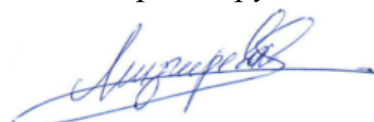


РОСЖЕЛДОР
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО РГУПС)

На правах рукописи



Мизгирева Екатерина Евгеньевна

ФОРМИРОВАНИЕ МЕТОДА РАЗМЕЩЕНИЯ
ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛОВ
В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКИХ ПРИНЦИПОВ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ

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

2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Глава 1. ТРАНСПОРТНЫЙ УЗЕЛ КАК РЕЗУЛЬТАТ КОМПЛЕКСНОЙ ИНФРАСТРУКТУРНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНТЕГРАЦИИ.	14
1.1 Транспортные узлы и их роль в единой транспортной системе страны (на примере юга России)	14
1.2 Эволюция определений и классификационных признаков транспортных узлов	23
1.3 Существующие компоновочные решения узловых производственно- транспортно-складских объектов	33
1.4 Взаимодействие видов транспорта на этапах развития узловой инфраструктуры	38
1.5 Выводы по главе	44
Глава 2. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАЗМЕЩЕНИЯ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОГО УЗЛА	46
2.1 Отечественные и зарубежные научные разработки по обоснованию вариантов компоновочных решений при размещении предприятий и производств транспортного узла	46
2.2 Блочно-модульный принцип размещения узловых зон и объектов	57
2.3 Оценка размещения узловых транспортных зон и объектов в условиях нечетких принципов параметризации	62
2.4 Специальный градостроительный показатель (СГП) размещения узловой инфраструктуры	72
2.5 Выводы по главе	77
Глава 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАЗМЕЩЕНИЯ УЗЛОВЫХ ЗОН И ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКОЙ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ	78

3.1 Постановка задачи размещения узловых зон и объектов	78
3.2 Формирование динамического массива данных инфраструктурных и транспортно-технологических параметров узла	79
3.3 Разработка генетического компоновочного алгоритма (ГКА ТУ) и программного комплекса метода размещения инфраструктурных объектов транспортного узла в условиях нечеткой постановки задачи	86
3.3.1 Применение линейного диофантова уравнения (ЛДУ) в выборе параметров зон транспортных узлов	91
3.4 Коэффициент дивергенции в оценке компоновочных решений узловых зон и объектов	104
3.5 Выводы по главе	108
Глава 4. АПРОБАЦИЯ МЕТОДА ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ УЗЛОВЫХ ЗОН И ОБЪЕКТОВ (НА ПРИМЕРЕ УЗЛОВ ЮГА РОССИИ)	110
4.1 Программное моделирование компоновочных решений узловых объектов	110
4.2 Обоснование эффективных вариантов размещения узловых зон, предприятий и производств	116
4.3 Оценка зависимости перспективного инфраструктурного развития узловых зон и форм организации узловых транспортных процессов	126
4.4 Система показателей рациональных компоновочных решений транспортных узлов	131
4.5 Выводы по главе	139
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	141
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	145
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	166
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	189
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	205
ПРИЛОЖЕНИЕ 4	208
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Акты внедрения	235

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Транспортный узел (ТУ) – это центр многокомпонентной системы логистически взаимодействующих видов транспорта, расположенной в пределах крупных городских агломераций и центров промышленного производства. В настоящее время, в условиях цифровизации и интеллектуализации транспортных процессов, перераспределения логистических схем доставки грузов и пассажиров, появляются новые разнообразные функции и задачи транспортных узлов, значительно увеличивается их значимость, возрастает сложность их структур и способы управления ими, усиливаются технологические связи. Данные изменения требуют развития научных и практических способов исследования вариантов компоновки узловых объектов, а также новых принципов оценки транспортно-технологических процессов (ТТП), протекающих в них в условиях сложноформализуемых факторов [1].

Проблематика компоновочных решений транспортных узлов представляет собой сложную, многогранную задачу с глубокими историческими корнями. Выбор видов узлового транспорта в значительной степени диктуется типами внешнего транспорта, объемами и видами перевозок в пределах узла, а также размещением элементов узловой транспортной инфраструктуры с позиции блочно-модульного зонирования территории.

В вопросе позиционирования узловых объектов и моделирования их взаимодействия важную роль играет сбалансированное развитие узловых видов транспорта, решение проблемы обеспечения узла необходимой инфраструктурой, и транспортными коммуникациями. Результат рациональной компоновки узловых объектов – это эффективное и беспрепятственное продвижение грузо- и пассажиропотоков между производственно-транспортно-складскими, жилыми и рекреационными зонами, что подразумевает множество аспектов, включая объемы работы, количество пользователей, выбор маршрута, потребности в перевозках и т. д.

Транспортный комплекс юга России на современном этапе своего развития основывается на многофункциональной и тесно интегрированной системе производственных и транспортных технологий, которая включена в экономическую структуру региона и Российской Федерации в целом. Юг России имеет разветвленную сеть железных и автомобильных дорог, водных путей, а также обширную систему трубопроводного транспорта. Транспортные узлы данного региона выполняют важнейшие функции: обеспечение непрерывности перевозок грузов и пассажиров, поддержание работоспособности крупных глубоководных портов, экономическую интеграцию, сохранение обороноспособности региона и страны в целом [2].

На рисунках 1–2 приведена структура транспортной работы основных видов транспорта за период с 2019 по 2024 г. [3].

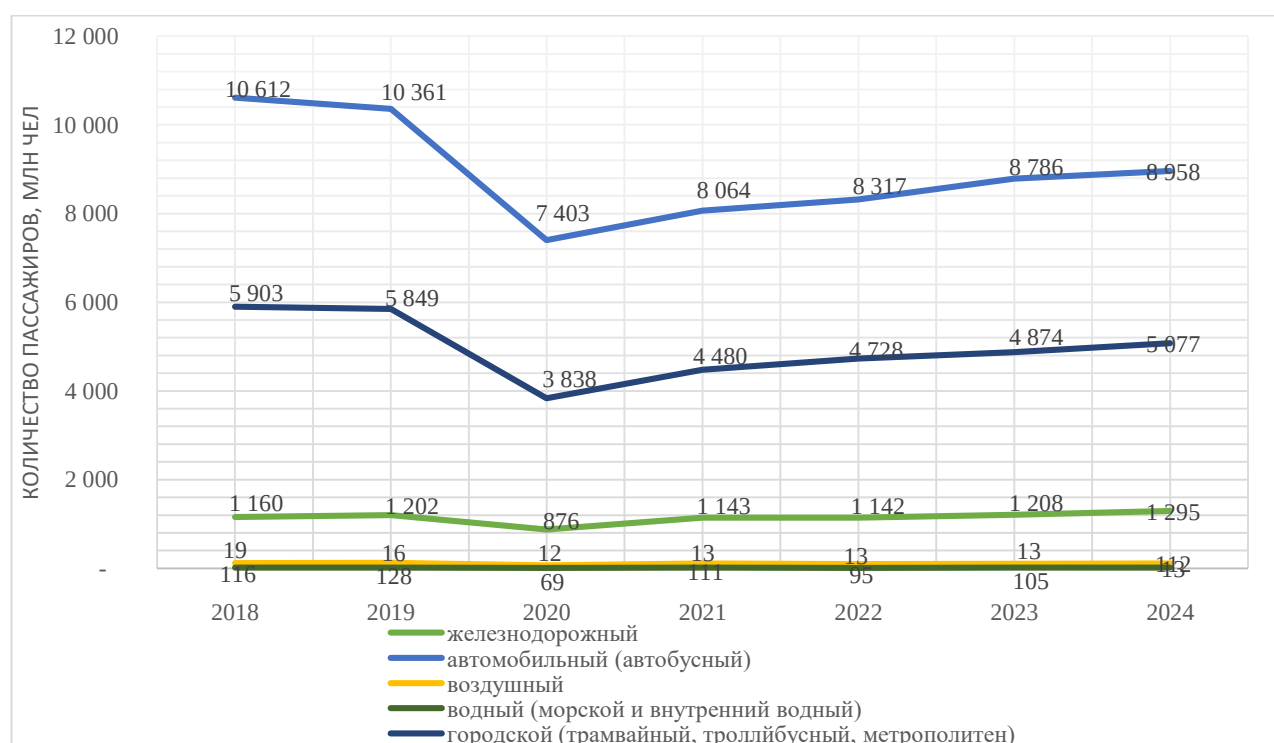


Рисунок 1 – Структура перевозок пассажиров видами транспорта РФ, млн чел.

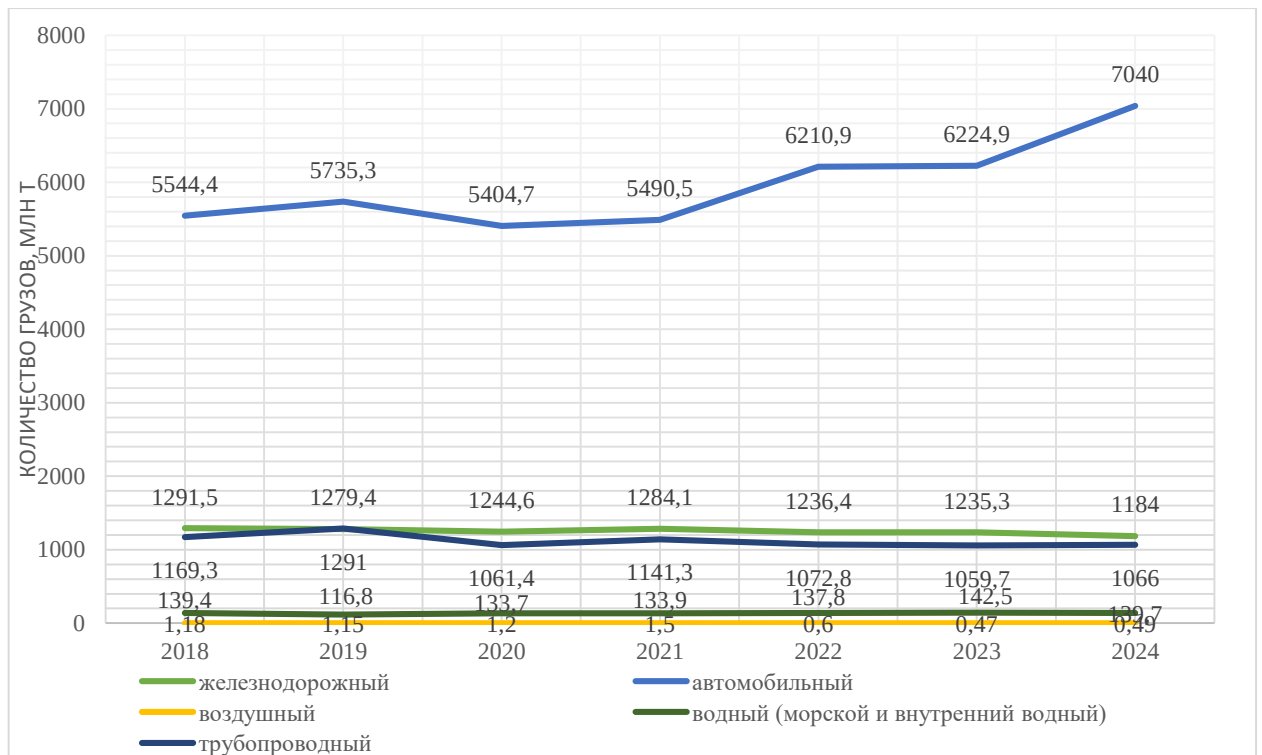


Рисунок 2 – Структура перевезенных грузов видами транспорта РФ, млн т

Следует отметить то, что, несмотря на прогрессивное развитие транспортной отрасли, по-прежнему остаются проблемными задачи рационального размещения узловых объектов, а также планирования и долгосрочного прогнозирования их последующего развития, что связано с динамикой нечетких и сложноформализуемых параметров, влиянием социально-экономических факторов, политических изменений и т. п. Многовариантность возможных решений и взаимосвязь разнородных факторов делают задачу размещения и развития узловых объектов чрезвычайно сложной, требующей применения современных методов оптимизации и моделирования. Необходимо разрабатывать новые, гибкие и адаптивные, подходы к проектированию и управлению жизненным циклом узловых объектов, чтобы обеспечить их долгосрочную эффективность и соответствие изменяющимся внешним условиям.

Вышеизложенное определяет необходимость развития методологического инструментария оценки компоновочных решений транспортных узлов и

свидетельствует об актуальности и целесообразности выполненных в диссертации научных исследований.

Степень разработанности проблемы. Российский опыт разработки генеральных схем транспортных узлов был накоплен в результате огромной работы, проделанной научно-исследовательскими и проектными институтами (АО «ИЭРТ», проектные институты Министерства транспорта и ОАО «РЖД»), вузами России совместно с крупнейшими специалистами – учеными-транспортниками. Большой вклад в разработку теории и практики проектирования железнодорожных и транспортных узлов, развития и оптимизации параметров узловых транспортно-технологических процессов внесли В. Н. Образцов, Е. В. Архангельский, В. М. Акулиничев, В. И. Апатцев, В. И. Арсёнов, М. М. Болотин, А. К. Головнич, С. Е. Гибшман, И. А. Еловой, А. Т. Дерибас, В. А. Дмитриев, Ю. И. Ефименко, Б. Б. Жардемов, И. И. Костин, А. В. Кутыркин, Б. А. Лёвин, О. Б. Маликов, О. Н. Числов, М. В. Четчуев, А. Т. Осьминин, В. Я. Негрей, В. М. Николашин, Н. В. Правдин, В. А. Персианов, М. Б. Петров, С. М. Резер, Н. К. Сологуб, Н. Н. Шабалин, В. А. Шаров, Ф. И. Шаульский, М. И. Шмулевич, В. Г. Шубко и др.

Развитию теории и практики формирования транспортных систем и узловой транспортной логистики посвятили свои труды В. В. Багинова, А. С. Балалаев, А. Ф. Бородин, В. И. Галахов, С. Ю. Елисеев, В. Н. Зубков, А. Я. Калининченко, А. Г. Кириллова, В. П. Клепиков, П. А. Козлов, Е. К. Коровяковский, А. П. Кузнецов, П. В. Куренков, Х. М. Лазарев, Э. А. Мамаев, С. В. Милославская, Л. Б. Миротин, В. Н. Морозов, Н. Н. Лябах, М. В. Колесников, Ю. О. Пазойский, Р. Н. Паршина, К. И. Плужников, Т. А. Прокофьева, В. В. Повороженко, П. К. Рыбин, А. А. Смехов и др.

Технологические процессы, способствующие росту и развитию современной транспортной системы городов и мегаполисов, исследовались такими учеными, как А. В. Коротаев, Ю. Л. Пивоваров, Е. Ю. Прокофьева, В. В. Зотов, Ю. К. Поносов, И. Н. Пугачев, Я. А. Селиверстов, А. А. Сорокин, С. В. Федоров, Я. Цибулка, М. Р. Якимов, Ха Дуи Ань, Ань Дун, Ю. С. Калашников,

Д. Ю. Ломакина, М. А. Маташова, Е. А. Солнцев, Б. П. Усанов, М. С. Фишельсон, В. А. Шемякина, Го Юнцзюнь и др.

Зарубежные научные школы проектирования узловых транспортных систем, взаимодействия узловых видов транспорта сформированы трудами Г. Поттхоффа, Д. Вордлоу, Д. Вуда, Д. Джонсона, Ф. Камински, М. Кристофера, Д. Ламберта, П. Мэрфи-мл., Д. Симчи-Леви, Д. Стока, Д. Уотерса, Х. Хотеллинга, Р. Вернона, М. Сторпера, Р. Уолкера, Дж. Фридмана, Э. Таафе, Д. Смита, Х. Ричардсона, С. Деннисона, Э. Робинсона, Г. Камерона, А. Вебера, А. Предёля, А. Лёша, Р. Гроца, М. Пиира и др.

На основе исследований отечественных и зарубежных ученых заложены теоретические основы и определены перспективы современного проектирования транспортных узлов, эффективности системной организации и управления транспортно-технологическими процессами.

При проектировании и последующем развитии схемных решений транспортных узлов возникают и решаются вопросы целесообразности насыщения транспортными связями и устойчивости узла к дестабилизирующим воздействиям техногенных и природных факторов, а также организационного, технико-технологического, информационного, экономического, правового взаимодействия и степени его обороноспособности.

Тем не менее, несмотря на прогрессивное развитие транспортной отрасли, по-прежнему остаются проблемными задачи рационального размещения узловых объектов, а также планирования их последующего развития, связанного с изменением параметров (расширением, переносом, объединением, закрытием, изменением функциональности и т. п.). Эта проблема усугубляется нечеткими и слабоформализуемыми параметрами, такими как социальные аспекты, экономические факторы, политические изменения и неопределенность будущих логистических потоков транспорта.

Схемные решения многих транспортных узлов юга России разработаны еще в 60–70-х годах прошлого века и в современных условиях эксплуатации требуют

развития и модификации с учетом принципов цифровизации и интеллектуализации транспортно-технологических процессов.

Целью диссертационной работы является разработка метода размещения объектов (предприятий и производств) и зонирования транспортных узлов, формирование стратегии развития узловых транспортно-технологических процессов в условиях нечетких и сложноформализуемых факторов.

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

- выполнить анализ отечественного и зарубежного опыта проектирования и размещения объектов транспортных узлов на этапах развития;
- исследовать компоновочные решения инфраструктуры транспортных узлов юга России и показатели их оценки;
- разработать критерии оценки эффективности размещения узловых зон и объектов в условиях нечетких и сложноформализуемых факторов;
- разработать метод балльного рейтинга транспортного узла на основе теории системного анализа;
- разработать генетический компоновочный алгоритм (ГКА ТУ) и программный комплекс метода размещения инфраструктурных объектов транспортного узла в условиях нечеткой постановки задачи;
- развить метод оценки компоновочных решений узловых зон и объектов на основе учета градостроительного показателя, коэффициента дивергенции и метода анализа иерархий.

Объектом исследования являются компоновочные решения транспортных узлов и узловые транспортно-технологические процессы в рамках единой системы организации региональных перевозок грузов и пассажиров.

Предмет исследования – теоретико-методические направления к систематизации и оценке компоновочных решений инфраструктур транспортных узлов и узловых транспортно-технологических процессов.

Диссертационная работа выполнена в следующих областях исследований, указанных в паспорте научной специальности 2.9.1 – Транспортные и

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

Теоретико-методологической основой исследования явились научные работы ученых в области проектирования и размещения узловых транспортных зон и объектов, экономико-математического программирования, теории вероятностей и математической статистики, теории систем, теории графов, теории надежности, эволюционной теории, теории активных систем и нечетких множеств, 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-транспортников, результаты авторских исследований.

Положения, выносимые на защиту:

- показатели оценки эффективности размещения узловых зон и объектов в условиях динамических нечетких и сложноформализуемых факторов;
- реализация методов балльного рейтинга транспортного узла на основе теории системного анализа;
- метод размещения инфраструктурных объектов транспортного узла на основе разработанного авторского генетического компоновочного алгоритма (ГКА ТУ), системы линейных диофантовых уравнений (ЛДУ) и авторского программного комплекса;
- научный подход к оценке компоновочных решений узловых зон и объектов на основе специального градостроительного показателя (СГП) узла, коэффициента дивергенции и метода анализа иерархий.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке и развитии практических рекомендаций по совершенствованию оценки инфраструктур и транспортно-технологических процессов транспортных узлов

для повышения качества компоновочных решений и эффективности работы в условиях нечетких параметров проектирования. В диссертации:

- разработан метод оценки эффективности размещения узловых зон и объектов в условиях нечетких и сложноформализуемых факторов;
- сформирован метод балльного рейтинга транспортного узла на основе теории системного анализа;
- разработан метод размещения инфраструктурных объектов транспортного узла на основе авторского генетического компоновочного алгоритма (ГКА ТУ), системы ЛДУ параметров зон и программного комплекса;
- реализованы варианты размещения узловых зон и инфраструктурных объектов с учетом стратегий развития;
- определены области эффективности проектных вариантов размещения объектов инфраструктуры транспортных узлов.

Практическая ценность научных результатов состоит в возможности использования методологического аппарата диссертационного исследования региональными органами власти в области транспорта, отраслевыми проектными институтами, дирекциями инфраструктуры ОАО «РЖД» при подготовке, оценке и реализации инфраструктурных проектов развития транспортных узлов и выбора рациональных форм организации узловых транспортно-технологических процессов.

Апробация работы. Основные положения диссертационного исследования докладывались на международных научно-практических конференциях: «Транспорт-2020», «Транспорт-2021», «Транспорт-2022», «МехТрибоТранс-2023» (Ростов-на-Дону, 2021–2023 гг.); «Железнодорожный транспорт и технологии – 2021» (Екатеринбург, 2021 г.), «Цифровые технологии транспорта и логистики» (Москва, 2022 г.); «РИЛТТРАНС-2023» (Санкт-Петербург, 2023 г.), «Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте» (Липецк, 2024 г.), юбилейной Международной научно-практической конференции, посвященной 150-летию академика В. Н. Образцова

и 100-летию кафедр «ЖСиТУ» и «УЭРиБТ» (Москва, 2024 г.), а также на заседаниях кафедр «Станции и грузовая работа» ФГБОУ ВО РГУПС (Ростов-на-Дону).

Результаты диссертационного исследования были представлены и получили признание на различных конкурсах и выставках: «Конкурс Практико-ориентированных научно-исследовательских работ студентов, аспирантов и молодых ученых в 2021 году» (первое место в номинации «Развитие городской инфраструктуры города Ростова-на-Дону»), «Молодые ученые транспортной области-2022» (третье место в номинации «Модели устойчивого развития предприятий транспортной отрасли»), XII Всероссийском конкурсе научных работ среди студентов и аспирантов по транспортной проблематике (третье место в номинации «Повышение провозной способности железных дорог на основе систем автоматизированного управления движением поездов»).

Внедрение результатов работы. Результаты диссертационного исследования используются в учебном процессе и научно-исследовательской работе ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» при разработке учебно-методических комплексов для студентов по дисциплине «Железнодорожные станции и узлы», а также в НИР студентов и дипломном проектировании для студентов очной и заочной форм обучения.

Результаты работы были использованы при подготовке научно-исследовательских отчетов для Северо-Кавказской Дирекции инфраструктуры – филиала Центральной дирекции инфраструктуры ОАО «РЖД», Ростовского проектно-изыскательского института «Кавжелдорпроект» – филиала АО «Росжелдорпроект». Имеются акты внедрения результатов исследования (Приложение 5).

Публикации. Основное содержание диссертации и результаты исследования опубликованы в 26 научных работ общим объемом 11,4 п.л. (авторских – 6,84 п.л.), в том числе 5 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.

Структура и объем работы определены целью и задачами, поставленными и решенными в ходе исследования. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 183 наименований и 5 приложений. Работа изложена на 165 страницах основного текста, содержит 62 рисунка, 64 таблицы.

Глава 1. ТРАНСПОРТНЫЙ УЗЕЛ КАК РЕЗУЛЬТАТ КОМПЛЕКСНОЙ ИНФРАСТРУКТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНТЕГРАЦИИ

1.1 Транспортные узлы и их роль в единой транспортной системе страны (на примере юга России)

Юг России отличается мощным транспортным комплексом, основанным на сложной интегрированной системе транспортно-производственных технологий. Транспортные узлы (ТУ) юга России обеспечивают выход на пути сообщения стран Черноморского и Прикаспийского регионов, т. е. являются приоритетными для экспортно-импортных перевозок. Кроме того, рассматриваемый регион является производителем широкой номенклатуры товаров и важным рекреационным центром страны. Специфические экономико-географические условия и исторические особенности развития наделяют транспортные узлы юга России уникальными инфраструктурными характеристиками и задачами [4] (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Основные задачи работы транспортной системы [5]

Согласно [6], по состоянию на 01.01.2023 площадь Южного федерального округа (ЮФО) и Северо-Кавказского федерального округа (СКФО) составляла 447,9 и 170,4 тыс. км² соответственно, а население – 16 642 и 10 205 тыс. чел. соответственно.

Исторически формирование многих сухопутных транспортных узлов юга России связано с вводом в эксплуатацию железнодорожных станций при строительстве Владикавказской железной дороги с 1870–1875 гг. [7] (узлы «ТХ», «МВ», «ВЛ», «М» и др.). Еще одним важнейшим историческим «поводом» для основания транспортных узлов явилось строительство Волго-Донского судоходного канала в 1952 г. (узел «ВД»). Крупные узлы («Р», «СЧ», «К», «В») представлены практически всеми видами магистрального и городского транспорта, имеют прямой выход к морю или крупной реке, а также большое количество предприятий производственной сферы и развитую рекреационную базу. Узлы, имеющие в своем составе морские порты Азово-Черноморского бассейна («ТГ», «НВ», «Т» и др.), обладают мощной логистической производственно-транспортно-складской базой являющейся центром притяжения видов транспорта, хотя зачастую находятся в стесненных условиях, препятствующих дальнейшему перспективному развитию [8, 9].

Исторические аспекты формирования транспортных узлов юга России представлены на рисунке 1.2.

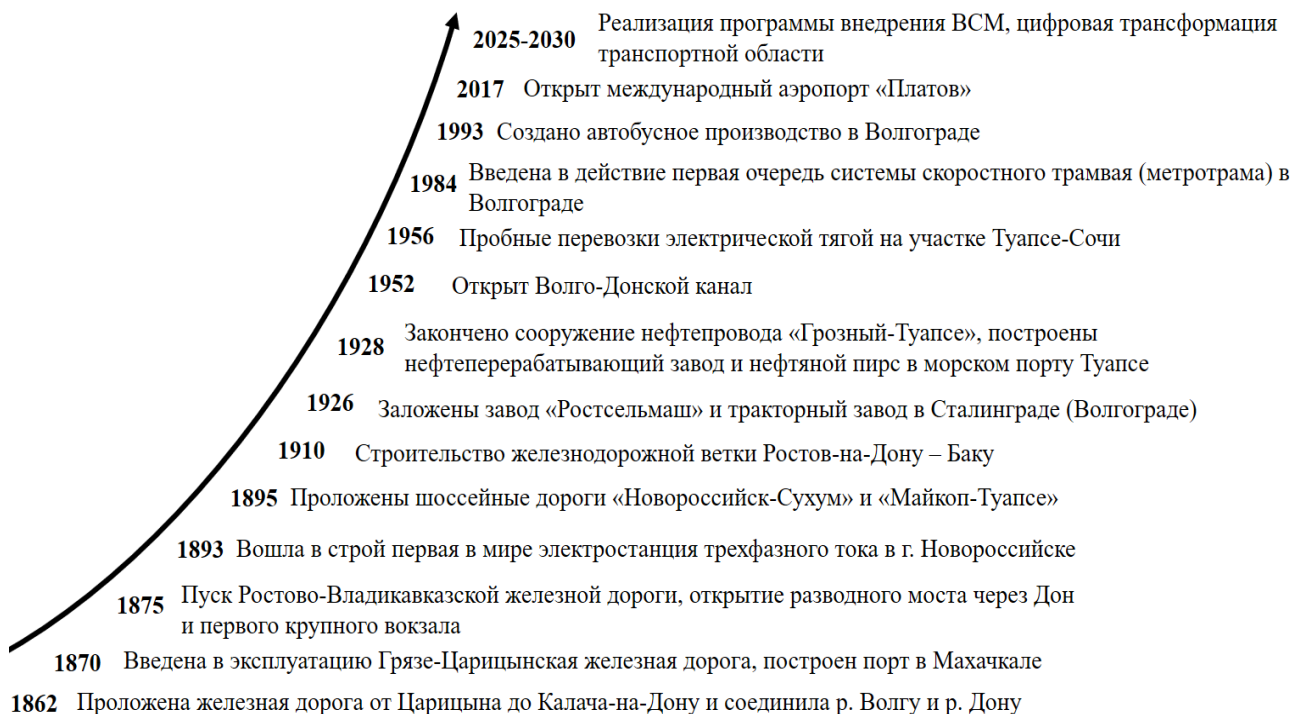


Рисунок 1.2 – Развитие узловой транспортной системы юга России

Основные показатели транспортного комплекса юга России приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Показатели транспортного комплекса юга России [6]

Вид транспорта	ЮФО	СКФО
Воздушный транспорт		
Количество аэропортов (аэродромов), из них:	11	8
федерального значения	7	8
международных аэропортов	7	8
аэропортов с искусственным покрытием	9	8
с грунтовым покрытием	1	-
гидроаэродромов	1	-
Водный транспорт		
Количество речных портов	13	-
Количество морских портов	21	1
Дорожное хозяйство		
Общая протяженность автомобильных дорог общего пользования, км, из них:	154 240	93 257
федеральных автомобильных дорог, км	5334	2877
регионального или межмуниципального значения, км	38 246	21 559
местного значения, км	110 660	68 820
Автомобильный транспорт		
Количество пассажиров, перевезенных по маршрутам регулярных автобусных перевозок, тыс. чел.	876 382	177 148
Количество автобусов, выполняющих регулярные перевозки, шт.	16 212	9725
Железнодорожный транспорт		
Протяженность железных дорог общего пользования, км, из них:	14 760	
Северо-Кавказской железной дороги, км	6311	
Приволжской железной дороги, км	4189	
Юго-Восточной железной дороги, км	4260	

Кратко охарактеризуем основные транспортные узлы юга России.

Транспортный узел «А» расположен в районе дельты крупной реки, включает в себя федеральные автомобильные трассы, несколько крупных

железнодорожных станций, взаимодействующих с речным портом, а также международный аэропорт. Характеризуется устойчивыми объемами перевозок грузов и пассажиров [10].

Транспортный узел «В» можно представить как центр «шестиконечной звезды» сходящихся федеральных и региональных автодорог. В своем составе имеет крупные железнодорожные станции и международный аэропорт. В южной части начинается Волго-Донской канал – звено единой глубоководной транспортной системы, через которую узел по воде связан с Каспийским, Черным, Балтийским и Белым морями, Московским и Санкт-Петербургским ТУ [11, 12].

Транспортный узел «К» – крупный индустриальный центр юга России, расположенный на берегу реки. Промышленность представлена более чем 120 крупными и средними предприятиями, еще свыше тысячи предприятий относятся к субъектам малого бизнеса. Включает в себя один из крупнейших аэропортов юга России, две автодороги федерального значения. Железнодорожный транспорт обслуживает четыре направления. Водный транспорт осуществляет перевозки грузов по внутренним водным путям и судами смешанного плавания «река – море». Городской транспорт представлен маршрутным такси, автобусами, трамваями, троллейбусами [13].

Транспортный узел «Р» – это один из наиболее крупных транспортных узлов (ворота Кавказа). В его состав входят узел железнодорожных линий и автомобильных дорог, международный аэропорт, речной и морской порты. Здесь сосредоточено большое количество предприятий производственной и социальной сферы, также узел является административным, научным, социальным и историческим центром [14].

Транспортный узел «М» обладает единственным незамерзающим портом России на Каспии, включающим в себя железнодорожный паромный и автопаромный терминалы и оснащенный современным технологическим оборудованием. В узле расположены крупная нефтебаза, которая соединена с магистральным нефтепроводом Баку – Новороссийск, и международный аэропорт федерального значения. Через него проходят три федеральные автомагистрали [15].

Транспортный узел «МВ» является центром международных автомобильных перевозок в Северо-Кавказском федеральном округе. Через него проходят автомобильная дорога федерального значения, а также автомагистрали регионального и местного значения. Авиаперевозки осуществляются из международного аэропорта [15].

Транспортный узел «НВ» располагается на берегу моря, включает в себя крупнейший в России порт и является ключевым мультимодальным узлом в Южном федеральном округе. Эффективная и согласованная работа данного узла обеспечивается разнообразием транспортной инфраструктуры: станциями, складами, автодорогами, портовыми устройствами, техническим оснащением и технологически слаженными процессами. Отличается выгодным географическим положением – на пересечении международных транспортных коридоров [16].

Транспортный узел «С» включает системы воздушного сообщения, железнодорожного и автомобильного транспорта. Через него проходят федеральные автомобильные дороги. Имеет в своем составе международный аэропорт. Отличается сезонностью пассажирских перевозок [15].

Транспортный узел «СЧ» выступает транспортным центром российского Черноморского побережья, концентрирует человеческие, инвестиционные, финансовые, интеллектуальные и др. виды ресурсов. Узел является туристическим центром, обслуживает международный аэропорт, шесть железнодорожных вокзалов, имеет два морских порта [17].

Транспортный узел «ТХ» имеет в составе крупный железнодорожный узел, трубопроводный и автомобильный транспорт. В железнодорожном узле расположено локомотивное депо, производящее все виды ремонтов. Имеется автовокзал, через который осуществляется междугороднее пассажирское автобусное сообщение [16].

Транспортный узел «Т» включает морской торговый порт, обеспечивающий прежде всего внешнеторговые перевозки нефти и нефтепродуктов в страны Европы, Ближнего и Среднего Востока, Африки, Южной, Азии, Северной и Южной Америки и др. В узле выполняются все виды

пассажирских и грузовых железнодорожных перевозок и оказываются сопутствующие виды транспортных услуг и работ [16].

В транспортном узле «МЗ» пересекаются автомобильные дороги регионального значения. На территории транспортного узла расположена железнодорожная станция, на северо-западе – аэродром [15].

Транспортный узел «Д» – самый южный в России и один из самых маленьких транспортных узлов (микроузел), расположен на берегу моря. Включает железнодорожный, автомобильный и водный транспорт [15].

Транспортный узел «ТГ» расположен на берегу моря, включает крупный железнодорожный узел, предприятия тяжелой промышленности и морской торговый порт, обеспечивающий перевалку металла и угля, зерна, нефтепродуктов [18].

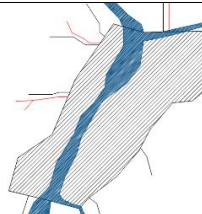
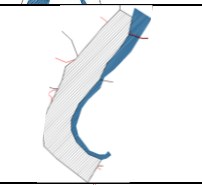
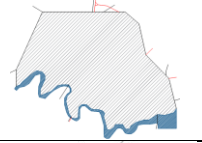
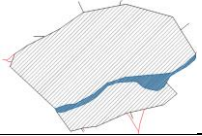
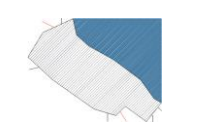
Отличительной особенностью **транспортного узла «Н»** является высокий уровень курортно-рекреационного развития. Железнодорожная станция расположена на тупиковой ветке. Кроме того, в узле «Н» располагается международный аэропорт федерального значения [15].

В транспортном узле «ВЛ» расположены конечная железнодорожная станция, аэропорт и федеральную автомобильная дорога, связывающая Россию и Грузию. Производство представлено предприятиями пищевой, легкой промышленности, машиностроения, цветной металлургии и др. [15].

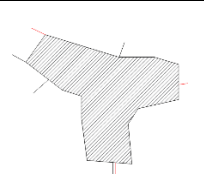
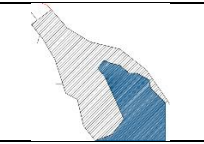
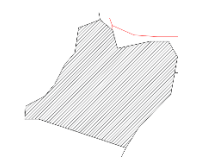
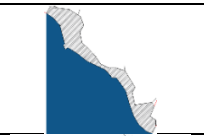
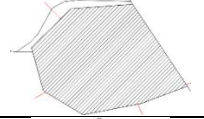
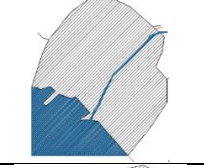
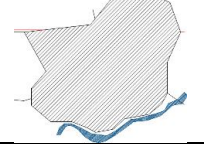
Транспортный узел «ВД», несмотря на свою относительную «молодость», имеет многопрофильный промышленный потенциал – развитую энергетику, машиностроение, химическую и деревообрабатывающую промышленность. Узел осуществляет устойчивые железнодорожные и автомобильные перевозки, включает порт [18].

Основные пространственно-планировочные и инфраструктурно-технологические показатели транспортных узлов юга России сведены в таблицу 1.2.

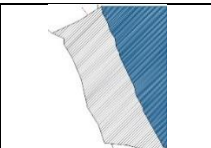
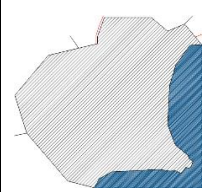
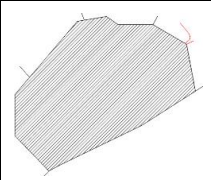
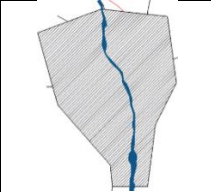
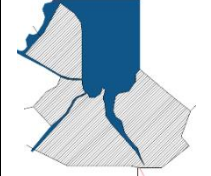
Таблица 1.2 – Инфраструктурно-технологическая характеристика транспортных узлов [3, 6, 19]

Название узла	Абрис узла	Площадь S , км ²	Население N , тыс. чел.	Кол-во видов магистрального тр-та, $T_m \times 100$	Кол-во видов городского тр-та, $T_r \times 100$	Протяженность узловых автомобильных дорог L_a , км	Протяженность узловых железнодорожных путей $L_{ж}$, км	Протяженность водных путей L_v , км
«А»		208	524	400	100	168,2	78,6	31,2
«В»		859	1005	400	500	201,3	147,6	61,6
«К»		294	1107	400	400	133	79,2	36,3
«Р»		248	1138	400	500	134,9	83,4	26,9
«М»		468	604	400	300	97,1	39,6	-

Продолжение таблицы 1.2

«МВ»		51,5	72	300	200	68,5	27,9	-
«НВ»		86,5	277	300	300	84,1	28,7	-
«С»		171	458	300	300	84,9	27,9	-
«СЧ»		3506	564	400	400	89,3	61,5	-
«ТХ»		46	55	200	300	66	29,6	-
«Т»		33,4	61	300	300	34,5	17,9	-
«МЗ»		17,5	41	200	200	54,3	25,1	-

Продолжение таблицы 1.2

«Д»		69,6	125	200	200	41,4	18,7	-
«ТГ»		80	245	300	500	73,3	32,1	-
«Н»		67	247	300	300	57,6	16,1	-
«ВЛ»		291	296	300	200	49,4	11,1	-
«ВД»		182	168	400	300	62,3	42,1	26,4

Условные обозначения:

 – область, занимаемая ТУ;

 – море;

 – автомобильный подход;

 – река;

 – железнодорожный подход

Таким образом, юг России представлен развитой сетью железнодорожных, автомобильных и водных артерий, а также обширной системой трубопроводного транспорта. Транспортные узлы региона решают важные стратегические и экономические задачи по обеспечению непрерывности перевозок грузов и пассажиров, поддержанию работоспособности крупных глубоководных портов, экономической интеграции, сохранению обороноспособности региона и страны в целом.

