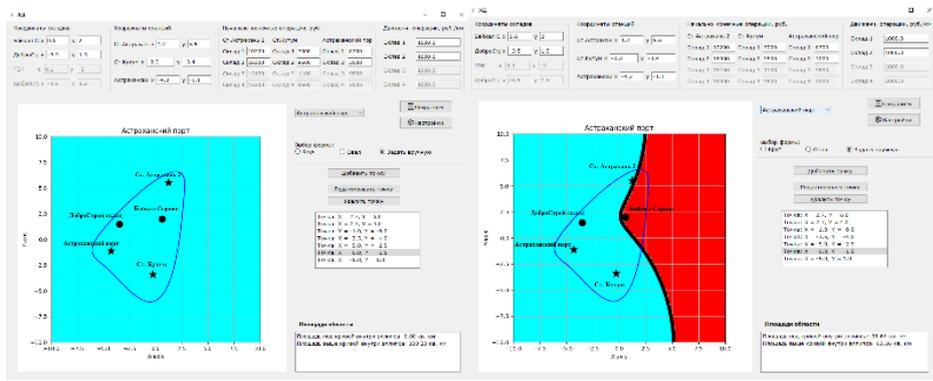


Рисунок П4.26 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «БС» (красный цвет), ЛГРЦ «ДС» (голубой цвет) при обслуживании с одной ж.-д. станции «П» (первая и последняя итерация)

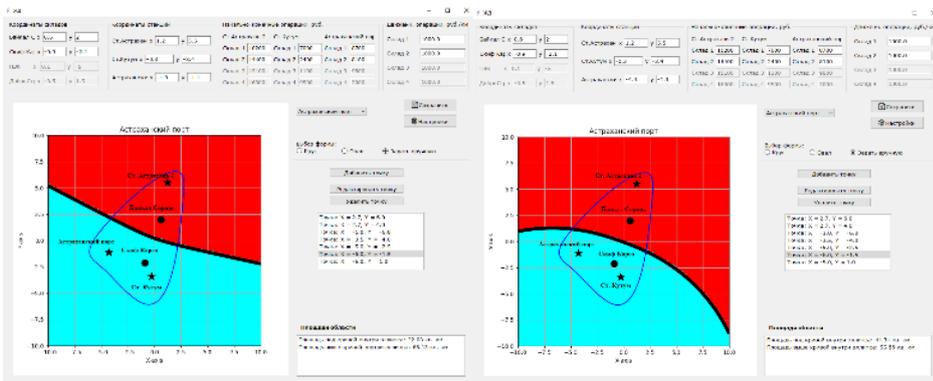


Рисунок П4.27 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «БС» (красный цвет), ЛГРЦ «СК» (голубой цвет) при обслуживании с одной ж.-д. станции «П» (первая и последняя итерация)

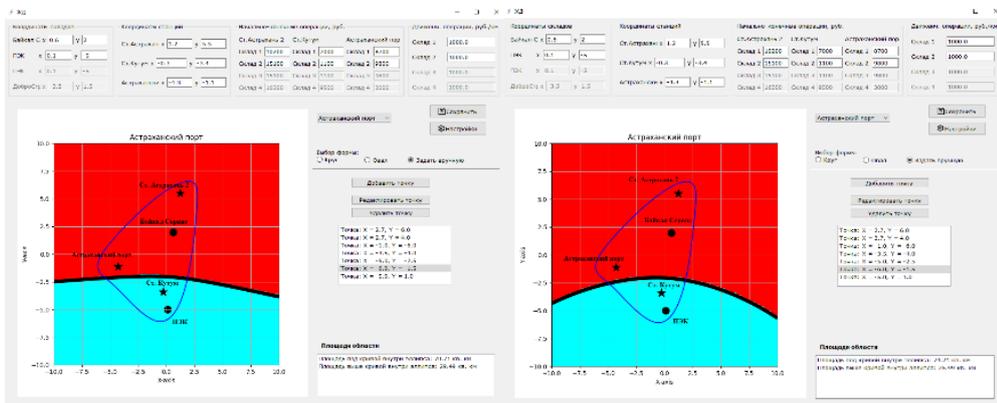


Рисунок П4.28 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «БС» (красный цвет), ЛГРЦ «ПЭК» (голубой цвет) при обслуживании с одной ж.-д. станции «П» (первая и последняя итерация)

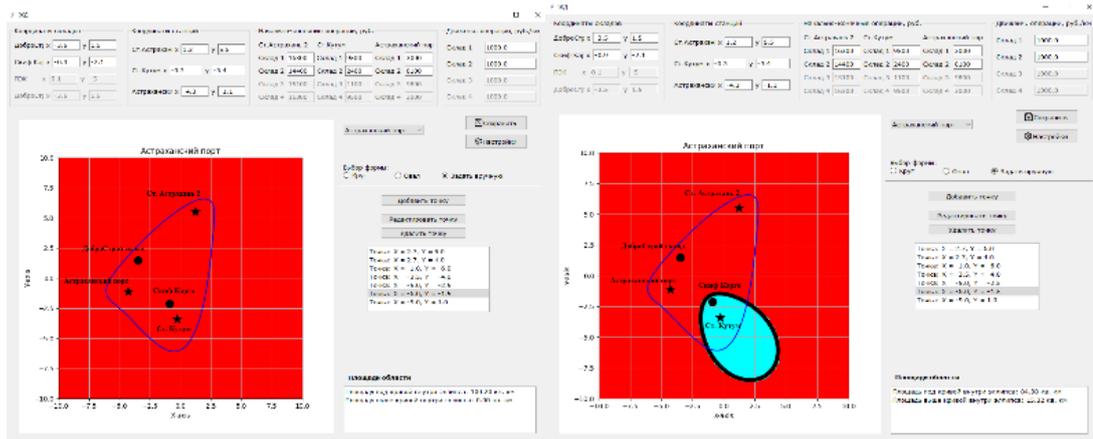


Рисунок П4.29 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «ДС» (красный цвет), ЛГРЦ «СК» (голубой цвет) при обслуживании с одной ж.-д. станции «П» (первая и последняя итерация)

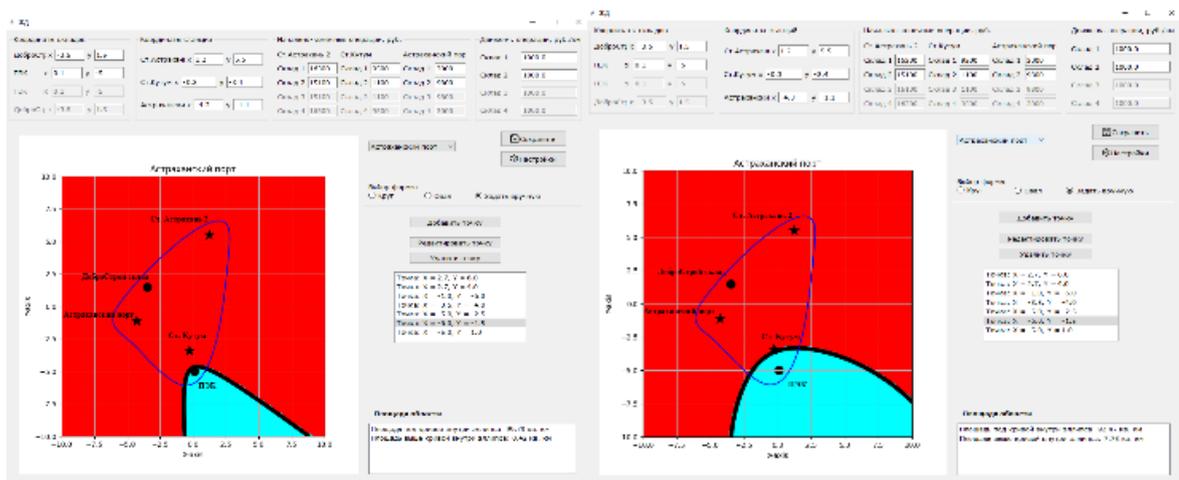


Рисунок П4.30 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «ДС» (красный цвет), ЛГРЦ «ПЭК» (голубой цвет) при обслуживании с одной ж.-д. станции «П» (первая и последняя итерация)

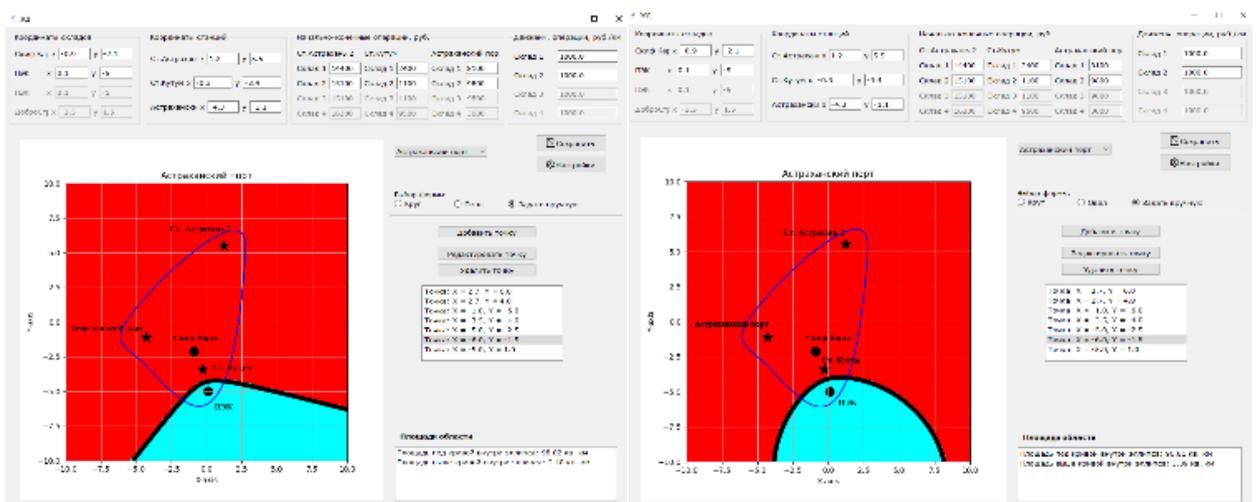


Рисунок П4.31 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «СК» (красный цвет), ЛГРЦ «ПЭК» (голубой цвет) при обслуживании с одной ж.-д. станции «П» (первая и последняя итерация)

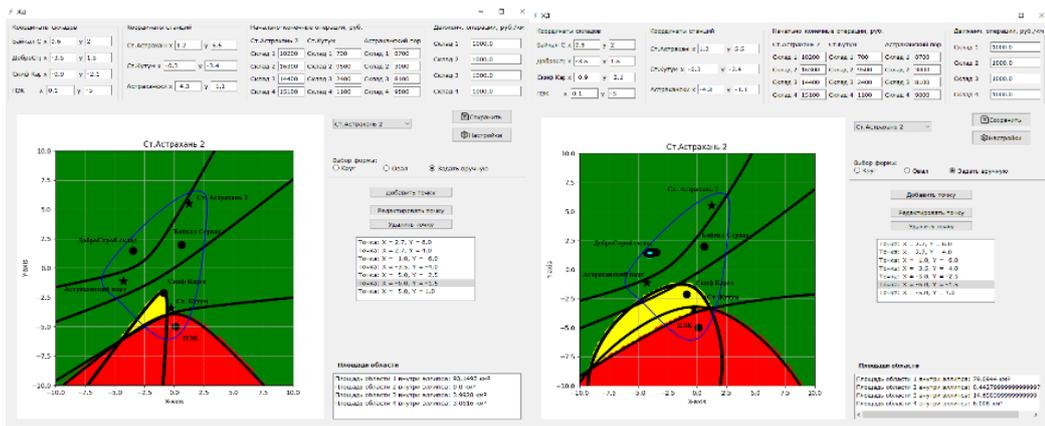


Рисунок П4.32 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «ПЭК» (красный цвет), ЛГРЦ «ДС» (зеленый цвет) и ЛГРЦ «СК» (желтый цвет) при мультиагентности и обслуживании с одной ж.-д. станции «А-2» (первая и последняя итерация)

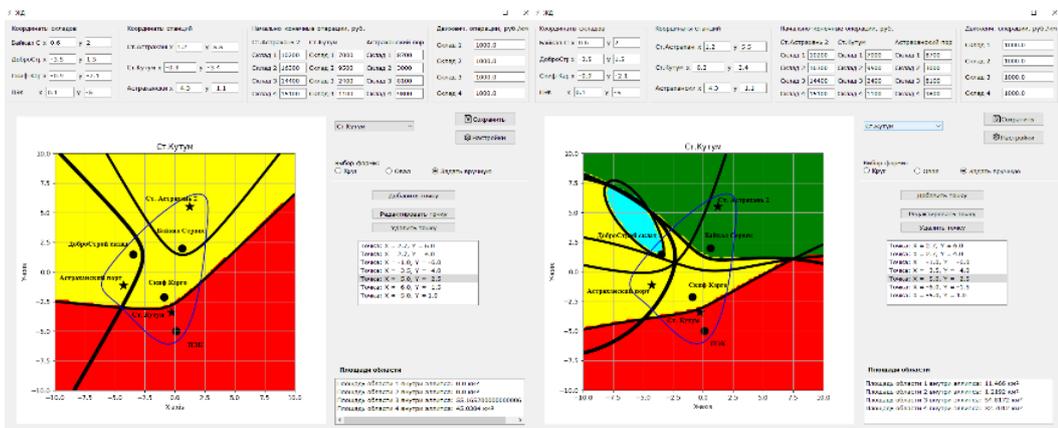


Рисунок П4.33 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «ПЭК» (красный цвет), ЛГРЦ «ДС» (голубой цвет), ЛГРЦ «СК» (желтый цвет) и ЛГРЦ «БС» (зеленый цвет) при мультиагентности и обслуживании с одной ж.-д. станции «К» (первая и последняя итерация)