В современных условиях транспортный узел – это центр многокомпонентной мультимодальной системы логистически взаимодействующих видов транспорта, расположенный в пределах крупных городских агломераций и центров промышленного производства [20]. Следует отметить, что в условиях цифровизации и интеллектуализации транспортных процессов, изменения логистических схем доставки грузов и пассажиров появляются новые функции и задачи транспортных узлов, возрастает сложность их структур и технологических связей. Это требует развития методов и критериев оценки узловой инфраструктуры и ее компоновочных решений на новых принципах эффективности.

1.2 Эволюция определений и классификационных признаков транспортных узлов

Следует отметить, что из-за значительной сложности процессов и многообразия схем на данный момент не существует однозначного определения транспортного узла. В одних источниках это просто «место пересечения трех и более линий», в других – «социально-экономическая зона»; транспортный узел рассматривают и как «комплекс транспортных средств, сооружений и устройств», и как «совокупность транспортных процессов» (рисунок 1.3) [21–31].



Рисунок 1.3 – Перечень понятий в определении транспортного узла

В современных условиях эксплуатации и развития узловых систем вводятся новые термины: «транспортный хаб», «транспортно-логистический», «распределительный центр», «кластер», «цифровой», «умные технологии» и т. п. Одним из часто используемых понятий, наряду с понятием «транспортный узел» является термин «мультимодальный» [30, 31], который, несомненно, также требует детального исследования.

Введение новых терминов свидетельствует о том, что происходит эволюционное развитие вследствие внедрения новых технических средств и изменений в способах управления на видах транспорта (высокоскоростные магистрали, инновационные виды транспорта, интеллектуальные системы управления, цифровизация и т. п.). При этом транспортные узлы приобретают новые функции и задачи, а их роль существенно расширяется и возрастает, усложняются структура и методы управления, усиливаются взаимосвязь процессов и степень их цифровизации. Вследствие этого изменяется подход к научным и практическим исследованиям по формализации узловых транспортно-технологических процессов.

Проблема определения транспортного узла – многосторонняя и сложноструктурированная, поэтому наиболее эффективным подходом к исследованию является сочетание экспертного анализа, логистического ABC-анализа и морфологического анализа семантических сочетаний.

На основе данных [21–31], в которых дается определение транспортного узла, исследована частота использования специальных терминов (слов) в определении «транспортный узел» (рисунок 1.4).

С учетом внедрения новых технологических процессов предлагается расширить существующую классификацию ТУ и дополнить ее такими признаками, как уровень логистического сервиса, агломерационно-экономическая роль, степень развития промышленного производства, тип центра скрещения транспорта, степень цифровизации транспортных процессов, степень вовлеченности в международное транспортное производство (рисунок 1.5).

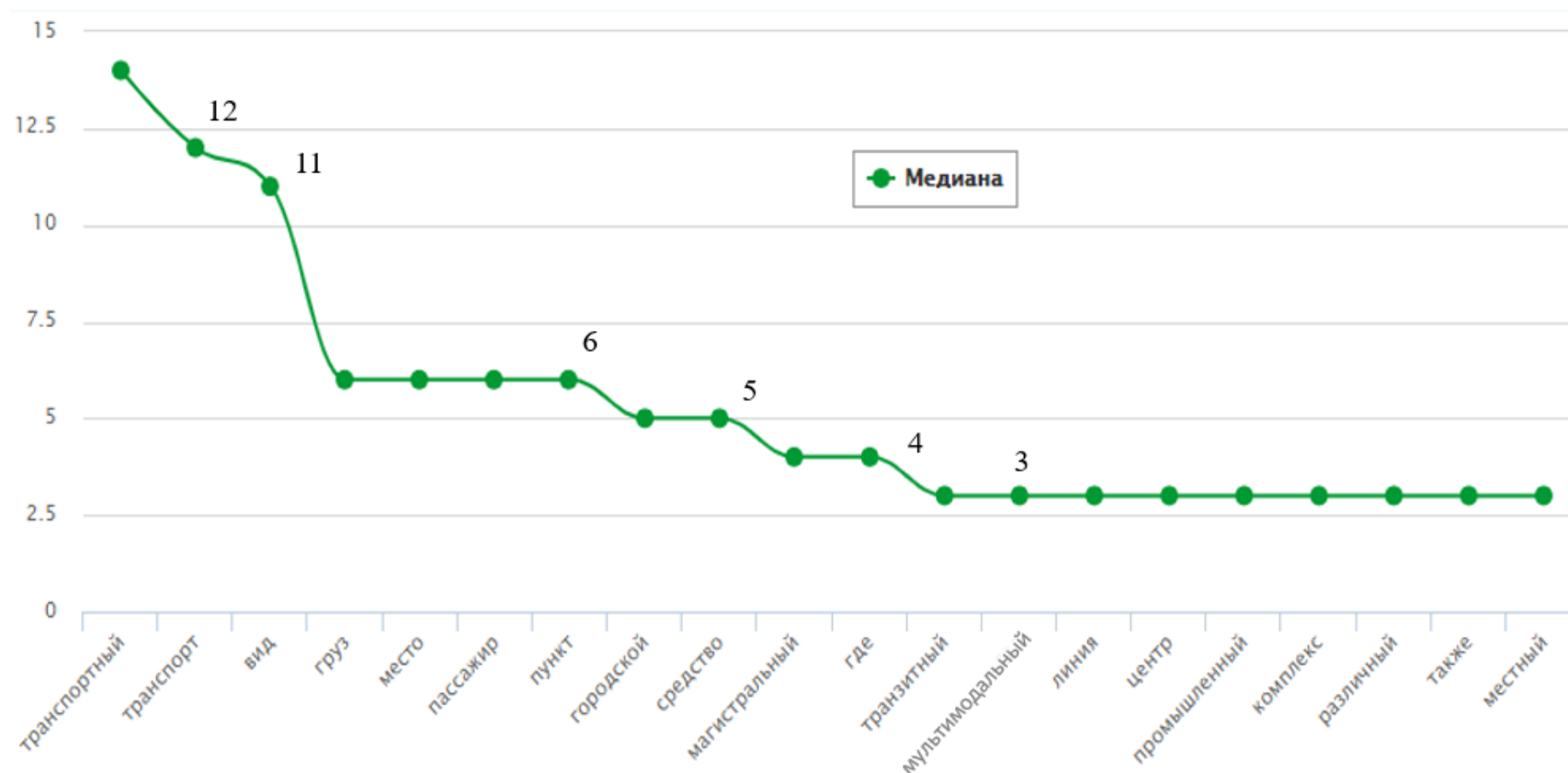


Рисунок 1.4 – Частота использования терминов (слов) в определении транспортного узла

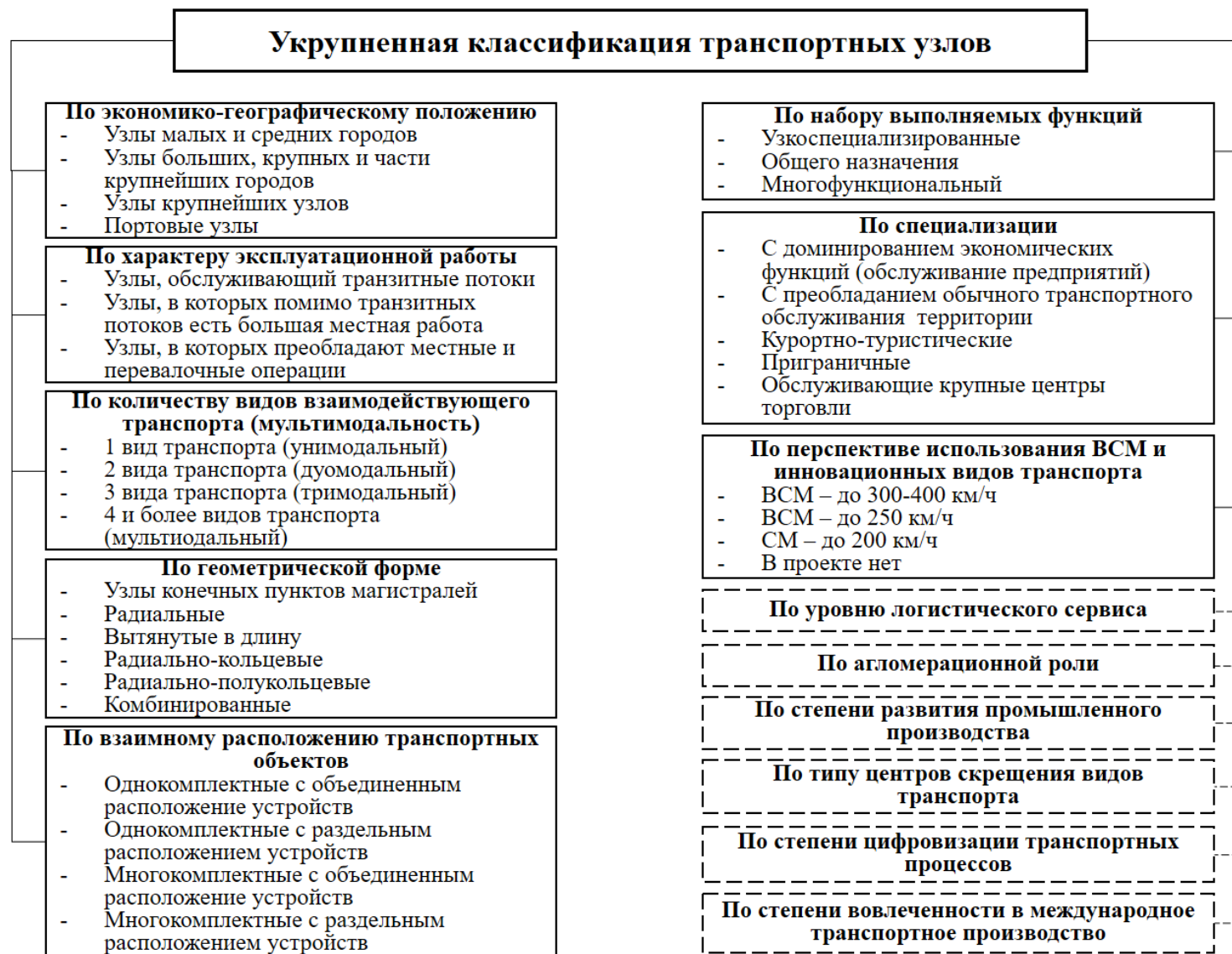


Рисунок 1.5 – Классификация транспортных узлов с учетом развития технологических процессов

На рисунке 1.6 изображено «облако понятий», визуализирующее массив терминов и слов, используемых в специализируемой литературе в определении «транспортный узел».

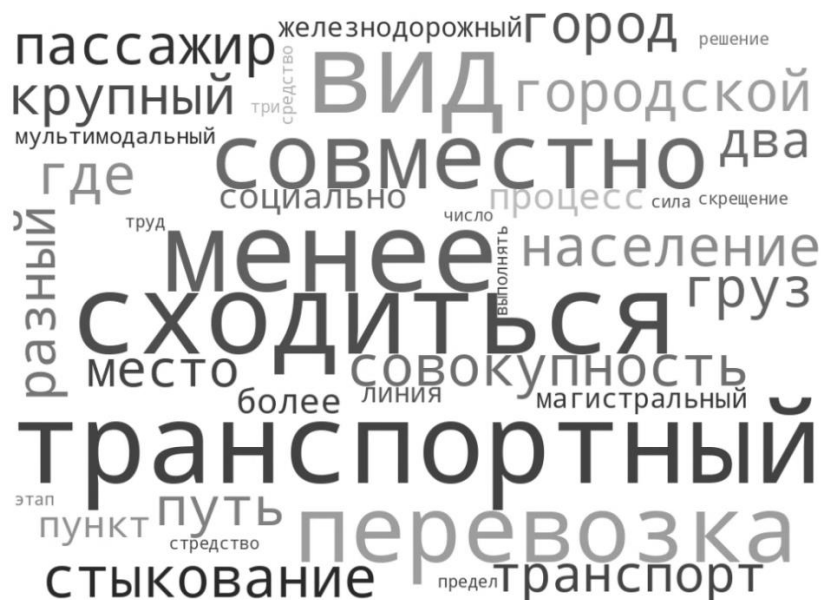


Рисунок 1.6 – «Облако» ключевых слов в определениях транспортного узла

Наиболее часто встречающиеся термины и слова, сочетания слов и частота их повторений представлены в Приложении 1, в таблицах П1.1–П1.4.

На основе определенных в Приложении 1 данных выполнен АВС-анализ в среде табличного процессора *Excel*. Основная цель анализа – классификация элементов по ряду параметров для определения приоритетности применения терминов и слов, используемых в определениях понятия «транспортный узел». Данные сведены в форму рисунков 1.7–1.8.

№	Наименование позиции	Показатель	Накопленная доля к итогу	Накопленная доля кол-ва позиций	Группа
1	транспортный (транспортных, тран	14	19,7%	11,1%	A
2	транспорт (транспорта)	12	36,6%	22,2%	A
3	вид (виды, вида, видами, видами)	11	52,1%	33,3%	A
4	груз (грузов, грузами)	6	85,9%	77,8%	B
5	место (место, местах, месте, мест)	6	85,9%	77,8%	B
6	пассажир (пассажиров, пассажира	6	85,9%	77,8%	B
7	пункт (пункт, пункте, пунктах, пункт	6	85,9%	77,8%	B
8	городской (городской, городского,	5	100,0%	100,0%	C
9	средство (средств, средствами)	5	100,0%	100,0%	C

Рисунок 1.7 – Данные АВС-анализа

Полученный результат представлен на рисунке 1.8.

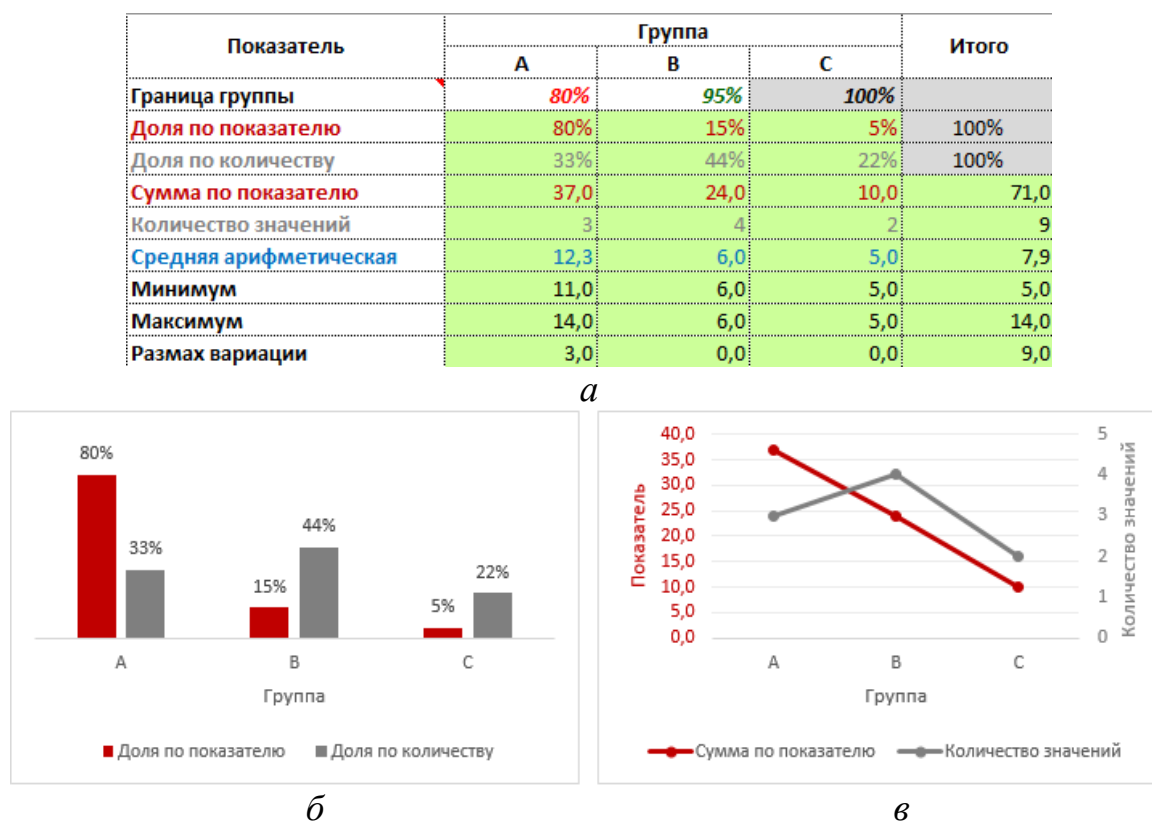


Рисунок 1.8 – Результат ABC-анализа:

а – показатели; *б* – доля в группах; *в* – сумма и количество позиций в группе

Рассмотрен морфологический подход к поиску рационального определения термина «транспортный узел» [32], который представлен в виде комбинации множеств: структурных элементов – терминов (слов), связей между структурными элементами (блоками) – словосочетаний, семантических ограничений и системы критериев, подлежащих оптимизации. Например, оценка одного варианта определения включает элементы A_1^i : A_1^1 – количество слов, задействованных в определении; A_1^2 – первое определяющее слово; A_1^3 – необходимость использования словосочетаний «комплекс транспортных средств», «комплекс транспортных устройств»; A_1^4 – необходимость разделения пассажирских и грузовых перевозок в определении; A_1^5 – необходимость обозначения экономической роли узла; A_1^6 – необходимость обозначения социальной роли транспортного узла и др.

Определим морфологическую модель поиска определения термина «транспортный узел» следующим образом:

1 – раскрытие проблемы: выбрать для заданных условий такую семантику, которая будет соответствовать параметрам емкости, т. е. использованию минимального количества слов, конкретности и однозначности;

2 – выражение определения транспортного узла в формате множества значений A_n ;

3 – установка значений для параметров A_n . Необходимые данные отображаются посредством матрицы.

Итак, выражающие свойства системы параметры отображаются в матрице:

$$\begin{bmatrix} A_1^1 & A_1^2 & \dots & A_1^{k1} \\ A_2^1 & A_2^2 & \dots & A_2^{k2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_n^1 & A_n^2 & \dots & A_n^{kn} \end{bmatrix}. \quad (1.1)$$

Формула, описывающая морфологическую модель, имеет вид:

$$M = \{A_i, S_k, M_i, T, J\}, \quad (1.2)$$

где $A_i = \{A_i^j\}$ – множество определений j и обозначаемое A_i^j ; $S_k = \{S_i^j\}_k$ – набор расположений объектов (блоков) – слова в определении – связи между j -ми элементами i -го блока – словосочетаний k -й формулировки определения узла; $M_i = \{M_i^j\}$ – подмножество уровней (словосочетаний) в определении; T – система ограничений формулировки; J – система критериев формулировки, подлежащих оптимизации.

Комбинация элементов таблицы приводит к множеству вариантов определения «транспортного узла». Численность вариантов и произведение количества строк в каждом столбце одинаковы, например, $i \times j \times k \times l \times m \times h \times f$, т. е. $4 \times 8 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 1024$ вариантов (обратим внимание на то, что невозможность сочетания j с m и h не учитывается). Для формирования таблицы морфологического анализа требуется стохастический анализ параметров [33].

Отметим, что вручную проанализировать большое количество реализаций и выбрать среди них наилучшее определение может быть очень сложно. Экспертная оценка – известный метод анализа сложных и часто нестандартных проблем. Суть

используемого метода – подробный анализ проблемы и полученных результатов, оценка мнений и обработка результатов [34].

Использование экспертной оценки требует участия определенного числа экспертов в группе. Минимальное их количество можно определить, используя формулу:

$$m_{\min} = 2,5 + \frac{1,5}{\varepsilon}, \quad (1.3)$$

где ε – допустимая погрешность результатов.

Далее, учитывая допустимую погрешность в 15 % в результатах, получим:

$$m_{\min} = 2,5 + \frac{1,5}{0,15} = 12,5 \approx 13 \text{ экспертов.}$$

Для измерения согласованности мнений экспертов используем коэффициент согласия Кендалла. Он рассчитывается по формуле:

$$W = \frac{12S}{m^2(k^3 - k)}, \quad (1.4)$$

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

Сумму квадратов отклонения вычисляем по следующему уравнению:

$$S = \sum_{i=1}^k (\sum_{j=1}^m r_{ij} - \bar{r})^2, \quad (1.5)$$

где r_{ij} – ранг, присвоенный j -м экспертом i -му фактору; $\bar{r}$ – средняя величина суммы рангов, $273 / 6 = 46$.

В таблице П1.7 Приложения 1 представлены результаты анкетного опроса экспертов, являющихся представителями транспортных вузов. В нее также включены промежуточные расчеты для определения коэффициента конкордации.

На основе данной таблицы вычислим коэффициент конкордации по Кендаллу:

$$W = \frac{12 \cdot 533}{13^2(6^3 - 6)} = 0,669.$$

Вычисленное значение коэффициента выше 0,5 [35], что свидетельствует о высокой степени согласованности экспертов. Определим значимость коэффициента по критерию согласованности Пирсона:

$$\chi^2 = m(k - 1)W. \quad (1.6)$$

Следовательно, $\chi^2 = 13 \cdot (6 - 1) \cdot 0,175 = 11,375$. Сопоставим значение, выведенное по критерию согласованности Пирсона, со значением $\chi^2_{\text{табл}} = 9,236$, для степеней свободы $n = k - 1 = 6 - 1 = 5$ и уровнем значимости $\alpha = 0,1$ (наивысшая вероятность неверного результата для эксперта). Полученное значение $\chi^2 = 11,375$ превышает табличное $\chi^2_{\text{табл}} = 9,236$, поэтому можно сделать вывод, что мнения экспертов достигли окончательного согласия и выведенное значение коэффициента согласованности статистически значимо. На основе выполненных расчетов выбраны следующие ключевые термины (слова) (рисунок 1.9).

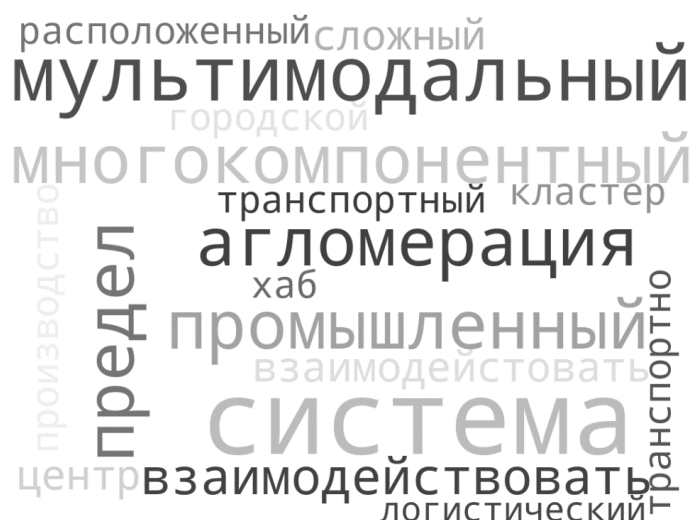


Рисунок 1.9 – Уточненное «облако» терминов для формирования определения понятия «транспортный узел»

Таким образом, согласно выполненным исследованиям установлено, что минимизация количества терминов (слов) в определении узла является менее важной по сравнению с обозначением факторов инфраструктурно-технологического взаимодействия узловых видов транспорта между собой. На существующем этапе, в рамках настоящего исследования, предлагается определять транспортный узел как *мультиmodalный центр многокомпонентной системы логистически взаимодействующих видов транспорта, расположенной в пределах крупных городских агломераций и центров промышленного производства* [1].

1.3 Существующие компоновочные решения узловых производственно-транспортно-складских объектов

Проблематика компоновочных решений производственно-транспортно-складских объектов транспортных узлов представляет собой сложную, многофакторную задачу с глубокими историческими корнями. Выбор вида транспорта, используемого внутри узла, в значительной степени диктуется типом внешнего транспорта, планами грузовых перевозок в пределах узла, а также размещением элементов узловой транспортной системы с позиции деления территории на зоны (производственно-заводская – ПЗЗ, транспортно-складская – ТСЗ, защитная – ЗЗ, селитебная – СЗ, рекреационная – РЗ) (рисунок 1.10).

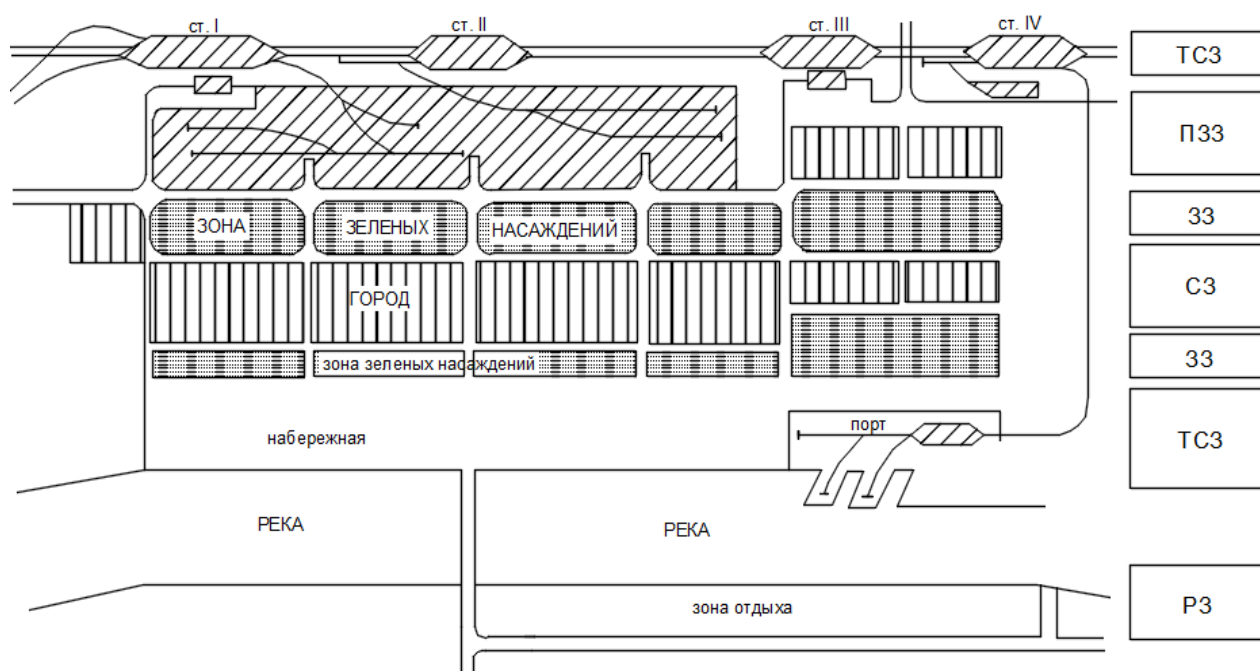


Рисунок 1.10 – Пример компоновки зон транспортного узла

Результат рациональной компоновки узловых объектов – это эффективное и беспрепятственное продвижение грузо- и пассажиропотоков между производственно-транспортно-складскими, селитебными и рекреационными зонами, что подразумевает множество аспектов, включая объемы работы, количество пользователей, выбор маршрута, потребности в перевозках и т. д [36].

Транспортные узлы сооружаются и развиваются на основе генеральных схем, определяющих направление первоочередного строительства и одновременно дающих решения по размещению и развитию транспортных устройств на перспективу (порядка 25–30 лет). [37] На рисунке 1.11 представлены основные свойства генеральных схем транспортных узлов [38].



Рисунок 1.11 – Свойства схем транспортных узлов

На рисунке 1.12 приведены основные принципы разработки генеральных схем размещения объектов (зон) транспортных узлов.

Разработка генеральных схем транспортных узлов и размещение основных транспортных устройств, как правило, должны быть многовариантны. Варианты разрабатываются для одинаковых размеров грузо- и пассажиропотоков и характера работы с одновременным учетом возможных вариаций размещения производительных сил. Выбор эффективных проектных решений должен производиться на основе технико-экономических обоснований [37].



Рисунок 1.12 – Основные принципы разработки генеральных схем размещения объектов (зон) транспортных узлов

Известно, что транспортный узел включает в себя виды транспорта: автомобильный, железнодорожный, водный, городской, трубопроводный, конвейерный и др. Работа данных видов транспорта направлена не только на обеспечение предприятий промышленного комплекса, но и на обслуживание населения. Также существует особая категория транспортных узлов, которые расположены на пути основных транспортно-логистических цепей (ТЛЦ) поставок и участвуют в экспортном транзите страны [39].

В настоящее время в связи со сложными кризисными явлениями, связанными с экономической нестабильностью, санкционными мерами, введенными на международном уровне, а также политическими осложнениями, изменяется не только номенклатура перевозимых грузов, но и ТЛЦ в ТУ, что можно определить как нечеткие принципы параметризации (НПП) узловых транспортно-технологических процессов, которые необходимо учитывать при оценке вариантов и перспектив размещения узловой инфраструктуры. Учет сложноформализуемых факторов развития выражается в необходимости развития новых методов компоновки узла на новых принципах, которые позволят более гибко реагировать на изменения рыночной ситуации и минимизировать риски, связанные с неопределенностью. Это предполагает интеграцию современных технологий, таких как системы искусственного интеллекта и анализ больших данных, для оптимизации процессов проектирования и функционирования транспортных узлов. Кроме того, в условиях динамично изменяющейся внешней среды важно предусмотреть механизмы адаптации, позволяющие быстро настраивать процедуры и алгоритмы работы узлов в соответствии с текущими требованиями и обстоятельствами. Это также включает разработку новых схем взаимодействия между участниками транспортных процессов, позволяющих повысить эффективность и устойчивость функционирования всей транспортной системы в целом [40].

В диссертационном исследовании разработана методика зонирования узла для учета нечетких (сложноформализуемых), а часто – и противоречивых факторов, которая подробно представлена в главе 3.

На рисунке 1.13 приведен пример зонирования территории узла «Р» (параметры зон и их описание приведены в главе 3 настоящего исследования).

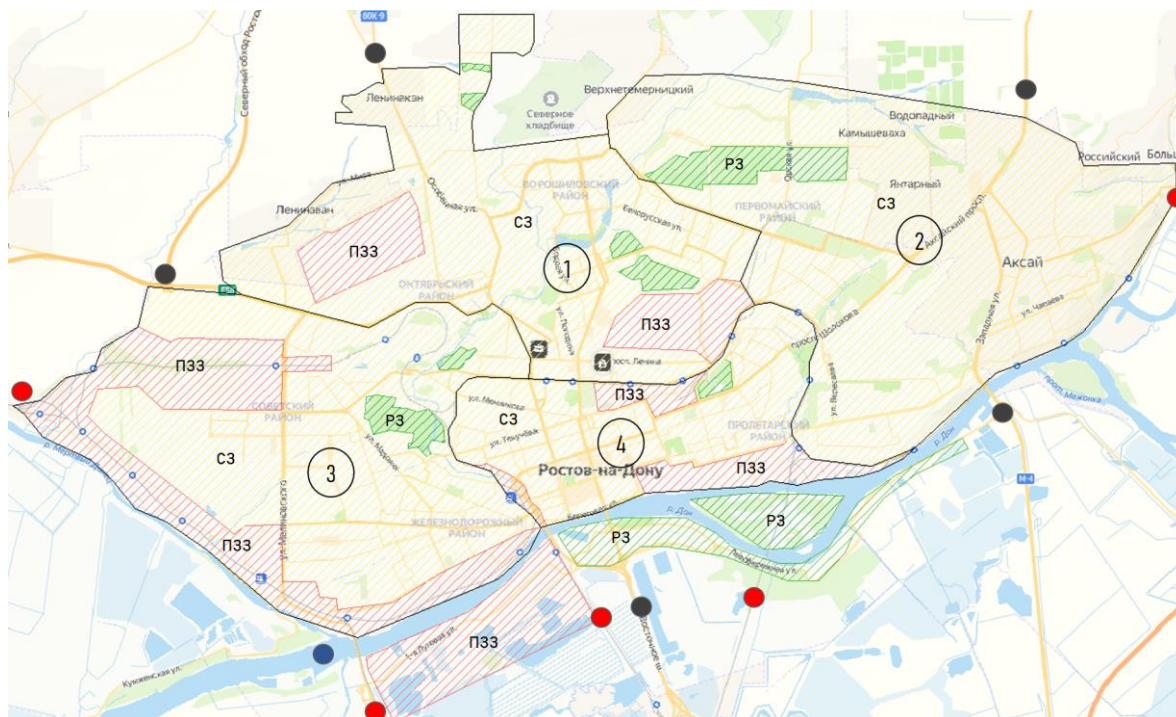


Рисунок 1.13 – Зонирование узла «Р» для решения задачи в условиях нечеткой параметризации объектов:

1, 2, 3, 4 – номера укрупненных районов узла

Например, в развитии транспортных узлов можно выделить несколько противоречивых факторов, которые влияют на их эффективность и технологическую оптимизацию:

- экономическая нестабильность (колебания в экономике могут привести к уменьшению или увеличению спроса на транспортные услуги, что создает неопределенность в планировании и распределении ресурсов);
- санкционные воздействия (введение санкций может ограничивать доступ к определенным рынкам или ресурсам, что противоречит растущему спросу на определенные группы грузов и услуг);
- технологические изменения (внедрение новых транспортных технологий может улучшить эффективность, но также потребует дополнительных затрат на модернизацию и обучение персонала);

- изменения в законодательстве (новые законы или регуляции могут усложнить условия работы узла, требуя дополнительных ресурсов для их выполнения);

- нечеткость параметров (ключевые показатели могут изменяться из-за различных факторов, включая сезонные колебания, рыночные изменения и неопределенность спроса, что требует применения различных методов для их учета);

- «зашумленность» данных (возникает из-за неточностей и случайных ошибок в сборе, обработке и анализе данных, что затрудняет выявление реальных проблем в функционировании узла).

Таким образом, процесс развития транспортных узлов сталкивается с множеством противоречивых факторов, что подчеркивает необходимость комплексного подхода к размещению объектов и адаптации их технологических процессов к изменяющимся условиям эксплуатации.

1.4 Взаимодействие видов транспорта на этапах развития узловой инфраструктуры

Взаимодействие узловых видов транспорта в едином процессе перевозок заключается в обеспечении согласованности и слаженности выполнения технологических операций. Благодаря единству транспортной системы можно выявить наиболее выгодные сферы деятельности для каждого вида транспорта, внедрить передовые технологии и формы взаимодействия, а также обеспечить координацию работы со стороны государства и инвесторов для ускорения процесса перевозок и снижения затрат. Выбор наиболее эффективного вида транспорта зависит от его технико-экономических характеристик, конфигурации транспортной инфраструктуры, а также стоимости и продолжительности перевозки [41].

На рисунке 1.14 представлены области взаимодействия узловых видов транспорта.

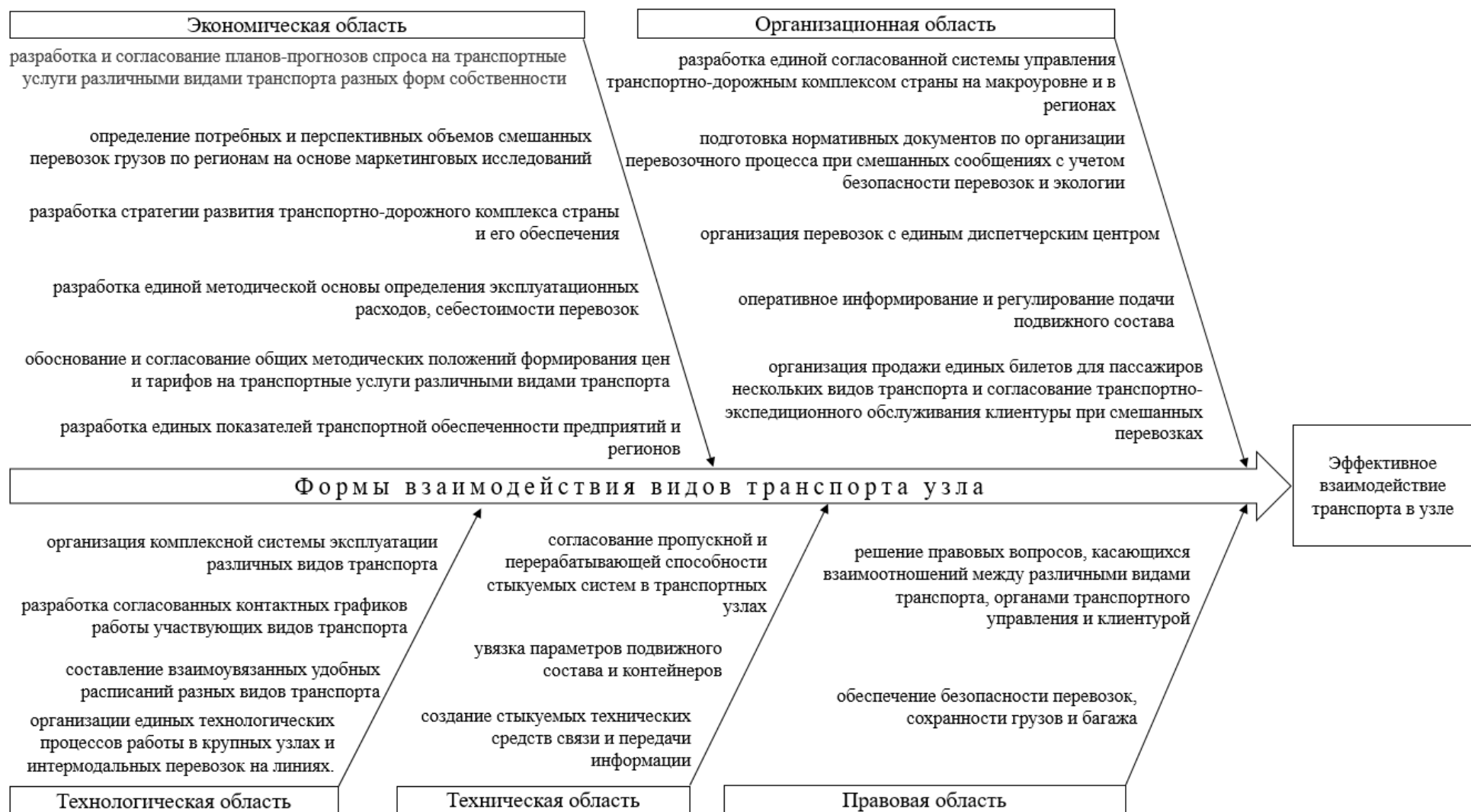


Рисунок 1.14 – Области взаимодействия видов узлового транспорта

Взаимодействие узловых видов транспорта заключается в согласовании объемов перевозок, технологий, которые планируются к использованию, и составлении взаимоувязанных расписаний движения транспортных средств. С этой целью разрабатываются специальные планы-графики, такие как непрерывный план-график работы в транспортном узле [42]. Например, впервые такая система увязки оперативной работы между всеми видами транспорта была создана и принята в Ленинградском транспортном узле по инициативе морского порта; новая технология получила название «непрерывного плана-графика работы транспортного узла» (НПГРТУ) [43].

Одним из путей реализации согласованного взаимодействия транспорта в узле можно считать деятельность ОАО «Российские железные дороги» по созданию на железных дорогах сети корпоративных логистических центров в качестве структурных подразделений дирекций управления перевозками. Следует отметить, что формы взаимодействия видов транспорта в узле зависят и от категории транспортного узла. Так, микроузлы, обслуживающие население до 50 тыс. чел., имеют в своем составе 1–2 вида транспорта – как правило, автомобильный и железнодорожный. Городской транспорт развит слабо – маршрутными такси или автобусами. Малые транспортные узлы, от 50 до 250 тыс. чел., имеют более развитую инфраструктуру, включая аэропорты местного значения. Городской транспорт усиливается трамвайными или троллейбусными системами. Средние транспортные узлы, от 250 до 1000 тыс. чел., имеют в своем составе 3–4 вида транспорта с хорошо развитой инфраструктурой, а городской транспорт может дополняться метрополитеном. Крупные транспортные узлы, обслуживающие население свыше 1 млн чел., являются транспортными хабами, имеют разветвленную инфраструктуру путей сообщения и развитые логистические цепи поставок.

В настоящее время наблюдается активная цифровая трансформация транспортной отрасли, связанная с созданием цифровой транспортной инфраструктуры (интеллектуальные транспортные системы, цифровые решения для пассажирских и грузовых терминалов и др.), происходит цифровизация

транспортных средств (тестирование беспилотных ТС, развитие мониторинга и предиктивного обслуживания, ремонта ТС и др.), разрабатываются цифровые транспортные сервисы для принятия решений в реальном времени (управление движением, планирование маршрутов, оптимизация загрузки транспортных средств, решения «мобильность как сервис» MaaS) и др. Однако данные инициативы реализуются на уровне передовых транспортных компаний лишь в отдельных регионах РФ. При этом наблюдается зачастую низкий уровень интеграции цифровых решений, IT-систем и цифровой трансформации на региональном и местном уровнях [44]. Но, наряду с преимуществами, цифровизация и интеллектуализация транспортных процессов могут создавать определенные проблемы, такие как киберугрозы, нарушение конфиденциальности данных, необходимость переподготовки персонала [45].



Рисунок 1.15 – Актуальные тренды цифровизации транспортного узла [45]

Для оценки текущего состояния цифровой трансформации в транспортных узлах юга России был произведен анализ сильных и слабых сторон, возможностей

и угроз методом SWOT-анализа (рисунок 1.16), а также анализ внешней среды методом PEST-анализа [46].



Рисунок 1.16 – SWOT-анализ внедрения цифровизации узловых процессов

Для анализа факторов внешней среды на стратегическом уровне использован метод PEST-анализа, который предполагает анализ экономических, социокультурных, политических и технологических факторов. PEST-анализ представлен в Приложении 1.

Отличительной чертой цифровизации в транспортном узле является то, что она происходит неравномерно, при этом потенциальная потребность в цифровизации велика. Активное использование сквозных цифровых технологий представляется наиболее перспективным способом повышения экономической эффективности взаимодействия видов транспорта [47]. Для решения задачи по обеспечению ускоренного внедрения цифровых технологий в экономике и социальной сфере, был принят ряд национальных и отраслевых программ и стратегий [48–50]. Широкое распространение получили так называемые «умные технологии» – «умный локомотив», «умный вагон», «умный вокзал» и т. п.

Проект «Цифровой железнодорожный узел» направлен на модернизацию и автоматизацию процессов управления железнодорожным транспортом, повышение безопасности и эффективности перевозок, а также на улучшение качества услуг для пассажиров. Одним из ключевых элементов проекта является создание единой информационной системы, которая будет обеспечивать управление движением поездов, контроль за состоянием инфраструктуры, а также взаимодействие с другими видами транспорта. Это позволит оптимизировать расписание движения поездов, сократить время простоя на станциях и повысить пропускную способность железнодорожных линий. Кроме того, проект предусматривает внедрение современных технологий, таких как системы автоматического управления движением поездов, интеллектуальные системы освещения и видеонаблюдения, а также системы мониторинга состояния подвижного состава. Все это позволит снизить затраты на обслуживание и ремонт оборудования, а также повысить его надежность и долговечность.

Стратегией [50] были определены основные технологии для дальнейшего развития цифровой трансформации перевозочного процесса и ОАО «РЖД» в целом: *IoT*, *BigData*, *DLT*, *AI*, *VR*, *AR*, *Li-Fi* и др. Последовательно происходит развитие отечественных автоматизированных систем управления: автоматизированная система управления терминально-складским комплексом (АСУ ТСК), интеллектуальная система управления и автоматизации производственных процессов на железнодорожном транспорте (ИСУЖТ), дорожная информационно-логистическая система (ДИЛС), динамическая модель загрузки инфраструктуры (ДМ ЗИ) и др., которые позволяют значительно повысить эффективность работы транспортной инфраструктуры, оптимизировать логистические процессы, снизить затраты и повысить безопасность перевозок за счет автоматизации управления, сбора и анализа данных в режиме реального времени, а также прогнозирования и предотвращения потенциальных проблем [51].

1.5 Выводы по главе

В первой главе рассмотрена роль транспортного узла как высшей ступени комплексной инфраструктурно-технологической интеграции, представлена характеристика основных ТУ юга России.

Исследована проблема определения транспортного узла методами экспертного анализа, логистического АВС-анализа и морфологического анализа семантических сочетаний. Предлагается определять транспортный узел как мультимодальный центр многокомпонентной системы логистически взаимодействующих видов транспорта, расположенной в пределах крупных городских агломераций и центров промышленного производства.

С учетом новых технологических процессов предложено расширить существующую классификацию ТУ и дополнить ее такими признаками, как уровень логистического сервиса, агломерационно-экономическая роль, степень развития промышленного производства, тип центра скрещения транспорта, степень цифровизации транспортных процессов, степень вовлеченности в международное транспортное производство.

В главе исследованы существующие компоновочные решения узловых производственно-транспортно-складских объектов и взаимодействие видов транспорта на этапах развития узловой инфраструктуры. Установлено, что, несмотря на прогрессивное развитие транспортной отрасли, по-прежнему остаются проблемными задачи рационального размещения узловых объектов, а также планирования их последующего развития, связанного с изменением параметров (расширением, переносом, объединением, закрытием, изменением функциональности и т. п.). Эта проблема усугубляется нечеткими и сложноформализуемыми параметрами, такими как социальные аспекты (влияние на окружающую среду и жизнь населения и др.), экономические факторы (денежный курс, изменение стоимости земли, инвестиционные ограничения и др.), политические изменения и неопределенность будущих логистических потоков транспорта. Многовариантность возможных решений и взаимосвязь

разнородных факторов делают задачу размещения и развития узловых объектов чрезвычайно сложной, требующей применения современных методов оптимизации, моделирования и учета рисков. Необходимо разрабатывать новые, гибкие и адаптивные, подходы к проектированию и управлению жизненным циклом узловых объектов, чтобы обеспечить их долгосрочную эффективность и соответствие изменяющимся внешним условиям.

Это определяет необходимость и последовательность структуры исследований диссертации (рисунок 1.17).



Рисунок 1.17 – Структура диссертационного исследования

Глава 2. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАЗМЕЩЕНИЯ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОГО УЗЛА

2.1 Отечественные и зарубежные научные разработки по обоснованию вариантов компоновочных решений при размещении предприятий и производств транспортного узла

Отечественный научный опыт исследований в области проектирования транспортных узлов, а также оптимизации размещений предприятий и производств в узлах создан в результате колоссальной работы, проведенной научно-исследовательскими институтами, высшими учебными заведениями России под руководством ученых-транспортников.

Значительный вклад в разработку теории и практики проектирования железнодорожных и транспортных узлов, развития и оптимизации параметров узловых транспортно-технологических процессов внесли выдающиеся ученые: С. П. Бузанов, А. С. Герасимов, С. Е. Гибшман, П. Ф. Дубинский, С. В. Зем-блинов, И. И. Костин, В. Д. Никитин, В. Н. Образцов, К. Ю. Скалов, Н. С. Усков, Ф. И. Шаульский и др. Исследования в этой области продолжены в трудах известных ученых и инженеров В.И. Апатцева, И.Я. Аксенова, В.В. Багиновой, М.В. Бакалова, А.С. Балалаева, Н.П. Берлина, М.М. Болотина, С.П. Вакуленко, В.Д. Верескуна, М.А. Виноградова, И.П. Владимирской, В.Г. Галабурды, А.С. Гельмана, А.К. Головнича, В.Н. Дегтяренко, А.Т. Дерибаса, С.Ю. Елисеева, Ю.И. Ефименко, Д.В. Железнова, В.М. Задорожного, В.Н. Зубкова, В.В. Зырянова, В.П. Клепикова, П.А. Козлова, М.В. Колесникова, В.В. Костенко, К.П. Костенецкого, С.Н. Корнилова, Р.Г. Короля, А.Г. Котенко, А.П. Кузнецова, П.В. Куренкова, Х.М. Лазарева, Б.М. Лapidуса, Н.Н. Лябаха, Э.А. Мамаева, Л.Б. Миротина, О.В. Москвичева, Ю.М. Неруша, А.В. Новичихина, А.Т. Осьминина, Ю.О. Пазойского, Р.Н. Паршиной, М.Б. Петрова, К.И. Плужникова, В.В. Повороженко, О.Д. Покровской, Е.Д. Псеровской, Н.В. Правдина, Т.А. Прокофьевой, А.Н.

Рахмангулова, С.М. Резера, П.К. Рыбина, А.А. Сидракова, А.С. Синицыной, А.А. Смехова, Р.Ю. Упыря, В.В. Хана, И.В. Штефко, Е.А. Чеботаревой, М.В. Четчуева, О.Н. Числова и др., а также в трудах зарубежных ученых: LaLonde B., Gooley T., Хардера, René de Koster, Richard E. Ward, Hau L. Lee, P. Jo-vanovic, M. Watson, Г. Поттгоффа и др. [52–54].

Тенденция применения системного подхода при исследовании процессов функционирования и развития транспортных систем любого класса – это не вызывающий никаких сомнений реальный факт [55–58]. В работе [59] отмечено, что при исследовании перспектив развития транспортных узлов на длительных временных интервалах особое место занимает представление иерархии уровней структурных преобразований. ТУ может осваивать растущие перевозки посредством простого количественного роста и расширения устройств, а может добиваться того же результата посредством перестройки структуры (скачкообразного изменения) самой инфраструктуры и технологий, приводящих к повышению интенсивности работы системы. Подобную смену состояний (скачкообразная перестройка структуры системы) принято называть «катастрофой» [60]. Такие радикальные изменения или навязываются системе извне, или обусловлены внутренними кризисами. При этом отдельные компоненты узла могут исчезать, а на их месте – появляться новые. Системообразующие макроскопические показатели системы меняются значительно и резко, при этом изменяется морфология узловой системы [61, 62].

Довольно принципиальная критика существующих подходов выбора этапности развития станций и узлов содержится в книге [63]: «...Оптимизация проектно-плановых решений на транспорте приобретает сейчас иное, более глубокое содержание. Это – не минимизация затрат (отраслевых или народнохозяйственных), а гармонизация развития транспорта в изменяющейся социально-экономической и экологической обстановке. Потому и методом решения этой сложнейшей задачи должен быть не поиск точки экстремума на кривой суммарных затрат (или экономии средств), а нахождение равновесных

состояний в системе “транспорт – внешняя среда”, понимая под последней народное хозяйство, население, природную среду и т. п.».

Для исследования эксплуатационной надежности узловых транспортно-технологических процессов по типу и качеству транспортных связей используются теория графов [64, 65] и теория вероятностей [66] в последовательных и параллельных схемах соединений объектов системы. Например, В. М. Мирошниченко одним из первых отечественных ученых в работе [67] применил теорию графов для моделирования путевого развития станций и транспортных районов.

Имитационное моделирование (ИМ) – метод, позволяющий строить модели, описывающие транспортные процессы. Развитию имитационного моделирования на транспорте посвящены труды Н. С. Ускова, К. Ю. Скалова [68], В. М. Акулиничева, А. М. Жидкова, П. А. Козлова, Е. А. Сотникова и др. Например, в работах [69, 70] под руководством д. т. н., профессора П. А. Козлова выполнены важные научные разработки микро- и макро моделирования технологических процессов в транспортных узлах с применением аппарата имитационного моделирования. Создана система ИМ «Истра» – программный комплекс, ориентированный на исследование и оптимизацию технологии работы крупных объектов транспорта во взаимодействии с производством.

В трудах [71–73] авторами предложены мероприятия, позволяющие улучшить качество взаимодействия железнодорожного и морского транспорта в направлении создания системы логистического управления перевозками на основе согласованного плана подвода грузов.

Для определения образов и классов элементов используются методы теории распознавания [74, 75], основанные на разделах кибернетики и информатики, теории нейронных сетей (Н. Н. Лябах [76, 77], М. В. Колесников [78, 79] и др.) и нечетких функциональных представлений (А. Кофман [80]), теории Big Data, цифровых двойников транспортных объектов. Методология адаптации разработанных алгоритмов к автоматизированному проектированию и расчету

элементов ТТС на ЭВМ разработана В. А. Персиановым [81, 82], К. К. Талем [83], П. А. Козловым [84] и др.

Новым направлением в развитии систем управления узлового транспорта являются системы нечеткой логики [85–95], которые могут оперировать с неточной информацией и объяснять принятые решения. Данные системы в кооперации с нейронными сетями применимы для контроля параметров транспортно-технологических процессов. Например, в работе [96] представлен обзор современных подходов и методов решения задач интеллектуализации управления технологическими процессами на железнодорожном транспорте.

При формировании комплекса задач, решение которых рассмотрено в [97], авторы особое внимание уделили решению проблемы оптимальных пропорций развития между отдельными видами узлового транспорта. Кроме того, отмечено отсутствие научного обоснования типологии транспортных узлов, а в их развитии преобладает ведомственный характер. В работах [98, 99] предложены модифицированные показатели оценки транспортной работы узлов. По исследованным компоновочным моделям составлены алгоритмы и программы комплексного автоматизированного проектирования.

Одним из направлений развития системного подхода является структурирование инфраструктурных устройств узла в виде интерпретированной сэндвич-модели (ИСМ) [100] (рисунок 2.1), т. е. сетевой модели, составленной из нескольких взаимосвязанных и взаимодействующих самостоятельных сетевых плоскостей (узловых структур). Таким образом, сэндвич-модель узла представляет собой сеть $G = (N, A)$ с узлами (вершины N) и ребрами (дуги A), состоящую из k слоев (инфраструктурно-технологических плоскостей по видам транспорта). В сэндвич-модели узла присутствуют вертикальные связи между элементами k слоев видов узлового транспорта и горизонтальные связи внутри узловой транспортной подсистемы (инфраструктурно-технологической плоскости).

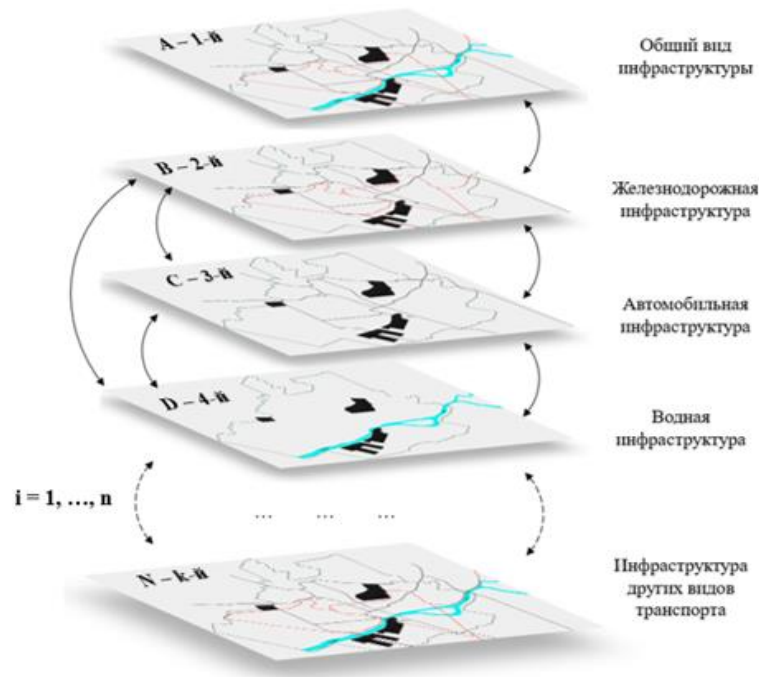


Рисунок 2.1 – Сэндвич-модель транспортных подуровней узла

Вид связей ИСМ и их математическое описание различаются по уровням взаимодействия [101]:

1 – полное объединение транспортных плоскостей ИСМ как $V = (M, A|_M)$, где $\{M\} \subseteq \{N\}$: $\{M\} = \{M_1\} \cup \{M_2\} \cup \dots \cup \{M_k\}$. В соответствии с исходной моделью $G = (N, A)$ производится разбиение узлов сечения по плоскостям, т. е. $\{M_i\} \subseteq \{N_i\}$ для всех $1 \leq i \leq k$ при $\{A|_M\}$, ограничивающей множество связей A исходной модели размером подмножества $\{M\}$;

2 – частичное m -объединение транспортных плоскостей ИСМ как $V = (M, B)$, $\{M\} = \{N_{i1}\} \cup \{N_{i2}\} \cup \dots \cup \{N_{im}\}$, где m – количество выбранных плоскостей, $\{A|_M\}$ – ограничение множества связей A исходной модели размером подмножества $\{M\}$;

3 – выбор инфраструктурно-технологических p -объектов внутри транспортной m -плоскости и объединение их друг с другом, $\{p_1, p_2, \dots, p_k\} \in \{N\}$;

3 – выбор инфраструктурно-технологических p -объектов внутри одной транспортной m -плоскости и объединение их с q -объектами внутри другой транспортной f -плоскости $\{p_1, p_2, \dots, p_k\} \cup \{q_1, q_2, \dots, q_j\}$ с вертикальными связями между этими плоскостями узла.

При развитии транспортного узла и изменении количественных и качественных параметров узловых зон также применяются методы кластерного анализа, позволяющие оценивать объекты внутри одной зоны (кластера) и выявлять скрытые структуры в наборе данных, определять группы объектов, их схожесть и различия [102–104]. Применение данного подхода рассматривается, например, в работе [105], в которой предлагается совокупность объектов транспортной инфраструктуры называть «транспортно-логистический кластер» (ТЛК), а авторы в работе [106] определяют прилегающий к порту полигон как «приморское логистическое пространство».

Зарубежный опыт использования кластерного анализа для оптимизации размещения предприятий и производств транспортного узла также показывает их практическую целесообразность: грузовые деревни (*freight villages*) и логистические парки (*logistics park*) в Европе и США, логистические центры (*centre de logistique*) и логистические платформы (*plates-formes logistiques multimodales*) во Франции, транспортные центры (*centro de transporte*) в Испании, логистические хабы (*物流ハブ, butsuryū habu*) в Японии и др.

Для применения кластерного анализа, необходимо количественно определить понятия сходства и разнородности. Что означает «два узловых объекта I_i и I_j различны»? Задача была бы решена, если бы i -й и j -й объекты попадали в один и тот же кластер всякий раз, когда расстояние (отдаленность) между соответствующими точками X_i и X_j было бы «достаточно малым», и, наоборот, попадали в разные кластеры, если бы расстояние между точками X_i и X_j из E_p было бы «достаточно большим» [107].

Неотрицательная вещественнозначная функция $d(X_i, X_j)$ называется функцией расстояния (метрикой), если: 1) $d(X_i, X_j) \geq 0$ для всех X_i и X_j из E_p ; 2) $d(X_i, X_j) = 0$ тогда и только тогда, когда $X_i = X_j$; 3) $d(X_i, X_j) = d(X_j, X_i)$; 4) $d(X_i, X_j) \leq d(X_i, X_k) + d(X_k, X_j)$, где X_i, X_j, X_k – любые три вектора из E_p .

Существуют другие, эвристические, меры отдаленности, не являющиеся расстояниями с точки зрения определения, которые, однако, также применяются на практике. Например, мера Джеффриса – Матуситы [108]

$$M = \left[\sum_{k=1}^p (\sqrt{x_{ki}} - \sqrt{x_{kj}})^2 \right]^{1/2}$$

и другая мера, известная под названием «коэффициент дивергенции» [109]:

$$CD = \frac{1}{p} \left\{ \sum_{k=1}^p \left(\frac{x_{ki} - x_{kj}}{x_{ki} + x_{kj}} \right)^2 \right\}^{1/2}.$$

Мера Джеффриса – Матуситы (M) – это статистический показатель, используемый для оценки различий между двумя группами данных. Он основан на предположении, что различия между группами обусловлены случайными колебаниями, и позволяет оценить, насколько эти колебания велики по сравнению с ожидаемыми значениями.

Коэффициент дивергенции (CD) используется в кластерном анализе для измерения расстояния между кластерами или точками в многомерном пространстве. Он показывает, насколько далеко друг от друга находятся точки кластера, и помогает определить, являются ли они частью одного и того же кластера или нет. Чем меньше значение CD, тем однороднее система [107].

В настоящее время развивается новый подход к исследованию компоновочных решений транспортных систем – эволюционные генетические алгоритмы (ГА). Вопросы применения ГА в научных исследованиях впервые начали рассматриваться в трудах Н. Баричелли (1954). Работы А. Фразера (1957), Г.И. Бремерманна (1960), Д. Барнелла (1970), Дж. Кросби (1973) уже включали все важнейшие элементы современных ГА. Впоследствии искусственная эволюция в решении инженерных задач стала общепризнанным методом оптимизации, обоснованным в работах И. Рехенберга, Х.-П. Швифеля, Д. Холланда (1975) [110, 111]. Универсальность генетических алгоритмов делает их привлекательными и для исследований в области транспорта. Например, для решения задачи оптимального управления транспортными потоками [112], задачи коммивояжера [113, 114], задачи компенсации погрешностей инерциальной

навигационной системы [115], адаптивного управления транспортной инфраструктурой в городской среде [116] и т. д.

За рубежом также особое внимание отводится исследованиям принципов эффективной параметризации узловых зон и их транспортно-технологических процессов. Известные научные школы сложились в Германии, США, Великобритании, Франции, Швеции, КНР.

В работе [117] представлено обоснование размещения в железнодорожных узлах станций, обслуживающих крупные морские порты. Использован метод Дж. А. Нелдера и Р. Мида, получивший название нелинейного симплекс-метода для минимизации функций нескольких переменных. В [118] проблема разработки математических моделей и методов оптимизации работы транспортных узлов на базе логистических технологий рассмотрена с точки зрения теории массового обслуживания.

В [119] рассмотрена методика М. А. Пиира, определяющая количество транспортно-пересадочных узлов (без определения мест их размещения) в зависимости от площади города и зоны влияния пересадочных узлов, в которую были введены дополнительные параметры (численность населения, коэффициент пользования транспортом, плотность городской транспортной сети и коэффициент пересадочности).

Немецкие ученые повышенное внимание уделяли теориям размещения предприятий и производств, что представлено в трудах А. Вебера, А. Предёля, А. Лёша, Р. Гроца и др. [120, 121]

В британской научной школе развитием направлений теории проектирования транспортных систем занимались Д. Смит, Х. Ричардсон, С. Деннисон, Э. Робинсон, Г. Камерон и др. [122–124].

Американская научная транспортно-экономическая школа развивалась в нескольких направлениях: теории размещения – Х. Хотеллинг, Р. Вернон, М. Сторпер, Р. Уолкер [125–127] и др.; теории регионального роста – Дж. Фридман, Э. Таафе [128] и др.

В работах зарубежных авторов, таких как Даниел Л. Вордлоу, Дональд Ф. Вуд, Джеймс С. Джонсон, Ф. Камински, М. Кристофер, Дуглас М. Ламберт, Поль Р. Мэрфи-мл., Д. Симчи-Леви, Джеймс Р. Сток, Д. Уотерс и др. [129–132] достаточно подробно рассматриваются вопросы управления цепями поставок и логистики в целом, но тем не менее проблема взаимодействия различных видов транспорта затрагивается лишь косвенно.

В Дрезденском институте транспорта проф. Г. Поттхоффом [133] была разработана система рационального проектирования и размещения железнодорожных станций на основе таблицы зависимостей процессов прибытия поездов. Пользуясь распределением Пуассона, ученый-транспортник У. Мюллер сформировал детальную топологическую методологию проектирования вариантов путевого развития на базе схематически определенных требований к передвижениям поездов и комбинаторного анализа [134]. Эксплуатационные требования к станциям были представлены в компактной форме, названной диаграммой Мюллера.

Разработкам методов эффективного проектирования инфраструктуры транспортных систем посвящены труды Х. Балуха (H. Baluch) [135], М. Зюмера (M. Sumer) [136], А. Муссо (A. Musso), Г. Корацца (G. Corazza) [137] и др. Ими предложены методики анализа путевого развития узловой железнодорожной инфраструктуры с помощью матричной классификации передвижений поездов на базе электронных моделей отдельных пунктов, описанных в виде графов.

Одним из направлений оценки уровня организации транспортной системы и составляющих ее подсистем является введенное математиком К. Шенноном понятие «избыточности» [138].

В работе [139] швейцарский ученый S. Zemp поднимает вопрос классификации станций и узлов на основе кластерного анализа. Утверждается, что система классификации для стратегического планирования должна быть ориентирована на требования и условия участка, в пределах которого должна функционировать железнодорожная станция.

В [140] польский ученый P. Jovanović предлагает аналитическую модель принятия стратегических решений по выбору наилучшего решения компоновки узла в соответствии с максимальной теоретической пропускной способностью инфраструктуры, полностью независимой от расписания. Модель использует комбинаторные задачи на графах, задачу взвешенной раскраски вершин (WVCP) и задачу коммивояжера (TSP) для определения минимального времени загрузки инфраструктуры.

Заслуживают внимания метод Мюллера – Хиллебранда [141], использующий гравитационную теорию притяжения между узловыми зонами (населенными пунктами) для оценки интенсивности пассажиропотоков в автомобильном сообщении, а также анализ динамики урбанизации и транспортных проблем внутриузловых перевозок с позиции общей теории систем, приведенный в работах [142–144].

Однако, несмотря на значительный прогресс в научных исследованиях и обилие существующих методов размещения узловых объектов в транспортных узлах, практика показывает необходимость разработки принципиально новых подходов компоновки. Существующие методы, зачастую основанные на оптимизации отдельных показателей, не всегда учитывают всю сложность взаимодействия различных видов транспорта, динамику транспортных потоков и растущие требования к устойчивости и экологичности, особенно в условиях динамичных и слабоформализуемых параметров. Поэтому дальнейшее комплексное развитие научных исследований должно фокусироваться на интеграции больших данных, использовании методов искусственного интеллекта и машинного обучения для более точного прогнозирования и оптимизации в условиях непрерывной изменчивости транспортных потоков и потребностей населения.

Систематизация задач и моделей узлового инфраструктурно-технологического взаимодействия представлена на рисунке 2.2.

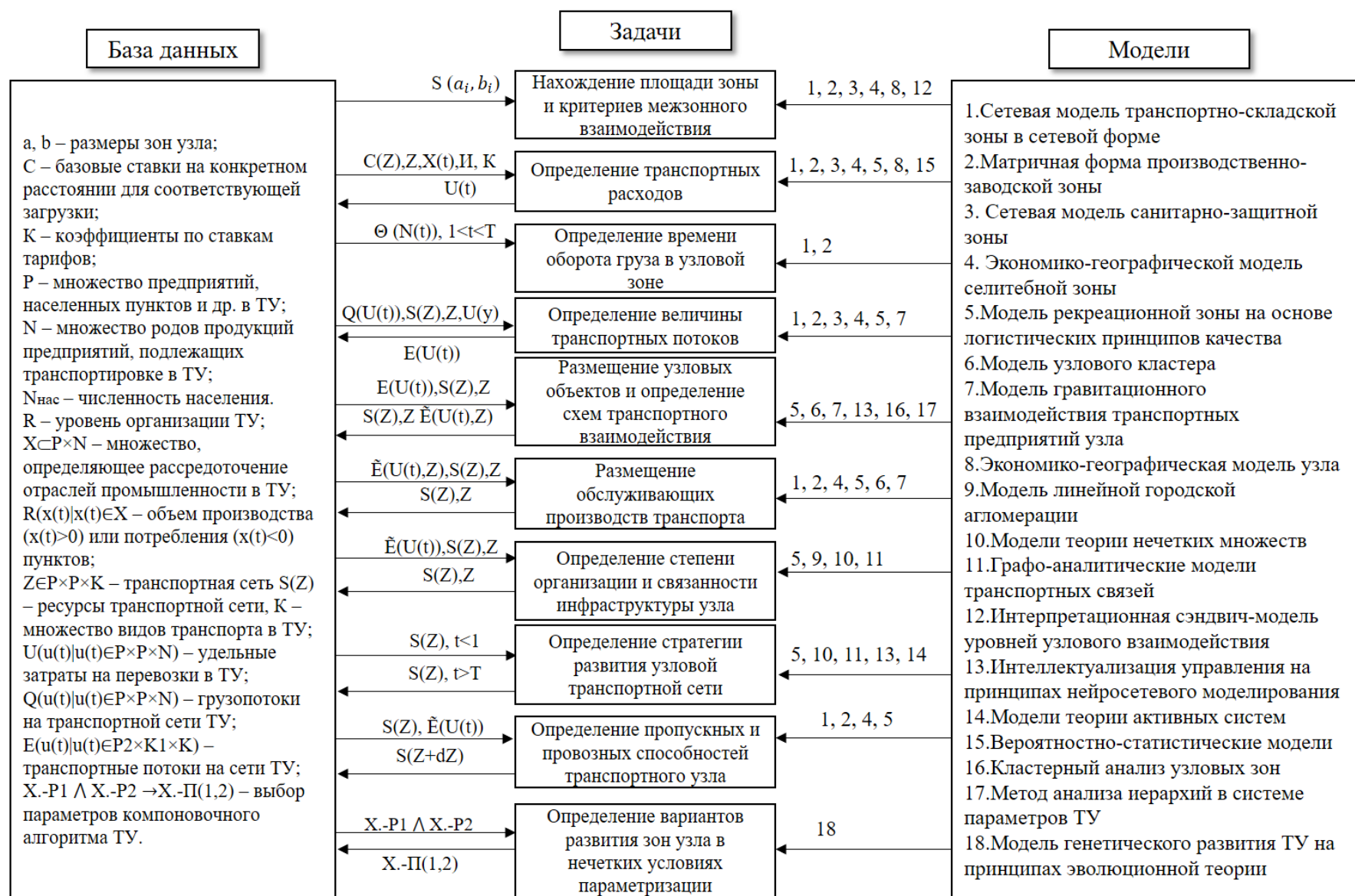


Рисунок 2.2 – Задачи и модели выбора форм узлового инфраструктурно-технологического взаимодействия

2.2 Блочно-модульный принцип в размещении узловых зон и объектов

Для характеристики организационной структуры транспортного узла следует выявить как его общие, так и специфические свойства [145]. Структура ТУ – это прочная, относительно устойчивая связь (отношение) и взаимодействие элементов, сторон, частей предмета, явления, процесса как целого, множество связей между элементами системы [146].

Перечень основных нормативно-правовых документов проектирования транспортных узлов, их описание и ключевые положения приведены в таблице П2.3 Приложения 2.

Следует отметить, что узловой системе управления присуща полиструктурность [147]. Полиструктурность производственно-хозяйственных организаций, отмеченная в [148], связывается с выделением производственной, социальной и технологической структур, а также структуры управления. Согласно [149] применительно к транспортным узлам выделяются территориально-географическая, производственно-транспортная, административно-управленческая, функционально-технологическая структуры, а их совокупность рассматривается как единая организационная структура (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Принципы блочно-модульных компоновочных решений узла [151]

Тип зоны	Теоретические основы компоновки территории	Планировочные (географические) требования	Технологические требования
1	2	3	4
СЗ (селитебная)	Базируется на правильных сетях, статистическом анализе данных о росте и размещении населения (экономико- географический метод, теория графов, сетевые модели и др.)	Размещение от железной дороги или автодороги не менее 200 м, по наветренной стороне по отношению к ПЗЗ; используются прямоугольные и радиальные системы планировки	Согласно правилам и нормам проектирования

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4
ПЗЗ (промышленно-заводская)	Определяется технологией производства и градостроительными правилами (технологические модели, схемы производственных потоков, планировка цехов и т. п.)	Предварительный анализ взаимного расположения с зонами ТСЗ, ЗЗ, СЗ; устраиваются несколько КПП, располагаются в пределах 1,5 км; принцип совместного использования существующих сооружений и устройств	Разделение потоков работников и заводского транспорта, обеспечение доступности рабочих мест
ТСЗ (транспортно-складская)	Базируется на правильных сетях, статистическом анализе данных, прогнозных моделях транзитных и местных грузовых перевозок (теория графов, сетевые модели, задача коммивояжера, транспортная задача в закрытой и открытой форме и др.)	Оценка топографических, естественно-географических и др. условий; блочно-модульный принцип планировки	Последовательность и непрерывность процессов
ЗЗ (защитная)	Определяется градостроительными нормами, «розой» ветров (географические, санитарные, экологические, погодные условия и др.)	Ширина определяется классом вредности: I класс – 1000 м, II класс – 500 м, III класс – 300 м, IV класс – 100 м, V класс – 50 м	Максимальное снижение вредного воздействия предприятий и производств на окружающую среду
РЗ (рекреационная)	Определяется географическими, природно-ландшафтными условиями, экологическими, градостроительными правилами и нормами	Использование уникальных природно-климатических и ландшафтных характеристик территории	Соблюдение требований доступности для населения, охраны окружающей среды

Примеры внутрирайонного зонирования узловой инфраструктуры представлены на рисунке 2.3 для транспортного узла «Р».