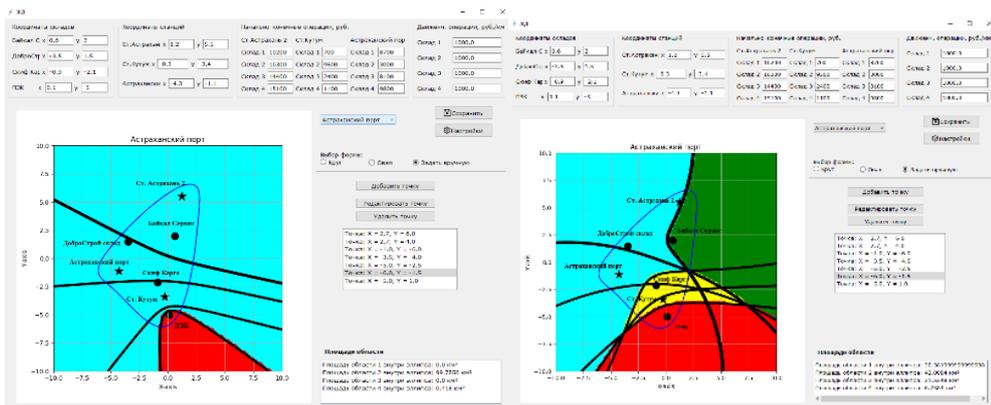


Рисунок П4.34 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «ПЭК» (красный цвет), ЛГРЦ «ДС» (голубой цвет), ЛГРЦ «СК» (желтый цвет) и ЛГРЦ «БС» (зеленый цвет) при мультиагентности и обслуживании с одной ж.-д. станции «П» (первая и последняя итерация)

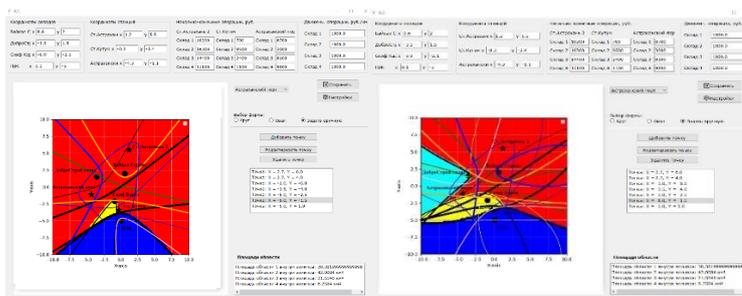


Рисунок П4.35 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «ПЭК» (синий цвет), ЛГРЦ «ДС» (голубой цвет), ЛГРЦ «СК» (желтый цвет) и ЛГРЦ «БС» (красный цвет) при мультиагентном обслуживании

#### П4.4 Варианты программного моделирования сети логистических грузо-вых распределительных центров транспортного узла «К»

Таблица П4.11 – Координаты станций и терминалов узла «К»

Наименование	x	y
Ст. «К-2»	-2,9	-0,2
Ст. «К-С»	1,4	-2,2
ЛГРЦ «Е»	-9,4	3,5
ЛГРЦ «А»	8	5,1
ЛГРЦ «W»	3,6	-0,2

Таблица П4.12 – Координаты потребителей узла «К»

Наименование	x	y
П1	-4,8	4,4
П2	2,4	5,6
П3	-0,7	2,1
П4	3,3	8,4
П5	4,3	6,9
П6	-5,2	5,5
П7	-5,4	-4,3
П8	-6,8	-2,6
П9	-6,5	2,4
П10	7,5	-2,7
П11	6,1	-3,3
П12	-5,5	3,1
П13	-1,3	-3,3
П14	-5,8	-5,8
П15	-9,4	-1,9
П16	-1,3	-5,8
П17	1,5	-6,2
П18	3,9	5
П19	1,3	-1,3
П20	-3,7	-3,4
П21	3,5	-1,8
П22	-1,4	-1,7
П23	1,6	-4,9

Продолжение таблицы П.412

П24	-2,4	-4,3
П25	3,1	-7,2
П26	-7,5	-4,1
П27	2,9	2,6
П28	4,6	-3,3
П29	4,1	-6
П30	-4,1	-1,4
П31	-2,2	1,2
П32	-4,5	1,7
П33	-6,8	0,6
П34	5,8	-5,2
П35	6,3	1,9
П36	-3,8	-5,9
П37	-6,7	-1,1
П38	1,7	3,5
П39	6,2	0,5
П40	1,3	1,5
П41	1,7	-3,1
П42	-2,3	3
П43	-8,7	1,8
П44	3,5	-4,2
П45	4,1	1
П46	1	5,2
П47	6	-1,3
П48	2,1	7
П49	-2,5	6,3
П50	-3,9	3,2
П51	-3,4	-7,7
П52	-2	4,3
П53	1,1	8,6
П54	-2,4	7,8
П55	5,8	5,4
П56	4,9	3,4
П57	-5,5	8
П58	-7,8	4,3
П59	-4,2	7
П60	-6,8	6,3
П61	-4,9	0,7
П62	3,7	1,9
П63	6,3	4,5
П64	-5,3	7
П65	1,3	6,3
П66	3,3	-2,5
П67	-1,9	-6,8
П68	-7,9	-0,8
П69	-5,3	-0,6
П70	6,5	-1,9

Таблица П4.13 – Ведомость расстояний и коэффициентов непрямолинейности потребителей узла «К»

№№	ЛГРЦ «Е»				ЛГРЦ «А»				ЛГРЦ «W»			
	Лкр	Левк	Кнепр	Кср	Лкр	Левк	Кнепр	Кср	Лкр	Левк	Кнепр	Кср
П1	8	4,7	1,7	1,56	18,1	13	1,39	1,63	17,3	9,5	1,82	2,54
П2	17,7	12	1,48		11,7	5,6	2,09		17,8	5,9	3,02	
П3	14,7	8,8	1,67		12,8	9,2	1,39		10,1	4,9	2,06	
П4	17,8	14	1,27		20,1	5,8	3,47		21,6	8,7	2,48	
П5	22,7	14	1,62		6,8	4,1	1,66		20,5	4,1	5	
П6	6,6	4,7	1,4		17,2	13	1,32		17,9	13	1,38	
П7	12,5	8,8	1,42		25,6	16	1,6		13,5	9,8	1,38	
П8	11,6	6,6	1,76		23,6	17	1,39		14,9	11	1,35	
П9	7	3,1	2,26		21,4	15	1,43		15,6	10	1,56	
П10	24,1	18	1,34		11,2	7,8	1,44		14,6	4,7	3,11	
П11	21,7	17	1,28		13,2	8,6	1,53		13,1	4	3,28	
П12	7,5	4	1,88		20	14	1,43		19,6	9,6	2,04	
П13	15,6	11	1,42		22,1	12	1,84		6,7	5,8	1,16	
П14	13,6	10	1,36		25,4	17	1,49		13,3	11	1,21	
П15	19,2	5,4	3,56		31	19	1,63		15,5	13	1,19	
П16	17,3	12	1,44		22,1	14	1,58		10,7	7,3	1,47	
П17	19,7	14	1,41		19,9	13	1,53		11,2	6,2	1,81	
П18	18	13	1,38		6,6	3,9	1,69		15,8	5,4	2,93	
П19	17,4	12	1,45		14,1	9,3	1,52		6,6	2,4	2,75	
П20	12,4	8,8	1,41		23,3	20	1,17		11,2	8	1,4	
П21	21,7	14	1,55		15	8,2	1,83		9,6	1,5	6,4	
П22	13	9,4	1,38		20,2	12	1,68		7,2	5,2	1,38	
П23	17,9	14	1,28		18,1	12	1,51		9,2	5	1,84	
П24	15,3	10	1,53		22	14	1,57		10	7,2	1,39	
П25	21,4	16	1,34		20,3	13	1,56		12,8	7	1,83	
П26	12,8	7,9	1,62		24,8	18	1,38		15	12	1,25	
П27	17,9	12	1,49		9,5	5,6	1,7		12,3	2,9	4,24	
П28	20	16	1,25		14,2	9	1,58		11,4	3,3	3,45	
П29	20,6	16	1,29		18,7	12	1,56		11,9	5,6	2,13	
П30	10	7,1	1,41		19,1	14	1,36		11,5	7,7	1,49	
П31	13,7	7,4	1,85		15,2	11	1,38		12	5,9	2,03	
П32	9	5,2	1,73		19,4	13	1,49		13,7	8,2	1,67	
П33	6,8	3,8	1,79		22,7	15	1,51		14,8	10	1,48	
П34	21,9	17	1,29		14,4	10	1,44		13,3	5,4	2,46	
П35	30	16	1,88		8	3,4	2,35		21,1	3,5	6,03	
П36	20,9	11	1,9		32	16	2		20	9,2	2,17	
П37	7,3	5,2	1,4		22	16	1,38		12,6	10	1,26	
П38	15,9	11	1,45		9	6,4	1,41		12,3	4,1	3	
П39	29,6	16	1,85		10,2	4,3	2,37		20,5	2,8	7,32	
П40	17,5	11	1,59		12,1	7,4	1,64		9,8	2,8	3,5	
П41	16,2	13	1,25		17,8	10	1,78		7,6	3,4	2,24	
П42	11,5	7,1	1,62		13,1	10	1,31		12,4	6,7	1,85	
П43	5,5	1,8	3,06		25	17	1,47		19,3	12	1,61	
П44	19,4	15	1,29		16,3	10	1,63		10,8	3,9	2,77	
П45	20,1	14	1,44		10,3	5,5	1,87		12,4	1,5	8,27	
П46	15,4	11	1,4		9,4	7	1,34		13,2	6	2,2	
П47	22	16	1,38		15,4	6,6	2,33		13,4	2,6	5,15	
П48	16	12	1,33		11,1	6,1	1,82		16,8	7,3	2,3	
П49	10,6	7,5	1,41		16,8	11	1,53		17,7	8,9	1,99	
П50	9,9	5,5	1,8		18,1	12	1,51		15,1	8,2	1,84	
П51	20,1	13	1,55		31	17	1,82		19	10	1,92	

Продолжение таблицы П.4.13

П52	11,4	7,5	1,52		11,8	10	1,18		13,5	7,1	1,9	
П53	14,5	12	1,21		16,7	7,6	2,2		18,4	9,3	1,98	
П54	10,9	8,2	1,33		19	11	1,73		19,9	10	1,99	
П55	20,5	15	1,37		4,6	2,7	1,7		18,3	6,4	2,86	
П56	19,8	14	1,41		5,7	3,5	1,63		16,8	4	4,2	
П57	7,4	6	1,23		19,9	14	1,42		20,8	12	1,73	
П58	3,9	1,9	2,05		20,8	16	1,3		21,8	12	1,82	
П59	9,4	6,3	1,49		18,9	12	1,58		19,8	11	1,8	
П60	6	3,8	1,58		21	15	1,4		21,9	12	1,83	
П61	9,6	5,2	1,85		19,8	14	1,41		13,5	8,5	1,59	
П62	19,9	13	1,53		8,4	5,2	1,62		11,7	2,2	5,32	
П63	20,1	16	1,26		3,8	1,8	2,11		17,1	5,5	3,11	
П64	7,7	5,4	1,43		20,7	13	1,59		21,7	11	1,97	
П65	15,1	11	1,37		10,2	6,8	1,5		16	6,9	2,32	
П66	17,6	14	1,26		14,8	9	1,64		9	2,3	3,91	
П67	22,3	13	1,72		33	15	2,2		21,3	8,5	2,51	
П68	8,9	4,6	1,93		24,7	17	1,45		15	12	1,25	
П69	10,4	5,8	1,79		20,9	14	1,49		13,4	8,9	1,51	
П70	21,6	17	1,27		11,4	7,2	1,58		13,1	3,3	3,97	

Таблица П4.14 – Ведомость расстояний и стоимостей начально конечных операций

Станции узла «К»	ЛГРЦ ( $l$ - расстояние, км; $p$ – стоимость начально конечных операций, руб.)					
	«Е»		«А»		«W»	
	$l$	$p$	$l$	$p$	$l$	$p$
«К-2»	11,8	11800	16,3	16300	9	9000
«К-С»	15,9	15900	17,1	17100	4,4	4400

Таблица П4.15 – Ведомость транспортных расходов (тыс руб.) по вариантам обслуживания потребителей узла «К» при итерациях размещения ЛГРЦ.