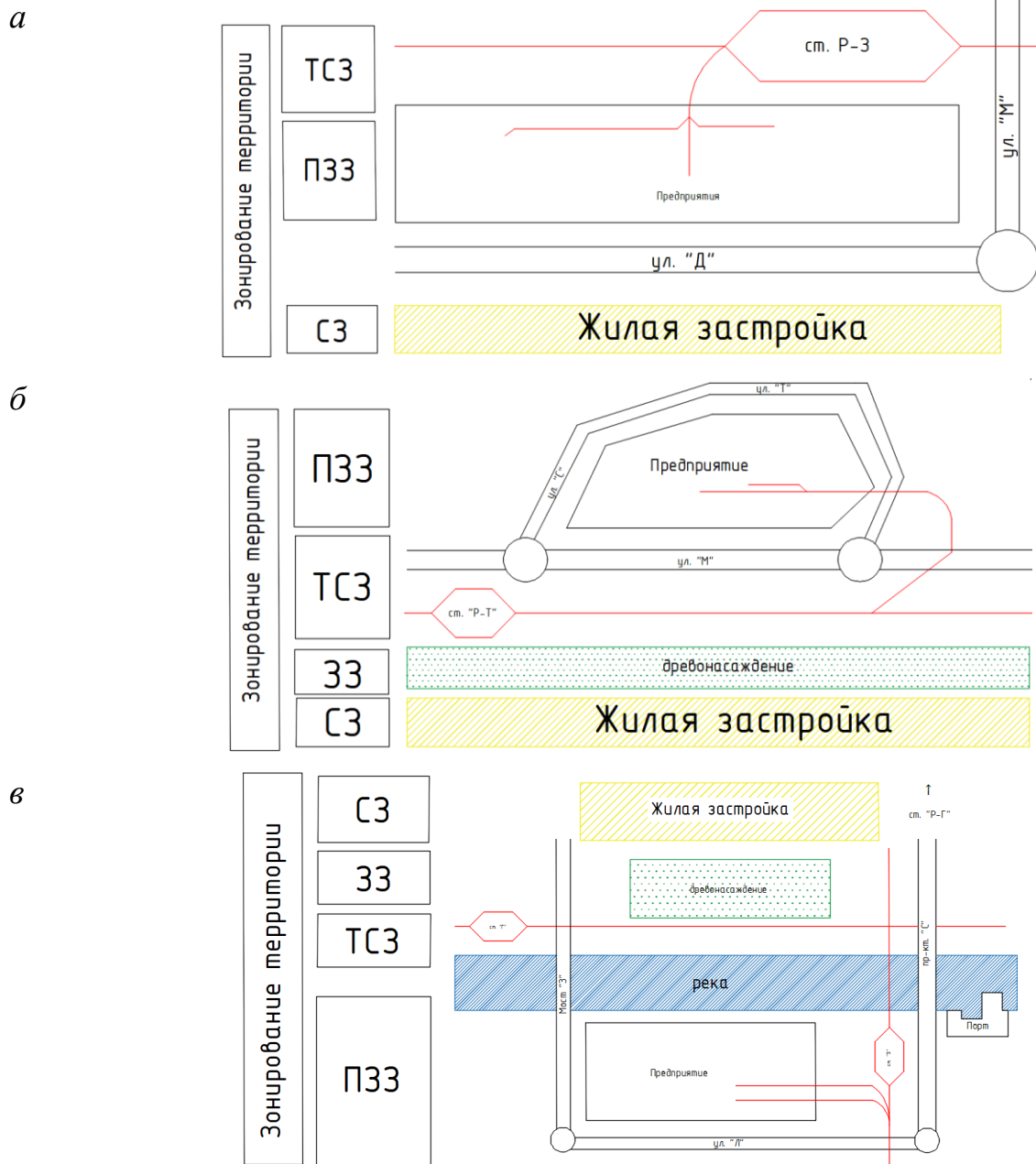


Рисунок 2.3 – Примеры вариантов зонирования районов узла «Р» и их вариативности в нечетких условиях последовательности размещения:

а – $\mu(\text{ТСЗ}) \leftrightarrow \mu(\text{ПЗЗ}) \leftrightarrow \mu(\text{СЗ})$; *б* – $\mu(\text{ПЗЗ}) \leftrightarrow \mu(\text{ТСЗ}) \leftrightarrow \mu(\text{ЗЗ}) \leftrightarrow \mu(\text{СЗ})$;

в – $\mu(\text{СЗ}) \leftrightarrow \mu(\text{ЗЗ}) \leftrightarrow \mu(\text{ТСЗ}) \leftrightarrow \mu(\text{ПЗЗ})$

При решении задачи размещения узловых объектов и моделирования инфраструктурно-технологического взаимодействия особое внимание уделяется

вопросам пропорциональности развития и насыщения территории узла инфраструктурой и транспортными коммуникациями узловых видов транспорта. Для целей оценки здесь может применяться показатель производственно-транспортной емкости территории узла D_e [150] и максимальной плотности инфраструктуры $D_{\max}$ в границах узла по формуле ($\text{м}^2/\text{км}^2$):

$$D_e = \frac{U_T \cdot P_n \cdot S_T}{S_{\text{общ}}} \leq D_{\max} = \frac{\max(U_T) \cdot \max(P_n) \cdot S_T}{S_{\text{общ}}},$$

где U_T – уровень транспортной обеспеченности подвижным составом узла, ед/чел; P_n – плотность населения узла, чел/км²; S_T – приведенная площадь территории с учетом производственной инфраструктуры для единицы подвижного состава, м²/ед; $S_{\text{общ}}$ – общая площадь узла, км².

Следует отметить, что показатель производственно-транспортной емкости территории узла имеет конечное значение, определяемое градостроительными, производственными, санитарными, экологическими и др. нормами. Предварительная перспективная параметризация узлового инфраструктурно-технологического взаимодействия позволяет делать выводы о принципах формирования зон, соответствии видов транспорта и пунктов узлового взаимодействия (аэропорт, порт, вокзал, грузовой терминал и т. п.), а также мест их размещения.

Например, для экспресс-анализа компоновочных решений узла может использоваться показатель дальности перевозок грузов и пассажиров: количество поездок уменьшается пропорционально увеличению расстояния перевозки, при этом население одного района узла с одинаковой нормой времени (стоимости) на проезд может рассматриваться как единый коллектив с параметрами дальности, стоимости и частоты поездок [152].

Таким образом, задача выработки новых подходов к компоновочным решениям в связи с изменением классификационных признаков узлов и использованием инновационных видов транспорта должна решаться комплексно еще на стадии проектирования или реконструкции с учетом передовых научных и технологических решений [8].

На рисунке 2.4 приведена стратегия вариантов компоновочных решений узловых объектов по принципу блочно-модульного зонирования территории.

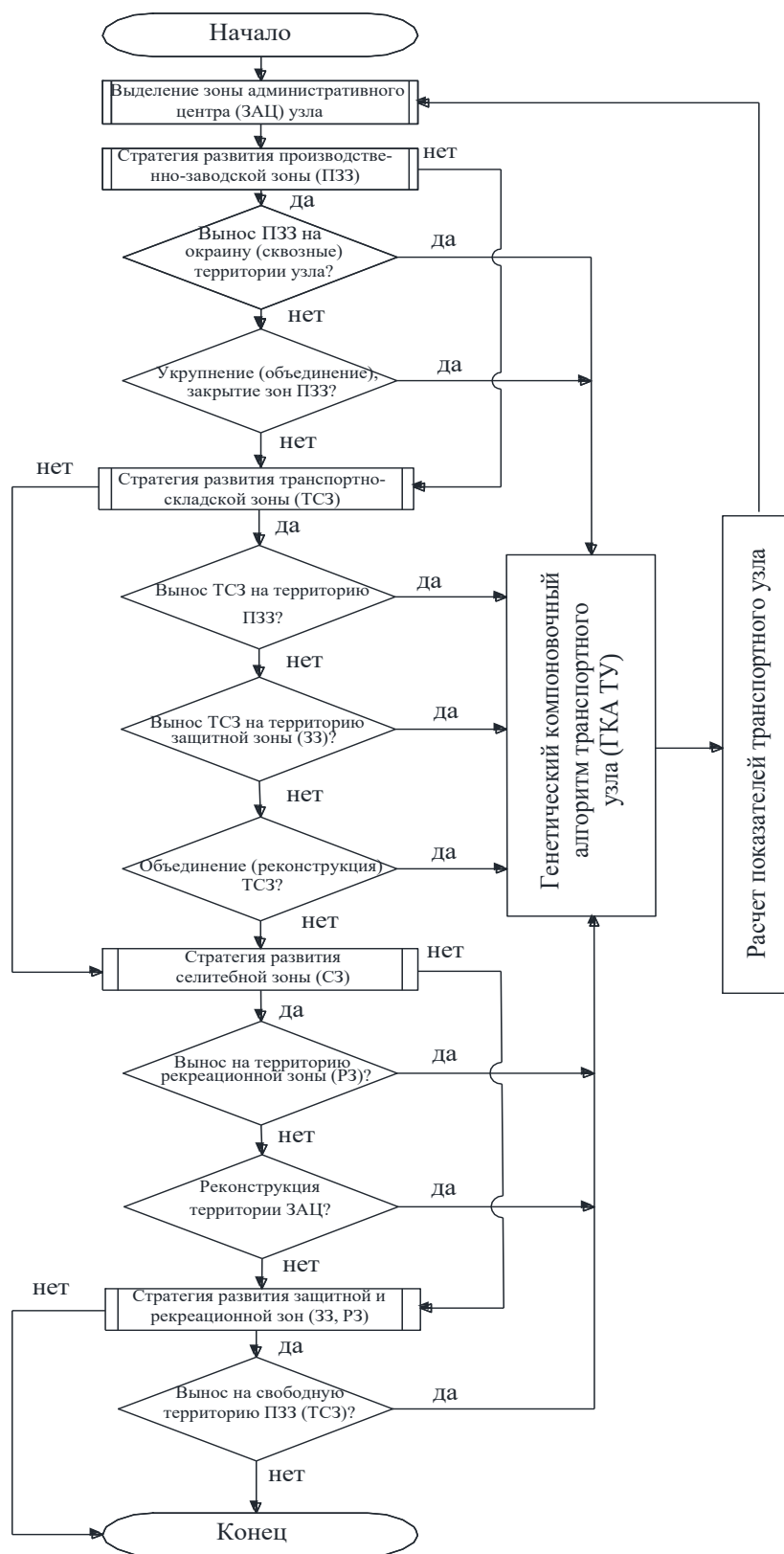


Рисунок 2.4 – Стратегия вариантов узловых компоновочных решений согласно блочно-модульному принципу зонирования

2.3 Оценка размещения узловых транспортных зон и объектов в условиях нечетких принципов параметризации

При решении задачи размещения узловых объектов и формирования эффективных связей между ними особое внимание уделяется проблеме пропорционального развития видов транспорта. В настоящее время, в условиях отсутствия единой научно обоснованной типологии транспортных узлов, в их оценке преобладает ведомственный или административный характер [151].

Для оценки эффективности размещения узловых транспортных предприятий и производств используются показатели, которые можно разделить на пять категорий: натуральные, стоимостные, количественные, качественные, технико-экономические [153] (рисунок 2.5).

Основные формулы расчета показателей оценки эффективности размещения узловых объектов сведены в таблицу 2.2.

Для универсальной оценки показателей узловой транспортной инфраструктуры хорошо зарекомендовала себя система классов и балльного рейтинга. В соответствии с [155] класс узла K формируется из множества значений подклассов показателей $K_{\text{узла}} = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$, причем каждый подкласс является в свою очередь подмножеством своих показателей.

В главе представлено развитие методики расчета балльного рейтинга [8] применительно к инфраструктуре транспортных узлов юга России. Для этого далее, в таблице 2.3, представлены показатели, характеризующие узловые структуры: S – площадь транспортного узла, км²; N – население транспортного узла, тыс. чел.; $n_{\text{маг}}$ – количество видов магистрального транспорта, шт.; $n_{\text{гор}}$ – количество видов городского транспорта, шт.; L_a – протяженность узловых автомобильных дорог, км; $L_{\text{ж}}$ – протяженность узловых железнодорожных путей, км; $L_{\text{в}}$ – протяженность узловых водных путей, км; $S_{\text{ПЗЗ}}$ – площадь промышленно-заводской зоны, км²; C_3 – стоимость 10^4 м² земли, тыс. руб.; $S_{\text{ТСЗ}}$ – площадь транспортно-складской зоны, км²; $S_{\text{СЗ}}$ – площадь селитебной зоны, км²; $S_{\text{ЗЗ}}$ – площадь защитной зоны, км²; $C_{\text{П}}$ – стоимость перевозок т(пасс)-км, руб.

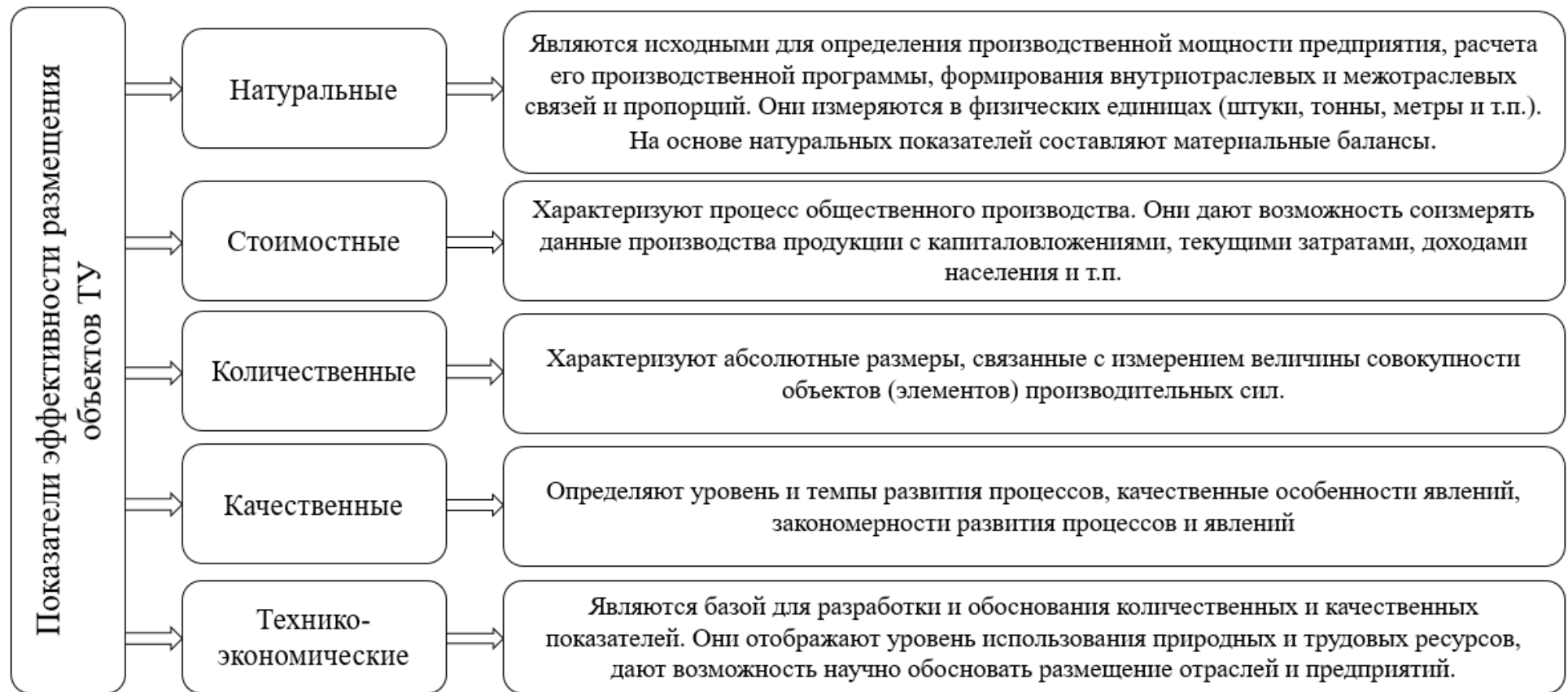


Рисунок 2.5 – Показатели оценки эффективности размещения узловых транспортных предприятий и производств

Таблица 2.2 – Показатели оценки эффективности размещения объектов ТУ

Показатель	Формула расчета
1	2
Степень компактности освоенной территории [154]	$\alpha_o = \frac{A_o}{\Delta s}$ A_o – воздушная удаленность освоенной территории от главного транспортного узла; Δs – воздушная удаленность территории той же площади, но имеющей форму круга, от центра круга, км $A_o = \frac{\sum S_{t-(t+1)}(L_t + L_{t+1})}{2S_{\text{осв}}},$ $S_{t-(t+1)}$ – площадь кольцевой зоны между двумя смежными окружностями в границах освоенной территории; $L_t + L_{t+1}$ – радиусы смежных окружностей: $\Delta s = \frac{2}{3}R = 0,377\sqrt{S_{\text{осв}}}.$
Плотность транспортной сети [154]	$\delta = \frac{L_c}{S_3},$ L_c – протяженность транспортной сети, км; S_3 – площадь застроенной территории
Маршрутный коэффициент [154]	$\mu = \frac{L_m}{L_c},$ $L_m = \sum l_{mt}$ – протяженность маршрутов в границах освоенных территорий; L_c – протяженность транспортной сети в границах освоенной территории
Коэффициент непрямолинейности маршрута [154]	$\rho = \frac{l_m}{l_o},$ l_m – расстояние между конечными пунктами маршрута по транспортной сети узла, км; l_o – расстояние между конечными пунктами маршрута по воздушной линии, км
Коэффициент эффективности пешеходной системы [154]	$\varepsilon = \frac{t_{\text{ср}}}{T_{\text{ср}}} = \frac{V_{\text{пер}}}{V_{\text{пеш}}},$ $t_{\text{ср}}$ – пешеходная трудность сообщения с центром города, час; $V_{\text{пер}}$ – средняя итоговая условная скорость передвижения населения к главному транспортному узлу, км/ч; $V_{\text{пеш}}$ – скорость движения пешехода, км/ч
Относительная величина освоенной территории [155]	$s = \frac{10^6 S_{\text{осв}}}{N},$ N – численность населения города
Коэффициент транспортной связности [155]	$K_s = \frac{\sum \deg x_i}{n},$ $\sum \deg x_i$ – сумма степеней (связей) всех вершин X графа транспортной сети узла; n – количество всех объектов транспортной инфраструктуры (ж.-д. станций) узла

Продолжение таблицы 2.2

1	2
Коэффициент достижимости инфраструктурных объектов [155]	$K_d = \frac{\sum_1^n dx_{ij}}{n_i \cdot n_j - n}$ $\sum_1^n dx_{ij}$ – общая длина всех транспортных маршрутов узла (количество транзитных перегонов на маршруте от пункта i до пункта j); $n_i \cdot n_j - n$ – общее количество возможных вариантов маршрутов
Уровень организации транспортной системы [155]	$R = 1 - \frac{H}{H_{\max}},$ R – уровень относительной организации системы или «избыточность»; H – текущее значение неопределенности системы; $H_{\max}$ – максимально возможная неопределенность системы
Коэффициент Энгеля [156]	$d = \frac{L}{\sqrt{SH}},$ L – общая длина транспортных путей; S – площадь территории узла; H – численность населения узла
Коэффициент Гольца [156]	$d = \frac{L}{\sqrt{S\Pi}},$ Π – число населенных пунктов узла
Коэффициент Успенского [156]	$d = \frac{L}{\sqrt[3]{Sht}},$ t – общий вес отправляемых на территории узла грузов
Коэффициент Василевского [152]	$d = \frac{L}{\sqrt[3]{SHQ}},$ Q – общий вес произведенной продукции в ТУ
Плотность грузовой массы [152]	$\Pi_{\text{гп}} = \frac{\sum Q_i}{L_{\text{привед}}},$ Q_i – объем перевезенных грузов структурными транспортными отраслями по видам путей сообщения, тыс. т; $L_{\text{привед}}$ – приведенная длина транспортных линий узла, км
Плотность транспортной сети на 1000 хозяйствующих субъектов [152]	$\Pi_{\text{ТС}} = \frac{L_{\text{привед}} \cdot 1000}{Q_{\text{общ}}},$ $Q_{\text{общ}}$ – общее число предприятий и организаций на территории ТУ
Показатель уровня транспортного обслуживания структурных отраслей [152]	$y_{\text{ТО}} = \frac{\sum QL_{\text{гр}}}{\Pi_{\text{отг с/с}}},$ $\sum QL_{\text{гр}}$ – грузооборот, т-км; $\Pi_{\text{отг с/с}}$ – объем отгруженных товаров (выполненных работ и услуг) собственного производства хозяйствующих субъектов ТУ, тыс. руб.

Продолжение таблицы 2.2

1	2
Развитость межрегионального узлового сотрудничества [152]	$C_{M/P} = \frac{(P_{ВВОЗ} + P_{ВЫВОЗ}) \cdot 10000}{H},$ $P_{ВВОЗ}$ – объем ввезенной продукции в ТУ, т; $P_{ВЫВОЗ}$ – объем вывезенной продукции за пределы ТУ, т; H – численность населения ТУ, чел.
Транспортная подвижность (мобильность) населения [152]	$T_{ПН} = \frac{\sum HL_{пасс}}{H},$ $\sum HL_{пасс}$ – пассажирооборот ТУ, пасс.-км
Транспортноемкость транспортной инфраструктуры [152]	$T_E = \frac{\sum PL_{привед}}{ВРП},$ $\sum PL_{привед} = \sum QL_{гр} + k \sum HL_{пасс},$ $\sum PL_{привед}$ – приведенная продукция транспорта, т-км; ВРП – валовой региональный продукт, тыс. руб.; $\sum QL_{гр}$ – грузооборот, т-км; $\sum HL_{пасс}$ – пассажирооборот, пасс-км; k – коэффициент приведения пасс.-км к т-км
Грузо- и пассажиронапряженность [152]	$E = \frac{\sum PL_{привед}}{L_{привед}}.$
Соотношение пассажирских и грузовых перевозок [152]	$K_{приоритет} = \frac{\sum QL_{гр}}{k \sum HL_{пасс}}.$
Доля инвестиций в транспортную инфраструктуру [153]	$D_{Итр} = \frac{И_{т.и.}}{И_{общ}},$ $И_{т.и.}$ – объем инвестиций в развитие транспортной инфраструктуры узла, тыс. руб; $И_{общ}$ – общий объем инвестиций в развитие региона, тыс. руб.

Так как показатели, сводимые к комплексному оценочному критерию, имеют разные единицы измерения, то их необходимо привести к безразмерному виду. Для этого использован вариативный показатель $k(\theta)$ с диапазоном значений от 1 до 100: $k(\theta) = 1 + 99 \cdot \frac{\theta_i - \theta_{\min}}{\theta_{\max} - \theta_{\min}}$, где 1 – нижний предел вариативного показателя рейтинга; 99 – принятый размах вариации; θ_i – значение i -го показателя в выборке; $\theta_{\max}$, $\theta_{\min}$ – максимальное и минимальное значения выборки [155] (таблица 2.4).

Таблица 2.3 – Ведомость показателей узловых структур юга России

ТУ	S	N	$n_{\text{маг}}$	$n_{\text{гор}}$	L_a	$L_{\text{ж}}$	$L_{\text{в}}$	C_3	$S_{\text{ПЗЗ}}$	$S_{\text{ТСЗ}}$	$S_{\text{СЗ}}$	$S_{\text{ЗЗ}}$	$C_{\text{п}}$
«А»	208	524	4	1	168,2	78,6	31,2	108	14,2	3,9	167	1,2	224
«В»	859	1005	4	5	201,3	147,6	61,6	85	18,1	6,9	580	5,2	339
«К»	294	1107	4	4	133	79,2	36,3	377	12,6	7,1	227	6,9	363
«Р»	248	1138	4	5	134,9	83,4	26,9	467	22	4,4	257	21,1	326
«М»	468	604	4	1	97,1	39,6	-	615	10,1	2,1	109	2,4	220
«МВ»	51,5	72	3	1	68,5	27,9	-	141	4,3	3,8	36,2	1	219
«НВ»	86,5	277	3	3	84,1	28,7	-	380	9,5	3,9	63,1	3,3	293
«С»	171	458	3	2	84,9	27,9	-	597	3,2	0,8	121	16,7	256
«СЧ»	97,2	564	4	4	89,3	61,5	-	980	1,6	4,8	62,5	11	728
«ТХ»	46	55	2	1	66	29,6	-	76	3,2	1,1	33,8	2	221
«Т»	33,4	61	3	1	34,5	17,9	-	550	3,3	2	22,9	2	229
«МЗ»	17,5	41	2	2	54,3	25,1	-	232	2,8	3,2	10,5	1	234
«Д»	69,6	125	2	2	41,4	18,7	-	169	1,2	0,3	46,8	1,3	219
«ТГ»	80	245	3	5	73,3	32,1	-	400	11,2	6	54,8	2	282
«Н»	67	247	3	1	57,6	16,1	-	125	1,8	1,1	49,7	2	206
«ВЛ»	291	296	3	1	49,4	11,1	-	520	6,6	1,8	16,9	3,6	206
«ВД»	182	168	4	3	62,3	42,1	26,4	183	10,7	2,7	126	1	247

Таблица 2.4 – Ведомость вариативных показателей узловых структур

ТУ	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$
«А»	81,93	54,43	99,68	99,94	85,39	93,19	97,31	90,63	98,79	99,69	85,49	99,92	80,53
«В»	25,28	12,57	99,68	99,59	82,51	87,18	94,67	92,63	98,45	99,43	49,56	99,57	70,53
«К»	74,44	3,70	99,68	99,68	88,45	93,13	96,87	67,22	98,93	99,41	80,27	99,43	68,44
«Р»	78,45	1,00	99,68	99,59	88,29	92,77	97,69	59,39	98,11	99,64	77,66	98,19	71,66
«М»	59,30	47,47	99,68	99,94	91,58	96,58	-	46,51	99,15	99,84	90,54	99,82	80,88
«МВ»	95,54	93,76	99,77	99,94	94,07	97,60	-	87,76	99,65	99,70	96,88	99,94	80,97
«НВ»	92,50	75,92	99,77	99,77	92,71	97,53	-	66,96	99,20	99,69	94,54	99,74	74,53
«С»	85,15	60,17	99,77	99,85	92,64	97,60	-	48,08	99,75	99,96	89,50	98,57	77,75
«СЧ»	91,57	50,95	99,68	99,68	92,26	94,67	-	14,75	99,89	99,61	94,59	99,07	36,68
«ТХ»	96,02	95,24	99,85	99,94	94,28	97,45	-	93,41	99,75	99,93	97,08	99,85	80,80
«Т»	97,12	94,72	99,77	99,94	97,02	98,47	-	52,17	99,74	99,85	98,03	99,85	80,10
«МЗ»	98,50	96,46	99,85	99,85	95,30	97,84	-	79,84	99,78	99,75	99,11	99,94	79,66
«Д»	93,97	89,15	99,85	99,85	96,42	98,40	-	85,32	99,92	100,00	95,95	99,91	80,97
«ТГ»	93,06	78,71	99,77	99,59	93,65	97,23	-	65,22	99,05	99,50	95,26	99,85	75,49
«Н»	94,20	78,53	99,77	99,94	95,01	98,63	-	89,15	99,87	99,93	95,70	99,85	82,10
«ВЛ»	74,70	74,27	99,77	99,94	95,73	99,06	-	54,78	99,45	99,87	98,56	99,71	82,10
«ВД»	84,19	85,41	99,68	99,77	94,60	96,36	97,73	84,10	99,10	99,79	89,06	99,94	78,53

При этом следует учесть, что для расчета вариативного показателя используется формула $k(\theta)^*$ средневзвешенного стратегического значения класса узловых объектов и его показателей $k(\theta)^* = 1 + 99 \cdot \frac{\theta_{\max} - \theta_i}{\theta_{\max} - \theta_{\min}}$. Это связано с тем, что чем выше класс показателя объекта узла, тем большее влияние он оказывает на рейтинг, т. е. наблюдается обратно пропорциональная связь между значением показателя и его влиянием на оценочный критерий.

Таким образом, осуществляется масштабирование интервала показателей $[\theta_{\min}; \theta_{\max}]$ в интервал $[1; 100]$. Вариативный показатель $k(\theta)$ не искажает значения показателей в каком-либо месте интервала, сохраняя равномерность числовой оценочной шкалы $[1; 100]$ (рисунок 2.6, см. таблицу 2.4).

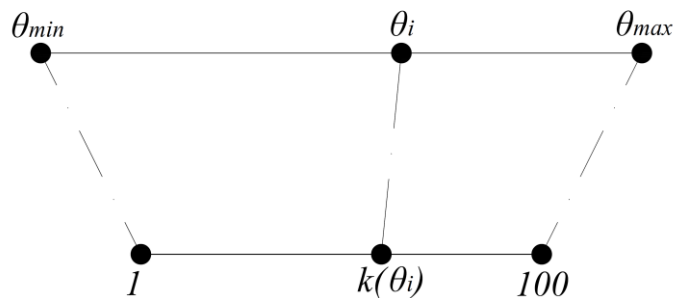


Рисунок 2.6 – Масштабирование интервала показателей

Для разработки комплексного критерия оценки узловых структур выполнен сравнительный анализ показателей в зависимости от степени их воздействия согласно критериям теории принятия решений:

1 Критерий Лапласа (выбирается та стратегия, которая дает максимальное ожидаемое значение): $K_{\text{опт}} = \max_{1 \leq i \leq m} \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{j=1}^n a_{ij}$, где a_{ij} – значение параметра j для i -го транспортного узла (Приложение 2, таблица П2.4).

2 Критерий Вальда (выбирается такая стратегия, при которой максимальный проигрыш будет минимальным): $K_{\text{опт}} = \max_i (\max_j \Delta a_{ij})$, где Δa_{ij} – разница между минимальными и максимальными a_{ij} по j -му параметру (Приложение 2, таблица П2.5).

3 Критерий Сэвиджа (выбирается такая стратегия, при которой минимизируется максимальный риск): $K_{\text{опт}} = \min_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq j \leq n} r_{ij}$, $r_{ij} = \max_{1 \leq i \leq m} a_j - a_{ij}$, где r_{ij} – соответствующее значение в матрице сожалений (Приложение 2, таблицы П2.6–2.7).

4 Критерий Гурвица (выбирается такая комбинация, которая дает максимальный результат с учетом этих двух исходов): $K_{\text{опт}} = \max_{1 \leq i \leq m} [\alpha \max_{1 \leq j \leq n} a_{ij} + (1 - \alpha) \min_{1 \leq j \leq n} a_{ij}]$ (Приложение 2, таблица П2.8).

5 Критерий Ходжа – Лемана (учитывает как максимальный проигрыш, так и худший и лучший исходы): $K_{\text{опт}} = \max_i [v \sum_{j=1}^n e_{ij} q_i + (1 - v) \min_j e_{ir}]$, $0 \leq v \leq 1$, где e_{ij} – матрица решений, дополняется столбцом, составленным из средних взвешенных (с весом $v = \text{const}$) математического ожидания и q_i наименьшего результата каждой строки [157] (Приложение 2, таблица П2.9).

Значение итогового критерия определяется по формуле:

$$R = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K (K_{\text{опт } i} \cdot 1/p),$$

где K – число критериев, $K_{\text{опт } i}$ – оптимальное решение по i -му критерию, p – значение приоритета ($p \in (1; N)$, где N – количество рассматриваемых узлов).

Итоговый расчет критериев принятия решений выполнен в программной среде *MS Excel*. Результаты расчетов сведены в таблицу 2.5.

Таблица 2.5 – Балльные значения критериев оценки ТУ

ТУ	Критерий Лапласа	Критерий Вальда	Критерий Сэвиджа	Критерий Гурвица	Критерий Ходжа – Лемана	Баллы
1	2	3	4	5	6	7
«СЧ»	76,3	38,8	50,7	47,2	91,4	60,88
«В»	77,8	56,2	32,1	49,5	80,3	59,18
«Р»	72,1	51,8	46,9	50,3	66,8	57,58
«М»	64,4	35,1	46,4	56	83,6	57,1
«К»	67,7	48,5	49,4	48,6	62,6	55,36
«С»	61,7	6,3	49,3	52,2	78,1	49,52
«ВЛ»	52,8	27,9	51,7	40,9	60,8	46,82

Продолжение таблицы 2.5

1	2	3	4	5	6	7
«НВ»	48,2	43,1	48,5	34,3	54,7	45,76
«ТГ»	43	39,9	36,6	38,8	49,8	41,62
«А»	58,1	31,1	44,6	45,4	10,7	37,98
«Т»	32,8	21,3	16,5	49,2	43,3	32,62
«Н»	27,8	18,2	41	31,5	38,8	31,46
«ВД»	38,3	24,5	29,2	26,2	5,5	24,74
«МВ»	16,8	15,1	21,8	10,6	26,6	18,18
«Д»	22,3	3	25,9	5,3	34	18,1
«МЗ»	11,2	12	5,6	21,1	22	14,38
«ТХ»	5,7	9	11,1	15,9	16,3	11,6
$n =$	0,20	0,20	0,30	0,20	0,10	

В результате предложена перспективная балльная классификационная система ТУ из I, II, III, IV и V классов, в которых общесистемный класс узла K^* включает множество показателей подклассов $K^* = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$. Балльный R -критерий узла каждого класса включает по 20 баллов (таблица 2.6) [8].

Таким образом, оценка структуры транспортного узла на основе экономико-географических методов, теории принятия решений и кластерного анализа, позволяет делать выводы о степени эффективности компоновочных решений узловой инфраструктуры [8].

Таблица 2.6 – Перспективная балльная классификация ТУ

Класс	Наименование	Балльный R -критерий узла
I	Крупнейшие ТУ	81–100
II	Крупные ТУ	61–80
III	Большие ТУ	41–60
IV	Средние ТУ	21–40
V	Малые ТУ	1–20

2.4 Специальный градостроительный показатель (СГП) размещения узловой инфраструктуры

Для целей оценки вариантов размещения узловых зон ТУ в условиях нечеткой параметризации предложен новый подход к исследованию компоновочных решений на основе эволюционного генетического алгоритма. Так как обработке подлежат большие массивы инфраструктурно-технологических показателей ТУ, то для повышения качества расчетов разработан специальный градостроительный показатель P (СГП) объекта инфраструктуры узла, включающий следующие показатели: грузооборот зоны (объекта), тыс. т; пассажирооборот, тыс. чел.; состояние зоны (функционирующая / не функционирующая / частично функционирующая); коэффициент застройки узла (зоны); плотность транспортной сети; площадь застроенной территории; значимость зоны (федеральная, региональная, местная); категория отраслей промышленности; надежность транспортных связей; соответствие экологическим нормам.

Для обработки данных показателя P предлагается использовать метод анализа иерархий (МАИ), который позволяет структурировать сложные проблемы и оценивать множество альтернатив по нескольким критериям [158]. Метод МАИ формализуется с помощью матриц попарных сравнений с присвоением оценок по девятибалльной шкале сравнений (1 – равная важность, 3 – умеренное превосходство, 5 – значительное превосходство, 7 – весомое превосходство, 9 – превалирующее превосходство, четные оценки – промежуточные результаты). Затем на основе данных оценок формируется матрица, в которой если элемент i более важен, чем элемент j , то клетка (i, j) , должна быть заполнена целым числом, а клетка (j, i) – дробным.

Последовательность оценки [159]:

1 – определение цели и задачи критерия, оценивающего эффективность транспортного узла;

2 – формирование иерархической структуры, в которой на нижнем уровне находятся конкретные альтернативы, а также зоны, входящие в состав оцениваемого узла (рисунок 2.7);

3 – попарные сравнения критериев на основе шкалы предпочтений;

4 – расчет «весов» (приоритетов) для каждого критерия, что позволяет определить их относительную важность при оценке параметров транспортного узла;

5 – сравнение альтернатив;

6 – проверка согласованности полученных оценок.

Однородность суждений оценивается отклонением величины максимального собственного значения $\lambda_{\max}$ от порядка матрицы n , для этого вводятся понятия индекса однородности (индекс согласованности – ИС) и отношения однородности (отношения согласованности – ОС), которые вычисляются по формулам:

$$\text{ИС} = \frac{\lambda_{\max} - 1}{n - 1}, \text{ОС} = \frac{\text{ИС}}{\text{СИ}},$$

где СИ – среднее значение индекса однородности случайным образом составленной матрицы попарных сравнений, основанное на экспериментальных данных [160].

Построим иерархическую структуру (см. рисунок 2.7), в которой на нижнем уровне находятся множители специального градостроительного показателя P , а также зоны, входящие в состав, оцениваемого узла [161].