Потребитель	ЛГРЦ «Е»	ЛГРЦ «А»	ЛГРЦ «W»	ЛГРЦ «Е»	ЛГРЦ «А»	ЛГРЦ «W»	Оптимальный вариант
	(Ст. «К-2»)	(Ст. «К-2»)	(Ст. «К-2»)	(Ст. «К-С»)	(Ст. «К-С»)	(Ст. «К-С»)	
П1	19,8	34,4	26,3	23,9	35,2	21,7	ЛГРЦ «Е» (Ст. «К-2»)
П2	29,5	28	26,8	33,6	28,8	22,2	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П3	26,5	29,1	19,1	30,6	29,9	14,5	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П4	29,6	36,4	30,6	33,7	37,2	26	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П5	34,5	23,1	29,5	38,6	23,9	24,9	ЛГРЦ «А» (Ст. «К-2»)
П6	18,4	33,5	26,9	22,5	34,3	22,3	ЛГРЦ «Е» (Ст. «К-2»)
П7	24,3	41,9	22,5	28,4	42,7	17,9	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П8	23,4	39,9	23,9	27,5	40,7	19,3	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П9	18,8	37,7	24,6	22,9	38,5	20	ЛГРЦ «Е» (Ст. «К-2»)
П10	35,9	27,5	23,6	40	28,3	19	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)

Продолжение таблицы П.4.15

П11	33,5	29,5	22,1	37,6	30,3	17,5	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П12	19,3	36,3	28,6	23,4	37,1	24	ЛГРЦ «E» (Ст. «К-2»)
П13	27,4	38,4	15,7	31,5	39,2	11,1	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П14	25,4	41,7	22,3	29,5	42,5	17,7	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П15	31	47,3	24,5	35,1	48,1	19,9	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П16	29,1	38,4	19,7	33,2	39,2	15,1	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П17	31,5	36,2	20,2	35,6	37	15,6	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П18	29,8	22,9	24,8	33,9	23,7	20,2	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П19	29,2	30,4	15,6	33,3	31,2	11	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П20	24,2	39,6	20,2	28,3	40,4	15,6	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П21	33,5	31,3	18,6	37,6	32,1	14	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П22	24,8	36,5	16,2	28,9	37,3	11,6	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П23	29,7	34,4	18,2	33,8	35,2	13,6	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П24	27,1	38,3	19	31,2	39,1	14,4	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П25	33,2	36,6	21,8	37,3	37,4	17,2	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П26	24,6	41,1	24	28,7	41,9	19,4	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П27	29,7	25,8	21,3	33,8	26,6	16,7	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П28	31,8	30,5	20,4	35,9	31,3	15,8	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П29	32,4	35	20,9	36,5	35,8	16,3	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П30	21,8	35,4	20,5	25,9	36,2	15,9	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П31	25,5	31,5	21	29,6	32,3	16,4	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П32	20,8	35,7	22,7	24,9	36,5	18,1	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П33	18,6	39	23,8	22,7	39,8	19,2	ЛГРЦ «E» (Ст. «К-2»)
П34	33,7	30,7	22,3	37,8	31,5	17,7	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П35	41,8	24,3	30,1	45,9	25,1	25,5	ЛГРЦ «A» (Ст. «К-2»)
П36	32,7	48,3	29	36,8	49,1	24,4	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)

Продолжение таблицы П.4.15

П37	19,1	38,3	21,6	23,2	39,1	17	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П38	27,7	25,3	21,3	31,8	26,1	16,7	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П39	41,4	26,5	29,5	45,5	27,3	24,9	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П40	29,3	28,4	18,8	33,4	29,2	14,2	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П41	28	34,1	16,6	32,1	34,9	12	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П42	23,3	29,4	21,4	27,4	30,2	16,8	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П43	17,3	41,3	28,3	21,4	42,1	23,7	ЛГРЦ «E» (Ст. «К-2»)
П44	31,2	32,6	19,8	35,3	33,4	15,2	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П45	31,9	26,6	21,4	36	27,4	16,8	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П46	27,2	25,7	22,2	31,3	26,5	17,6	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П47	33,8	31,7	22,4	37,9	32,5	17,8	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П48	27,8	27,4	25,8	31,9	28,2	21,2	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П49	22,4	33,1	26,7	26,5	33,9	22,1	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П50	21,7	34,4	24,1	25,8	35,2	19,5	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П51	31,9	47,3	28	36	48,1	23,4	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П52	23,2	28,1	22,5	27,3	28,9	17,9	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П53	26,3	33	27,4	30,4	33,8	22,8	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П54	22,7	35,3	28,9	26,8	36,1	24,3	ЛГРЦ «E» (Ст. «К-2»)
П55	32,3	20,9	27,3	36,4	21,7	22,7	ЛГРЦ «A» (Ст. «К-2»)
П56	31,6	22	25,8	35,7	22,8	21,2	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П57	19,2	36,2	29,8	23,3	37	25,2	ЛГРЦ «E» (Ст. «К-2»)
П58	15,7	37,1	30,8	19,8	37,9	26,2	ЛГРЦ «E» (Ст. «К-2»)
П59	21,2	35,2	28,8	25,3	36	24,2	ЛГРЦ «E» (Ст. «К-2»)
П60	17,8	37,3	30,9	21,9	38,1	26,3	ЛГРЦ «E» (Ст. «К-2»)
П61	21,4	36,1	22,5	25,5	36,9	17,9	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П62	31,7	24,7	20,7	35,8	25,5	16,1	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П63	31,9	20,1	26,1	36	20,9	21,5	ЛГРЦ «A» (Ст. «К-2»)
П64	19,5	37	30,7	23,6	37,8	26,1	ЛГРЦ «E» (Ст. «К-2»)

Продолжение таблицы П.4.15

П65	26,9	26,5	25	31	27,3	20,4	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П66	29,4	31,1	18	33,5	31,9	13,4	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П67	34,1	49,3	30,3	38,2	50,1	25,7	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П68	20,7	41	24	24,8	41,8	19,4	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П69	22,2	37,2	22,4	26,3	38	17,8	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
П70	33,4	27,7	22,1	37,5	28,5	17,5	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
Итого	1898	2344,5	1659,2	2185	2400,5	1337,2	

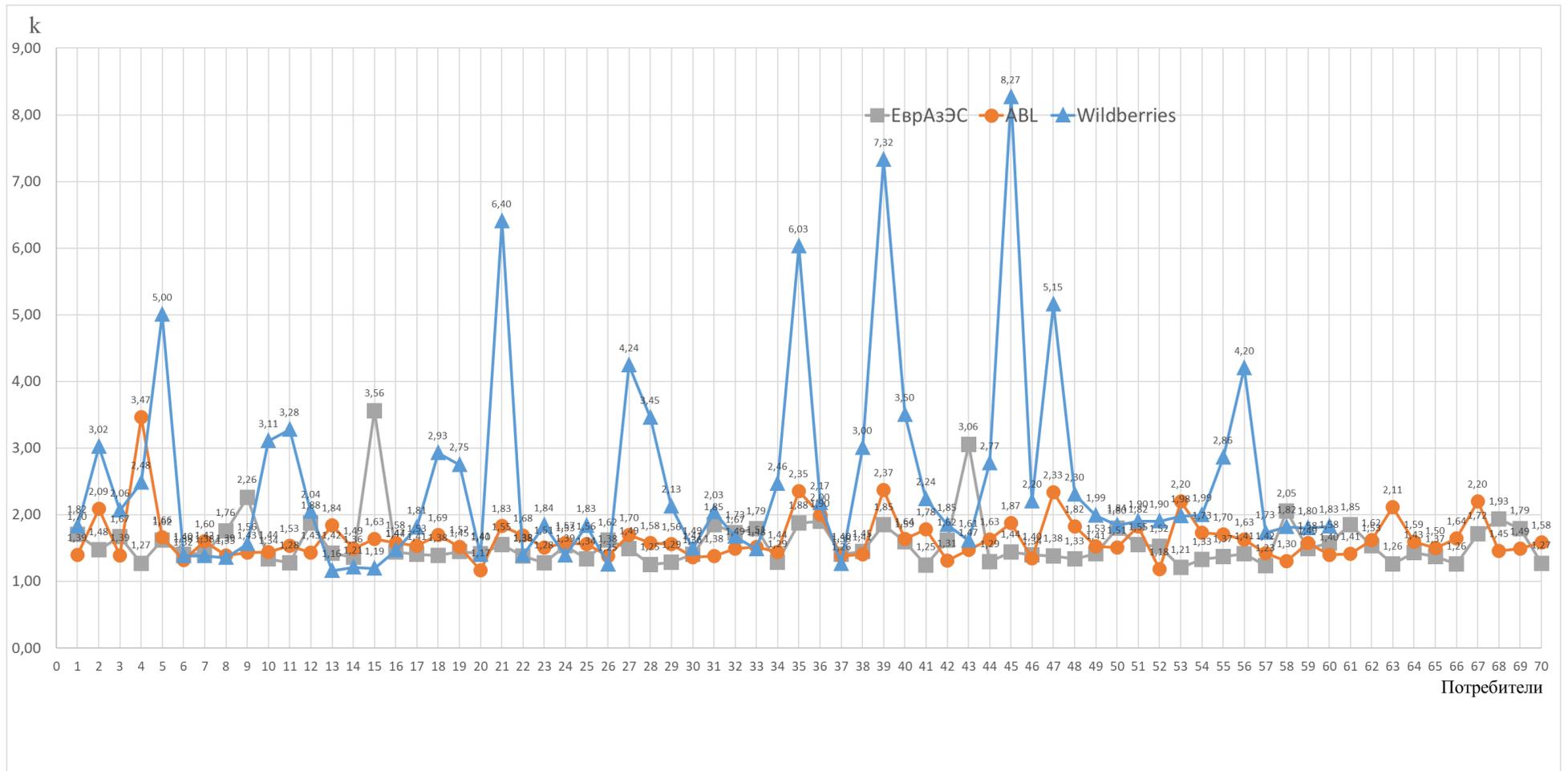


Рисунок П4.37 – Диаграммы отношений длин маршрутов к евклидовым расстояниям узла «К»

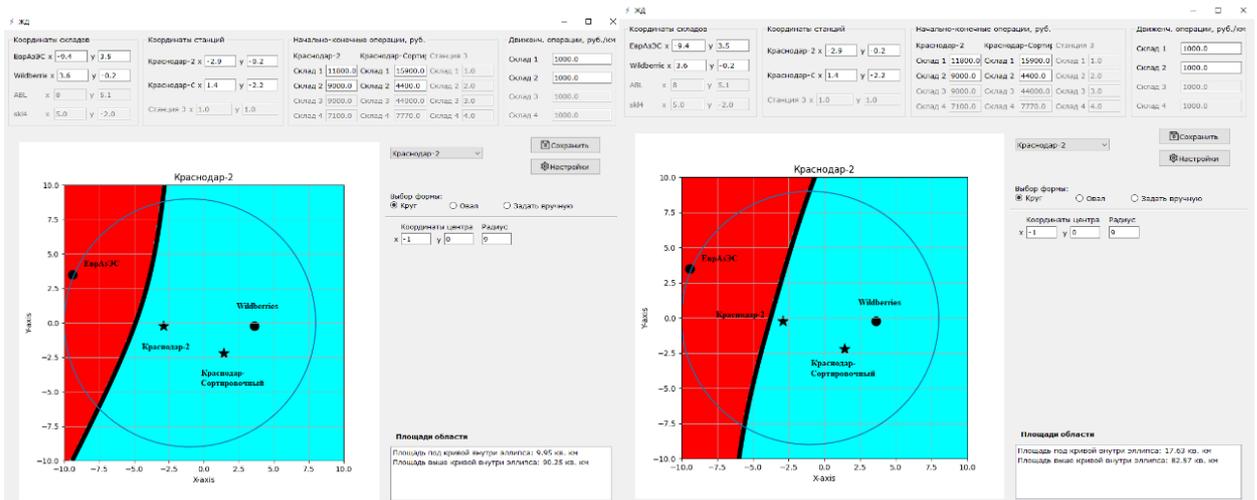


Рисунок П4.38 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «Е» (красный цвет) и ЛГРЦ «W» (голубой цвет) (первая и последняя итерация)

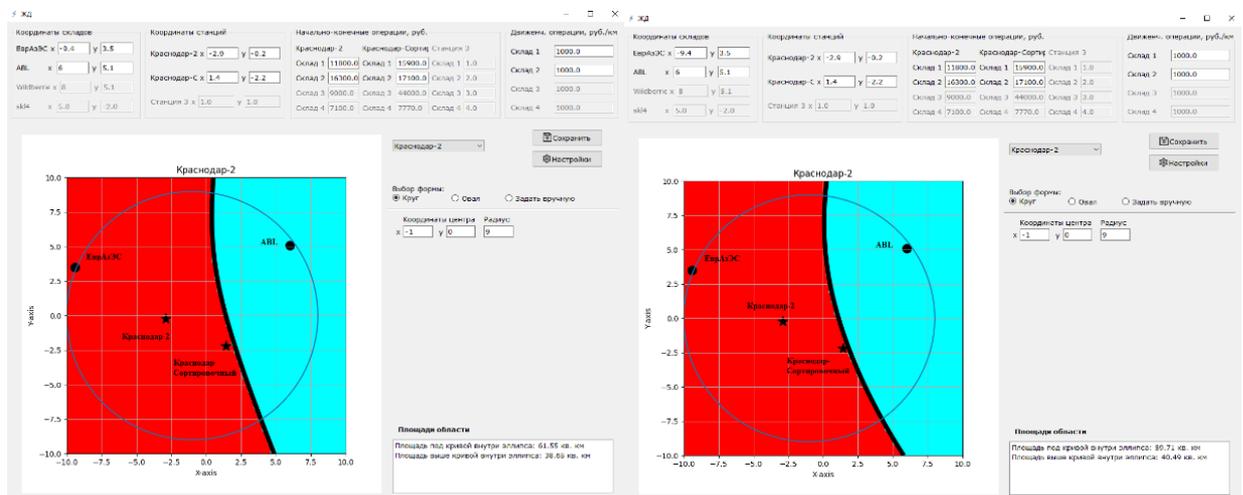


Рисунок П4.39 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «Е» (красный цвет) и ЛГРЦ «А» (голубой цвет) (первая и последняя итерация)

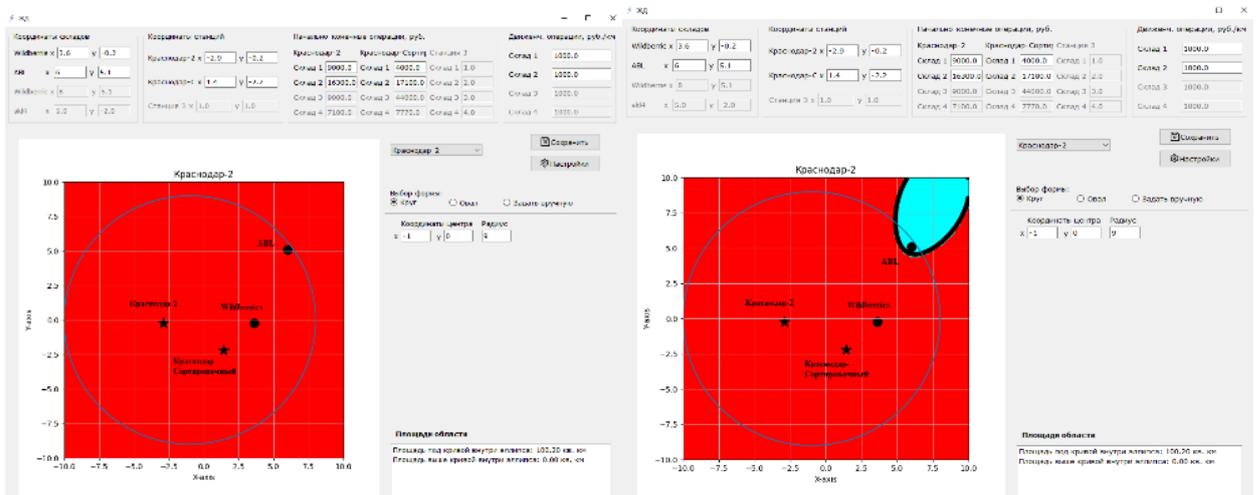


Рисунок П4.40 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «W» (красный цвет) и ЛГРЦ «А» (голубой цвет) (первая и последняя итерация)

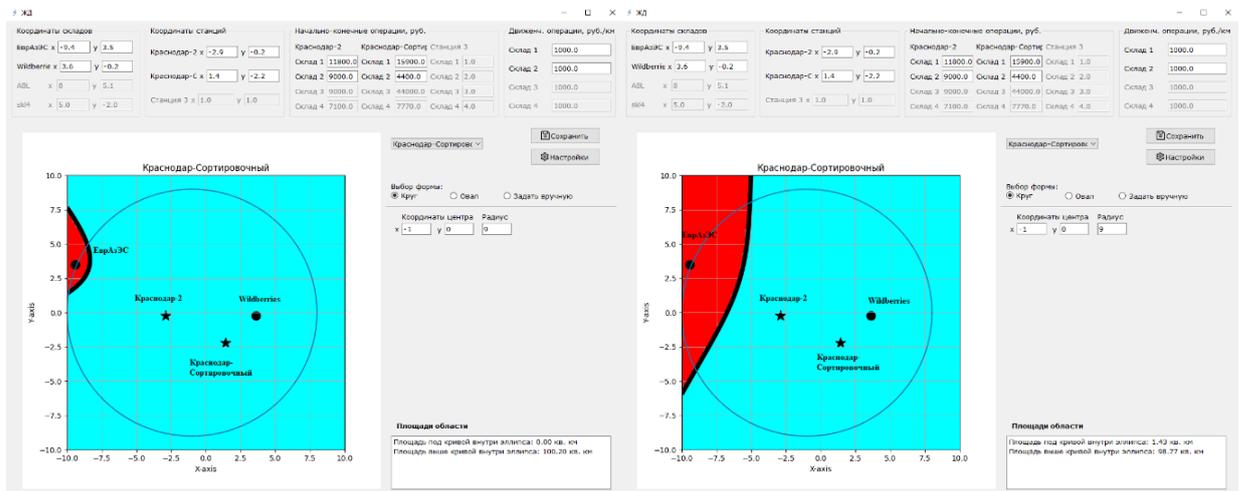


Рисунок П4.41 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «Е» (красный цвет) и ЛГРЦ «W» (голубой цвет обслуживания с одной ж.д. станции «К-С» (первая и последняя итерация)

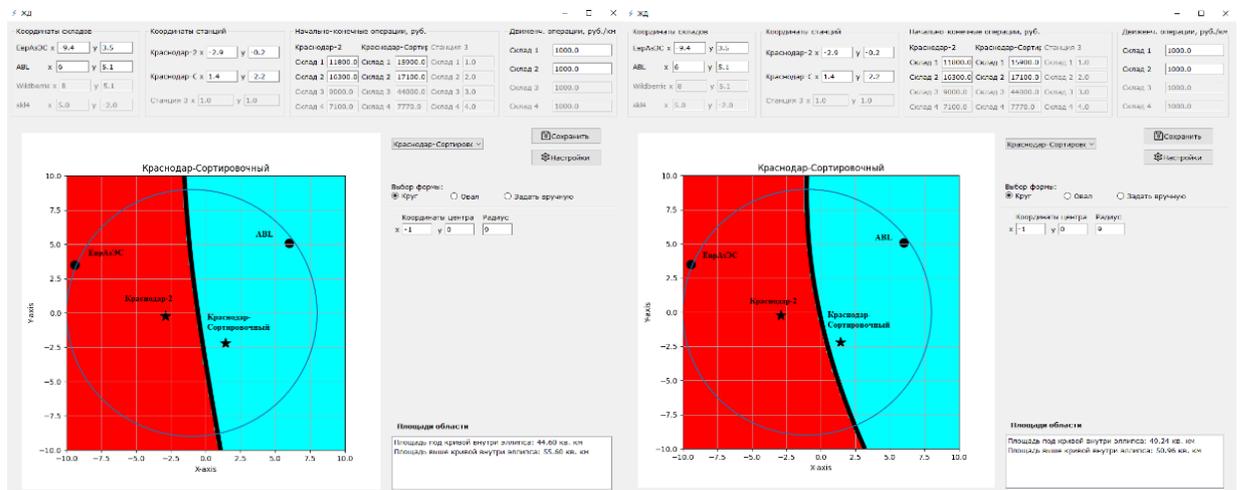


Рисунок П4.42 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «Е» (красный цвет) и ЛГРЦ «А» (голубой цвет обслуживания с одной ж.д. станции «К-С» (первая и последняя итерация)

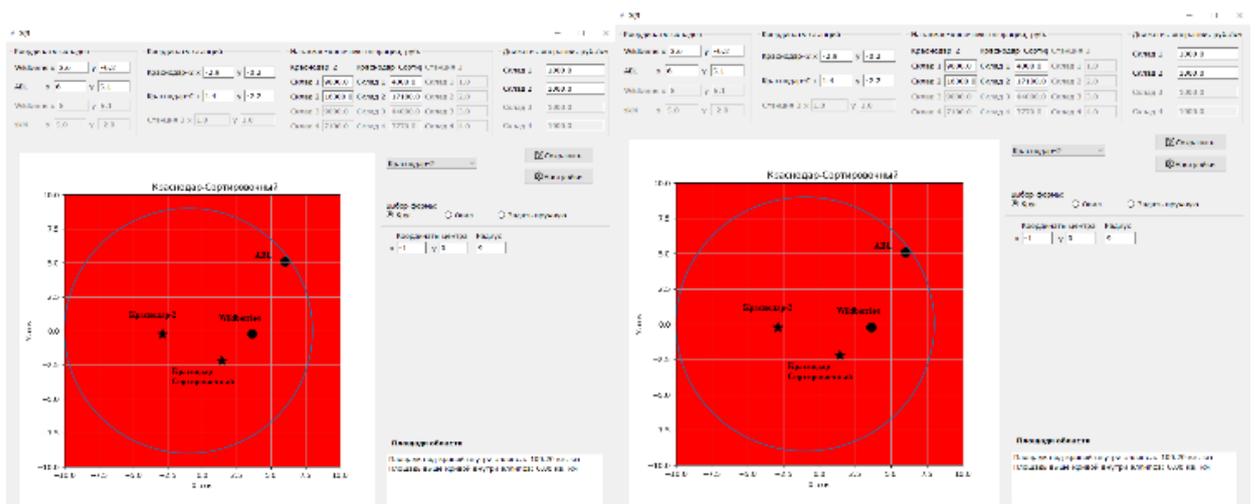


Рисунок П4.43 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «W» (красный цвет) и ЛГРЦ «А» (нет) обслуживания с одной ж.д. станции «К-С» (первая и последняя итерация)

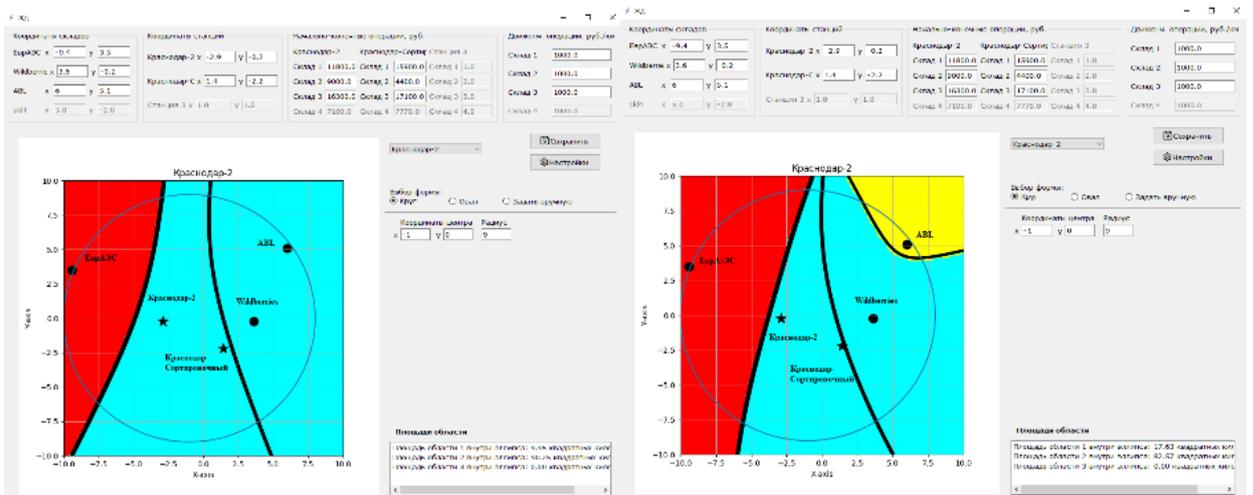


Рисунок П4.44 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «Е» (красный цвет), ЛГРЦ «W» (голубой цвет) и ЛГРЦ «А» (желтый цвет) при мультиагентности и обслуживании с одной ж.-д. станции «К-2» (первая и последняя итерация)

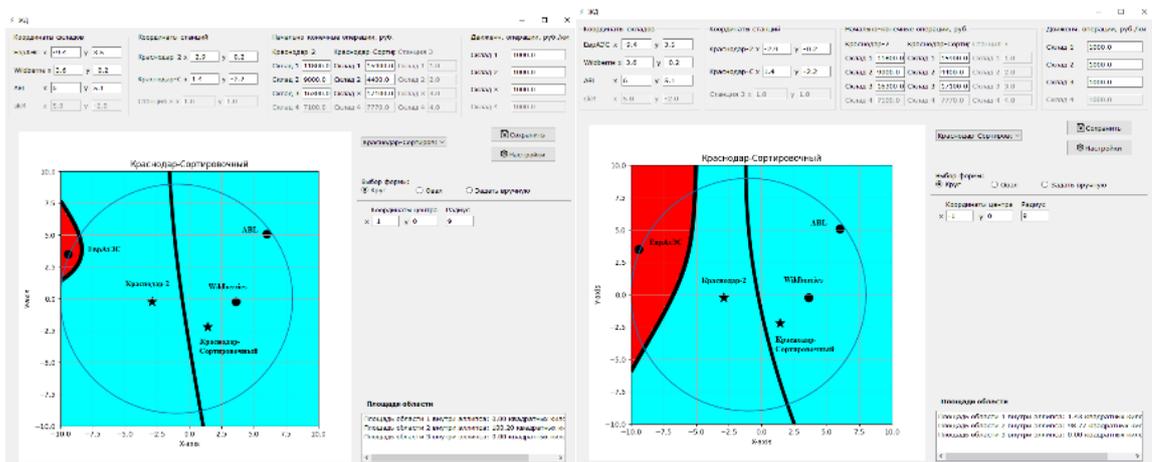


Рисунок П4.45 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «Е» (красный цвет), ЛГРЦ «W» (голубой цвет) и ЛГРЦ «А» (нет) при мультиагентности и обслуживании с одной ж.-д. станции «К-2» (первая и последняя итерация)

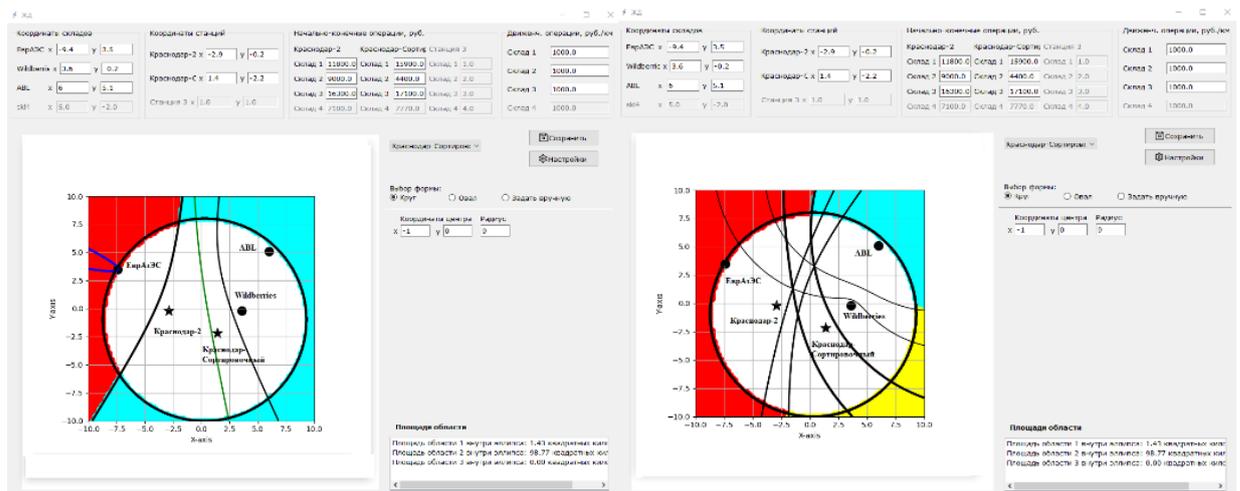


Рисунок П4.46 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «Е» (красный цвет), ЛГРЦ «W» (голубой цвет) и ЛГРЦ «А» (желтый цвет) при мультиагентности и обслуживании с двух ж.-д. станций «К-С» и «К-2» (первая и последняя итерация)