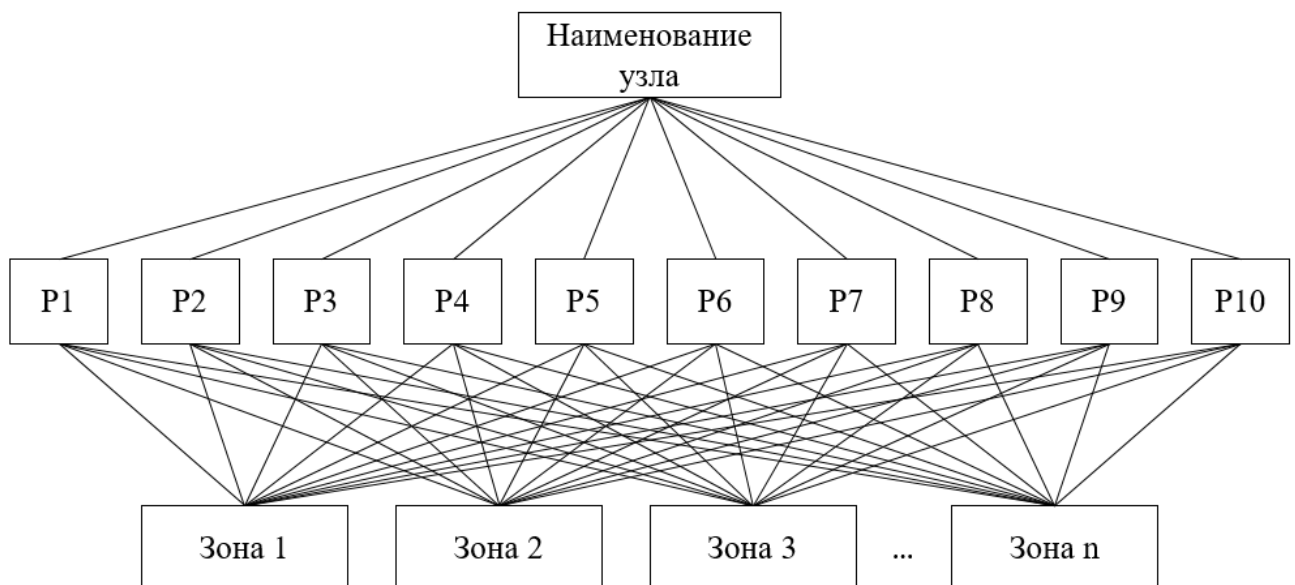


Рисунок 2.7 – Пример построения иерархии показателей узла

Затем строятся матрицы попарных сравнений критериев и альтернатив на основе шкалы предпочтений. В результате получаются средневзвешенные оценки для каждой транспортной зоны, при этом учитываются индекс согласованности и отношения согласованности (таблицы 2.7 – 2.9).

Таблица 2.7 – Матрица попарных сравнений показателей (на примере узла «Р»)

Показатель	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}
p_1	1	1	0,14	0,25	1	1	0,25	0,25	1	4
p_2	1	1	0,14	0,25	1	2	0,25	0,5	0,11	3
p_3	7	7	1	0,5	7	7	5	5	2	8
p_4	4	4	2	1	5	6	3	1	1	6
p_5	1	1	0,14	0,2	1	0,5	2	0,33	0,11	1
p_6	1	0,5	0,14	0,17	2	1	1	0,25	0,33	2
p_7	4	4	0,2	0,33	0,5	1	1	1	1	7
p_8	4	2	0,2	1	3	4	1	1	1	2
p_9	1	9	0,5	1	9	3	1	1	1	9
p_{10}	0,25	0,33	0,13	0,17	1	0,5	0,14	0,5	0,11	1
Сумма	24,25	29,83	4,6	4,87	30,5	26	14,64	10,83	7,67	43

Таблица 2.8 – Нормализация матрицы попарных сравнений

	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}	Сред.	МС*
p_1	0,04	0,03	0,03	0,05	0,03	0,04	0,02	0,02	0,13	0,09	0,05	11,27
p_2	0,04	0,03	0,03	0,05	0,03	0,08	0,02	0,05	0,01	0,07	0,04	11,10
p_3	0,29	0,23	0,22	0,10	0,23	0,27	0,34	0,46	0,26	0,19	0,26	11,76
p_4	0,16	0,13	0,44	0,21	0,16	0,23	0,20	0,09	0,13	0,14	0,19	11,55
p_5	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,02	0,14	0,03	0,01	0,02	0,04	12,04
p_6	0,04	0,02	0,03	0,03	0,07	0,04	0,07	0,02	0,04	0,05	0,04	11,67
p_7	0,16	0,13	0,04	0,07	0,02	0,04	0,07	0,09	0,13	0,16	0,09	11,47
p_8	0,16	0,07	0,04	0,21	0,10	0,15	0,07	0,09	0,13	0,05	0,11	11,28
p_9	0,04	0,30	0,11	0,21	0,30	0,12	0,07	0,09	0,13	0,21	0,16	11,41
p_{10}	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,05	0,01	0,02	0,02	11,29

Примечание: * – мера согласованности

Таблица 2.9 – Расчет согласованности матрицы попарных сравнений

ИС*	ИР**	Коэффициент согласованности
0,15	1,51	1,11

Примечание: * – индекс согласованности, ** – индекс рандомизации

Для вычисления индекса согласованности определяется средняя мера согласованности всех альтернатив, из нее вычитается количество альтернатив n и результат делится на $(n - 1)$. Определение коэффициента согласованности заключается в делении ИС на индекс рандомизации ИР, значения которого для различных значений n вычисляются в методе МАИ специальным образом, как индекс согласованности для кососимметрических матриц. Значения приведены в таблице 2.10 [159].

Таблица 2.10 – Значение индекса рандомизации

n	Значение индекса рандомизации
2	0,00
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45
10	1,51

Далее составляются матрицы попарных сравнений зон узла относительно каждого показателя и вычисляется сумма по столбцам (таблица 2.11).

Таблица 2.11 – Матрица попарных сравнений зон узла

P1	Зона 1	...	Зона n
Зона 1	1	...	0,14
...	...	1	...
Зона n	7	...	1
Сумма	15	10,14	1,25
...			
P10	Зона 1	...	Зона n
Зона 1	1	...	9
...	...	1	...
Зона n	0,11	...	1
Сумма	1,25	8,11	19

Затем каждая матрица нормализуется (таблица 2.12).

Таблица 2.12 – Нормализованная матрица попарных сравнений зон узла

$P1$	Зона 1	...	Зона n	Среднее	Мера согласованности
Зона 1	0,07	...	0,11	0,06	3,06
...	...	0,1	...	0,09	3,44
Зона n	0,47	...	0,8	0,07	4,37
...					
$P10$	Зона 1	...	Зона n	Среднее	Мера согласованности
Зона 1	0,8	...	0,47	0,71	3,99
...	...	0,12	...	0,24	3,39
Зона n	0,09	...	0,05	0,05	3,04

Расчет согласованности матриц попарных сравнений зон узла относительно каждого показателя приведен в таблице 2.13, ведомость результатов коэффициентов согласованности – в таблице 2.14.

Таблица 2.13 – Расчет согласованности матриц попарных сравнений

ИС	ИР	Коэффициент согласованности
0,31	0,58	0,54
...		
0,24	0,58	0,41

Таблица 2.14 – Ведомость результатов коэффициентов согласованности

Показатели	Вес	Зона 1	...	Зона n
$p1$	0,05	0,06	...	0,72
$p2$	0,04	0,8	...	0,1
$p3$	0,26	0,51	...	0,39
$p4$	0,19	0,51	...	0,1
$p5$	0,04	0,28	...	0,64
$p6$	0,04	0,11	...	0,36
$p7$	0,09	0,55	...	0,12
$p8$	0,11	0,51	...	0,13
$p9$	0,16	0,77	...	0,13
$p10$	0,02	0,71	...	0,05
Взвешенные оценки		0,52	...	0,25

Таким образом, получены взвешенные оценки, которые позволяют учитывать разнородность показателей инфраструктуры узла, множество факторов и их взаимосвязь. Результаты имеют достаточную объективность и устойчивость к случайным изменениям, а также могут адаптироваться для включения в анализ новых данных.

2.5 Выводы по главе

Вторая глава диссертационной работы посвящена анализу существующих методов и разработке новых подходов к обоснованию компоновочных решений при размещении предприятий и производств в транспортном узле.

Обзор отечественных и зарубежных научных разработок показал наличие необходимости современного учета сложноформализуемых требований к динамике развития транспортных узлов и нечеткости параметров взаимодействия различных компонентов. В связи с этим в главе исследован подход к блочно-модульному принципу размещения и интеграции узловых зон и объектов, повышающий гибкость и адаптивность транспортной инфраструктуры в условиях нечетких параметров, их разнородности и слабой формализации развития.

Для повышения эффективности выбора рациональных компоновочных решений ТУ применены и адаптированы методы кластеризации, учитывающие множественность критериев и взаимосвязи между объектами. Сформирована система показателей оценки размещения узловых объектов в условиях нечеткости и неопределенности исходных данных.

В результате проведенных исследований разработан комплексный динамический балльный рейтинг узловой структуры транспортного узла, основанный на критериях теории принятия решений, с учетом множества факторов и динамики их изменения.

Установлено, что важной проблемой является оценка компоновочных решений узловых зон ТУ в условиях нечеткой параметризации, а также возможность предварительного экспресс-анализа узловой инфраструктуры на этапах проектирования или оценки вариантов развития.

Для оценки рациональности компоновочных решений ТУ (или зоны ТУ) рассмотрено применение специального градостроительного показателя P (СГП) объекта инфраструктуры узла, для обработки данных которого использован метод анализа иерархий (МАИ), позволяющий структурировать сложные проблемы и оценивать множество альтернатив по нескольким критериям. В итоге для целей исследования предлагается разработать генетический компоновочный алгоритм инфраструктурных объектов транспортного узла (см. главу 3 диссертации).

Глава 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАЗМЕЩЕНИЯ УЗЛОВЫХ ЗОН И ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКОЙ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ

3.1 Постановка задачи размещения узловых зон и объектов

Постановка задачи: на заданной территории транспортного узла при известных положениях точек входа и выхода грузо- и пассажиропотока, положениях центров транспортных нагрузок зон (объектов, предприятий и производств), вариативных параметрах и направлениях их развития (переноса, объединения, модификации) необходимо таким образом разместить зоны (объекты, предприятия и производства), чтобы сумма транспортных расходов на завоз-вывоз грузов и пассажиров была минимальна при рациональном значении общесистемных показателей оценки компоновочного решения узловой инфраструктуры.

Функция имеет вид:

$$\Pi = \arg \min_T \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p \left(C_{ijk}^{\text{ЖД}} \cdot A^T \{ \mu(L_{(CD)}^*) \}_{ijk}^{\text{ЖД}} \cdot Q_{ijk}^{\text{ЖД}} + C_{ijk}^{\text{АВТ}} \cdot A^T \{ \mu(L_{(CD)}^*) \}_{ijk}^{\text{АВТ}} \cdot Q_{ijk}^{\text{АВТ}} + C_{ijk}^{\text{ВОД}} \times \right. \\ \left. A^T \{ \mu(L_{(CD)}^*) \}_{ijk}^{\text{ВОД}} \cdot Q_{ijk}^{\text{ВОД}} + C_{ijk}^{\text{ГТ}} \cdot A^T \{ \mu(L_{(CD)}^*) \}_{ijk}^{\text{ГТ}} \cdot a_{ijk}^{\text{ГТ}} + \dots + B_{ijk} \cdot E_n \right),$$

где $i = 1, \dots, n$ – номер зоны (объекта узла); $j = 1, \dots, m$ – абсцисса центра зоны (объекта); $k = 1, \dots, p$ – ордината центра зоны (объекта); C – стоимость перевозки, руб/т-км (руб/пасс-км); Q – объем перевозок i -й зоны узла, т; a – количество перевезенных пассажиров i -й зоны узла, пасс.; $A^T \{ \mu(L_{(CD)}^*) \}$ – матрица модифицированных расстояний перевозки грузов и пассажиров видами транспорта с учетом коэффициента дивергенции зоны узла в условиях нечеткой постановки задачи; B – капитальные затраты на реконструкцию (строительство) зоны узла по варианту размещения, млрд руб.; E_n – нормативный коэффициент окупаемости капитальных вложений;

При ограничениях: $C \geq 0, Q \geq 0, L \geq 0, a \geq 0, (A^T)^T = A$.

Таким образом, решается многокритериальная транспортная задача в нечеткой формулировке:

1) необходимо наиболее рациональным образом на заданной территории разместить зоны (объекты, предприятия и производства) транспортного узла (методы теории графов, экономико-математический подход, математическая статистика, морфологический анализ);

2) необходимо обеспечить максимальные пропускные способности транспортной инфраструктуры и рациональные показатели компоновочного решения с учетом особенностей внутриузловое взаимодействия зон (методы теории принятия решений, теории систем и кластерного анализа);

3) необходимо учесть возможность (стратегию) перспективного развития узловых зон и объектов, а также узла в целом с учетом сложноформализуемых факторов (метод анализа иерархий, эволюционная теория, теория активных систем и нечетких множеств).

В исследовании вопроса рационального позиционирования узловых объектов и моделирования взаимодействия видов транспорта важную роль играет сбалансированное развитие узла и решение проблемы обеспечения необходимой инфраструктурой, а также транспортными коммуникациями.

3.2 Формирование динамического массива данных инфраструктурных и транспортно-технологических параметров узла

Исследование компоновочных решений инфраструктуры транспортного узла начинается с формирования массивов исходных данных, к которым относятся границы ТУ, общая площадь территории для размещения при развитии (реконструкции), параметры новой территории в виде правильной (неправильной) геометрической формы, существующие количественные и качественные показатели зон (объектов), класс узла и др. (статистические данные Министерства транспорта РФ, ЮФО, отдельных регионов и городов [3, 6, 10–18]). В общем виде исходные данные представляются в матричных формах вида таблицы 3.1.

Таблица 3.1 – Формирование массива данных размещения зон ТУ

Наименование	Общий вид	Примечание
--------------	-----------	------------

1	2	3
Матрица расстояний перевозок грузов видов транспорта зон	$L_{(жд,авто,водн,город,...)} =$ $= \begin{pmatrix} L_{общ}^1 & L_{общ}^2 & L_{общ}^3 & L_{общ}^4 \dots L_{общ}^n \\ L_{33}^1 & L_{33}^2 & L_{33}^3 & L_{33}^4 \dots L_{33}^n \\ L_{ПЗЗ}^1 & L_{ПЗЗ}^2 & L_{ПЗЗ}^3 & L_{ПЗЗ}^4 \dots L_{ПЗЗ}^n \\ L_{ТСЗ}^1 & L_{ТСЗ}^2 & L_{ТСЗ}^3 & L_{ТСЗ}^4 \dots L_{ТСЗ}^n \\ L_{СЗ}^1 & L_{СЗ}^2 & L_{СЗ}^3 & L_{СЗ}^4 \dots L_{СЗ}^n \end{pmatrix}$	$L_{общ}^n$ – общее расстояние перевозок грузов вида транспорта n -го района ТУ, км; $L_{ПЗЗ}^n$ – расстояния перевозок грузов узловой производств.-заводской зоны узла (ПЗЗ), км; $L_{ТСЗ}^n$ – расстояния перевозок грузов транспортно-складской зоны узла (ТСЗ), км; $L_{СЗ}^n$ – расстояния перевозок грузов селитебной зоны узла (СЗ), км; L_{33}^n – расстояния перевозок грузов защитной зоны узла (ЗЗ), км
Матрица расстояний перевозок пассажиров видов транспорта зон	$L_{A(жд,авто,водн,город,...)} =$ $= \begin{pmatrix} L_{общ\ A}^1 & L_{общ\ A}^2 & L_{общ\ A}^3 & L_{общ\ A}^4 \dots L_{общ\ A}^n \\ L_{33\ A}^1 & L_{33\ A}^2 & L_{33\ A}^3 & L_{33\ A}^4 \dots L_{33\ A}^n \\ L_{ПЗЗ\ A}^1 & L_{ПЗЗ\ A}^2 & L_{ПЗЗ\ A}^3 & L_{ПЗЗ\ A}^4 \dots L_{ПЗЗ\ A}^n \\ L_{ТСЗ\ A}^1 & L_{ТСЗ\ A}^2 & L_{ТСЗ\ A}^3 & L_{ТСЗ\ A}^4 \dots L_{ТСЗ\ A}^n \\ L_{СЗ\ A}^1 & L_{СЗ\ A}^2 & L_{СЗ\ A}^3 & L_{СЗ\ A}^4 \dots L_{СЗ\ A}^n \end{pmatrix}$	$L_{Aобщ}^n$ – общее расстояние перевозок пассажиров вида транспорта n -го района ТУ, км; $L_{ПЗЗ\ A}^n$ – расстояния перевозок пассажиров узловой производств.-заводской зоны узла (ПЗЗ), км; $L_{ТСЗ\ A}^n$ – расстояния перевозок пассажиров транспортно-складской зоны узла (ТСЗ), км; $L_{СЗ\ A}^n$ – расстояния перевозок пассажиров селитебной зоны узла (СЗ), км; $L_{33\ A}^n$ – расстояния перевозок пассажиров защитной зоны узла (ЗЗ), км
Матрица площадей зон	$S = \begin{pmatrix} S_{общ}^1 & S_{общ}^2 & S_{общ}^3 & S_{общ}^4 \dots S_{общ}^n \\ S_{33}^1 & S_{33}^2 & S_{33}^3 & S_{33}^4 \dots S_{33}^n \\ S_{ПЗЗ}^1 & S_{ПЗЗ}^2 & S_{ПЗЗ}^3 & S_{ПЗЗ}^4 \dots S_{ПЗЗ}^n \\ S_{ТСЗ}^1 & S_{ТСЗ}^2 & S_{ТСЗ}^3 & S_{ТСЗ}^4 \dots S_{ТСЗ}^n \\ S_{СЗ}^1 & S_{СЗ}^2 & S_{СЗ}^3 & S_{СЗ}^4 \dots S_{СЗ}^n \end{pmatrix}$	$S_{общ}^n$ – площадь n -го района ТУ, км ² ; $S_{ПЗЗ}^n$ – площадь узловой производств.-заводской зоны узла (ПЗЗ), км ² ; $S_{ТСЗ}^n$ – площадь транспортно-складской зоны узла (ТСЗ), км ² ; $S_{СЗ}^n$ – площадь селитебной зоны узла (СЗ), км ² ; S_{33}^n – площадь защитной зоны узла (ЗЗ), км ²
Матрица стоимостей земли	$C^3 = \begin{pmatrix} C_{общ}^1 & C_{общ}^2 & C_{общ}^3 & C_{общ}^4 \dots C_{общ}^n \\ C_{33}^1 & C_{33}^2 & C_{33}^3 & C_{33}^4 \dots C_{33}^n \\ C_{ПЗЗ}^1 & C_{ПЗЗ}^2 & C_{ПЗЗ}^3 & C_{ПЗЗ}^4 \dots C_{ПЗЗ}^n \\ C_{ТСЗ}^1 & C_{ТСЗ}^2 & C_{ТСЗ}^3 & C_{ТСЗ}^4 \dots C_{ТСЗ}^n \\ C_{СЗ}^1 & C_{СЗ}^2 & C_{СЗ}^3 & C_{СЗ}^4 \dots C_{СЗ}^n \end{pmatrix}$	$C_{общ}^n$ – стоимость 10 ⁴ м ² земли n -го района ТУ, тыс. руб.; $C_{ПЗЗ}^n$ – стоимость 10 ⁴ м ² земли ПЗЗ, тыс. руб.; $C_{ТСЗ}^n$ – стоимость 10 ⁴ м ² земли ТСЗ, тыс. руб.; $C_{СЗ}^n$ – стоимость 10 ⁴ м ² земли СЗ, тыс. руб.; C_{33}^n – стоимость 10 ⁴ м ² земли ЗЗ, тыс. руб.
Матрица объемов перевозок грузов	$Q_{(жд,авто,водн,город,...)} =$ $= \begin{pmatrix} Q_{общ}^1 & Q_{общ}^2 & Q_{общ}^3 & Q_{общ}^4 \dots Q_{общ}^n \\ Q_{33}^1 & Q_{33}^2 & Q_{33}^3 & Q_{33}^4 \dots Q_{33}^n \\ Q_{ПЗЗ}^1 & Q_{ПЗЗ}^2 & Q_{ПЗЗ}^3 & Q_{ПЗЗ}^4 \dots Q_{ПЗЗ}^n \\ Q_{ТСЗ}^1 & Q_{ТСЗ}^2 & Q_{ТСЗ}^3 & Q_{ТСЗ}^4 \dots Q_{ТСЗ}^n \\ Q_{СЗ}^1 & Q_{СЗ}^2 & Q_{СЗ}^3 & Q_{СЗ}^4 \dots Q_{СЗ}^n \end{pmatrix}$	$Q_{общ}^n$ – общий объем перевозок грузов вида транспорта n -го района ТУ, т; $Q_{ПЗЗ}^n$ – общий объем перевозок грузов узловой производств.-заводской зоны узла (ПЗЗ), т; $Q_{ТСЗ}^n$ – общий объем перевозок грузов транспортно-складской зоны узла (ТСЗ), т; $Q_{СЗ}^n$ – общий объем перевозок грузов селитебной зоны узла (СЗ), т; Q_{33}^n – общий объем перевозок грузов защитной зоны узла (ЗЗ), т

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3
---	---	---

Матрица объемов пассажирских перевозок	$A_{(жд,авто,водн,город,...)} = \begin{pmatrix} A_{общ}^1 & A_{общ}^2 & A_{общ}^3 & A_{общ}^4 & \dots & A_{общ}^n \\ A_{ПЗЗ}^1 & A_{ПЗЗ}^2 & A_{ПЗЗ}^3 & A_{ПЗЗ}^4 & \dots & A_{ПЗЗ}^n \\ A_{ТСЗ}^1 & A_{ТСЗ}^2 & A_{ТСЗ}^3 & A_{ТСЗ}^4 & \dots & A_{ТСЗ}^n \\ A_{СЗ}^1 & A_{СЗ}^2 & A_{СЗ}^3 & A_{СЗ}^4 & \dots & A_{СЗ}^n \end{pmatrix}$	$A_{общ}^n$ – общий объем перевозок пассажиров вида транспорта n -го района ТУ, чел.; $A_{ПЗЗ}^n$ – общий объем перевозок пассажиров узловой производств.-заводской зоны узла (ПЗЗ), чел.; $A_{ТСЗ}^n$ – общий объем перевозок пассажиров транспортно-складской зоны узла (ТСЗ), чел.; $A_{СЗ}^n$ – общий объем перевозок пассажиров селитебной зоны узла (СЗ), чел.; $A_{ЗЗ}^n$ – общий объем перевозок пассажиров защитной зоны узла (ЗЗ), чел.
Матрица стоимостей перевозок	$C^п = \begin{pmatrix} C_{общ}^1 & C_{общ}^2 & C_{общ}^3 & C_{общ}^4 & \dots & C_{общ}^n \\ C_{ПЗЗ}^1 & C_{ПЗЗ}^2 & C_{ПЗЗ}^3 & C_{ПЗЗ}^4 & \dots & C_{ПЗЗ}^n \\ C_{ТСЗ}^1 & C_{ТСЗ}^2 & C_{ТСЗ}^3 & C_{ТСЗ}^4 & \dots & C_{ТСЗ}^n \\ C_{СЗ}^1 & C_{СЗ}^2 & C_{СЗ}^3 & C_{СЗ}^4 & \dots & C_{СЗ}^n \end{pmatrix}$	$C_{общ}^n$ – стоимость перевозок т(пасс)-км в n -ом районе ТУ, руб.; $C_{ПЗЗ}^n$ – стоимость перевозок т(пасс)-км в ПЗЗ, руб.; $C_{ТСЗ}^n$ – стоимость перевозок т(пасс)-км в ТСЗ, руб.; $C_{СЗ}^n$ – стоимость перевозок т(пасс)-км в СЗ, руб.; $C_{ЗЗ}^n$ – стоимость перевозок т(пасс)-км в ЗЗ, руб.
Матрица координат ЦТН зон	$X_{(жд,авто,водн,город,...)}^{ЦТН} = \begin{pmatrix} X_{авт}^1 & X_{авт}^2 & X_{авт}^3 & X_{авт}^4 & \dots & X_{авт}^n \\ X_{водн}^1 & X_{водн}^2 & X_{водн}^3 & X_{водн}^4 & \dots & X_{водн}^n \\ X_{авиа}^1 & X_{авиа}^2 & X_{авиа}^3 & X_{авиа}^4 & \dots & X_{авиа}^n \\ X_{жд}^1 & X_{жд}^2 & X_{жд}^3 & X_{жд}^4 & \dots & X_{жд}^n \\ X_{город}^1 & X_{город}^2 & X_{город}^3 & X_{город}^4 & \dots & X_{город}^n \end{pmatrix}$ $Y_{(жд,авто,водн,город,...)}^{ЦТН} = \begin{pmatrix} Y_{авт}^1 & Y_{авт}^2 & Y_{авт}^3 & Y_{авт}^4 & \dots & Y_{авт}^n \\ Y_{водн}^1 & Y_{водн}^2 & Y_{водн}^3 & Y_{водн}^4 & \dots & Y_{водн}^n \\ Y_{авиа}^1 & Y_{авиа}^2 & Y_{авиа}^3 & Y_{авиа}^4 & \dots & Y_{авиа}^n \\ Y_{жд}^1 & Y_{жд}^2 & Y_{жд}^3 & Y_{жд}^4 & \dots & Y_{жд}^n \\ Y_{город}^1 & Y_{город}^2 & Y_{город}^3 & Y_{город}^4 & \dots & Y_{город}^n \end{pmatrix}$	$X_{авт}^n$ – абсциссы ЦТН n -й зоны ТУ автомобильного транспорта, ед.; $X_{водн}^n$ – абсциссы ЦТН n -й зоны ТУ железнодорожного транспорта, ед.; $X_{авиа}^n$ – абсциссы ЦТН n -й зоны ТУ авиационного транспорта, ед.; $X_{жд}^n$ – абсциссы ЦТН n -й зоны ТУ железнодорожного транспорта, ед.; $X_{город}^n$ – абсциссы ЦТН n -й зоны ТУ городского транспорта, ед. $Y_{авт}^n$ – ординаты ЦТН n -й зоны ТУ автомобильного транспорта, ед.; $Y_{водн}^n$ – ординаты ЦТН n -й зоны ТУ железнодорожного транспорта, ед.; $Y_{авиа}^n$ – ординаты ЦТН n -й зоны ТУ авиационного транспорта, ед.; $Y_{жд}^n$ – ординаты ЦТН n -й зоны ТУ железнодорожного транспорта, ед.; $Y_{город}^n$ – ординаты ЦТН n -й зоны ТУ городского транспорта, ед.
Матрицы координат ПЗЗ	$X_{ПЗЗ} = \begin{pmatrix} X_{ПЗЗ\ 1}^1 & X_{ПЗЗ\ 1}^2 & X_{ПЗЗ\ 1}^3 & X_{ПЗЗ\ 1}^4 & \dots & X_{ПЗЗ\ 1}^n \\ X_{ПЗЗ\ 2}^1 & X_{ПЗЗ\ 2}^2 & X_{ПЗЗ\ 2}^3 & X_{ПЗЗ\ 2}^4 & \dots & X_{ПЗЗ\ 2}^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{ПЗЗ\ k}^1 & X_{ПЗЗ\ k}^2 & X_{ПЗЗ\ k}^3 & X_{ПЗЗ\ k}^4 & \dots & X_{ПЗЗ\ k}^n \end{pmatrix}$ $Y_{ПЗЗ} = \begin{pmatrix} Y_{ПЗЗ\ 1}^1 & Y_{ПЗЗ\ 1}^2 & Y_{ПЗЗ\ 1}^3 & Y_{ПЗЗ\ 1}^4 & \dots & Y_{ПЗЗ\ 1}^n \\ Y_{ПЗЗ\ 2}^1 & Y_{ПЗЗ\ 2}^2 & Y_{ПЗЗ\ 2}^3 & Y_{ПЗЗ\ 2}^4 & \dots & Y_{ПЗЗ\ 2}^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{ПЗЗ\ k}^1 & Y_{ПЗЗ\ k}^2 & Y_{ПЗЗ\ k}^3 & Y_{ПЗЗ\ k}^4 & \dots & Y_{ПЗЗ\ k}^n \end{pmatrix}$	$X_{ПЗЗ\ k}^n$ – абсциссы n -й точки k -й ПЗЗ ТУ, ед. $Y_{ПЗЗ\ k}^n$ – ординаты n -й точки k -й ПЗЗ ТУ, ед.

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3
---	---	---

Матрицы координат ТСЗ	$X_{ТСЗ} = \begin{pmatrix} X_{ТСЗ\ 1}^1 & X_{ТСЗ\ 1}^2 & X_{ТСЗ\ 1}^3 & X_{ТСЗ\ 1}^4 & \dots & X_{ТСЗ\ 1}^n \\ X_{ТСЗ\ 2}^1 & X_{ТСЗ\ 2}^2 & X_{ТСЗ\ 2}^3 & X_{ТСЗ\ 2}^4 & \dots & X_{ТСЗ\ 2}^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{ТСЗ\ k}^1 & X_{ТСЗ\ k}^2 & X_{ТСЗ\ k}^3 & X_{ТСЗ\ k}^4 & \dots & X_{ТСЗ\ k}^n \end{pmatrix}$ $Y_{ТСЗ} = \begin{pmatrix} Y_{ТСЗ\ 1}^1 & Y_{ТСЗ\ 1}^2 & Y_{ТСЗ\ 1}^3 & Y_{ТСЗ\ 1}^4 & \dots & Y_{ТСЗ\ 1}^n \\ Y_{ТСЗ\ 2}^1 & Y_{ТСЗ\ 2}^2 & Y_{ТСЗ\ 2}^3 & Y_{ТСЗ\ 2}^4 & \dots & Y_{ТСЗ\ 2}^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{ТСЗ\ k}^1 & Y_{ТСЗ\ k}^2 & Y_{ТСЗ\ k}^3 & Y_{ТСЗ\ k}^4 & \dots & Y_{ТСЗ\ k}^n \end{pmatrix}$	$X_{ТСЗ\ k}^n$ – абсциссы n -й точки k -й ТСЗ ТУ, ед. $Y_{ТСЗ\ k}^n$ – ординаты n -й точки k -й ТСЗ ТУ, ед.
Матрицы координат СЗ	$X_{СЗ} = \begin{pmatrix} X_{СЗ\ 1}^1 & X_{СЗ\ 1}^2 & X_{СЗ\ 1}^3 & X_{СЗ\ 1}^4 & \dots & X_{СЗ\ 1}^n \\ X_{СЗ\ 2}^1 & X_{СЗ\ 2}^2 & X_{СЗ\ 2}^3 & X_{СЗ\ 2}^4 & \dots & X_{СЗ\ 2}^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{СЗ\ k}^1 & X_{СЗ\ k}^2 & X_{СЗ\ k}^3 & X_{СЗ\ k}^4 & \dots & X_{СЗ\ k}^n \end{pmatrix}$ $Y_{СЗ} = \begin{pmatrix} Y_{СЗ\ 1}^1 & Y_{СЗ\ 1}^2 & Y_{СЗ\ 1}^3 & Y_{СЗ\ 1}^4 & \dots & Y_{СЗ\ 1}^n \\ Y_{СЗ\ 2}^1 & Y_{СЗ\ 2}^2 & Y_{СЗ\ 2}^3 & Y_{СЗ\ 2}^4 & \dots & Y_{СЗ\ 2}^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{СЗ\ k}^1 & Y_{СЗ\ k}^2 & Y_{СЗ\ k}^3 & Y_{СЗ\ k}^4 & \dots & Y_{СЗ\ k}^n \end{pmatrix}$	$X_{СЗ\ k}^n$ – абсциссы n -й точки k -й СЗ ТУ, ед. $Y_{СЗ\ k}^n$ – ординаты n -й точки k -й СЗ ТУ, ед.
Матрицы координат ЗЗ	$X_{ЗЗ} = \begin{pmatrix} X_{ЗЗ\ 1}^1 & X_{ЗЗ\ 1}^2 & X_{ЗЗ\ 1}^3 & X_{ЗЗ\ 1}^4 & \dots & X_{ЗЗ\ 1}^n \\ X_{ЗЗ\ 2}^1 & X_{ЗЗ\ 2}^2 & X_{ЗЗ\ 2}^3 & X_{ЗЗ\ 2}^4 & \dots & X_{ЗЗ\ 2}^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{ЗЗ\ k}^1 & X_{ЗЗ\ k}^2 & X_{ЗЗ\ k}^3 & X_{ЗЗ\ k}^4 & \dots & X_{ЗЗ\ k}^n \end{pmatrix}$ $Y_{ЗЗ} = \begin{pmatrix} Y_{ЗЗ\ 1}^1 & Y_{ЗЗ\ 1}^2 & Y_{ЗЗ\ 1}^3 & Y_{ЗЗ\ 1}^4 & \dots & Y_{ЗЗ\ 1}^n \\ Y_{ЗЗ\ 2}^1 & Y_{ЗЗ\ 2}^2 & Y_{ЗЗ\ 2}^3 & Y_{ЗЗ\ 2}^4 & \dots & Y_{ЗЗ\ 2}^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{ЗЗ\ k}^1 & Y_{ЗЗ\ k}^2 & Y_{ЗЗ\ k}^3 & Y_{ЗЗ\ k}^4 & \dots & Y_{ЗЗ\ k}^n \end{pmatrix}$	$X_{ЗЗ\ k}^n$ – абсциссы n -й точки k -й ЗЗ ТУ, ед. $Y_{ЗЗ\ k}^n$ – ординаты n -й точки k -й ЗЗ ТУ, ед.
Матрица координат точек входа-выхода грузо-, пассажиропотока	$X_{\text{вх-вых}}^{\text{(жд,авто,водн,город,...)}} = \begin{pmatrix} X_{\text{авт}}^1 & X_{\text{авт}}^2 & X_{\text{авт}}^3 & X_{\text{авт}}^4 & \dots & X_{\text{авт}}^n \\ X_{\text{водн}}^1 & X_{\text{водн}}^2 & X_{\text{водн}}^3 & X_{\text{водн}}^4 & \dots & X_{\text{водн}}^n \\ X_{\text{авиа}}^1 & X_{\text{авиа}}^2 & X_{\text{авиа}}^3 & X_{\text{авиа}}^4 & \dots & X_{\text{авиа}}^n \\ X_{\text{жд}}^1 & X_{\text{жд}}^2 & X_{\text{жд}}^3 & X_{\text{жд}}^4 & \dots & X_{\text{жд}}^n \\ X_{\text{город}}^1 & X_{\text{город}}^2 & X_{\text{город}}^3 & X_{\text{город}}^4 & \dots & X_{\text{город}}^n \end{pmatrix}$	$X_{\text{авт}}^n$ – абсциссы n -й точки входа-выхода грузо-, пассажиропотока автомобильного транспорта, ед.; $X_{\text{водн}}^n$ – абсциссы n -ой точки входа-выхода грузо-, пассажиропотока железнодорожного транспорта, ед.; $X_{\text{авиа}}^n$ – абсциссы n -й точки входа-выхода грузо-, пассажиропотока авиационного транспорта, ед.; $X_{\text{жд}}^n$ – абсциссы n -й точки входа-выхода грузо-, пассажиропотока железнодорожного транспорта, ед.; $X_{\text{город}}^n$ – абсциссы n -й точки входа-выхода грузо-, пассажиропотока городского транспорта, ед.

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3
---	---	---

	$Y_{\text{вх-вых}}^{\text{(жд,авто,водн,город,...)}} =$ $= \begin{pmatrix} Y_{\text{авт}}^1 & Y_{\text{авт}}^2 & Y_{\text{авт}}^3 & Y_{\text{авт}}^4 & \dots & Y_{\text{авт}}^n \\ Y_{\text{водн}}^1 & Y_{\text{водн}}^2 & Y_{\text{водн}}^3 & Y_{\text{водн}}^4 & \dots & Y_{\text{водн}}^n \\ Y_{\text{авиа}}^1 & Y_{\text{авиа}}^2 & Y_{\text{авиа}}^3 & Y_{\text{авиа}}^4 & \dots & Y_{\text{авиа}}^n \\ Y_{\text{жд}}^1 & Y_{\text{жд}}^2 & Y_{\text{жд}}^3 & Y_{\text{жд}}^4 & \dots & Y_{\text{жд}}^n \\ Y_{\text{город}}^1 & Y_{\text{город}}^2 & Y_{\text{город}}^3 & Y_{\text{город}}^4 & \dots & Y_{\text{город}}^n \end{pmatrix}$	$Y_{\text{авт}}^n$ – ординаты n -й точки входа-выхода грузо-, пассажиропотока автомобильного транспорта, ед.; $X_{\text{водн}}^n$ – ординаты n -й точки входа-выхода грузо-, пассажиропотока железнодорожного транспорта, ед.; $X_{\text{авиа}}^n$ – ординаты n -й точки входа-выхода грузо-, пассажиропотока авиационного транспорта, ед.; $X_{\text{жд}}^n$ – ординаты n -й точки входа-выхода грузо-, пассажиропотока железнодорожного транспорта, ед.; $X_{\text{город}}^n$ – ординаты n -й точки входа-выхода грузо-, пассажиропотока городского транспорта, ед.
--	---	---

Формируется условная координатная сетка транспортного узла (ХОУ) с установленным единичным шагом одной клетки (в км или в расчетных единицах, р.е.) и составляется условная координатная матрица объектов узла. Примеры условных координатных матриц представлены на рисунке 3.1 (II–III).

Определяются координаты точек входа-выхода грузо- и пассажиропотоков, центров тяжести зон по районам и видам транспорта. Формируются таблицы с данными расстояний между точками входа-выхода грузо- и пассажиропотоков и центрами тяжести узловых зон (районов).

Следующий этап – определение параметров развиваемых (реконструируемых) объектов (зон) ТУ (размеры, площадь, геометрическая форма, виды транспорта, объемы и стоимости перевозок на единицу расстояния, «вес» объекта, координаты «центра тяжести» объекта), планируемых к размещению (перестановке) на развиваемой (реконструируемой) территории транспортного узла.

Для характеристики отдельных промышленных районов транспортного узла используются показатели работы крупных предприятий, расположенных в пределах района, параметры отдельных зон, обозначенных в соответствии с пунктом 1.4 настоящего диссертационного исследования.