### П4.4 Варианты программного моделирования сети логистических грузовых распределительных центров транспортного узла «М»

Таблица П4.16 – Координаты станций и терминалов узла «М»

Наименование	x	y
Ст. «МВ»	0,28	-0,3
Ст. «5км»	-0,4	-4,1
ЛГРЦ «СБ»	0,4	-1,5
ЛГРЦ «КЮ»	0,1	-5,3
ЛГРЦ «НС»	0,5	-3,2

Таблица П4.17 – Координаты потребителей узла «М»

Наименование	x	y
П1	0,8	-1,1
П2	0,7	-0,7
П3	-0,6	-0,6
П4	-1,5	-0,4
П5	-1,1	-0,75
П6	-0,7	0,2
П7	0,3	-0,4
П8	1,2	-0,4
П9	-0,5	-1,1
П10	-0,8	-0,28
П11	0,8	0,6
П12	1,3	0,7
П13	0,3	0,6
П14	0,7	0,9
П15	0,3	1,1
П16	1,9	0,4
П17	1,4	1
П18	0,8	0,4

Продолжение таблицы П.4.17

П19	0,4	1,7
П20	0,8	1,8
П21	-1,1	0,5
П22	-0,3	1,3
П23	-0,7	1,2
П24	-0,4	1,7
П25	-1	1,3
П26	-0,6	2
П27	-0,3	2,4
П28	-1,2	2,5
П29	-1,5	0,3
П30	0,5	2,2
П31	0,9	2,3
П32	0,4	2,6
П33	0,9	2,6
П34	-0,5	2,5
П35	-0,37	-1,8
П36	1,2	1,3
П37	-0,7	1,6
П38	1,1	-1,86
П39	1,2	-0,8
П40	0,2	-0,7

Таблица П4.18 – Ведомость расстояний и коэффициентов непрямолинейности потребителей узла «М»

№№	ЛГРЦ «СБ»				ЛГРЦ «КЮ»				ЛГРЦ «НС»			
	Лкр	Левк	Кнепр	Кср	Лкр	Левк	Кнепр	Кср	Лкр	Левк	Кнепр	Кср
П1	0,8	0,5	1,60	1,91	4,9	4,2	1,17	1,35	4,9	2,2	2,23	2,05
П2	1	0,89	1,12		5,2	4,5	1,16		5,2	2,6	2,00	
П3	4	1,5	2,67		6,2	4,6	1,35		6,1	2,8	2,18	
П4	4,4	2,3	1,91		6,7	5	1,34		6,7	3,4	1,97	
П5	4	1,8	2,22		6,1	4,6	1,33		6,3	3	2,10	
П6	5,1	2,2	2,32		7,2	5,5	1,31		7,3	3,6	2,03	
П7	4,6	1,17	3,93		6,7	4,8	1,40		6,6	2,8	2,36	
П8	1,5	1,26	1,19		5,6	4,9	1,14		5,7	2,8	2,04	
П9	4,4	1,2	3,67		5,6	4,1	1,37		5,7	2,4	2,38	
П10	4,4	1,86	2,37		6,7	5	1,34		6,7	3,1	2,16	
П11	3,2	2,2	1,50		7,3	5,8	1,26		7,4	3,8	1,95	
П12	3,2	2,4	1,33		7,4	6	1,23		7,4	4	1,85	
П13	3,7	2,3	1,61		7,9	6	1,32		8	4	2,00	
П14	3,7	2,5	1,32		7,9	6,2	1,27		7,9	4,2	1,88	
П15	4,2	2,7	1,56		8,3	6,3	1,32		8,2	4,3	1,91	
П16	3,5	2,5	1,40		7,3	6	1,22		7,3	4	1,83	
П17	3,17	2,8	1,13		7,9	6,4	1,23		8	4,3	1,86	
П18	6,7	3	2,23		11,2	6,7	1,67		11,2	4,6	2,43	

Продолжение таблицы П.4.18

П19	6,1	3,3	1,85	10,4	7	1,49	5,8	4,9	1,18
П20	6,3	3,4	1,85	10,7	7,1	1,51	10,2	5	2,04
П21	5,9	2,7	2,19	8,2	5,9	1,39	7,8	4	1,95
П22	4,7	3	1,57	8,8	6,57	1,34	8,8	4,6	1,91
П23	5,1	3	1,70	9	6,5	1,38	9,1	4,6	1,98
П24	5,3	3,4	1,56	9,6	7	1,37	9,6	5	1,92
П25	5,2	3,3	1,58	9,4	6,6	1,42	9,4	4,8	1,96
П26	5,7	3,7	1,54	9,8	7,3	1,34	9,8	5,3	1,85
П27	6,3	4	1,58	10,5	7,6	1,38	10,5	5,7	1,84
П28	7,6	4,3	1,77	11,2	7,7	1,45	11,4	6	1,90
П29	5,5	2,8	1,96	7,8	5,7	1,37	7,7	4	1,93
П30	5,9	3,8	1,55	10	7,5	1,33	10	5,4	1,85
П31	6,7	4	1,68	10,9	7,6	1,43	10,9	5,5	1,98
П32	6,6	4,1	1,61	10,2	7,9	1,29	10,2	5,8	1,76
П33	6,6	4,3	1,53	10,6	8	1,33	11	5,9	1,86
П34	6	4,2	1,43	10,3	7,8	1,32	10,4	5,8	1,79
П35	2,6	0,9	2,89	4,9	3,4	1,44	4,9	1,6	3,06
П36	7,2	3	2,40	11,4	6,7	1,70	11,3	4,65	2,43
П37	5,4	3,4	1,59	9,6	7	1,37	9,5	5	1,90
П38	0,9	0,5	1,80	4,9	3,5	1,40	4,9	1,5	3,27
П39	1,43	1	1,43	5,6	4,5	1,24	5,7	2,5	2,28
П40	4,2	0,9	4,67	6,2	4,4	1,41	6,3	2,42	2,60

Таблица П4.19 – Ведомость расстояний и стоимостей начально конечных операций

Станции узла «М»	Терминалы ( <i>l</i> - расстояние, км; <i>p</i> – стоимость начально конечных операций, руб.)					
	ЛГРЦ «СБ»		ЛГРЦ «КЮ»		ЛГРЦ «НС»	
	<i>l</i>	<i>p</i>	<i>l</i>	<i>p</i>	<i>l</i>	<i>p</i>
«МВ»	5	5000	6,8	6800	4,6	4600
«5км»	4,4	4400	6,3	6300	4,1	4100

Таблица П4.20 – Ведомость транспортных расходов (тыс руб.) по вариантам обслуживания потребителей узла «М» при итерациях размещения ЛГРЦ

Потребитель	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
П1	5,8	11,7	9,5	5,2	11,2	9	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
П2	6	12	9,8	5,4	11,5	9,3	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
П3	9	13	10,7	8,4	12,5	10,2	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
П4	9,4	13,5	11,3	8,8	13	10,8	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
П5	9	12,9	10,9	8,4	12,4	10,4	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)

Продолжение таблицы П.4.20

П6	10,1	14	11,9	9,5	13,5	11,4	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
П7	9,6	13,5	11,2	9	13	10,7	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
П8	6,5	12,4	10,3	5,9	11,9	9,8	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
П9	9,4	12,4	10,3	8,8	11,9	9,8	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
П10	9,4	13,5	11,3	8,8	13	10,8	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
П11	8,2	14,1	12	7,6	13,6	11,5	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
П12	8,2	14,2	12	7,6	13,7	11,5	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
П13	8,7	14,7	12,6	8,1	14,2	12,1	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
П14	8,7	14,7	12,5	8,1	14,2	12	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
П15	9,2	15,1	12,8	8,6	14,6	12,3	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
П16	8,5	14,1	11,9	7,9	13,6	11,4	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
П17	8,17	14,7	12,6	7,57	14,2	12,1	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
П18	11,7	18	15,8	11,1	17,5	15,3	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
П19	11,1	17,2	10,4	10,5	16,7	9,9	ЛГРЦ «НС» (Ст. «5км»)
П20	11,3	17,5	14,8	10,7	17	14,3	ЛГРЦ «НС» (Ст. «5км»)
П21	10,9	15	12,4	10,3	14,5	11,9	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
П22	9,7	15,6	13,4	9,1	15,1	12,9	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
П23	10,1	15,8	13,7	9,5	15,3	13,2	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
П24	10,3	16,4	14,2	9,7	15,9	13,7	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
П25	10,2	16,2	14	9,6	15,7	13,5	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
П26	10,7	16,6	14,4	10,1	16,1	13,9	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
П27	11,3	17,3	15,1	10,7	16,8	14,6	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
П28	12,6	18	16	12	17,5	15,5	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
П29	10,5	14,6	12,3	9,9	14,1	11,8	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
П30	10,9	16,8	14,6	10,3	16,3	14,1	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
П31	11,7	17,7	15,5	11,1	17,2	15	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
П32	11,6	17	14,8	11	16,5	14,3	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
П33	11,6	17,4	15,6	11	16,9	15,1	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)

Продолжение таблицы П.4.20

ПЗ4	11	17,1	15	10,4	16,6	14,5	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
ПЗ5	7,6	11,7	9,5	7	11,2	9	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
ПЗ6	12,2	18,2	15,9	11,6	17,7	15,4	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
ПЗ7	10,4	16,4	14,1	9,8	15,9	13,6	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
ПЗ8	5,9	11,7	9,5	5,3	11,2	9	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
ПЗ9	6,43	12,4	10,3	5,83	11,9	9,8	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
ПЗ0	9,2	13	10,9	8,6	12,5	10,4	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
Итог о	382,8	598,1	505,8	358,8	578,1	485,8	

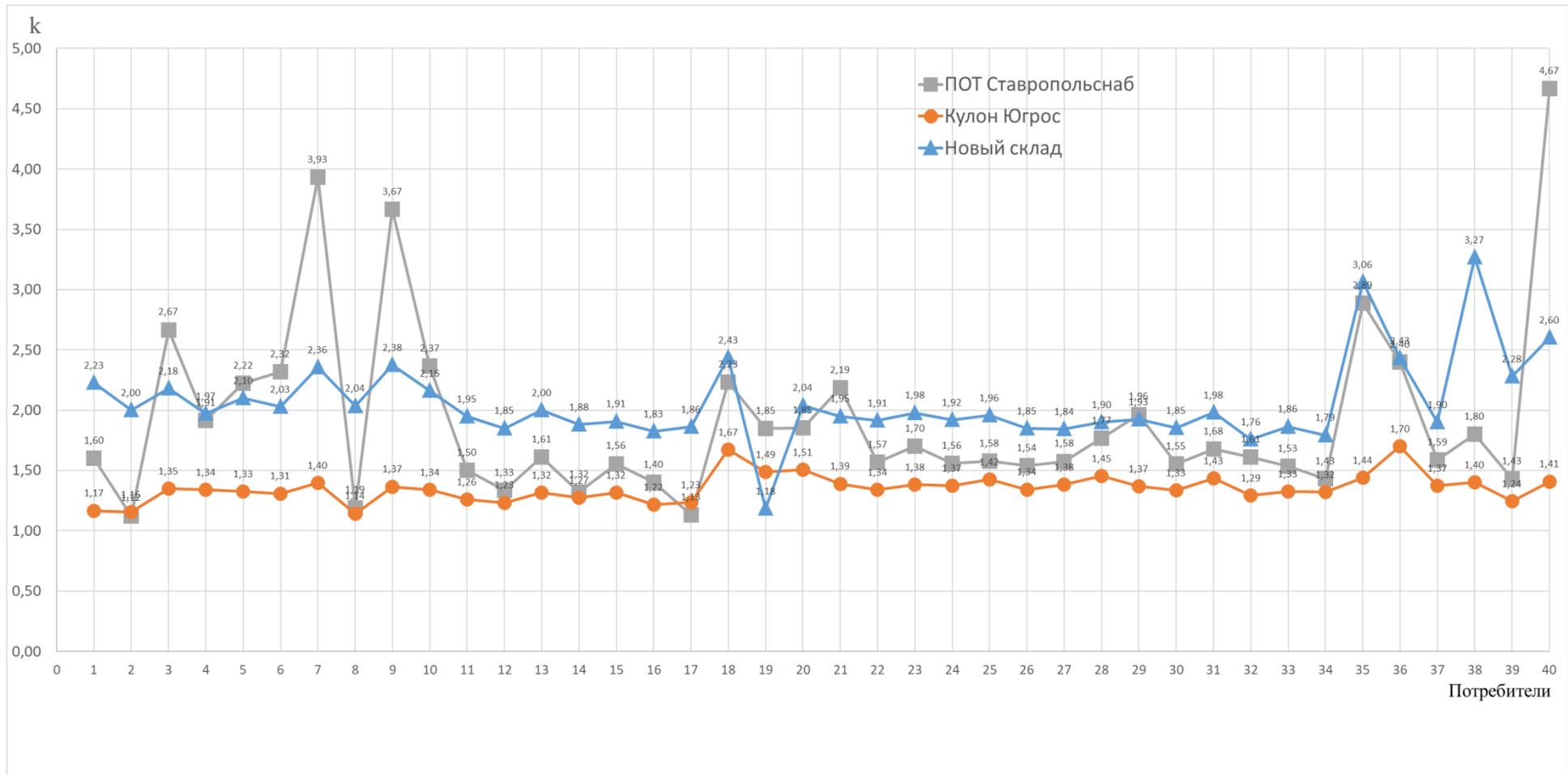


Рисунок П4.48 – Диаграммы отношений длин маршрутов к евклидовым расстояниям узла «М»