Общее формирование массива данных инфраструктурных и транспортно-технологических параметров зон (объектов) на примере ТУ «Р» представлено на рисунке 3.1.

Матрицы площадей, стоимостей земли и стоимостей перевозок

$$S = \begin{pmatrix} 69,3 & 117,7 & 114,7 & 46,3 \\ 2,04 & 6,35 & 2,82 & 9,86 \\ 8,02 & 0 & 12,06 & 1,92 \\ 1,6 & 0 & 2,41 & 0,38 \\ 48,9 & 94,6 & 82,8 & 30,73 \end{pmatrix} \quad C_3 = \begin{pmatrix} 395,01 & 602,62 & 822,4 & 507,91 \\ 11,63 & 32,51 & 20,22 & 108,16 \\ 45,71 & 0 & 86,47 & 21,01 \\ 9,12 & 0 & 17,28 & 4,17 \\ 278,73 & 484,35 & 593,68 & 337,12 \end{pmatrix}$$

$$C_{\Pi} = \begin{pmatrix} 290 & 258 & 326 & 326 \\ 135 & 101 & 169 & 169 \\ 177 & 0 & 326 & 326 \\ 76 & 0 & 157 & 157 \\ 135 & 101 & 169 & 169 \end{pmatrix}$$

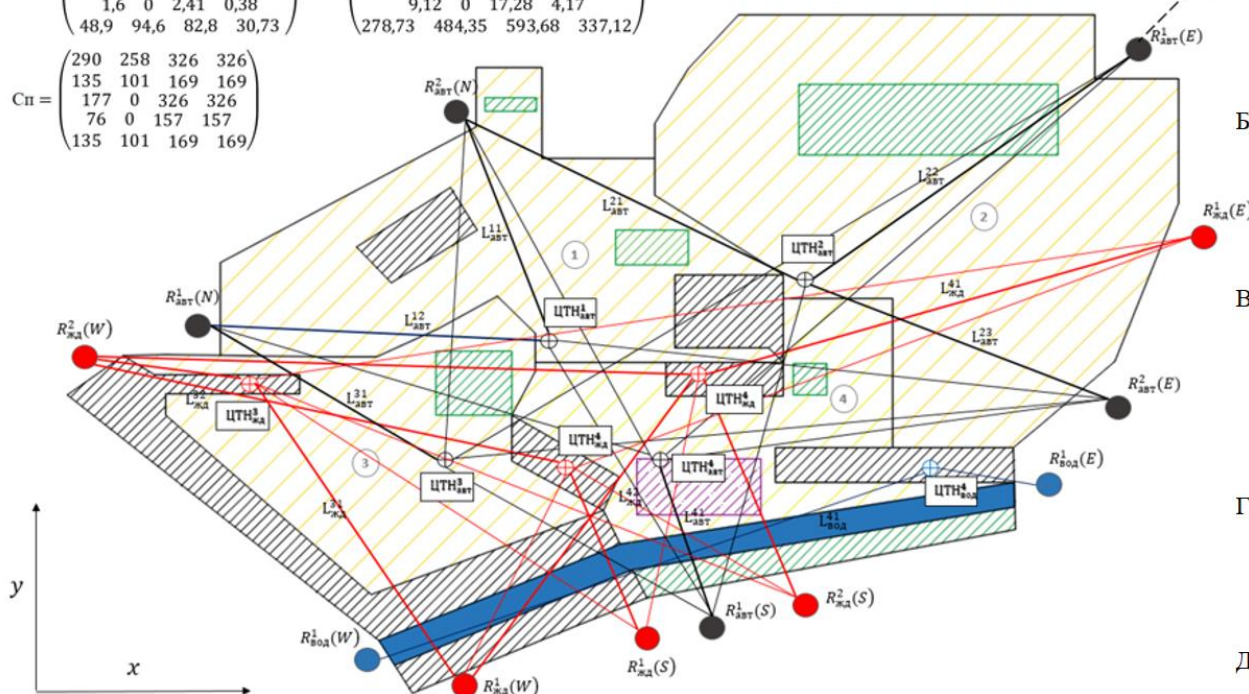


Схема компоновки транспортного узла с точками входа-выхода узловых грузо- и пассажиропотоков с укрупненной сетью путей сообщений по видам транспорта

Координатная матрица варианта компоновки с координатами точек входа-выхода грузо-, пассажиропотока и координатами центров транспортных нагрузок (ЦТН) зон

точки	$R^1_{авт}(N)$	$R^2_{авт}(N)$	$R^1_{авт}(E)$	$R^2_{авт}(E)$	$R^1_{авт}(S)$	$R^1_{жд}(W)$	$R^2_{жд}(W)$	$R^1_{жд}(E)$	$R^1_{жд}(S)$	$R^2_{жд}(S)$
X	37,4	103,9	281,2	275,9	170,9	106,6	7,7	298,1	153,4	194,9
Y	98,4	154,4	170,3	77,4	20,1	5,2	90,6	121,4	17,4	25,7
точки	$R^1_{водн}(W)$	$R^1_{водн}(E)$	$ЦТН^1_{авт}$	$ЦТН^2_{авт}$	$ЦТН^3_{авт}$	$ЦТН^4_{авт}$	$ЦТН^3_{жд}$	$ЦТН^{41}_{жд}$	$ЦТН^{42}_{жд}$	$ЦТН^4_{водн}$
X	81,3	258,1	127,9	194,7	101,0	157,2	51,0	132,6	166,9	227,1
Y	12,2	57,1	94,6	110,1	63,2	63,4	84,8	61,7	85,6	61,4

Матрицы манхэттенских расстояний графа транспортной сети узла «Р»:

А) автомобильный транспорт (точки входа – центры районов)

	$ЦТН^1_{авт}$	$ЦТН^2_{авт}$	$ЦТН^3_{авт}$	$ЦТН^4_{авт}$
$R^1_{авт}(N)$	8,9	18,4	7,3	12,3
$R^2_{авт}(N)$	10,1	16,7	16,3	12,9
$R^1_{авт}(E)$	14,3	7,3	19,9	13,4
$R^2_{авт}(E)$	15,4	7,5	20,2	12,5
$R^1_{авт}(S)$	7,1	10,8	12,4	3,4

Б) автомобильный транспорт (центры районов – центры районов)

	$ЦТН^1_{авт}$	$ЦТН^2_{авт}$	$ЦТН^3_{авт}$	$ЦТН^4_{авт}$
$ЦТН^1_{авт}$	-	9,3	6,3	4,3
$ЦТН^2_{авт}$	9,3	-	14,6	9,8
$ЦТН^3_{авт}$	6,3	14,6	-	8,3
$ЦТН^4_{авт}$	4,3	9,8	8,3	-

В) железнодорожный транспорт (точки входа – центры районов)

	$ЦТН^3_{жд}$	$ЦТН^{41}_{жд}$	$ЦТН^{42}_{жд}$
$R^1_{жд}(W)$	15,8	26,6	30,4
$R^2_{жд}(W)$	7,3	18,5	22,1
$R^1_{жд}(E)$	22,8	17,6	8,1
$R^1_{жд}(S)$	13,7	2,2	11,8
$R^2_{жд}(S)$	25,7	20,4	11,1

Г) железнодорожный транспорт (центры районов – центры районов)

	$ЦТН^3_{жд}$	$ЦТН^{41}_{жд}$	$ЦТН^{42}_{жд}$
$ЦТН^3_{жд}$	-	11,0	14,7
$ЦТН^{41}_{жд}$	11,0	-	9,3
$ЦТН^{42}_{жд}$	14,7	9,3	-

Д) водный транспорт

$$R^1_{водн}(W) \leftrightarrow ЦТН^4_{водн} = 11,7 \text{ км,}$$

$$R^1_{водн}(E) \leftrightarrow ЦТН^4_{водн} = 9,1 \text{ км,}$$

$$R^1_{водн}(W) \leftrightarrow R^1_{водн}(E) = 20,9 \text{ км}$$

Рисунок 3.1 – Формирование массива данных инфраструктурных и транспортно-технологических параметров зон транспортного узла (на примере узла «Р»)

На рисунке показано:

Ⓘ – матрицы площадей, стоимостей земли и стоимостей перевозок, а также схема компоновки транспортного узла: точки входа-выхода узловых грузо- и пассажиропотоков с укрупненной сетью путей сообщений по видам транспорта. Полученная транспортная сеть узла представляет из себя разновидность плоского графа, «вес» дуг которого – это расстояния перевозок в км, определенные по методу манхэттенских расстояний;

Ⓜ – матрицы манхэттенских расстояний графа транспортной сети узла «Р», км: А) – автомобильный транспорт (точки входа – центры районов); Б) – автотранспорт (центры районов – центры районов); В) – железнодорожный транспорт (точки входа – центры районов); Г) – железнодорожный транспорт (центры районов – центры районов); Д) – водный транспорт;

Ⓢ – координатная матрица варианта компоновки узловых объектов с координатами точек входа-выхода грузо-, пассажиропотока, укрупненной сетью путей сообщений по видам транспорта, вносятся и координатами центров транспортных нагрузок (ЦТН) зон.

Территория узла разделена на районы: Ⓛ – район «Север», Ⓜ – район «Восток», Ⓝ – район «Запад», Ⓞ – район «Центр». Области, заштрихованные черными линиями, представляют собой промышленные зоны, а заштрихованные зелеными линиями – рекреационные зоны. Для каждого района определены и показаны центры транспортных нагрузок (ЦТН), найденные по методу центра тяжести. Кружками показаны: $R_{авт}^i(N)$, $R_{авт}^i(S)$, $R_{авт}^i(E)$ – точки входа-выхода узловых грузо- и пассажиропотоков автомобильного транспорта; $R_{жд}^i(W)$, $R_{жд}^i(S)$, $R_{жд}^i(E)$ – точки входа-выхода узловых грузо- и пассажиропотоков железнодорожного транспорта; $R_{вод}^i(W)$, $R_{вод}^i(E)$ – точки входа-выхода узловых грузо- и пассажиропотоков водного транспорта (N, S, W, E – стороны света).

Структурирование компоновки зон (районов) ТУ в соответствии с блочно-модульным принципом проектирования имеет вид:

а) в традиционной постановке задачи:

$(PЗ) \cup (СЗ) \cup (ЗЗ) \cup (ТСЗ) \cup (ПЗЗ) \cup (ЗЗ) \cup (ТСЗ) \cup (ЗЗ) \cup (СЗ) \cup (ТСЗ) \cup (PЗ) \cup \dots;$

б) в нечеткой формулировке задачи:

$$\begin{aligned} \mu(P3) \Leftrightarrow \mu(C3) \Leftrightarrow \mu(33) \Leftrightarrow \mu(ТC3) \Leftrightarrow \mu(П33) \Leftrightarrow \mu(33) \Leftrightarrow \mu(ТC3) \Leftrightarrow \mu(33) \Leftrightarrow \mu(C3) \\ \Leftrightarrow \mu(ТC3) \Leftrightarrow \mu(P3) \Leftrightarrow \dots \end{aligned}$$

При выборе вариантов компоновочных решений объектов узла также необходимо учитывать и так называемую постоянную (неизменяемую) зону в больших и крупнейших узлах, внутри которой находятся важные административные, культурные, исторические объекты, – зону административного центра транспортного узла (ЗАЦ)

$$(ЗАЦ) \cup \{L_{ЗАЦ}, B_{ЗАЦ}, S_{ЗАЦ}, Q_{ЗАЦ}, A_{ЗАЦ}, C_{ЗАЦ}, (X_{ЗАЦ}, Y_{ЗАЦ}), \dots \}.$$

3.3 Формирование генетического компоновочного алгоритма (ГКА ТУ) и программного комплекса метода размещения инфраструктурных объектов транспортного узла в условиях нечеткой постановки задачи

В диссертации разработан новый метод поиска компоновочных решений инфраструктурных объектов транспортного узла, основанный на авторской модификации традиционного генетического алгоритма (ГА) в генетический компоновочный алгоритм транспортного узла (ГКА ТУ), учитывающий случайный выбор, нечеткие множества параметров зон, комбинаторику и вариацию массивов больших данных с использованием аналогий естественного отбора в природе.

Этот метод относится к семейству эволюционных вычислений, где оптимизационные задачи решаются через использование принципов естественной эволюции, таких как наследование, мутации, отбор и кроссинговер («скрещивание») [162, 163].

Модификация положений ГА для разрабатываемого ГКА ТУ:

1 «Популяция» – множество объектов транспортных зон с параметрами, соответствующими условиям проектирования и «размножения».

2 «Размножение» – процесс получения новой транспортной зоны («потомка») на основе наследуемых параметров исходных двух зон («родитель1»,

«родитель2», «потомок1,2») по попарном комбинировании (сравнении) параметров по варианту модификации.

3 «Мутация» – особый случай «размножения», связанный с принципиальной модификацией параметров зоны и перехода в новое качество в соответствии с заранее определенными критериями (стратегиями развития ТУ).

4 «Отбор» – выбор из «популяции» тех зон, которые соответствуют установленным критериям рациональности проектирования.

5 «Хромосома размещения» зон – (ХРЗ) представляет собой связанный список пар координат центров тяжести транспортных зон, участвующих в размещении. Каждая координата описывается вещественным числом.

5.1 «Хромосома модификации» зон – (ХМЗ) представляет собой связанный список параметров транспортных зон, участвующих в модификации, описываемых натуральными числами.

6 «Оператор мутации» – это вероятностное изменение случайной позиции «хромосомы» – пар координат центров тяжести транспортных зон (ОМК) или вероятностная модификация параметров «хромосомы» – пар параметров транспортных зон, из которых образуется одна (две) новая (ые) (ОМП).

7 «Оператор рекомбинации» – вариант кроссинговера.

8 «Завершение эволюции» (перестановок/модификаций) – достижение нулевого перекрытия площадей зон, минимум суммы расстояний транспортных коммуникаций, минимум суммарных транспортных расходов.

В ГКА ТУ для решения задачи размещения используются эволюционные стратегии:

А) стратегия «только мутация» с пропорциональным оператором селекции;

Б) стратегия с рекомбинацией (τ , k). Такой оператор рекомбинации предполагает τ -«родителей» зон и k -«потомков» зон. Параметры τ и k устанавливает пользователь. Ограничения на параметры имеют следующий вид: $\tau = 1, \dots, l_x - 1$; $k = 1, \dots, \tau$, где l_x – длина «хромосомы» (количество зон размещения).

При размещении согласно ГКА ТУ «хромосома» зоны кодируется списком пар {«номер гена», «значение гена»}, «номер гена» – это номер размещаемого транспортного объекта, а «значение гена» – пара координат центра тяжести размещаемой зоны. «Номер гена» – это целое число, а координаты – два вещественных числа.

Следует отметить, что при данном подходе в решении задачи размещения объектов транспортного узла необходимо формирование и эффективное использование больших массивов данных, для обработки которых использованы библиотеки языка программирования *Python*.

Экспериментально исследуются следующие сочетания зон «родителей» и зон «потомков» согласно разработанному алгоритму «размножения»: выбираются пары «родителей» («родитель1» – P1 и «родитель2» – P2) – пары зон ТУ, у которых за счет объединения будет по одному «потомку» («П(1,2)») – новой зоне ТУ с параметрами преобладания данных P1 или P2 согласно стратегии развития (рисунок 3.2).

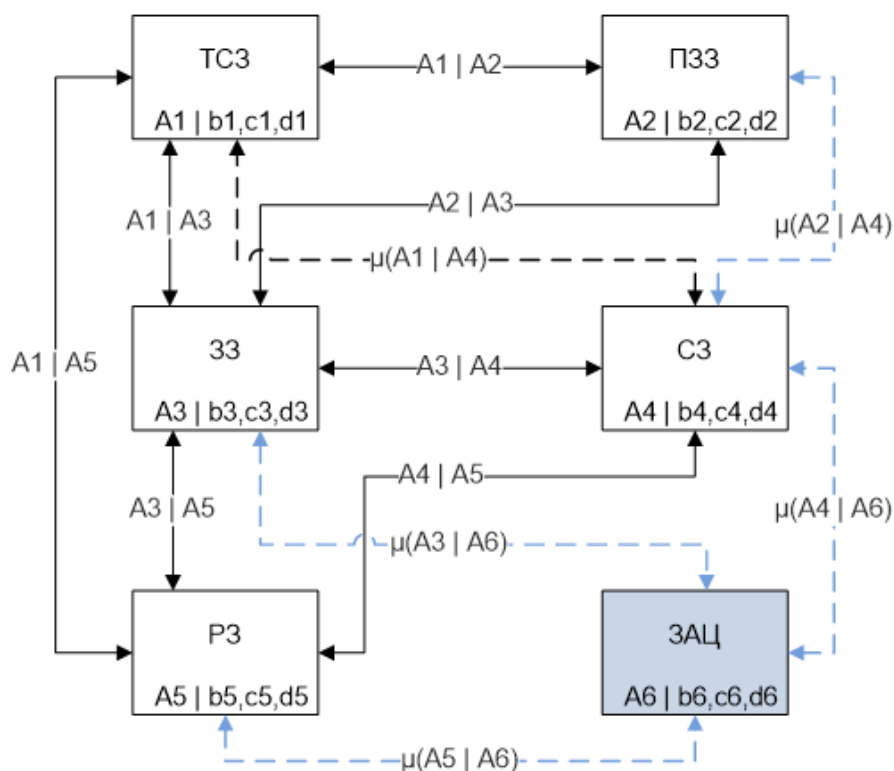


Рисунок 3.2 – Алгоритм «размножения» – объединения/перемещения зон в ГКА ТУ

Например, согласно рисунку 3.2 получены варианты – (1, 2), (1, 3), (2, 3), (3, 5), (3, 4), (4, 5), (1, 5), возможные «мутации» (модификации), согласно – $\mu(1, 4)$, $\mu(3, 6)$, $\mu(5, 6)$, $\mu(4, 6)$, $\mu(2, 4)$.

Определяются варианты стратегии развития ТУ, согласно которым у зон «потомков» рассчитывается «шанс на выживание» (значение показателей, эффективность транспортной работы, степень принадлежности элементов зоны к кластеру узла и др.) на основе коэффициента дивергенции (CD).

На втором этапе решается задача объединения, модификации или ликвидации зон узловых объектов при реконструкции (развитии) ТУ. Для этого используется модифицированный алгоритм «размножения» ГКА ТУ: выбираются пары «родителей» («родитель1» – $P1$ и «родитель2» – $P2$) – пары зон ТУ, у которых за счет объединения будет по одному «потомку» «П(1,2)» – новой зоне ТУ с параметрами преобладания данных $P1$ или $P2$. Для этого используется «кроссинговер» вида « | ». При модификации объектов узла согласно ГКА ТУ «хромосома» кодируется списком $(a_i, b_i, c_i, d_i, e_i, f_i)$ – набором шести укрупненных параметров i -й транспортной зоны, определенным в безразмерных величинах. Например, на рисунке 3.3 показан общий вид вариантов выбора параметров для зон и их «потомка» – новой зоны « $X.-P1 \wedge X.-P2 \rightarrow X.-П(1,2)$ ».

$$\left(\begin{array}{l} X.-P1: a1 | b1, c1, d1, e1, f1 \quad X.-P2: a2 | b2, c2, d2, e2, f2 \quad X.-П(1,2): a1, b2, c2, d2, e2, f2 \text{ or } a2, b1, c1, d1, e1, f1; \\ X.-P1: a1, b1 | c1, d1, e1, f1 \quad X.-P2: a2, b2 | c2, d2, e2, f2 \quad X.-П(1,2): a1, b1, c2, d2, e2, f2 \text{ or } a2, b2, c1, d1, e1, f1; \\ X.-P1: a1, b1, c1 | d1, e1, f1 \quad X.-P2: a2, b2, c2 | d2, e2, f2 \quad X.-П(1,2): a1, b1, c1, d2, e2, f2 \text{ or } a2, b2, c2, d1, e1, f1; \\ X.-P1: a1, b1, c1, d1 | e1, f1 \quad X.-P2: a2, b2, c2, d2 | e2, f2 \quad X.-П(1,2): a1, b1, c1, d1, e2, f2 \text{ or } a2, b2, c2, d2, e1, f1; \\ X.-P1: a1, b1, c1, d1, e1 | f1 \quad X.-P2: a2, b2, c2, d2, e2 | f2 \quad X.-П(1,2): a1, b1, c1, d1, e1, f2 \text{ or } a2, b2, c2, d2, e2, f1; \end{array} \right)$$

Рисунок 3.3 – Варианты выбора параметров для $X.-P1 \wedge X.-P2 \rightarrow X.-П(1,2)$

Последовательность алгоритма кроссинговера для зон ТУ приведена на рисунке 3.4.

Выбор рациональных параметров зон транспортных узлов проведен согласно методике решения множества линейных диофантовых уравнений (ЛДУ) применительно к показателям зон ТУ (рассмотрен в п. 3.3.1).

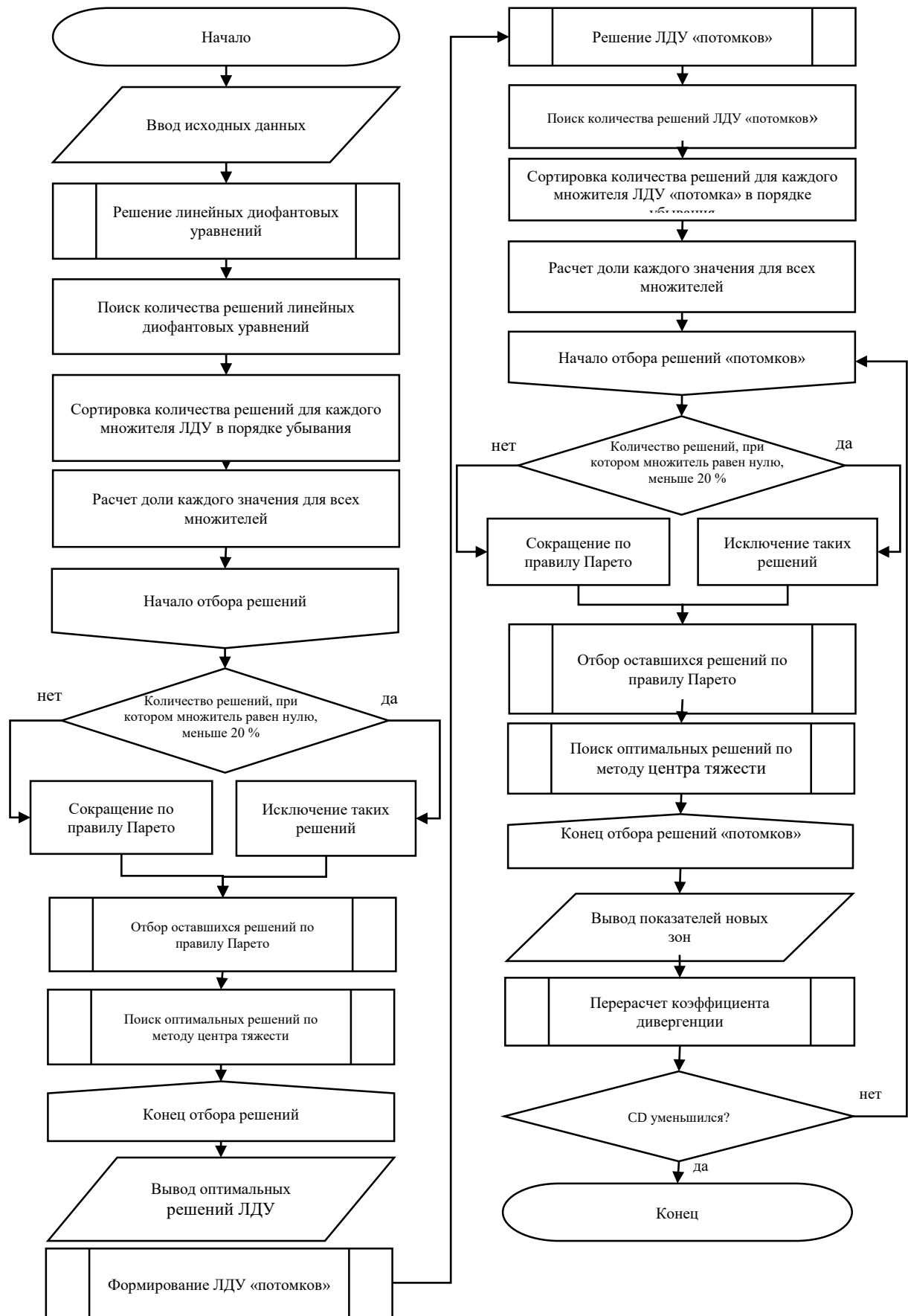


Рисунок 3.4 – Алгоритм кроссинговера параметров зон транспортного узла в ГКА ТУ

Далее определяются варианты стратегии развития зон ТУ на основе коэффициента дивергенции $CD = \frac{1}{p} \left\{ \sum_{k=1}^p \left(\frac{x_{ki} - x_{kj}}{x_{ki} + x_{kj}} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \rightarrow \min$ и показателей ТУ, выраженных в безразмерной форме, одним из которых является класс узла $R_{ТУ} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K (K_{\text{опт } i} \cdot 1/p)$, где K – количество критериев, $K_{\text{опт } i}$ – оптимальное стратегическое решение по i -му критерию, p – значение приоритета $p \in (1; N)$ для N – количества вариантов развития узла (определены в главе 2, см. таблицу 2.5).

Цикл действий алгоритма повторяется итеративно для имитации «эволюционного процесса» через несколько жизненных циклов («поколений»), пока не будет выполнен один из критериев остановки алгоритма – достижение желаемых параметров компоновки узла: обнаружение глобального или субоптимального решения; завершение заданного числа «поколений» для «эволюции»; истечение отведенного времени для «эволюции» (глубины прогноза).

3.3.1 Применение линейного диофантова уравнения (ЛДУ) в выборе параметров зон транспортных узлов

Для оценки «выживаемости» (степени эффективности) новых и размещенных зон ТУ использованы множества линейных диофантовых уравнений (ЛДУ) [8], количество которых равняется количеству зон узла. Количество переменных ЛДУ равно количеству принятых показателей. Общий вид уравнения:

$$T \cdot a_i + L \cdot b_i + B \cdot c_i + S \cdot d_i + A \cdot e_i + P \cdot f_i = R_{ТУ i},$$

где T – безразмерный показатель, характеризующий количество видов транспорта зоны; L – показатель длины зоны; B – показатель ширины зоны; S – показатель площади зоны; A – показатель населенности зоны; P – специальный градостроительный показатель зоны (расчет рассмотрен в главе 2, п. 2.4)

При решении ЛДУ значения результатов с большими отклонениями от имеющихся параметров зоны, будут исключаться, так как имеют меньший

коэффициент «выживаемости». Такие зоны предлагается реорганизовать и переводить в разряд селитебных, рекреационных или защитных зон («мутация»).

Алгоритм ГКА ТУ подразумевает формирование и использование массивов данных ЛДУ в несколько этапов [164].

1-й этап. Решение ЛДУ.

Используется явная формула решения диофантова уравнения с двумя переменными:

$$\begin{cases} x_k = ca^{\varphi(b)-1} + bk, \\ y_k = c \frac{1 - a^{\varphi(b)}}{b} - ak, \end{cases} \quad k \in R,$$

где $\varphi(b)$ – функция Эйлера

Исходное диофантово уравнение $a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_nx_n = b$ делится таким образом $Ay_n + Bx_n = b$, где $A = GCD(a_1, a_2, \dots, a_{n-1})$, $B = a_n$, GCD – НОД чисел. Решая это уравнение, получаем, что y_n равен какому-то числу, и это число является правой частью выражения $\frac{a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_{n-1}x_{n-1}}{GCD(a_1, a_2, \dots, a_{n-1})} = y_n$. Решив это новое уравнение, получим y_{n-1} . В итоге выводится цепочка частных решений исходного ЛДУ.

2-й этап. Поиск количества решений ЛДУ.

Варианты решений ЛДУ, при которых параметры у коэффициентов принимают значения от 0 до $R_{ТУ i}$, сводятся в табличную форму (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Количество решений ЛДУ при размещении зоны ТУ

Значение	$a(i)$	$b(i)$	$c(i)$	$d(i)$	$e(i)$	$f(i)$
0	N_a^0	N_b^0	N_c^0	N_d^0	N_d^0	N_f^0
1	N_a^1	N_b^1	N_c^1	N_d^1	N_d^1	N_f^1
...	...	...	...	...	...	...
$R_{ТУ i-n}$	$N_a^{R_{ТУ i-n}}$	$N_b^{R_{ТУ i-n}}$	$N_c^{R_{ТУ i-n}}$	$N_d^{R_{ТУ i-n}}$	$N_d^{R_{ТУ i-n}}$	$N_f^{R_{ТУ i-n}}$
$R_{ТУ i}$	$N_a^{R_{ТУ i}}$	$N_b^{R_{ТУ i}}$	$N_c^{R_{ТУ i}}$	$N_d^{R_{ТУ i}}$	$N_d^{R_{ТУ i}}$	$N_f^{R_{ТУ i}}$

3-й этап. Отбор рациональных решений на основе комплексной оценки в последовательности: правило Парето → минимизация нулевых решений → метод центров тяжести.

Для оценки массива данных значений ЛДУ зон строятся диаграммы Парето (Приложение 3, рисунки ПЗ.1–ПЗ.4). Дальнейшими исследованиями предусматривается оценка совместного влияния параметров зон для выбора вариантов компоновочных решений.

Формирование и использование массивов данных при разработке методики размещения объектов транспортного узла выполняется в табличном процессоре *MS Excel* по правилу «20/80». Затем на основе модифицированных результатов, производится расчет рационального решения по методу центра тяжести

$$X = \frac{\sum_0^n a_i \cdot b_i}{\sum b_i}.$$

Таким образом, анализируя массив параметров зоны, получаем для $a(i)$, $b(i)$, $c(i)$, $d(i)$, $f(i)$ и $e(i)$ средневзвешенные значения и округляем их в большую сторону. Полученные значения подставляются в ЛДУ зоны, а результат сравнивается с первоначальным значением.

Для сортировки решений ЛДУ зон ТУ разработана авторская программная оболочка в среде *Python* (листинг приведен в Приложении 4, получено свидетельство о регистрации программы ОП ГКА v. 1.0 № 2025663676 от 29.05.2025 [165]). Определяются коэффициенты «выживаемости» (эффективности) зон-«потомков» на основе результатов решений ЛДУ и отклонений значений от исходных. Результаты с максимальными отклонениями результатов отбрасываются, и выполняется следующий цикл формирования массивов данных для новой зоны (зон).

4-й этап. Выполнение операций с «потомками» зон согласно этапам (1–3) алгоритма ГКА ТУ.

Например, для узла «Р» вариант решения ЛДУ с меньшим отклонением имеет наибольшую вероятность выбора, и набор параметров («хромосом») исходной транспортной зоны «С-П» (P1) является более предпочтительным, чем у «Р-Т» (P2). Новая транспортная зона «потомок» содержит информацию о

параметрах зон-«родителей». Расположение разделительной линии («кроссинговера») может определяться стратегией переустройства транспортного узла и будущего преобладания желаемых параметров (набора «генов» в «хромосомах»).

Составляются уравнения для «потомков» – новых зон вида:

$$X_i^1 \cdot T(i) + X_i^2 \cdot L(i) + X_i^3 \cdot B(i) + X_i^4 \cdot S(i) + X_i^5 \cdot A(i) + X_i^6 \cdot P(i) = R_{\text{ТУ } i},$$

с которыми выполняются те же операции. Со значениями T, L, B, S, A, P , которые в результате подстановки в уравнение дают меньшую разницу с $R_{\text{ТУ } i}$, выполняется сортировка, и определяются итоговые значения $T^*, L^*, B^*, S^*, A^*, P^*$.

5-й этап. Возвращение к расчету показателей. Перерасчет коэффициента дивергенции.

Рассмотрим пример решения ЛДУ в математическом калькуляторе *Python* по вариантам перемещения (объединения) зон «С-П» и «Р-Т», «Р-Г» и «Р-З» на примере транспортного узла «Р»:

1) зоны «С-П» и «Р-Т»: для промзоны «С-П» получен 8701 вариант решений уравнения $1 \cdot a(i) + 6 \cdot b(i) + 4 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 1 \cdot e(i) + 8 \cdot f(i) = 58$; для промзоны «Р-Т» получен 4931 вариант решений уравнения $2 \cdot a(i) + 12 \cdot b(i) + 4 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 2 \cdot e(i) + 4 \cdot f(i) = 58$, где 58 – рассчитанный класс узла;

2) зоны «Р-З» и «Р-Г»: для промзоны «Р-З» получено 5252 варианта решения уравнения $1 \cdot a(i) + 4 \cdot b(i) + 1 \cdot c(i) + 25 \cdot d(i) + 10 \cdot e(i) + 5 \cdot f(i) = 58$, для промзоны «Р-Г» получено 7783 варианта решения уравнения $1 \cdot a(i) + 9 \cdot b(i) + 2 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 2 \cdot e(i) + 6 \cdot f(i) = 58$.

Количество вариантов решений, при которых значения параметров у коэффициентов ЛДУ зон принимают значения «0», «1», «2» и т. д. до «58», сведены в таблицы 3.3–3.6.

Значение	<i>a(i)</i>	<i>b(i)</i>	<i>c(i)</i>	<i>d(i)</i>	<i>e(i)</i>	<i>f(i)</i>	Значение	<i>a(i)</i>	<i>b(i)</i>	<i>c(i)</i>	<i>d(i)</i>	<i>e(i)</i>	<i>f(i)</i>
0	603	3070	2163	4584	603	3874	21–22	141	0	0	0	141	0
1	540	2138	1711	2415	540	2356	23–24	119	0	0	0	119	0
2	540	1435	1334	1124	540	1334	25–26	101	0	0	0	101	0
3	480	921	1022	435	480	686	27–28	84	0	0	0	84	0
4	480	559	769	124	480	308	29–30	70	0	0	0	70	0
5	427	315	565	19	427	112	31–32	57	0	0	0	57	0
6	427	161	405	0	427	28	33–34	47	0	0	0	47	0
7	377	71	281	0	377	3	35–36	37	0	0	0	37	0
8	377	25	188	0	377	0	37–38	30	0	0	0	30	0
9	333	6	120	0	333	0	39–40	23	0	0	0	23	0
10	333	0	72	0	333	0	41–42	18	0	0	0	18	0
11	291	0	40	0	291	0	43–44	13	0	0	0	13	0
12	291	0	20	0	291	0	45–46	10	0	0	0	10	0
13	255	0	8	0	255	0	47–48	7	0	0	0	7	0
14	255	0	3	0	255	0	49–50	5	0	0	0	5	0
15–16	221	0	0	0	221	0	51–52	3	0	0	0	3	0
17–18	192	0	0	0	192	0	53–54	2	0	0	0	2	0
19–20	164	0	0	0	164	0	55–58	1	0	0	0	1	0

Таблица 3.4 – Ведомость решений ЛДУ при размещении зоны «Р-Т»

Значение	<i>a(i)</i>	<i>b(i)</i>	<i>c(i)</i>	<i>d(i)</i>	<i>e(i)</i>	<i>f(i)</i>	Значение	<i>a(i)</i>	<i>b(i)</i>	<i>c(i)</i>	<i>d(i)</i>	<i>e(i)</i>	<i>f(i)</i>
0	627	2907	1201	2550	627	1201	16	60	0	0	0	60	0
1	574	1344	956	1375	574	956	17	53	0	0	0	53	0
2	500	515	750	650	500	750	18	39	0	0	0	39	0
3	456	144	579	264	456	579	19	34	0	0	0	34	0
4	393	21	439	78	393	439	20	24	0	0	0	24	0
5	357	0	326	14	357	326	21	21	0	0	0	21	0
6	304	0	236	0	304	236	22	14	0	0	0	14	0
7	275	0	166	0	275	166	23	12	0	0	0	12	0
8	231	0	113	0	231	113	24	7	0	0	0	7	0
9	208	0	73	0	208	73	25	6	0	0	0	6	0
10	172	0	45	0	172	45	26	3	0	0	0	3	0
11	154	0	26	0	154	26	27	3	0	0	0	3	0
12	125	0	13	0	125	13	28	1	0	0	0	1	0
13	111	0	6	0	111	6	29	1	0	0	0	1	0
14	88	0	2	0	88	2	30–58	0	0	0	0	0	0
15	78	0	0	0	78	0							

Таблица 3.5 – Фрагмент ведомости решений ЛДУ при размещении зоны «Р-3»

[illegible]

Таблица 3.6 – Фрагмент ведомости решений ЛДУ при размещении зоны «Р-Г»

Значение	$a(i)$	$b(i)$	$c(i)$	$d(i)$	$e(i)$	$f(i)$	Значение	$a(i)$	$b(i)$	$c(i)$	$d(i)$	$e(i)$	$f(i)$
0	651	1020	2317	2535	1020	1020	26	119	5	0	0	5	0
1	369	910	2059	2160	910	1910	27	47	3	0	0	3	0
2	585	810	1141	1008	810	1283	28	15	2	0	0	2	0
3	325	718	469	392	718	825	29	38	1	0	0	1	0
4	524	634	192	113	634	502	30	84	0	0	0	0	0
5	286	558	42	18	558	283	31	30	0	0	0	0	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

А. Оценка результатов параметров при решении ЛДУ для варианта размещения основных зон

Для оценки массива данных значений ЛДУ основных зон построены диаграммы Парето (см. Приложение 3, рисунки ПЗ.1–ПЗ.4), из которых следует, что маловажными являются, например, для зоны «С-П» значения параметров $d(i)$ (4584 значений «0») и $b(i)$ (3070 значений «0»), а оказывающими влияние на компоновку – значения $a(i)$, $c(i)$, $e(i)$ и $f(i)$. Дальнейшими исследованиями предусматривается оценка совместного влияния параметров зон для выбора вариантов компоновочных решений.

Следующий шаг – формирование и использование массивов данных при разработке методики оценки новых параметров размещения объектов транспортного узла (выполнено в табличном процессоре *MS Excel* по правилу «20/80»). В качестве примера на рисунке 3.5 синим цветом выделено такое количество решений (ячейка), при котором накопленная сумма эффективных решений будет равна 80 %; красным цветом выделяется ячейка с неважными значениями «0», количество которых не влияет на качество решений (иногда данная процедура возможна частично, т. е. используется доля количества неважных значений «0» согласно условиям проектирования). Таким образом, существенно сокращается количество решений для параметров зон «С-П»: $a(i) \in [1, 23]$, $b(i) \in [0, 3]$, при этом количество решений со значением «3» уменьшается на 601 ед., $f(i) \in [0, 6]$, при этом количество значений «0» сокращается на 1734 ед., и «Р-Т»: $a(i) \in [1, 14]$, $b(i) \in [0, 1]$, $f(i) \in [0, 14]$, при этом количество значений «0» сокращается на 984 ед.

	Ростов-Товарный																	
	a(i)	%	накоп- ние%	b(i)	%	накоп- ние%	c(i)	%	накоп- ние%	d(i)	%	накоп- ние%	e(i)	%	накоп- ние%	d(i)	%	накоп- ние%
0	627	12,7	12,7	2907	59,0	59,0	1201	24,4	24,4	2550	51,7	51,7	627	12,7	12,7	217	4,4	4,4
1	574	11,6	11,6	1040	21,1	80,0	956	19,4	43,7	1375	27,9	79,6	574	11,6	11,6	956	19,4	23,8
2	500	10,1	21,8	515	10,4		750	15,2	59,0	20	0,4	80,0	500	10,1	21,8	750	15,2	39,0
3	456	9,2	31,0	144	2,9		579	11,7	70,7	264	5,4		456	9,2	31,0	579	11,7	50,7
4	393	8,0	39,0	21	0,4		439	8,9	79,6	78	1,6		393	8,0	39,0	439	8,9	59,6
5	357	7,2	46,2	0	0,0		20	0,4	80,0	14	0,3		357	7,2	46,2	326	6,6	66,3
6	304	6,2	52,4	0			236	4,8		0			304	6,2	52,4	236	4,8	71,0
7	275	5,6	58,0	0			166	3,4		0			275	5,6	58,0	166	3,4	74,4
8	231	4,7	62,7	0			113	2,3		0			231	4,7	62,7	113	2,3	76,7
9	208	4,2	66,9	0			73	1,5		0			208	4,2	66,9	73	1,5	78,2
10	172	3,5	70,4	0			45	0,9		0			172	3,5	70,4	45	0,9	79,1
11	154	3,1	73,5	0			26	0,5		0			154	3,1	73,5	26	0,5	79,6
12	125	2,5	76,0	0			13	0,3		0			125	2,5	76,0	13	0,3	79,9
13	111	2,3	78,3	0			6	0,1		0			111	2,3	78,3	6	0,1	80,0
14	83	1,7	80,0	0			2	0,0		0			83	1,7	80,0	2	0,0	80,0

Рисунок 3.5 – Модификация массива данных решений ЛДУ зоны «Р-Т»

На основе модифицированных результатов, производится расчет рационального решения по методу центра тяжести $X = \frac{\sum_0^n a_i \cdot b_i}{\sum b_i}$. Например, для параметра $c(i)$ зоны «Р-Т»:

$$X_{P-T}^B = \frac{\sum_0^5 a_i \cdot b_i}{\sum b_i} = \frac{1201 \cdot 0 + 956 \cdot 1 + 750 \cdot 2 + 579 \cdot 3 + 439 \cdot 4 + 20 \cdot 5}{1201 + 956 + 750 + 579 + 439 + 20} = 1,53.$$

Таким образом, анализируя массивы параметров зон получено:

– для зоны «С-П» имеем средневзвешенное значение $a(i)$ и $e(i)$ – 9,12 (округляем в большую сторону и получаем 10), для данных $b(i)$ (0;3) – $0,86 \approx 1$, для данных $c(i) \in (0;4)$ – $1,66 \approx 2$, для данных $d(i) \in (0;1)$ – $0,34 \approx 1$, для данных $f(i) \in (0;6)$ – $1,3 \approx 2$. Подставляя значения в ЛДУ зоны, получим:

$$\begin{aligned} 1 \cdot a(i) + 6 \cdot b(i) + 4 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 1 \cdot e(i) + 8 \cdot f(i) = \\ = 1 \cdot 10 + 6 \cdot 1 + 4 \cdot 2 + 10 \cdot 1 + 1 \cdot 10 + 8 \cdot 2 = 60. \end{aligned}$$

Разница с исходным ЛДУ составляет 2;

– для зоны «Р-Т» имеем средневзвешенное значение для $a(i)$ и $e(i)$ – 5,39 (округляем в большую сторону и получаем 6), для данных $b(i) \in (0;1)$ – $0,3 \approx 1$, для данных $c(i) \in (0;5)$ – $1,53 \approx 2$, для данных $d(i) \in (0;2)$ – $0,36 \approx 1$, для данных $f(i) \in (0;14)$ – $3,22 \approx 4$. Подставляя значения в ЛДУ зоны, получим:

$$\begin{aligned} 2 \cdot a(i) + 12 \cdot b(i) + 4 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 2 \cdot e(i) + 4 \cdot f(i) = \\ = 1 \cdot 6 + 6 \cdot 1 + 4 \cdot 2 + 10 \cdot 1 + 1 \cdot 6 + 8 \cdot 4 = 68. \end{aligned}$$

Разница с исходным ЛДУ составляет 10;

– для зоны «Р-З» имеем средневзвешенное значение для $a(i)$ и $c(i)$ – 9,74 (округляем в большую сторону и получаем 10), для данных $b(i) \in (0;17)$ – $3,41 \approx 4$,

для данных $d(i) \in (0;2) - 0,18 \approx 1$, для данных $e(i) \in (0;5) - 1,41 \approx 2$, для данных $f(i) \in (0;11) - 2,61 \approx 3$. Подставляя значения в ЛДУ зоны, получим:

$$\begin{aligned} 1 \cdot a(i) + 4 \cdot b(i) + 1 \cdot c(i) + 25 \cdot d(i) + 10 \cdot e(i) + 5 \cdot f(i) = \\ = 1 \cdot 10 + 4 \cdot 4 + 1 \cdot 10 + 25 \cdot 1 + 10 \cdot 2 + 5 \cdot 3 = 96. \end{aligned}$$

Разница с исходным ЛДУ составляет 38;

– для зоны «Р-Г» имеем средневзвешенное значение для $a(i) - 3,2$ (округляем в большую сторону и получаем 4), для данных $b(i) \in (0;6) - 1,09 \approx 2$, для данных $c(i)$ и $e(i) \in (0;14) - 5,35 \approx 6$, для данных $d(i) \in (0;5) - 0,95 \approx 1$, для данных $f(i) \in (0;9) - 1,92 \approx 2$. Подставляя значения в ЛДУ зоны, получим:

$$\begin{aligned} 1 \cdot a(i) + 9 \cdot b(i) + 2 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 2 \cdot e(i) + 6 \cdot f(i) = \\ = 1 \cdot 4 + 9 \cdot 2 + 2 \cdot 6 + 10 \cdot 1 + 2 \cdot 6 + 6 \cdot 2 = 74. \end{aligned}$$

Разница с исходным ЛДУ составляет 16.

Для сортировки значений решений ЛДУ зон ТУ разработана авторская программа в среде *Python*. При сортировке 8701 решения ЛДУ зоны «С-П» по критериям $a(i)$ и $e(i) = 10$ и $f(i) > 0$ получено 14 рациональных решений. Затем выполнена сортировка для 4931 результата ЛДУ зоны «Р-Т» по критериям $a(i)$ и $e(i) = 6$ и $f(i) > 0$. Получено 10 рациональных решений. Сортировка для 5252 результатов ЛДУ зоны «Р-З» по критериям $a(i) = 10$, $e(i) = 2$ и $f(i) > 0$ дала 19 рациональных решений, для 7783 результатов ЛДУ зоны «Р-Г» по критериям $a(i) = 4$, $e(i) = 6$, $f(i) > 0$, $c(i) > 0$ – получено 20 рациональных решений. Далее определяются коэффициенты выживаемости зон-«потомков» на основе результатов решений ЛДУ и отклонений значений от исходных. Результаты с максимальными отклонениями отбрасываются, и выполняется следующий цикл формирования массивов данных для новой зоны.

Б. Оценка параметров результатов решения ЛДУ зон-«потомков» при объединении/модификации исходных зон

Вариант решения ЛДУ с меньшим отклонением имеет наибольшую вероятность выбора, и набор параметров («хромосом») исходной транспортной зоны «С-П» (Р1) является более предпочтительным, чем у «Р-Т» (Р2). Новая

транспортная зона-«потомок» содержит информацию о параметрах зон-«родителей». Расположение разделительной линии («кроссинговера») может определяться стратегией переустройства транспортного узла и будущего преобладания желаемых параметров (набора «генов» в «хромосомах»). Пример для выбора параметров новой зоны, полученной в результате объединения/модификации существующих зон «С-П» и «Р-Т» узла «Р», представлен на рисунке 3.6.

$$\left(\begin{array}{l} \text{X. -P1: } 10 \mid 1, 2, 1, 10, 2 \text{ X. -P2: } 6 \mid 1, 2, 1, 6, 4 \text{ X. -П(1,2): } 10, 1, 2, 1, 6, 4 \text{ or } 6, 1, 2, 1, 10, 2; \\ \text{X. -P1: } 10, 1 \mid 2, 1, 10, 2 \text{ X. -P2: } 6, 1 \mid 2, 1, 6, 4 \text{ X. -П(1,2): } 10, 1, 2, 1, 6, 4 \text{ or } 6, 1, 2, 1, 10, 2; \\ \text{X. -P1: } 10, 1, 2 \mid 1, 10, 2 \text{ X. -P2: } 6, 1, 2 \mid 1, 6, 4 \text{ X. -П(1,2): } 10, 1, 2, 1, 6, 4 \text{ or } 6, 1, 2, 1, 10, 2; \\ \text{X. -P1: } 10, 1, 2, 1 \mid 10, 2 \text{ X. -P2: } 6, 1, 2, 1 \mid 6, 4 \text{ X. -П(1,2): } 10, 1, 2, 1, 6, 4 \text{ or } 6, 1, 2, 1, 10, 2; \\ \text{X. -P1: } 10, 1, 2, 1, 10 \mid 2 \text{ X. -P2: } 6, 1, 2, 1, 6 \mid 4 \text{ X. -П(1,2): } 10, 1, 2, 1, 10, 4 \text{ or } 6, 1, 2, 1, 6, 2; \end{array} \right)$$

Рисунок 3.6 – Выбор параметров новой зоны, полученной в результате объединения/модификации существующих зон «С-П» и «Р-Т» узла «Р»

$$\text{Уравнение № 1: } 10 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 6 \cdot A(i) + 4 \cdot P(i) = 58.$$

Решений – 28 428.

$$\text{Уравнение № 2: } 6 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 10 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 58.$$

Решений – 52 977.

$$\text{Уравнение № 3: } 10 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 10 \cdot A(i) + 4 \cdot P(i) = 58.$$

Решений – 19 400.

$$\text{Уравнение № 4: } 6 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 6 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 58.$$

Решений – 75 239.

Пример для выбора параметров новой зоны, полученной в результате модификации существующих зон «Р-З» и «Р-Г» узла «Р», представлен на рисунке 3.7.

$$\left(\begin{array}{l} \text{X. -P1: } 10 \mid 4, 10, 1, 2, 3 \text{ X. -P2: } 4 \mid 2, 6, 1, 6, 2 \text{ X. -П(1,2): } 10, 2, 6, 1, 6, 2 \text{ or } 4, 4, 10, 1, 2, 3; \\ \text{X. -P1: } 10, 4 \mid 10, 1, 2, 3 \text{ X. -P2: } 4, 2 \mid 6, 1, 6, 2 \text{ X. -П(1,2): } 10, 4, 6, 1, 6, 2 \text{ or } 4, 2, 10, 1, 2, 3; \\ \text{X. -P1: } 10, 4, 10 \mid 1, 2, 3 \text{ X. -P2: } 4, 2, 6 \mid 1, 6, 2 \text{ X. -П(1,2): } 10, 4, 10, 1, 6, 2 \text{ or } 4, 2, 6, 1, 2, 3; \\ \text{X. -P1: } 10, 4, 10, 1 \mid 2, 3 \text{ X. -P2: } 4, 2, 6, 1 \mid 6, 2 \text{ X. -П(1,2): } 10, 4, 10, 1, 6, 2 \text{ or } 4, 2, 6, 1, 2, 3; \\ \text{X. -P1: } 10, 4, 10, 1, 2 \mid 3 \text{ X. -P2: } 4, 2, 6, 1, 6 \mid 2 \text{ X. -П(1,2): } 10, 4, 10, 1, 2, 2 \text{ or } 4, 2, 6, 1, 6, 3; \end{array} \right)$$

Рисунок 3.7 – Модификация существующих зон «Р-З» и «Р-Г» узла «Р»

$$\text{Уравнение № 1: } 10 \cdot T(i) + 2 \cdot L(i) + 6 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 6 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 58.$$

Решений – 10 867.

$$\text{Уравнение № 2: } 4 \cdot T(i) + 4 \cdot L(i) + 10 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 2 \cdot A(i) + 3 \cdot P(i) = 58.$$

Решений – 14 272.

Уравнение № 3: $10 \cdot T(i) + 4 \cdot L(i) + 6 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 6 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 58$.

Решений – 5815.

Уравнение № 4: $4 \cdot T(i) + 2 \cdot L(i) + 10 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 2 \cdot A(i) + 3 \cdot P(i) = 58$.

Решений – 26 604.

Уравнение № 5: $10 \cdot T(i) + 4 \cdot L(i) + 10 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 6 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 58$.

Решений – 3961.

Уравнение № 6: $4 \cdot T(i) + 2 \cdot L(i) + 6 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 2 \cdot A(i) + 3 \cdot P(i) = 58$.

Решений – 38 689.

Уравнение № 7: $10 \cdot T(i) + 4 \cdot L(i) + 10 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 2 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 58$.

Решений – 10 414.

Уравнение № 8: $4 \cdot T(i) + 2 \cdot L(i) + 6 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 6 \cdot A(i) + 3 \cdot P(i) = 58$.

Решений – 14 863.

Количество решений ЛДУ зон-«потомков» для исходных зон «С-П» и «Р-Т» (4 уравнения), а также ЛДУ зон-«потомков» для исходных зон «Р-З» и «Р-Г» (8 уравнений) определяется в табличных формах аналогично вышеприведенной методике. Таким же образом производится сужение области допустимых решений согласно правилу Парето.

Выбор значений параметров зон – «потомков» по принципу центра тяжести выполняется программным способом в табличной форме. Примеры для ЛДУ № 1 зон-«родителей» «С-П» и «Р-Т», а также для ЛДУ № 1 зон-«родителей» «Р-З» и «Р-Г» представлен на рисунке 3.8.

	T	L	B	S	A	P
0	9728	2050	3874	2050	4680	1620
1	7875	1824	3441	1824	7099	5729
2	3514	1824	3045	1824	4675	4415
3	1275	1617	2684	1617	2930	3341
4	325	1617	2356	1617	1725	2475
5	39	1428	2059	1428	935	1789
6	0,89	1428	1791	1428	452	1256
7		1256	1550	1256	185	851
8		1256	1334	1256	57	553
9		1100	1141	1100	1,81	340
10		1100	970	1100		195
11		959	819	959		102
12		959	686	959		46
13		832	570	832		17
14		832	300	832		4
15		718	5,20	718		3,00
16		718		718		
17		616		616		
18		616		616		
19		525		525		
20		525		525		
21		445		445		
22		445		445		
23		100		100		
22756		8,90		8,90		

а

	T	L	B	S	A	P
0	3600	1443	1700	1443	1700	1443
1	3015	1287	2684	0	2684	1287
2	1386	1144	1791	1287	1791	1144
3	525	1010	1141	0	1141	1010
4	145	891	686	1144	686	891
5	21	783	382	0	382	783
6	0,93	682	192	1010	192	682
7		594	83	0	83	594
8		515	28	891	28	515
9		441	6	0	6	441
10		378	1,88	783	1,88	378
11		322		0		322
12		270		682		270
13		227		0		227
14		155		594		155
15		5,30		0		5,30
16				515		
17				0		
18				441		
19				0		
20				378		
21				0		
22				322		
23				0		
24				270		
25				0		
26				227		
27				0		
28				150		
8692				10,59		

б

Рисунок 3.8 – Выбор значений параметров ЛДУ зон-«потомков»:

а – для Уравнения № 1 («С-П» и «Р-Т»); б – для Уравнения № 1 («Р-З» и «Р-Г»)

Подставляя полученные значения, округленные в большую сторону, в ЛДУ зон-«потомков» «С-П» и «Р-Т», получим:

$$\text{Ур. № 1: } 10 \cdot 1 + 1 \cdot 9 + 2 \cdot 6 + 1 \cdot 9 + 6 \cdot 2 + 4 \cdot 3 = 10 + 9 + 16 + 9 + 12 + 12 = 68.$$

Разница по модулю – 10.

$$\text{Ур. № 2: } 6 \cdot 2 + 1 \cdot 9 + 2 \cdot 6 + 1 \cdot 9 + 10 \cdot 1 + 2 \cdot 6 = 12 + 9 + 12 + 9 + 10 + 12 = 62.$$

Разница по модулю – 6.

$$\text{Ур. № 3: } 10 \cdot 1 + 1 \cdot 9 + 2 \cdot 6 + 1 \cdot 9 + 10 \cdot 1 + 4 \cdot 4 = 10 + 9 + 12 + 9 + 10 + 16 = 66.$$

Разница по модулю – 8.

$$\text{Ур. № 4: } 6 \cdot 2 + 1 \cdot 9 + 2 \cdot 6 + 1 \cdot 9 + 6 \cdot 2 + 2 \cdot 6 = 12 + 9 + 12 + 9 + 12 + 12 = 66.$$

Разница по модулю – 8.

Наименьшая разница по модулю – у Уравнения № 2. Выполним сортировку по параметрам $T = 2$, $P = 6$, $A = 1$, $B = 6$, $(L, S) > 0$. В результате получим ведомость данных из пятнадцати рациональных решений (рисунок 3.9, а). Наиболее близкие корни для решения уравнения: $T = 2$, $L = 8$, $B = 6$, $S = 8$, $A = 1$, $P = 6$.

T	L	B	S	A	P
2	1	6	15	1	6
2	2	6	14	1	6
2	3	6	13	1	6
2	4	6	12	1	6
2	5	6	11	1	6
2	6	6	10	1	6
2	7	6	9	1	6
2	8	6	8	1	6
2	9	6	7	1	6
2	10	6	6	1	6
2	11	6	5	1	6
2	12	6	4	1	6
2	13	6	3	1	6
2	14	6	2	1	6
2	15	6	1	1	6

а

T	L	B	S	A	P
3	4	1	1	6	5
3	3	1	3	6	5
3	2	1	5	6	5
3	1	1	7	6	5

б

Рисунок 3.9 – Сортировка результатов решений ЛДУ зон-«потомков» по принципу минимального расхождения

Подставляя полученные значения, округленные в большую сторону, в ЛДУ зон-«потомков» «Р-З» и «Р-Г», получим:

$$\text{Ур. 1: } 10 \cdot 1 + 2 \cdot 6 + 6 \cdot 2 + 1 \cdot 11 + 6 \cdot 2 + 2 \cdot 6 = 10 + 12 + 12 + 11 + 12 + 12 = 69$$

Разница по модулю – 11.

$$\text{Ур. 2: } 4 \cdot 4 + 4 \cdot 4 + 10 \cdot 1 + 1 \cdot 9 + 2 \cdot 6 + 3 \cdot 5 = 16 + 16 + 10 + 9 + 12 + 15 = 78$$

Разница по модулю – 20.

$$\text{Ур. 3: } 10 \cdot 1 + 4 \cdot 4 + 6 \cdot 2 + 1 \cdot 11 + 6 \cdot 2 + 2 \cdot 6 = 10 + 16 + 12 + 11 + 12 + 12 = 73$$

Разница по модулю – 15.

$$\text{Ур. 4: } 4 \cdot 3 + 2 \cdot 5 + 10 \cdot 1 + 1 \cdot 9 + 2 \cdot 6 + 3 \cdot 5 = 12 + 10 + 10 + 9 + 12 + 15 = 68$$

Разница по модулю – 10.

$$\text{Ур. 5: } 10 \cdot 1 + 4 \cdot 4 + 10 \cdot 1 + 1 \cdot 11 + 6 \cdot 2 + 2 \cdot 6 = 10 + 16 + 10 + 11 + 12 + 12 = 71$$

Разница по модулю – 13.

$$\text{Ур. 6: } 4 \cdot 3 + 2 \cdot 6 + 6 \cdot 2 + 1 \cdot 11 + 2 \cdot 6 + 3 \cdot 5 = 12 + 12 + 12 + 11 + 12 + 15 = 71$$

Разница по модулю – 16.

$$\text{Ур. 7: } 10 \cdot 1 + 4 \cdot 4 + 10 \cdot 1 + 1 \cdot 11 + 2 \cdot 6 + 2 \cdot 6 = 10 + 16 + 10 + 11 + 12 + 12 = 71$$

Разница по модулю – 16.

$$\text{Ур. 8: } 4 \cdot 3 + 2 \cdot 6 + 6 \cdot 2 + 1 \cdot 9 + 6 \cdot 2 + 3 \cdot 5 = 12 + 12 + 12 + 9 + 12 + 15 = 72$$

Разница по модулю – 14.

Наименьшая разница по модулю – у Уравнения № 4. Выполним сортировку по параметрам $T = 3, P = 5, A = 6, (L, B, S) > 0$. В результате получим ведомость данных из четырех рациональных решений (рисунок 3.9, б). Наиболее близкие корни для решения уравнения: $T = 3, L = 5, B = 1, S = 7, A = 6, P = 5$.

Обработка показателей и выводы

При формировании ЛДУ используются натуральные показатели зон, затем по формуле $k(\theta)^* = 1 + 99 \cdot \frac{\theta_{\max} - \theta_i}{\theta_{\max} - \theta_{\min}}$ преобразуются в безразмерные величины, в результате проведенных расчетов значения T, L, B, S, A будут находиться в промежутке от 1 до 100. Эти значения сравниваются с классом узла R . В случае если они больше R , то значение показателя уменьшается на один знак, а P в промежутке от 0 до 1 увеличивается на один знак после запятой. После проведенных расчетов производится перевод от безразмерной формы к натуральной по формуле:

$$\Pi^H = \frac{(P_1^H + P_2^H) \cdot \Pi^B}{P_1^B + P_2^B},$$

где Π^H – натуральное значение параметра «потомка», Π^B – натуральное значение параметра «потомка», $P_1^B + P_2^B$ – безразмерные значения параметров «родителей», $P_1^H + P_2^H$ – натуральные значения параметров «родителей»

В результате формируется сводные таблицы параметров в безразмерной форме для исходных зон и зоны-«потомка» (таблицы 3.7 – 3.8).

Таблица 3.7 – Параметры зоны-«потомка» № 2 зон «С-П» и «Р-Т»

Зоны ТУ	T	L	B	S	A	P
«С-П»	1	6	4	10	1	8
«Р-Т»	2	12	4	10	2	4
Потомок № 2	2	8	6	8	1	6

Таблица 3.8 – Параметры зоны-«потомка» № 4 зон «Р-З» и «Р-Г»

Зоны ТУ	T	L	B	S	A	P
«Р-З»	1	4	1	25	10	5
«Р-Г»	1	9	2	10	2	6
Потомок № 4	2	1	1	7	6	5

Возвращаются значения параметров зон в исходном виде (таблицы 3.9 – 3.10).

Таблица 3.9 – Параметры зоны – «потомка» зон «С-П» и «Р-Т» в исходном виде

Зоны узла	Кол-во видов тр-та T	Длина L , ед.	Ширина B , ед.	Площадь S , ед. ²	Население A , тыс. чел.	Показатель P
«С-П»	3	28	18,2	533	12	8
«Р-Т»	4	30,7	8,7	267,1	≈ 9	4
Потомок № 2	4	26.1	20.2	320	≈ 7	6

Таблица 3.10 – Параметры зоны-«потомка» зон «Р-З» и «Р-Г» в исходном виде

Зоны узла	Кол-во видов тр-та T	Длина L , ед.	Ширина B , ед.	Площадь S , ед. ²	Население, A , тыс. чел.	Показатель P
«Р-З»	3	60,3	10.5	480,4	2	5
«Р-Г»	4	29,7	10	288,9	15	6
Потомок № 4	4	6,9	6,8	93,9	$\approx 8,5$	5

Далее формируется ведомость показателей транспортного узла после выполненных перестановок и модификаций зон. Например, расчет некоторых из них дал следующие результаты:

– плотность транспортной сети узла $\delta = \frac{L_c}{S_3}$, где L_c – протяженность транспортной сети, км; S_3 – площадь застроенной территории узла. Для существующего варианта значение составило 0,135 при $L = 211,59$ км, $S = 1569,4$ км², для проектного – 0,511 при $L = 211,59$ км, $S = 413,9$ км²;

– коэффициент Энгеля $d = \frac{L}{\sqrt{SH}}$, где L – общая длина транспортных путей, S – площадь территории, H – численность населения. Для существующего варианта значение составило 0,866 при $L = 211,59$ км, $S = 1569,4$ км², $H = 38$ тыс. чел., для проектного – 2,642 при $L = 211,59$ км, $S = 413,9$ км², $H = 15,5$ тыс. чел.

3.4 Коэффициент дивергенции в оценке компоновочных решений узловых зон и объектов

Коэффициент дивергенции, согласно теории кластерного анализа, показывает, насколько далеко друг от друга находятся точки кластера, и помогает определить, являются ли они частью одного и того же кластера или нет. В кластерном анализе коэффициент дивергенции обычно используется вместе с другими методами оценки, такими как метод k -средних или иерархическая кластеризация, для определения оптимального количества кластеров и их границ [107]. Чем меньше значение CD , тем однороднее система – кластер.

Рассмотрим пример расчета коэффициента дивергенции при перемещении зон. На основе схемы зонирования транспортного узла «Р» (рисунок 3.10) определены исходные координаты точек входа-выхода грузо- и пассажиропотоков, центры транспортных нагрузок основных зон ТУ.

Для узла «Р» существующий коэффициент дивергенции составит:

$$CD = \frac{1}{p} \left\{ \sum_{k=1}^p \left(\frac{x_{ki} - x_{kj}}{x_{ki} + x_{kj}} \right)^2 \right\}^{1/2} = \frac{1}{48} \left\{ \sum_{k=1}^{48} \left(\frac{x_{ki} - x_{kj}}{x_{ki} + x_{kj}} \right)^2 \right\}^{1/2} = 0,066035.$$

Согласно стратегии развития узла выполним перемещение зон (см. рисунок 3.10):

a – если переместить промышленную зону «6» на +66,3 р.е. (расчетные единицы по координатной сетке узла) по оси абсцисс и на +40,4 р.е. по оси ординат, то это снизит нагрузку на район «Центр». Полученное значение $CD_{\text{вар. 1}} = 0,074208$. Разница составила +0,008173. Значит, система стала менее однородной, и нагрузка на «Центр» незначительно снизилась (на 0,1 %);

b – выполним объединение зон «5» и «6» (см. рисунок 3.10, b), тогда в формуле значение $p = 43$. Получено, что $CD_{\text{вар. 2}} = 0,081408$. Разница составила

+0,015373. Значит, система организована менее рационально, объединение зон неэффективно и возможно рассмотреть изменение качества и роли новой зоны («мутация» в ГКА ТУ).

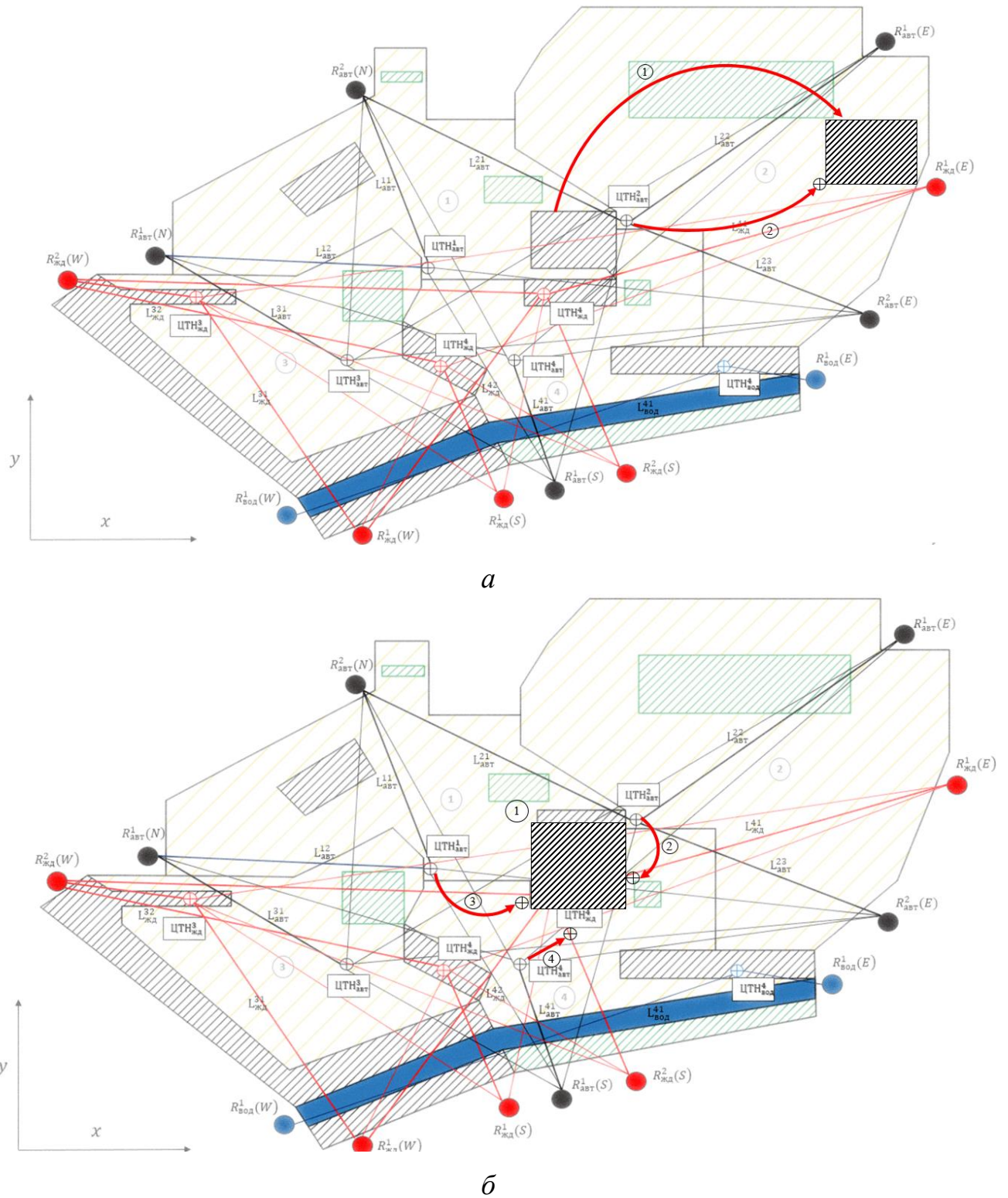


Рисунок 3.10 – Варианты компоновочных решений расчетной схемы ТУ «Р»:

a – перемещение зоны; *б* – объединение зон

Исходя из установленных принципов, в соответствии с которыми при «идеальных» условиях компоновки инфраструктуры рейтинг узла $R \rightarrow \max$ (100 баллов), а коэффициент дивергенции $CD \rightarrow \min$ (0,01), результаты размещения (объединения, модификации) объектов ТУ предлагается оценивать коэффициентом степени развитости инфраструктуры ψ , который определяется по формуле: $\psi = \frac{R}{\{CD\} \cdot 10^3}$, где R – значение балльного рейтинга узла, CD – значение коэффициента дивергенции.

При этом результаты рациональных компоновок будут соответствовать условию, при котором $\psi \rightarrow |1|$, т. е. расположение объектов инфраструктуры транспортного узла соответствует степени его развитости, иными словами, перспектива дальнейшего развития узла возможна лишь при кардинальном изменении его структуры. Чем больше $\Delta = |1 - \psi|$, тем больше разрыв между степенью развитости узла и рациональностью расположения объектов ТУ.

В таблице 3.11 представлены параметры оценки ТУ по существующим вариантам размещения основных зон.

Таблица 3.11 – Параметры оценки основных ТУ (существующий вариант)

Название ТУ	$CD_{\text{сущ}}$	$R_{\text{сущ}}$	$\psi_{\text{сущ}}$	$\Delta = 1 - \psi_{\text{сущ}} $
«Н»	0,031515	31,46	0,998	0,002
«К»	0,049967	55,36	1,108	0,108
«В»	0,052192	59,18	1,134	0,134
«ТГ»	0,056625	41,62	0,735	0,265
«Т»	0,057208	32,62	0,570	0,430
«С»	0,058714	49,52	0,843	0,157
«ТХ»	0,060448	11,6	0,192	0,808
«Д»	0,061084	18,1	0,296	0,704
«А»	0,061862	37,98	0,614	0,386
«Р»	0,066035	57,58	0,872	0,128
«ВЛ»	0,080421	46,82	0,582	0,418
«МВ»	0,089727	18,18	0,203	0,797
«МЗ»	0,091572	14,38	0,157	0,843
«М»	0,101862	57,1	0,561	0,439
«ВД»	0,110623	24,74	0,224	0,776
«СЧ»	0,110643	60,88	0,550	0,450
«НВ»	0,114475	45,76	0,400	0,600

Для оценки степени развитости инфраструктуры транспортного узла на рисунке 3.11 представлено двумерное пространство выходных параметров ограниченных прямыми AB , A_1B_1 , EF , E_1F_1 . Область, в пределах которой выполняются условия размещения, включает множество точек выходных параметров R и ψ , что представляет собой область Парето.



Рисунок 3.11 – Область эффективности размещения объектов инфраструктуры транспортных узлов (по Парето)

В соответствии с данными таблицы 3.7 рассмотрим пример формирования областей эффективности размещения объектов инфраструктуры узлов для существующего положения (рисунок 3.12).

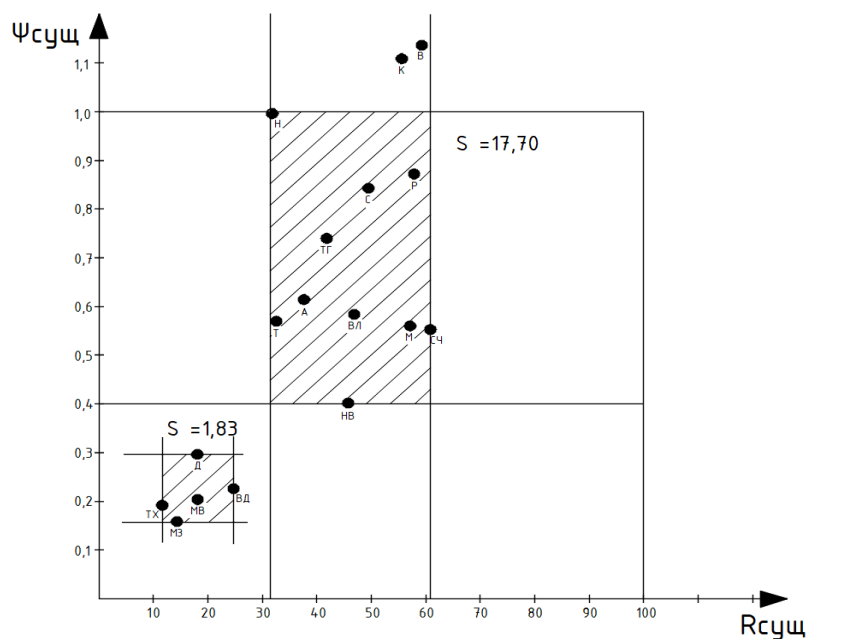


Рисунок 3.12 – Области эффективности существующих вариантов размещения объектов инфраструктуры транспортных узлов (по Парето)

Из рисунка 3.12 следует, что получены две области эффективности, площади которых составили: для малых узлов – $S_m^{\text{сущ}} = 1,83 \text{ ед.}^2$, для средних и больших узлов – $S_6^{\text{сущ}} = 17,70 \text{ ед.}^2$ При этом ТУ «К» и ТУ «В» выходят за общую область, т. е. имеют расположение объектов инфраструктуры в соответствии со степенью их развитости, $\psi_{\text{сущ}}(K, B) \rightarrow \max$.