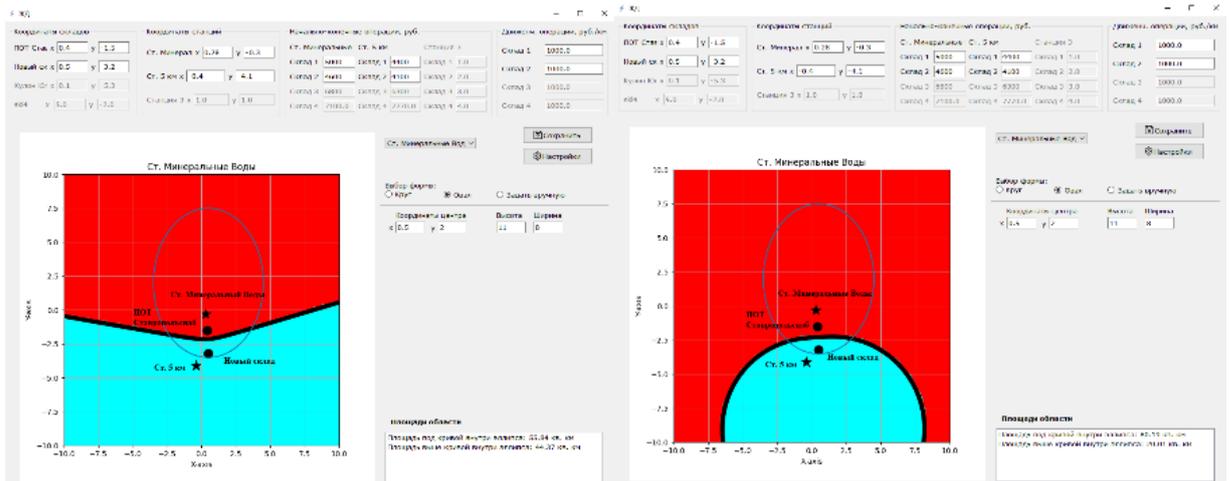


Рисунок П4.49 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «СБ» (красный цвет) и ЛГРЦ «НС» (голубой цвет) (первая и последняя итерация)

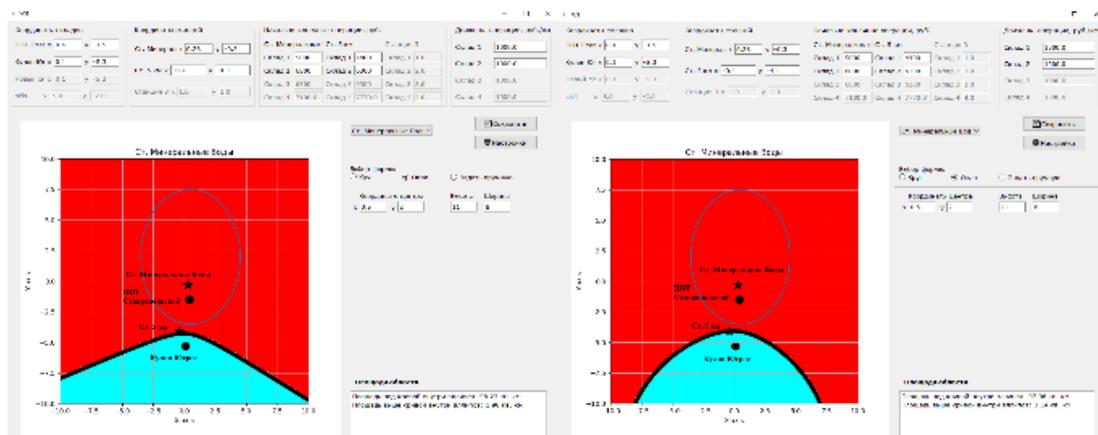


Рисунок П4.50 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «СБ» (красный цвет) и ЛГРЦ «КЮ» (голубой цвет) (первая и последняя итерация)

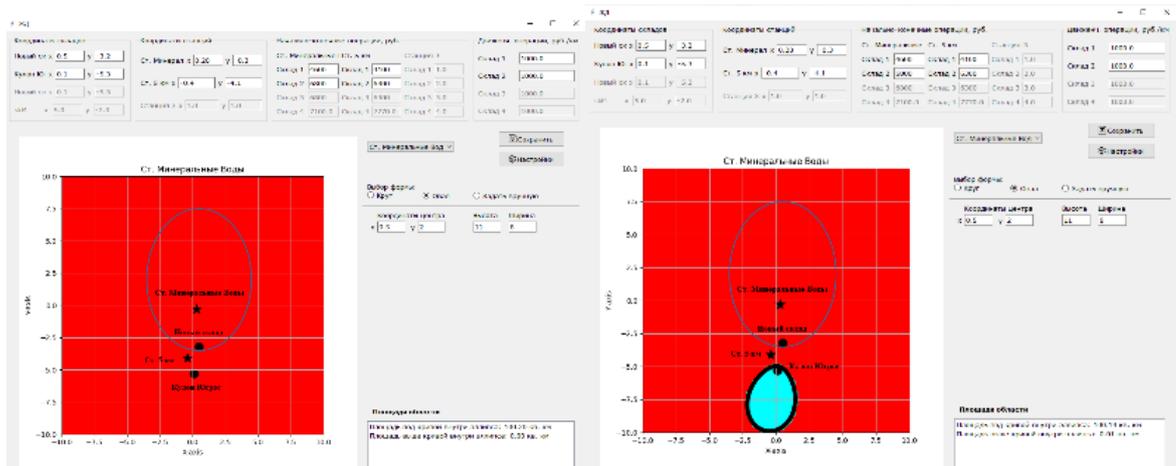


Рисунок П4.51 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «НС» (красный цвет) и ЛГРЦ «КЮ» (голубой цвет) (первая и последняя итерация)

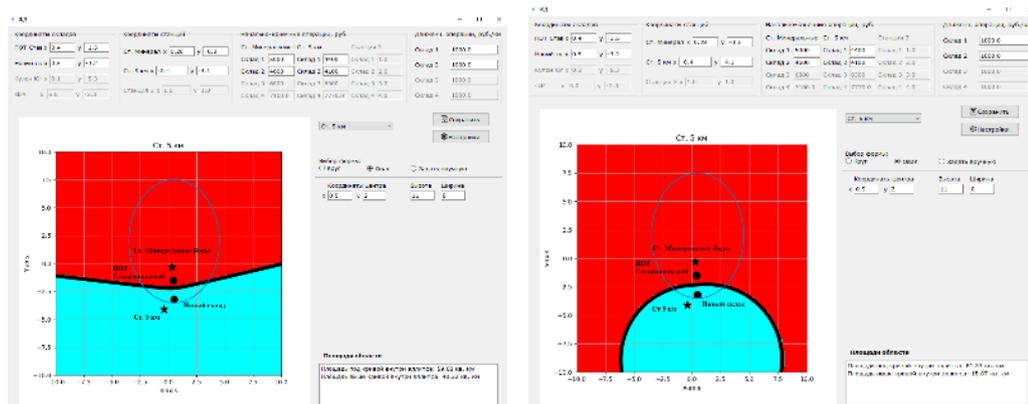


Рисунок П4.52 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «СБ» (красный цвет) и ЛГРЦ «НС» (голубой цвет) при мультиагентности и обслуживании с одной ж.-д. станции «Бкм» (первая и последняя итерация)

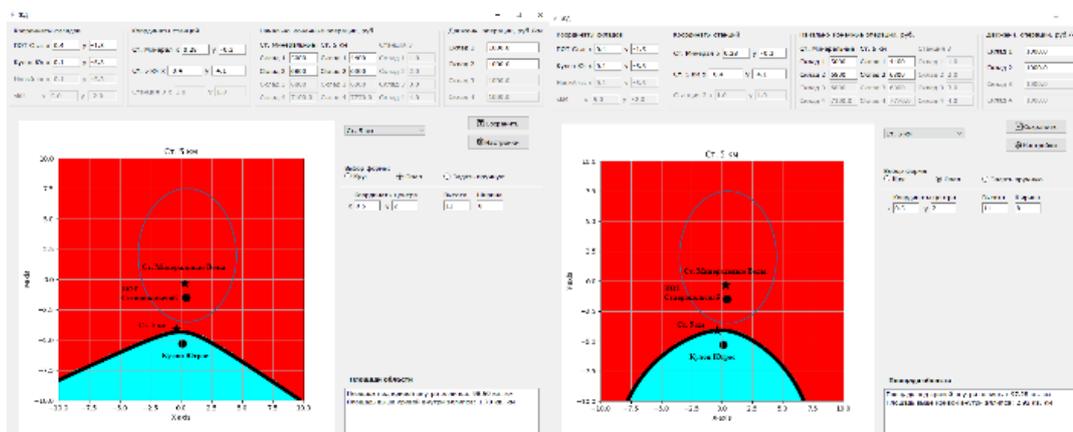


Рисунок П4.53 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «СБ» (красный цвет) и ЛГРЦ «КЮ» (голубой цвет) при мультиагентности и обслуживании с одной ж.-д. станции «Бкм» (первая и последняя итерация)

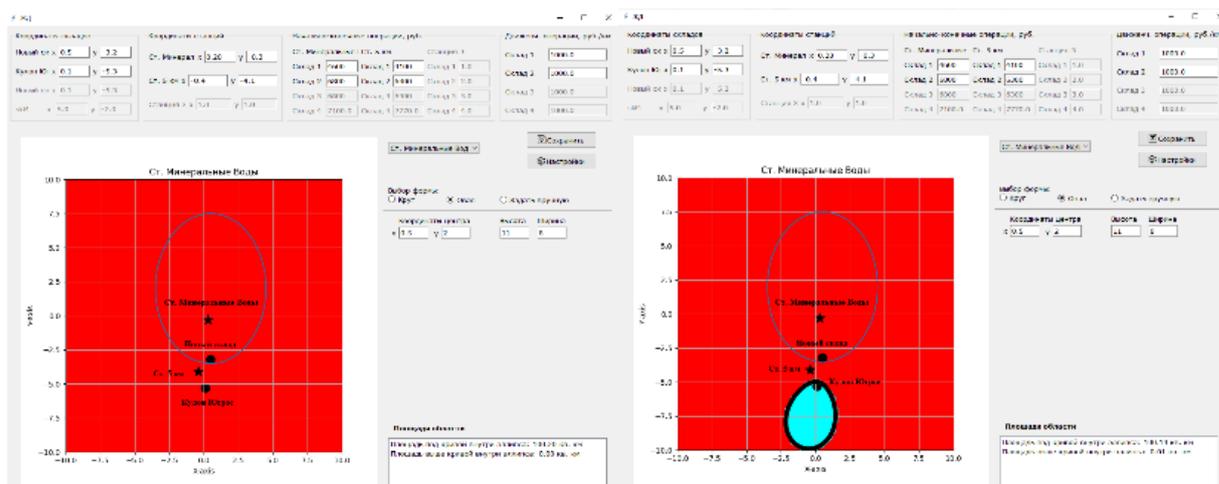


Рисунок П4.54 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «НС» (красный цвет) и ЛГРЦ «КЮ» (голубой цвет) при мультиагентности и обслуживании с одной ж.-д. станции «Бкм» (первая и последняя итерация)

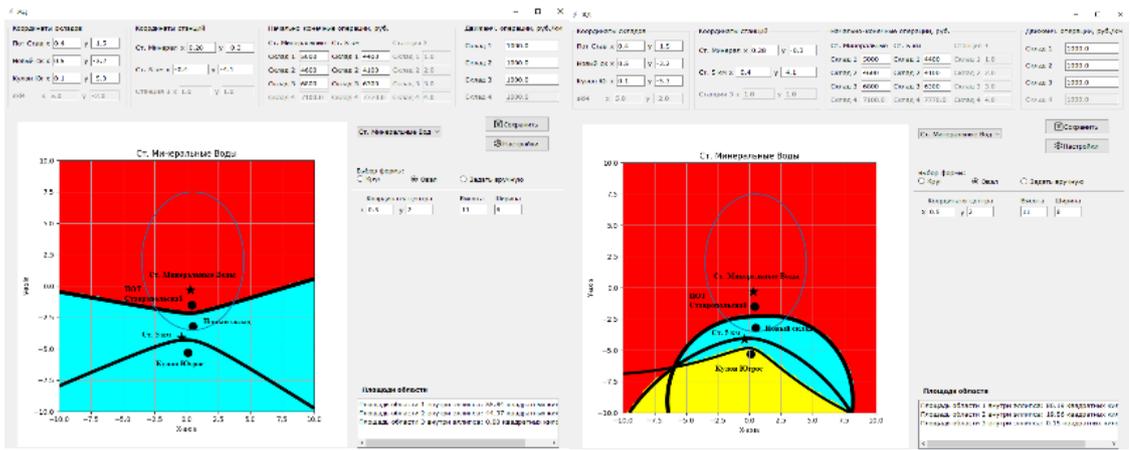


Рисунок П4.55 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «СБ» (красный цвет), ЛГРЦ «НС» (голубой цвет) и ЛГРЦ «КЮ» (желтый цвет) при мультиагентности и обслуживании с одной ж.-д. станции «МВ» (первая и последняя итерация)

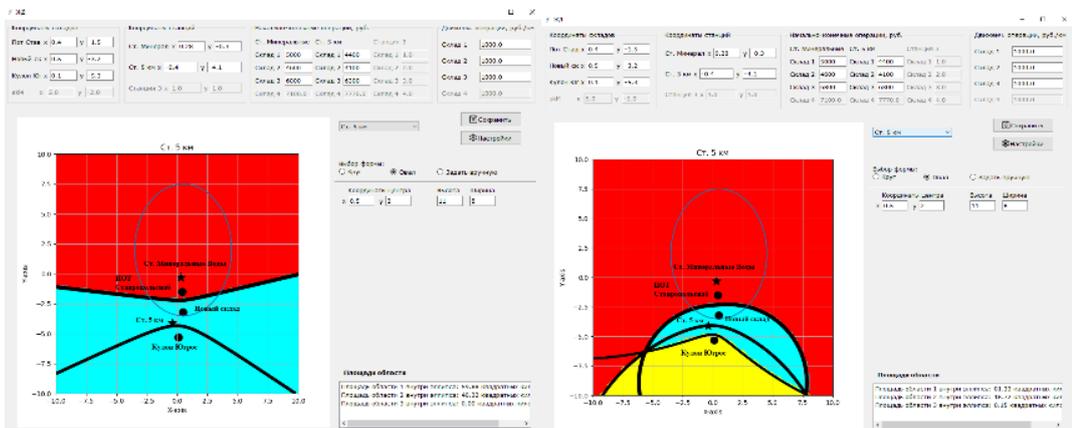


Рисунок П4.56 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «СБ» (красный цвет), ЛГРЦ «НС» (голубой цвет) и ЛГРЦ «КЮ» (желтый цвет) при мультиагентности и обслуживании с одной ж.-д. станции «5км» (первая и последняя итерация)

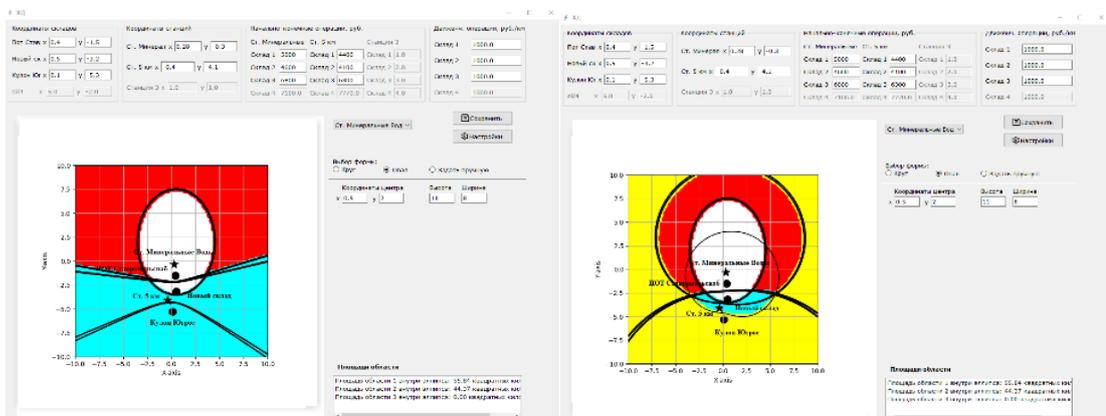


Рисунок П4.57 – «Зоны обслуживания» ЛГРЦ «СБ» (красный цвет), ЛГРЦ «НС» (голубой цвет) и ЛГРЦ «КЮ» (желтый цвет) при мультиагентном обслуживании

Таблица П4.21 – Протяженность транспортных маршрутов

ТУ	ЛГРЦ	Количество потребителей		Протяженность транспортных маршрутов, км	
		Сущ.	Проект	Сущ.	Проект
«Р»	«Г»	25	15	240,0	115,3
	«С»	5	6	72,0	32,4
	«Ю»	30	39	392,5	317,6
Итого по узлу		60	60	704,5	465,3
«К»	«Е»	26	12	407,2	86,7
	«W»	30	54	534,6	721,8
	«А»	14	4	248,3	23,2
Итого по узлу		70	70	1190,1	831,7
«М»	«СБ»	20	38	94,7	170,4
	«НС»	14	2	131,2	16
	«КЮ»	6	0	42,6	0
Итого по узлу		40	40	268,5	186,4
«А»	«БС»	10	4	44,2	11,6
	«ДС»	5	0	26,2	0
	«СК»	32	44	172,2	206,6
	«ПЭК»	3	2	11,0	5,4
Итого по узлу		50	50	253,6	223,6

Таблица П4.22 – Результаты оценки конфигурации транспортно-складской системы зоны обслуживания ТУ «А» ЛГРЦ «БС»

№ п/п	Наименование показателя	ЛГРЦ ТУ <sub>сущ.</sub>	ЛГРЦ ТУ <sub>проект</sub>	Коэффициент влияния, $k_B^i$ , %
1	Количество потребителей складских услуг	10	4	15
2	Площадь «зоны обслуживания», км <sup>2</sup>	27,0	20,1	20
3	Транспортные расходы, тыс руб.	138,2	39,6	25
4	Плата за выбросы от автотранспортных средств, тыс руб.	4,4	0,4	12
5	Временная эффективность доставки, сут	0,1	0,06	8
6	Уровень относительной организации системы	0,783	0,799	5
7	Транспортная привлекательность	0,03	0,01	5
8	Транспортная доступность, балл	80	85	10
Итого				100

Таблица П4.23 – Интегральная оценка конфигурации транспортно-складской системы зоны обслуживания ТУ «А» ЛГРЦ «БС» в результате применения модифицированного метода экономико-географического размещения и программных алгоритмов

Наименование показателя	Параметры расчета интегрального критерия эффективности транспортно-складской сети узла					
	$F_{фij}$ , балл или ед. изм.	$F_{опт}$ , балл или ед.изм.	$\Delta F_{ij}$ , балл или ед.изм.	$P_{hij}$ , доля ед.	$P_{kij}$ , доля ед.	$M_{nij}$ , %
Количество потребителей складских услуг	10	4	-6	-0,6	-0,4	-6
Площадь «зоны обслуживания», км <sup>2</sup>	27,0	20,1	-6,9	-0,34	-0,66	-13,2
Транспортные расходы, тыс руб.	138,2	39,6	98,6	0,71	0,29	7,25
Плата за выбросы от автотранспортных средств, тыс руб.	4,4	0,4	4	0,9	0,1	1,2
Временная эффективность доставки, сут	0,1	0,06	0,04	0,66	0,34	2,72
Уровень относительной организации системы	0,783	0,799	0,016	0,02	0,968	4,84
Транспортная привлекательность	0,03	0,01	-0,02	-0,66	-0,34	-1,7
Транспортная доступность	80	85	5	0,06	0,94	9,4
Интегральный показатель эффективности зоны обслуживания ЛГРЦ «БС» , $E_j$	4,51					

Таблица П4.24 – Результаты оценки конфигурации транспортно-складской системы зоны обслуживания ТУ «А» ЛГРЦ «СК»

№ п/п	Наименование показателя	ЛГРЦ ТУ <sub>сущ.</sub>	ЛГРЦ ТУ <sub>проект</sub>	Коэффициент влияния, $k_B^i$ , %
1	Количество потребителей складских услуг	32	44	15
2	Площадь «зоны обслуживания», км <sup>2</sup>	9,85	17,05	20
3	Транспортные расходы, тыс руб.	237,5	308,7	25
4	Плата за выбросы от автотранспортных средств, тыс руб.	54,5	90,0	12
5	Временная эффективность доставки, сут	0,26	0,31	8
6	Уровень относительной организации системы	0,811	0,903	5
7	Транспортная привлекательность	0,37	0,26	5
8	Транспортная доступность, балл	80	87	10
Итого				100

Таблица П4.25 – Интегральная оценка конфигурации транспортно-складской системы зоны обслуживания ТУ «А» ЛГРЦ «СК» в результате применения модифицированного метода экономико-географического размещения и программных алгоритмов

Наименование показателя	Параметры расчета интегрального критерия эффективности транспортно-складской сети узла					
	$F_{фij}$ , балл или ед. изм.	$F_{опт}$ , балл или ед.изм.	$\Delta F_{ij}$ , балл или ед.изм.	$P_{hij}$ , доля ед.	$P_{kij}$ , доля ед.	$M_{nij}$ , %
Количество потребителей складских услуг	32	44	12	0,27	0,73	10,95
Площадь «зоны обслуживания», км <sup>2</sup>	9,85	17,05	7,2	0,42	0,56	11,2
Транспортные расходы, тыс руб.	237,5	308,7	-71,2	-0,23	-0,77	-19,3
Плата за выбросы от автотранспортных средств, тыс руб.	54,5	90,0	-35,5	-0,39	-0,61	-7,32
Временная эффективность доставки, сут	0,26	0,31	0,05	0,16	0,84	6,72
Уровень относительной организации системы	0,811	0,903	0,092	0,1	0,9	4,5
Транспортная привлекательность	0,37	0,26	-0,11	-0,42	-0,58	-2,9
Транспортная доступность	80	87	7	0,08	0,92	9,2
Интегральный показатель эффективности зоны обслуживания ЛГРЦ «СК» , $E_j$	13,1					

Таблица П4.26 – Результаты оценки конфигурации транспортно-складской системы зоны обслуживания ТУ «А» ЛГРЦ «ПЭК»

№ п/п	Наименование показателя	ЛГРЦ ТУ <sub>сущ.</sub>	ЛГРЦ ТУ <sub>проект</sub>	Коэффициент влияния, $k_B^i$ , %
1	Количество потребителей складских услуг	3	2	15
2	Площадь «зоны обслуживания», км <sup>2</sup>	12,9	12,6	20
3	Транспортные расходы, тыс руб.	25,0	7,6	25
4	Плата за выбросы от автотранспортных средств, тыс руб.	0,3	0,1	12
5	Временная эффективность доставки, сут	0,06	0,05	8
6	Уровень относительной организации системы	0,794	0,758	5
7	Транспортная привлекательность	0,02	0,01	5
8	Транспортная доступность, балл	77	80	10
Итого				100

Таблица П4.27 – Интегральная оценка конфигурации транспортно-складской системы зоны обслуживания ТУ «А» ЛГРЦ «ПЭК» в результате применения модифицированного метода экономико-географического размещения и программных алгоритмов

Наименование показателя	Параметры расчета интегрального критерия эффективности транспортно-складской сети узла					
	$F_{фij}$ , балл или ед. изм.	$F_{опт}$ , балл или ед.изм.	$\Delta F_{ij}$ , балл или ед.изм.	$P_{hij}$ , доля ед.	$P_{kij}$ , доля ед.	$M_{nij}$ , %
Количество потребителей складских услуг	3	2	-1	-0,5	-0,5	-7,5
Площадь «зоны обслуживания», км <sup>2</sup>	12,9	12,6	-0,3	-0,02	-0,98	-19,6
Транспортные расходы, тыс руб.	25,0	7,6	17,4	0,69	0,31	7,75
Плата за выбросы от автотранспортных средств, тыс руб.	0,3	0,1	0,2	0,67	0,33	3,96
Временная эффективность доставки, сут	0,06	0,05	0,01	0,2	0,8	6,4
Уровень относительной организации системы	0,794	0,758	0,036	0,04	0,96	4,8
Транспортная привлекательность	0,02	0,01	-0,01	-0,5	-0,5	-2,5
Транспортная доступность	77	80	3	0,03	0,97	9,7
Интегральный показатель эффективности зоны обслуживания ЛГРЦ «ПЭК», $E_j$	3,01					

Таблица П4.28 – Результаты оценки конфигурации транспортно-складской системы зоны обслуживания ТУ «К» ЛГРЦ «Е»

№ п/п	Наименование показателя	ЛГРЦ ТУ <sub>сущ.</sub>	ЛГРЦ ТУ <sub>проект</sub>	Коэффициент влияния, $k_B^i$ , %
1	Количество потребителей складских услуг	26	12	15
2	Площадь «зоны обслуживания», км <sup>2</sup>	95,44	44,52	20
3	Транспортные расходы, тыс руб.	820,6	228,3	25
4	Плата за выбросы от автотранспортных средств, тыс руб.	104,8	10,3	12
5	Временная эффективность доставки, сут	0,57	0,15	8
6	Уровень относительной организации системы	0,798	0,817	5
7	Транспортная привлекательность	0,07	0,03	5
8	Транспортная доступность, балл	83	87	10
Итого				100

Таблица П4.29 – Интегральная оценка конфигурации транспортно-складской системы зоны обслуживания ТУ «К» ЛГРЦ «Е» в результате применения модифицированного метода экономико-географического размещения и программных алгоритмов

Наименование показателя	Параметры расчета интегрального критерия эффективности транспортно-складской сети узла					
	$F_{фij}$ , балл или ед. изм.	$F_{опт}$ , балл или ед.изм.	$\Delta F_{ij}$ , балл или ед.изм.	$P_{hij}$ , доля ед.	$P_{kij}$ , доля ед.	$M_{nij}$ , %
Количество потребителей складских услуг	26	12	-14	-0,53	-0,47	-7,05
Площадь «зоны обслуживания», км <sup>2</sup>	95,44	44,52	-50,92	-0,53	-0,47	-9,4
Транспортные расходы, тыс руб.	820,6	228,3	592,3	0,72	0,28	7
Плата за выбросы от автотранспортных средств, тыс руб.	104,8	10,3	94,5	0,9	0,1	1,2
Временная эффективность доставки, сут	0,57	0,15	0,42	0,73	0,27	2,16
Уровень относительной организации системы	0,798	0,817	0,019	0,023	0,977	4,88
Транспортная привлекательность	0,07	0,03	-0,04	-0,57	-0,43	-2,15
Транспортная доступность	83	87	4	0,04	0,96	9,6
Интегральный показатель эффективности зоны обслуживания ЛГРЦ «Е» , $E_j$	6,24					

Таблица П4.30 – Результаты оценки конфигурации транспортно-складской системы зоны обслуживания ТУ «К» ЛГРЦ «W»

№ п/п	Наименование показателя	ЛГРЦ ТУ <sub>сущ.</sub>	ЛГРЦ ТУ <sub>проект</sub>	Коэффициент влияния, $k_B^i$ , %
1	Количество потребителей складских услуг	30	54	15
2	Площадь «зоны обслуживания», км <sup>2</sup>	107,1	207,1	20
3	Транспортные расходы, тыс руб.	710,9	959,4	25
4	Плата за выбросы от автотранспортных средств, тыс руб.	158,7	385,8	12
5	Временная эффективность доставки, сут	0,74	1,29	8
6	Уровень относительной организации системы	0,799	0,865	5
7	Транспортная привлекательность	0,08	0,06	5
8	Транспортная доступность, балл	80	87	10
Итого				100

Таблица П4.31 – Интегральная оценка конфигурации транспортно-складской системы зоны обслуживания ТУ «К» ЛГРЦ «W» в результате применения модифицированного метода экономико-географического размещения и программных алгоритмов

Наименование показателя	Параметры расчета интегрального критерия эффективности транспортно-складской сети узла					
	$F_{фij}$ , балл или ед. изм.	$F_{опт}$ , балл или ед.изм.	$\Delta F_{ij}$ , балл или ед.изм.	$P_{hij}$ , доля ед.	$P_{kij}$ , доля ед.	$M_{nij}$ , %
Количество потребителей складских услуг	30	54	24	0,44	0,56	8,4
Площадь «зоны обслуживания», км <sup>2</sup>	107,1	207,1	100	0,48	0,52	10,4
Транспортные расходы, тыс руб.	710,9	959,4	-248,5	-0,26	-0,74	-17,8
Плата за выбросы от автотранспортных средств, тыс руб.	158,7	385,8	-227,1	-0,58	-0,42	-5,04
Временная эффективность доставки, сут	0,74	1,29	-0,55	-0,42	-0,58	-4,64
Уровень относительной организации системы	0,799	0,865	0,066	0,076	0,924	4,62
Транспортная привлекательность	0,08	0,06	-0,02	-0,33	-0,67	-3,35
Транспортная доступность	80	87	7	0,08	0,92	9,2
Интегральный показатель эффективности зоны обслуживания ЛГРЦ «W» , $E_j$	1,84					

Таблица П4.32 – Результаты оценки конфигурации транспортно-складской системы зоны обслуживания ТУ «К» ЛГРЦ «А»

№ п/п	Наименование показателя	ЛГРЦ ТУ <sub>сущ.</sub>	ЛГРЦ ТУ <sub>проект</sub>	Коэффициент влияния, $k_B^i$ , %
1	Количество потребителей складских услуг	14	4	15
2	Площадь «зоны обслуживания», км <sup>2</sup>	51,8	2,72	20
3	Транспортные расходы, тыс руб.	498,6	88,4	25
4	Плата за выбросы от автотранспортных средств, тыс руб.	34,4	0,92	12
5	Временная эффективность доставки, сут	0,36	0,07	8
6	Уровень относительной организации системы	0,810	0,903	5
7	Транспортная привлекательность	0,08	0,14	5
8	Транспортная доступность, балл	70	80	10
Итого				100

Таблица П4.33 – Интегральная оценка конфигурации транспортно-складской системы зоны обслуживания ТУ «К» ЛГРЦ «А» в результате применения модифицированного метода экономико-географического размещения и программных алгоритмов

Наименование показателя	Параметры расчета интегрального критерия эффективности транспортно-складской сети узла					
	$F_{fij}$ , балл или ед. изм.	$F_{opt}$ , балл или ед.изм.	$\Delta F_{ij}$ , балл или ед.изм.	$P_{hij}$ , доля ед.	$P_{kij}$ , доля ед.	$M_{nij}$ , %
Количество потребителей складских услуг	14	4	-10	-0,71	-0,29	-4,35
Площадь «зоны обслуживания», км <sup>2</sup>	51,8	2,72	-49,08	-0,94	-0,06	-1,2
Транспортные расходы, тыс руб.	498,6	88,4	410,2	0,82	0,18	4,5
Плата за выбросы от автотранспортных средств, тыс руб.	34,4	0,92	33,48	0,97	0,03	0,36
Временная эффективность доставки, сут	0,36	0,07	0,29	0,8	0,2	1,6
Уровень относительной организации системы	0,810	0,903	0,093	0,1	0,9	4,5
Транспортная привлекательность	0,08	0,14	0,06	0,42	0,58	2,9
Транспортная доступность	70	80	10	0,12	0,88	8,8
Интегральный показатель эффективности зоны обслуживания ЛГРЦ «А» , $E_j$						17,11

Таблица П 4.34 – Результаты оценки конфигурации транспортно-складской системы зоны обслуживания ТУ «М» ЛПРЦ «СБ»

№ п/п	Наименование показателя	ЛПРЦ ТУ <sub>сущ.</sub>	ЛПРЦ ТУ <sub>проект</sub>	Коэффициент влияния, $k_B^i$ , %
1	Количество потребителей складских услуг	20	38	15
2	Площадь «зоны обслуживания», км <sup>2</sup>	35,02	63,37	20
3	Транспортные расходы, тыс руб.	177,97	337,6	25
4	Плата за выбросы от автотранспортных средств, тыс руб.	18,7	64,1	12
5	Временная эффективность доставки, сут	0,16	0,26	8
6	Уровень относительной организации системы	0,768	0,945	5
7	Транспортная привлекательность	0,07	0,07	5
8	Транспортная доступность, балл	75	85	10
Итого				100

Таблица П4.35 – Интегральная оценка конфигурации транспортно-складской системы зоны обслуживания ТУ «М» ЛПРЦ «СБ» в результате применения модифицированного метода экономико-географического размещения и программных алгоритмов

Наименование показателя	Параметры расчета интегрального критерия эффективности транспортно-складской сети узла					
	$F_{fij}$ , балл или ед. изм.	$F_{opt}$ , балл или ед.изм.	$\Delta F_{ij}$ , балл или ед.изм.	$P_{hij}$ , доля ед.	$P_{kij}$ , доля ед.	$M_{nij}$ , %
Количество потребителей складских услуг	20	38	18	0,47	0,53	7,95
Площадь «зоны обслуживания», км <sup>2</sup>	35,02	63,37	28,35	0,44	0,56	11,2
Транспортные расходы, тыс руб.	177,97	337,6	-159,6	-0,47	-0,53	-13,3
Плата за выбросы от автотранспортных средств, тыс руб.	18,7	64,1	-45,4	-0,7	-0,3	-3,6
Временная эффективность доставки, сут	0,16	0,26	-0,1	-0,38	-0,62	-4,96
Уровень относительной организации системы	0,768	0,945	0,177	0,18	0,82	4,1
Транспортная привлекательность	0,075	0,07	-0,05	-0,71	-0,29	-1,45
Транспортная доступность	75	85	10	0,11	0,89	8,9
Интегральный показатель эффективности зоны обслуживания ЛПРЦ «СБ» , $E_j$						8,89

Таблица П4.36 – Результаты оценки конфигурации транспортно-складской системы зоны обслуживания ТУ «М» ЛГРЦ «НС»

№ п/п	Наименование показателя	ЛГРЦ ТУ <sub>сущ.</sub>	ЛГРЦ ТУ <sub>проект</sub>	Коэффициент влияния, $k_B^i$ , %
1	Количество потребителей складских услуг	14	2	15
2	Площадь «зоны обслуживания», км <sup>2</sup>	24,02	5,68	20
3	Транспортные расходы, тыс руб.	174,3	21,2	25
4	Плата за выбросы от автотранспортных средств, тыс руб.	18,2	0,32	12
5	Временная эффективность доставки, сут	0,21	0,06	8
6	Уровень относительной организации системы	0,755	0,714	5
7	Транспортная привлекательность	0,15	0,08	5
8	Транспортная доступность, балл	80	85	10
Итого				100

Таблица П4.37 – Интегральная оценка конфигурации транспортно-складской системы зоны обслуживания ТУ «М» ЛГРЦ «НС» в результате применения модифицированного метода экономико-географического размещения и программных алгоритмов

Наименование показателя	Параметры расчета интегрального критерия эффективности транспортно-складской сети узла					
	$F_{\phi ij}$ , балл или ед. изм.	$F_{\text{опт}}$ , балл или ед.изм.	$\Delta F_{ij}$ , балл или ед.изм.	$P_{hij}$ , доля ед.	$P_{kij}$ , доля ед.	$M_{nij}$ , %
Количество потребителей складских услуг	14	2	-12	-0,85	-0,15	-2,25
Площадь «зоны обслуживания», км <sup>2</sup>	24,02	5,68	-18,34	-0,76	-0,24	-4,8
Транспортные расходы, тыс руб.	174,3	21,2	153,1	0,87	0,13	3,25
Плата за выбросы от автотранспортных средств, тыс руб.	18,2	0,32	17,88	0,98	0,02	0,24
Временная эффективность доставки, сут	0,21	0,06	0,15	0,71	0,29	2,32
Уровень относительной организации системы	0,755	0,714	-0,041	-0,05	-0,95	-4,75
Транспортная привлекательность	0,15	0,08	-0,07	-0,87	-0,13	-0,65
Транспортная доступность	80	85	5	0,05	0,95	9,5
Интегральный показатель эффективности зоны обслуживания ЛГРЦ «НС» , $E_j$	2,86					

Акты об использовании результатов диссертационного исследования



**ФИЛИАЛ ОАО «РЖД»  
ЦЕНТР ФИРМЕННОГО  
ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ  
СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ  
ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ФИРМЕННОГО ТРАНСПОРТНОГО  
ОБСЛУЖИВАНИЯ**

Привокзальная пл. 1/2,  
г. Ростов-на-Дону, 344001  
Тел.: (863) 259-50-06, факс: (863) 259-09-80

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ г. № \_\_\_\_\_

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_



**АКТ**

**о практической значимости результатов диссертационной работы  
на соискание ученой степени кандидата технических наук  
Трапенова Владимира Викторовича**

Комиссия под председательством главного инженера Северо-Кавказского ТЦФТО С.В. Гончаренко составила настоящий акт о том, что результаты научных исследований В.В. Трапенова на тему «Формирование узловой сети грузовых распределительных терминалов на принципах мультиагентного экономико-географического размещения» имеют практическую значимость для расширения клиентской базы и совершенствования клиентоориентированной деятельности Северо-Кавказского территориального центра фирменного транспортного обслуживания на полигоне Северо-Кавказской железной дороги.

В.В. Трапеновым разработаны практические рекомендации по совершенствованию оценки топологии узловой железнодорожной сети грузовых распределительных центров, варианты управления складскими грузопотоками с сокращением транспортных расходов, сформирован метод экономико-математического размещения грузовых распределительных терминалов, программный комплекс, учитывающий принципы мультиагентности обслуживания грузоотправителей и грузополучателей.

Главный инженер СК ТЦФТО

С.В. Гончаренко



Северо-Кавказская дирекция  
по управлению терминально-  
складским комплексом

«УТВЕРЖДАЮ»

Начальник Северо-Кавказской дирекции  
по управлению терминально-складским  
комплексом



### А К Т

**о практической значимости результатов диссертационной работы  
Трапенова Владимира Викторовича «Формирование узловой сети грузовых  
распределительных терминалов на принципах мультиагентного экономико-  
географического размещения», представленной на соискание ученой  
степени кандидата технических наук**

Комиссия, рассмотрев результаты диссертационной работы В.В. Трапенова, составила настоящий акт о том, что автором разработаны практические рекомендации позволяющие:

1 – выполнять оценку компоновочных решений железнодорожных грузовых распределительных терминалов узлов;

2 – моделировать работу узловой сети грузовых распределительных терминалов, учитывающей топологию, зоны мультиагентного транспортно-складского обслуживания потребителей на основе сформированного метода экономико-географического размещения;

3 – рассчитывать показатели качества размещения складских комплексов, организации транспортно-складской работы, которые позволяют принимать стратегические решения по развитию клиентской базы при сокращении транспортных расходов.

Результаты научных исследований имеют практическую значимость для повышения эффективности управления складскими грузопотоками в системе транспортного узла.

Заместитель начальника Северо-  
Кавказской дирекции по управ-  
лению терминально-складским  
комплексом по коммерческим  
вопросам

М. В. Султанян



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

площадь Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, зд. 2, город Ростов-на-Дону,  
городской округ город Ростов-на-Дону, Ростовская область, 344038  
Тел. (863) 245-06-13, Факс (863) 245-06-13, E-mail: up\_del@dep.rgups.ru  
ОКПО 01116006, ОГРН 5020107007411, КПП 6165009334/616501001



Первый проректор ФГБОУ ВО РГУПС  
М.А. Кравченко  
16 09 2024 г.

АКТ

об использовании результатов диссертационного исследования Трапенова Владимира Викторовича «Формирование узловой сети грузовых распределительных терминалов на принципах мультиагентного экономико-географического размещения» в учебном процессе ФГБОУ ВО РГУПС

Мы, нижеподписавшиеся, декан факультета «Управление процессами перевозок», к.т.н., доцент Колобов И.А., начальник отдела докторантуры и аспирантуры, к.т.н., доцент Костюков А.В. составили настоящий акт о том, что результаты диссертационного исследования на соискание ученой степени кандидата технических наук Трапенова Владимира Викторовича используются в учебном процессе по направлению 23.05.04 – «Эксплуатация железных дорог», в дисциплинах «Терминальные системы транспорта», «Управление грузовой и коммерческой работой», «Информационные технологии в грузовой и коммерческой работе», а также при разработке учебно-методических комплексов, курсовом и дипломном проектировании.

Основные положения и выводы диссертационного исследования были апробированы в рамках студенческих научно-практических конференций, семинаров кафедры и нашли свое отражение в следующих опубликованных работах:

1. Терминальные системы транспорта : учеб. пособие / О. Н. Числов, Н. М. Магомедова, В. В. Трапенов ; ФГБОУ ВО РГУПС. - Ростов н/Д : РГУПС, 2023. - 100 с. ISBN 978-5-907494-54-1
2. 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.
3. 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. ISBN 978-5-88814-669-9

Декан факультета «УПП»  
ФГБОУ ВО РГУПС,  
к.т.н., доцент

И.А. Колобов

Начальник отдела «Д и А»  
ФГБОУ ВО РГУПС,  
к.т.н., доцент

А.В. Костюков