Введем понятие «плотности» области эффективности компоновок относительно количества ТУ – $\rho_{\text{ТУ}}^{\text{сущ}} = \frac{S_{\text{ТУ}}^{\text{сущ}}}{N_{\text{ТУ}}}, \frac{\text{ед.}^2}{\text{ТУ}}$. В результате получено, что $\rho_m^{\text{сущ}} = \frac{1,83}{5} = 0,366 \frac{\text{ед.}^2}{\text{ТУ}}$, а $\rho_6^{\text{сущ}} = \frac{17,70}{10} = 1,77 \frac{\text{ед.}^2}{\text{ТУ}}$.

Таким образом, изменение «плотности» области эффективности вариантов размещения объектов инфраструктуры транспортных узлов, как одного из оценочных параметров, позволит делать вывод о степени выравнивания показателей ТУ для сбалансированности развития региональной транспортной инфраструктуры.

3.4 Выводы по главе

В третьей главе выполнена разработка авторского метода размещения узловых зон и объектов в условиях нечеткой параметризации транспортных процессов. Сформулирована задача размещения узловых зон и объектов с учетом сложноформализуемых данных.

Разработаны принципы формирования динамического массива данных инфраструктурных и транспортно-технологических параметров транспортного узла в виде матриц.

Представлена разработка генетического компоновочного алгоритма (ГКА ТУ) и программного комплекса метода размещения инфраструктурных объектов транспортного узла в условиях нечеткой постановки задачи на языке программирования *Python*.

Впервые решены линейные диофантовы уравнения (ЛДУ) применительно к оценке параметров зон транспортных узлов. Согласно ГКА ТУ получены наборы

параметров модифицированных зон ТУ (зона-«потомок») на месте переустраиваемых (переносимых, объединяемых и т. п.) зон ТУ.

На примере транспортного узла «Р» в соответствии с разработанным методом размещения и ГКА ТУ, получено, что плотность транспортной сети узла для существующего варианта составила 0,135; значение коэффициента Энгеля для существующего варианта составило 0,866, коэффициент дивергенции узла составил $CD («P_{\text{сущ}}») = 0,066035$.

Предложено для экспресс-оценки компоновок ТУ использовать двумерные области эффективности вариантов размещения объектов инфраструктуры транспортных узлов (по Парето). Введено понятие «плотности» области эффективности. Также установлена зависимость балльного рейтинга узла и коэффициента дивергенции для перспективного развития региональной инфраструктуры при выборе мест расположения зон и объектов при перемещении, модификации и переспециализации технологии работы узла.

Глава 4. АПРОБАЦИЯ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ УЗЛОВЫХ ЗОН И ОБЪЕКТОВ (НА ПРИМЕРЕ УЗЛОВ ЮГА РОССИИ)

4.1 Программное моделирование компоновочных решений узловых объектов

Программное моделирование компоновочных решений узловых объектов в соответствии со стратегиями регионального развития [10–18] выполнено в авторском программном комплексе ОП_ГКУ_1.0 в системе программирования *Python*. Рабочие окна программы расчета параметров зон изображены на рисунке 4.1.

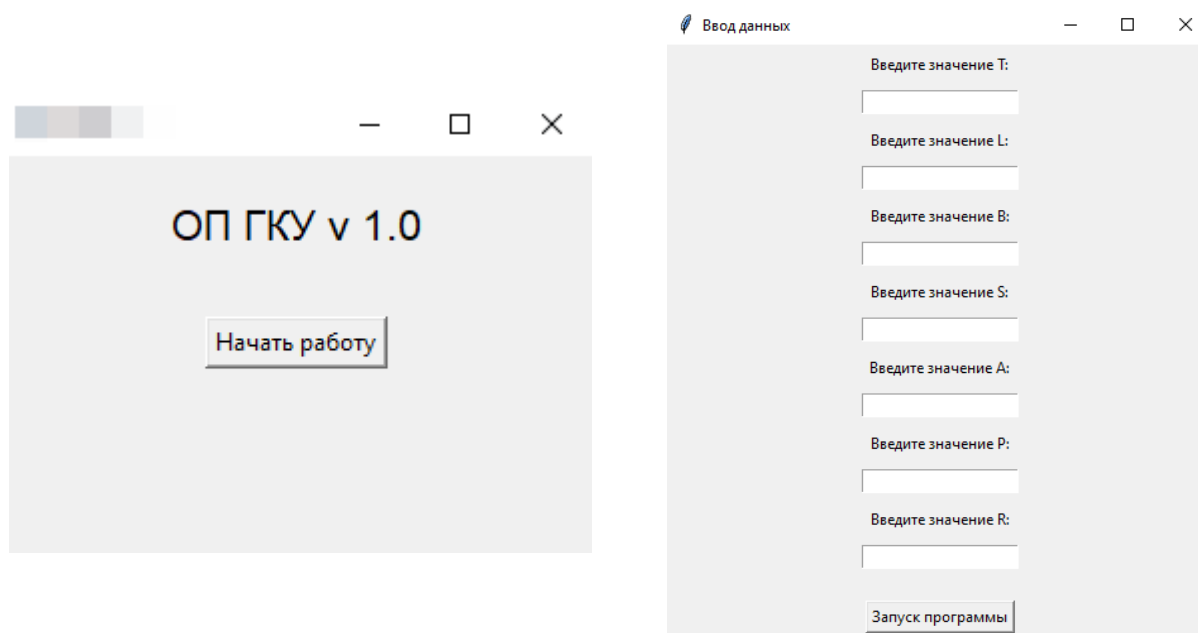


Рисунок 4.1 – Рабочие окна программного комплекса ОП ГКУ 1.0

В программу вводятся данные о показателях ТУ и их зонах (объектах), и выполняются расчет и сортировка ЛДУ параметров узловых зон в безразмерном виде согласно блок-схеме (см. п. 3.3 главы 3, рисунок 3.4).

Выполним перерасчет параметров узловых зон ТУ «Р». Результаты сведены в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты перерасчета параметров узловых зон ТУ «Р» по вариантам размещения

Наименование зоны (объекта) узла	Количество решений ЛДУ параметров зоны	Рациональные корни переменных ЛДУ-параметров зоны / принятое значение корня переменной ЛДУ						$R(i)$
		$a(i)$	$b(i)$	$c(i)$	$d(i)$	$e(i)$	$f(i)$	
«С-П»	8701	11,45 / 12	1,53 / 2	2,51 / 3	0,75 / 1	11,45 / 12	1,04 / 2	58
«Р-Т»	4931	5,63 / 6	0,59 / 1	2,58 / 3	0,78 / 1	5,63 / 6	2,58 / 3	58
«Р-З»	5252	12,34 / 13	2,73 / 3	12,34 / 13	0,14 / 1	0,84 / 1	2,09 / 3	58
«Р-Г»	7783	11,35 / 12	0,87 / 1	5,51 / 6	0,76 / 1	5,51 / 6	1,53 / 2	58
Наименование зоны (объекта) узла	Количество решений ЛДУ	T	L	B	S	A	P	$\Delta R(i)$
Объединение (модификация) зон «С-П» и «Р-Т»	53207	1,40 / 2	10,64 / 11	3,24 / 4	10,67 / 11	1,04 / 2	5,09 / 6	+12
Объединение (модификация) зон «Р-З» и «Р-Г»	62742	0,53 / 1	10,98 / 11	1,45 / 2	10,98 / 11	10,98 / 11	3,34 / 4	+11

ЛДУ зоны «С-П» ТУ «Р» (рисунок 4.2):

$$1 \cdot a(i) + 6 \cdot b(i) + 4 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 1 \cdot e(i) + 8 \cdot f(i) = 58.$$

Решений – 8701.

Ввод данных

Введите значение T:

1

Введите значение L:

6

Введите значение B:

4

Введите значение S:

10

Введите значение A:

1

Введите значение P:

8

Введите значение R:

58

Запуск программы

a

Результат

Общее количество решений до сортировки по Парето: 8701
Общее количество решений после сортировки по Парето: 1076

РАЦИОНАЛЬНЫЕ КОРНИ:

Рациональный корень для переменной a: 11.45
Рациональный корень для переменной b: 1.53
Рациональный корень для переменной c: 2.51
Рациональный корень для переменной d: 0.75
Рациональный корень для переменной e: 11.45
Рациональный корень для переменной f: 1.04

Копировать текст

Вернуться в главное меню

б

Рисунок 4.2 – Решение ЛДУ зоны «С-П» ТУ «Р»:

a – ввод данных; *б* – вывод результата расчета

ЛДУ зоны «Р-Т» (рисунок 4.3):

$$2 \cdot a(i) + 12 \cdot b(i) + 4 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 2 \cdot e(i) + 4 \cdot f(i) = 58.$$

Решений – 4931.

Ввод данных

Введите значение T:

2

Введите значение L:

12

Введите значение B:

4

Введите значение S:

10

Введите значение A:

2

Введите значение P:

4

Введите значение R:

58

Запуск программы

a

Результат

Общее количество решений до сортировки по Парето: 4931
Общее количество решений после сортировки по Парето: 1206

РАЦИОНАЛЬНЫЕ КОРНИ:

Рациональный корень для переменной a: 5.63
Рациональный корень для переменной b: 0.59
Рациональный корень для переменной c: 2.58
Рациональный корень для переменной d: 0.78
Рациональный корень для переменной e: 5.63
Рациональный корень для переменной f: 2.58

Копировать текст

Вернуться в главное меню

б

Рисунок 4.3 – Решение ЛДУ зоны «Р-Т» ТУ «Р»:

a – ввод данных; *б* – вывод результата расчета

ЛДУ зоны «Р-3» (рисунок 4.4):

$$1 \cdot a(i) + 4 \cdot b(i) + 1 \cdot c(i) + 25 \cdot d(i) + 10 \cdot e(i) + 5 \cdot f(i) = 58.$$

Решений – 5252.

Ввод данных

Введите значение T:

1

Введите значение L:

4

Введите значение B:

1

Введите значение S:

25

Введите значение A:

10

Введите значение P:

5

Введите значение R:

58

Запуск программы

a

Результат

Общее количество решений до сортировки по Парето: 5252
Общее количество решений после сортировки по Парето: 983

РАЦИОНАЛЬНЫЕ КОРНИ:

Рациональный корень для переменной a: 12.34
Рациональный корень для переменной b: 2.73
Рациональный корень для переменной c: 12.34
Рациональный корень для переменной d: 0.14
Рациональный корень для переменной e: 0.84
Рациональный корень для переменной f: 2.09

Копировать текст

Вернуться в главное меню

б

Рисунок 4.4 – Решение ЛДУ зоны «Р-3» ТУ «Р»:

a – ввод данных; *б* – вывод результата расчета

ЛДУ зоны «Р-Г» (рисунок 4.5):

$$1 \cdot a(i) + 9 \cdot b(i) + 2 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 2 \cdot e(i) + 6 \cdot f(i) = 58.$$

Решений – 7783.

Ввод данных

Введите значение T:

1

Введите значение L:

9

Введите значение B:

2

Введите значение S:

10

Введите значение A:

2

Введите значение P:

6

Введите значение R:

58

Запуск программы

a

Результат

Общее количество решений до сортировки по Парето: 7783
Общее количество решений после сортировки по Парето: 1112

РАЦИОНАЛЬНЫЕ КОРНИ:

Рациональный корень для переменной a: 11.35
Рациональный корень для переменной b: 0.87
Рациональный корень для переменной c: 5.51
Рациональный корень для переменной d: 0.76
Рациональный корень для переменной e: 5.51
Рациональный корень для переменной f: 1.53

Копировать текст

Вернуться в главное меню

б

Рисунок 4.5 – Решение ЛДУ зоны «Р-Г» ТУ «Р»:

a – ввод данных; *б* – выдача результата

Выбор параметров новой зоны, полученной в результате объединения (модификации) существующих зон «С-П» и «Р-Т» узла «Р», проиллюстрирован рисунком 4.6.

$$\left(\begin{array}{l} \text{X.} - \text{P1: } 12 | 2, 3, 1, 12, 2 \text{ X.} - \text{P2: } 6 | 1, 3, 1, 6, 3 \text{ X.} - \text{П(1,2): } 12, 1, 3, 1, 6, 3 \text{ or } 6, 2, 3, 1, 12, 2; \\ \text{X.} - \text{P1: } 12, 2 | 3, 1, 12, 2 \text{ X.} - \text{P2: } 6, 1 | 3, 1, 6, 3 \text{ X.} - \text{П(1,2): } 12, 2, 3, 1, 6, 3 \text{ or } 6, 1, 3, 1, 12, 2; \\ \text{X.} - \text{P1: } 12, 2, 3 | 1, 12, 2 \text{ X.} - \text{P2: } 6, 1, 3 | 1, 6, 3 \text{ X.} - \text{П(1,2): } 12, 2, 3, 1, 6, 3 \text{ or } 6, 1, 3, 1, 12, 2; \\ \text{X.} - \text{P1: } 12, 2, 3, 1 | 12, 2 \text{ X.} - \text{P2: } 6, 1, 3, 1 | 6, 3 \text{ X.} - \text{П(1,2): } 12, 2, 3, 1, 6, 3 \text{ or } 6, 1, 3, 1, 12, 2; \\ \text{X.} - \text{P1: } 12, 2, 3, 1, 12 | 2 \text{ X.} - \text{P2: } 6, 1, 3, 1, 6 | 3 \text{ X.} - \text{П(1,2): } 12, 2, 3, 1, 12, 3 \text{ or } 6, 1, 3, 1, 6, 2; \end{array} \right)$$

Рисунок 4.6 – Кроссинговер модификации параметров при объединении зон «С-П» и «Р-Т» узла «Р»

$$\text{Уравнение № 1: } 12 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 3 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 6 \cdot A(i) + 3 \cdot P(i) = 58.$$

Решений – 22 469.

$$\text{Уравнение № 2: } 6 \cdot T(i) + 2 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 12 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 58.$$

Решений – 25 262.

$$\text{Уравнение № 3: } 12 \cdot T(i) + 2 \cdot L(i) + 3 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 6 \cdot A(i) + 3 \cdot P(i) = 58.$$

Решений – 11 592.

$$\text{Уравнение № 4: } 6 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 3 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 12 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 58.$$

Решений – 32 506.

$$\text{Уравнение № 5: } 12 \cdot T(i) + 2 \cdot L(i) + 3 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 12 \cdot A(i) + 3 \cdot P(i) = 58.$$

Решений – 7021.

$$\text{Уравнение № 6: } 6 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 3 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 6 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 58.$$

Решений – 53 207.

Выбор параметров новой зоны, полученной в результате объединения (модификации) существующих зон «Р-З» и «Р-Г» узла «Р», приведен на рисунке 4.7.

$$\left(\begin{array}{l} \text{X.} - \text{P1: } 13 | 3, 13, 1, 1, 3 \text{ X.} - \text{P2: } 12 | 1, 6, 1, 6, 2 \text{ X.} - \text{П(1,2): } 13, 1, 6, 1, 6, 2 \text{ or } 12, 3, 13, 1, 1, 3; \\ \text{X.} - \text{P1: } 13, 3 | 13, 1, 1, 3 \text{ X.} - \text{P2: } 12, 1 | 6, 1, 6, 2 \text{ X.} - \text{П(1,2): } 13, 3, 6, 1, 6, 2 \text{ or } 12, 1, 13, 1, 1, 3; \\ \text{X.} - \text{P1: } 13, 3, 13 | 1, 1, 3 \text{ X.} - \text{P2: } 12, 1, 6 | 1, 6, 2 \text{ X.} - \text{П(1,2): } 13, 3, 13, 1, 6, 2 \text{ or } 12, 1, 6, 1, 1, 3; \\ \text{X.} - \text{P1: } 13, 3, 13, 1 | 1, 3 \text{ X.} - \text{P2: } 12, 1, 6, 1 | 6, 2 \text{ X.} - \text{П(1,2): } 13, 3, 13, 1, 6, 2 \text{ or } 12, 1, 6, 1, 1, 3; \\ \text{X.} - \text{P1: } 13, 3, 13, 1, 1 | 3 \text{ X.} - \text{P2: } 12, 1, 6, 1, 6 | 2 \text{ X.} - \text{П(1,2): } 13, 3, 13, 1, 1, 2 \text{ or } 12, 1, 6, 1, 6, 3; \end{array} \right)$$

Рисунок 4.7 – Кроссинговер модификации параметров при объединении зон «Р-З» и «Р-Г» узла «Р»

Уравнение № 1: $13 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 6 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 6 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 58$.

Решений – 17 147.

Уравнение № 2: $12 \cdot T(i) + 3 \cdot L(i) + 13 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 3 \cdot P(i) = 58$.

Решений – 12 956.

Уравнение № 3: $13 \cdot T(i) + 3 \cdot L(i) + 6 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 6 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 58$.

Решений – 6121.

Уравнение № 4: $12 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 13 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 3 \cdot P(i) = 58$.

Решений – 36 301.

Уравнение № 5: $13 \cdot T(i) + 3 \cdot L(i) + 13 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 6 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 58$.

Решений – 3510.

Уравнение № 6: $12 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 6 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 3 \cdot P(i) = 58$.

Решений – 62 742.

Уравнение № 7: $13 \cdot T(i) + 3 \cdot L(i) + 13 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 58$.

Решений – 17 871.

Уравнение № 8: $12 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 6 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 6 \cdot A(i) + 3 \cdot P(i) = 58$.

Решений – 12 432.

В результате формируются сводные таблицы параметров в безразмерной форме для исходных зон и зоны-«потомка» (таблицы 4.2–4.3).

Таблица 4.2 – Безразмерные показатели зон и зоны-«потомка» при объединении зон «С-П» и «Р-Т»

Зоны ТУ	T	L	B	S	A	P
«С-П»	1	6	4	10	1	8
«Р-Т»	2	12	4	10	2	4
Потомок № 6	2	11	4	11	2	6

Таблица 4.3 – Безразмерные показатели зон и зоны-«потомка» при объединении зон «Р-З» и «Р-Г»

Зоны ТУ	T	L	B	S	A	P
«Р-З»	1	4	1	25	10	5
«Р-Г»	1	9	2	10	2	6
Потомок № 6	1	11	2	11	11	4

Программный расчет параметров зон (объектов) для других транспортных узлов юга России представлен в Приложении 4. Итоговые результаты сведены в таблицу 4.33.

4.2 Обоснование эффективных вариантов размещения узловых зон, предприятий и производств

В соответствии со стратегиями регионального развития определены варианты реконструкции транспортных узлов юга России согласно алгоритму ГКА ТУ в программном комплексе ОП ГКУ 1.0.

Для ТУ «МВ» предложено переместить ТСЗ с восточной части узла и объединить ее с существующей зоной ТСЗ для ПЗЗ западной части, т. к. имеется резерв свободной территории (рисунок 4.8). В результате коэффициент дивергенции уменьшился на 0,003426 и составил $CD = 0,086301$ (Приложение 4.1).

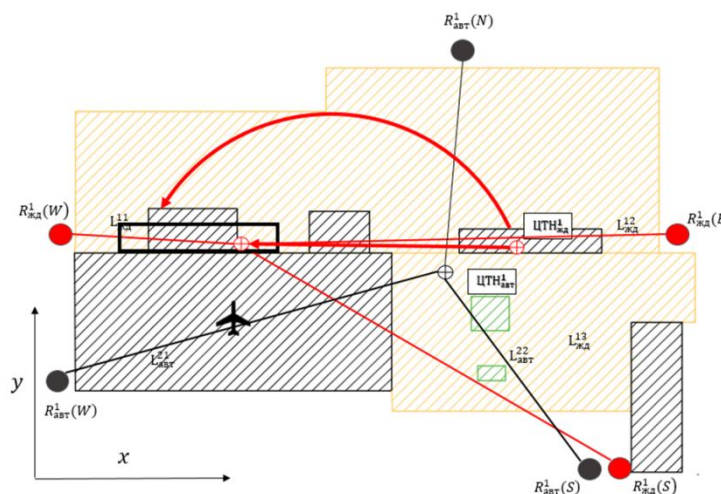


Рисунок 4.8 – Стратегия развития ТУ «МВ»

В результате формируются сводные таблицы параметров в безразмерной форме для исходных зон и зоны-«потомка» (таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Безразмерные показатели зон и зоны-«потомка» при объединении зон «ТСЗ ЖД» и «ТСЗ Аэр»

Зоны ТУ	T	L	B	S	A	P
ТСЗ ЖД	1	7	2	7	10	4
ТСЗ Аэр	1	3	2	10	7	5
Потомок № 4	1	2	2	5	5	2

Для ТУ «Д» предложено перемещение и объединение двух ПЗЗ на свободной территории узла (рисунок 4.9). В результате коэффициент дивергенции уменьшился на 0,000124 и составил $CD = 0,06096$ (таблица 4.5, Приложение 4.2).

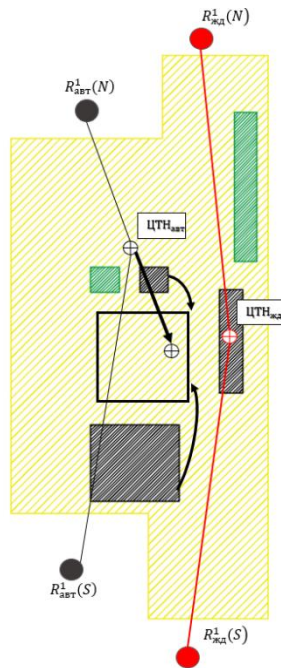


Рисунок 4.9 – Стратегия развития ТУ «Д»

Таблица 4.5 – Безразмерные показатели зон и зоны-«потомка»
при объединении зон «ПЗЗ 1» и «ПЗЗ 2»

Зоны ТУ	T	L	B	S	A	P
ПЗЗ1	1	10	7	5	1	3
ПЗЗ2	1	10	5	15	1	3
Потомок № 1	1	5	5	5	1	2

Для ТУ «Н» выполнено перемещение ПЗЗ и объединение с другой ПЗЗ на свободной территории (рисунок 4.10). В результате коэффициент дивергенции уменьшился на 0,002565 и составил $CD = 0,02895$ (таблица 4.6, Приложение 4.3).

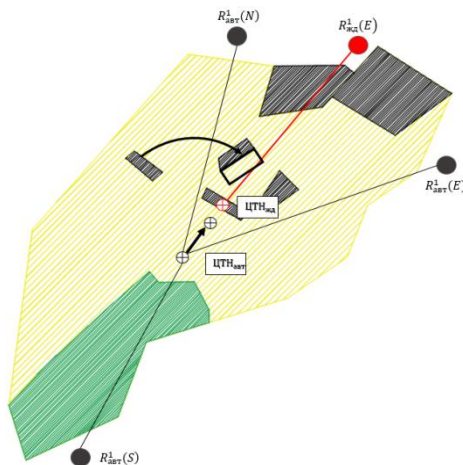


Рисунок 4.10 – Стратегия развития ТУ «Н»

Таблица 4.6 – Безразмерные показатели зон и зоны-«потомка»
при объединении зон «ПЗЗ 2» и «ПЗЗ 3»

Зоны ТУ	T	L	B	S	A	P
ПЗЗ2	1	10	5	20	2	1
ПЗЗ3	1	10	9	26	2	1
Потомок № 1	1	6	4	6	2	1

Для ТУ «СЧ» рассмотрен вариант перемещения ТСЗ на территорию другой ТСЗ и их объединение (рисунок 4.11). В результате коэффициент дивергенции уменьшился на 0,008207 и составил $CD = 0,102436$.

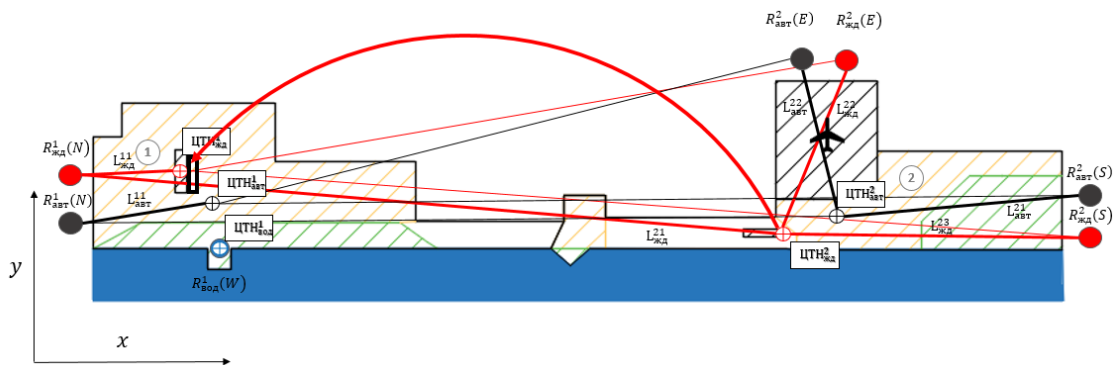


Рисунок 4.11 – Стратегии развития ТУ «СЧ»

Для ТУ «М» выполнено перемещение и объединение ПЗЗ с ТСЗ на свободной территории (рисунок 4.12), в результате коэффициент дивергенции уменьшился на 0,012227 и составил $CD = 0,089635$ (таблица 4.7, Приложение 4.4).

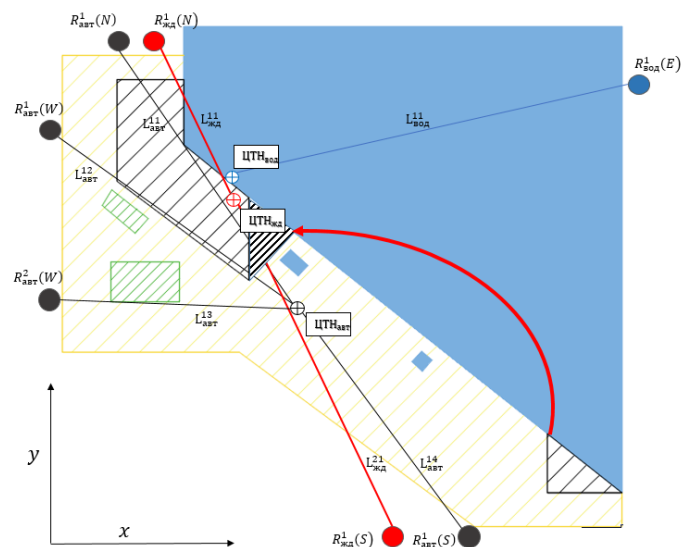


Рисунок 4.12 – Стратегия развития ТУ «М»

Таблица 4.7 – Безразмерные показатели зон и зоны-«потомка»
при объединении зон «ТСЗ» и «ПЗЗ»

Зоны ТУ	T	L	B	S	A	P
ТСЗ	1	6	2	10	5	4
ПЗЗ	1	10	8	10	6	6
Потомок № 4	1	6	6	9	5	3

Для ТУ «ТГ» выполнено перемещение и объединение двух ТСЗ на свободной территории (рисунок 4.13). В результате коэффициент дивергенции уменьшился на 0,000447 и составил $CD = 0,056178$ (таблица 4.8, Приложение 4.5).

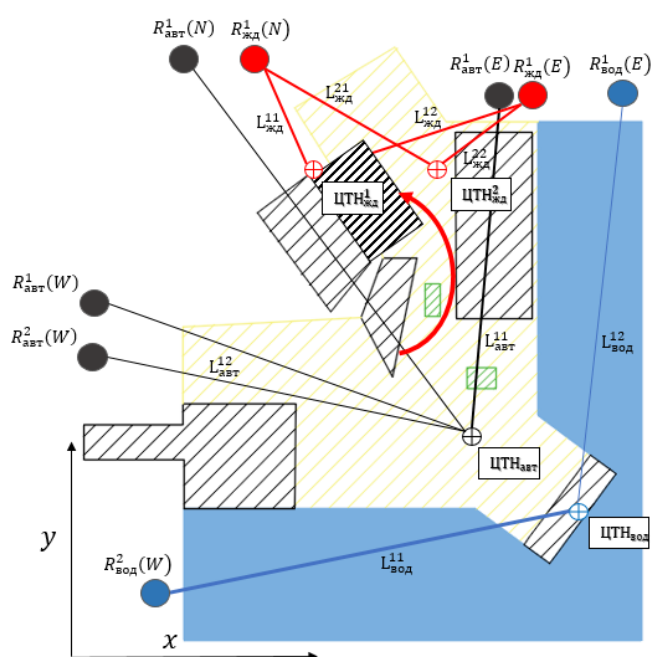


Рисунок 4.13 – Стратегия развития узла «ТГ»

Таблица 4.8 – Безразмерные показатели зон и зоны-«потомка»
при объединении зон «ТСЗ ЖДТ» и «ТСЗ ЖДПром»

Зоны ТУ	T	L	B	S	A	P
ТСЗ ЖД Т	1	9	4	10	9	4
ТСЗ ЖД Пром	1	4	6	10	1	3
Потомок № 2	1	7	3	7	7	3

Для ТУ «ВД» выполнено перемещение и объединение двух ПЗЗ на свободной территории (рисунок 4.14), в результате коэффициент дивергенции уменьшился на 0,010892 и составил $CD = 0,099731$ (таблица 4.9, Приложение 4.6).

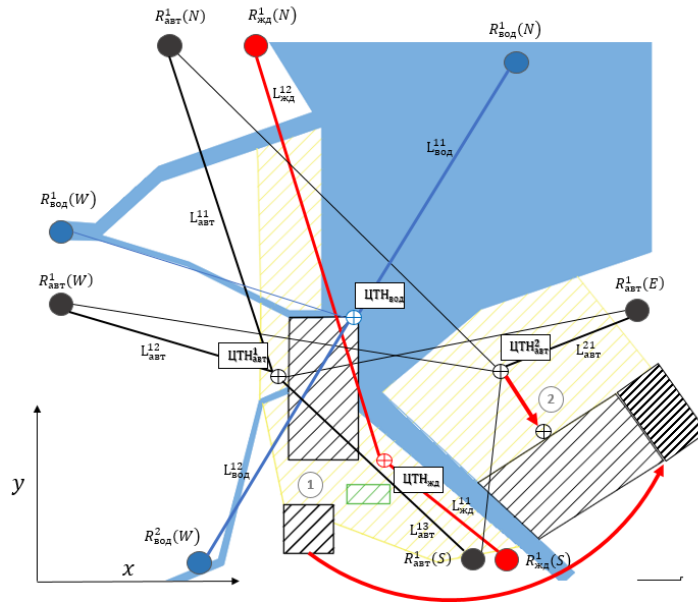


Рисунок 4.14 – Стратегия развития ТУ «ВД»

Таблица 4.9 – Безразмерные показатели зон и зоны-«потомка»
при объединении зон «ПЗЗбол» и «ПЗЗмал»

Зоны ТУ	T	L	B	S	A	P
«ПЗЗ бол»	1	15	3	10	6	1
«ПЗЗ мал»	1	7	7	10	3	2
Потомок № 4	1	5	5	5	5	1

Для ТУ «Т» выполнено расширение территории ПЗЗ за счет ЗЗ и свободных территорий (рисунок 4.15), в результате коэффициент дивергенции уменьшился на 0,002811 и составил $CD = 0,054397$.

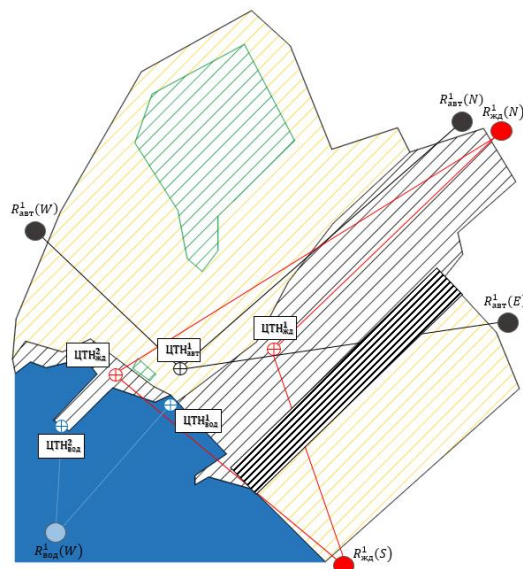


Рисунок 4.15 – Стратегия развития ТУ «Т»

В результате перестановки площадь ЗЗ уменьшилась на $0,3 \text{ км}^2$, а площадь ПЗЗ увеличилась на 1 км^2 .

Для ТУ «ВЛ» выполнено расширение территории ПЗЗ за счет ЗЗ и свободных территорий, а также перемещение новой зоны на окраину (рисунок 4.16). В результате коэффициент дивергенции увеличился на $0,011674$ и составил $CD = 0,092095$. В результате перестановки площадь ПЗЗ увеличилась на $0,4 \text{ км}^2$.

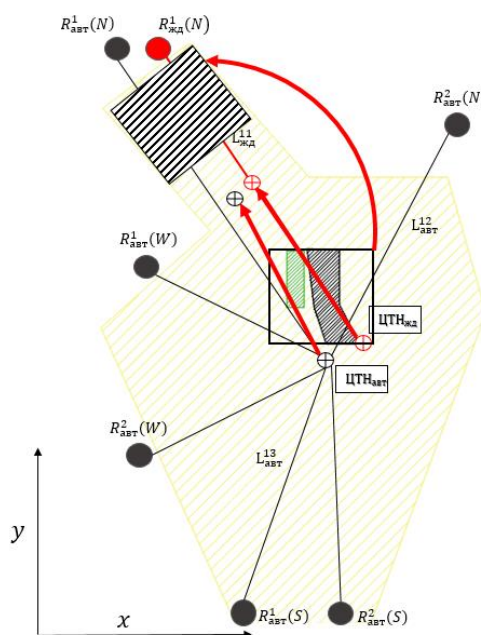


Рисунок 4.16 – Стратегия развития узла «ВЛ»

Для ТУ «МЗ» выполнено объединение ПЗЗ и ТСЗ (рисунок 4.17). В результате коэффициент дивергенции уменьшился на $0,005462$ и составил $CD = 0,0858$ (таблица 4.10, Приложение 4.7).

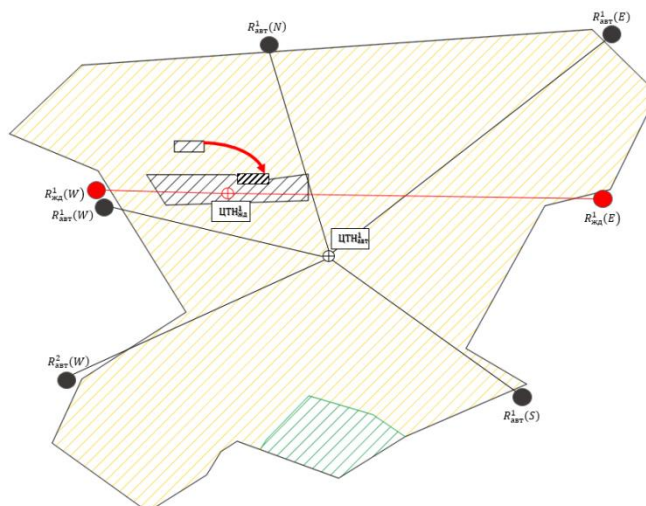


Рисунок 4.17 – Стратегия развития ТУ «МЗ»

Таблица 4.10 – Безразмерные показатели зон и зоны-«потомка»
при объединении зон «ПЗЗ» и «ТСЗ»

Зоны ТУ	T	L	B	S	A	P
«ПЗЗ»	8	3	12	10	1	3
«ТСЗ»	1	1	2	10	4	7
Потомок № 5	4	2	4	4	4	4

Для ТУ «ТХ» выполнено объединение ПЗЗ и ТСЗ (рисунок 4.18). В результате коэффициент дивергенции уменьшился на 0,002345 и составил $CD = 0,058103$ (таблица 4.11, Приложение 4.8).

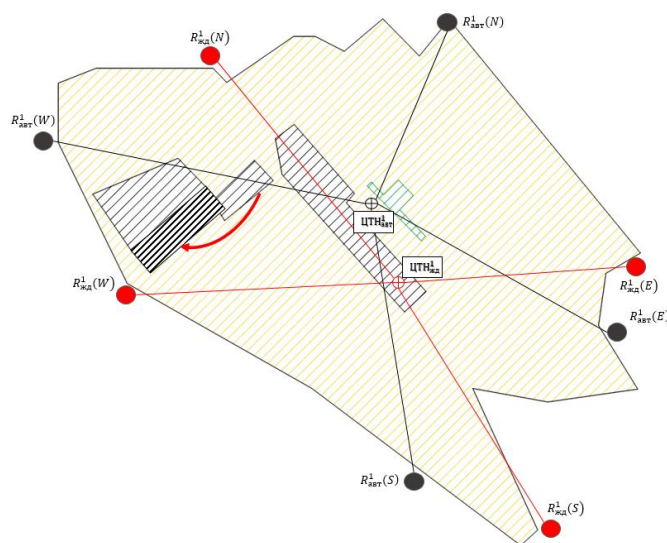


Рисунок 4.18 – Стратегия развития ТУ «ТХ»

Таблица 4.11 – Безразмерные показатели зон и зоны-«потомка»
при объединении зон «ПЗЗ» и «ТСЗ»

Зоны ТУ	T	L	B	S	A	P
«ПЗЗ»	2	1	6	10	1	3
«ТСЗ»	1	8	5	10	1	3
Потомок № 4	1	3	3	3	1	3

Для ТУ «С» выполнено объединение ПЗЗ и ТСЗ и вынос на территорию ЗЗ (рисунок 4.19). В результате коэффициент дивергенции уменьшился на 0,000934 и составил $CD = 0,05778$ (таблица 4.12, Приложение 4.9).

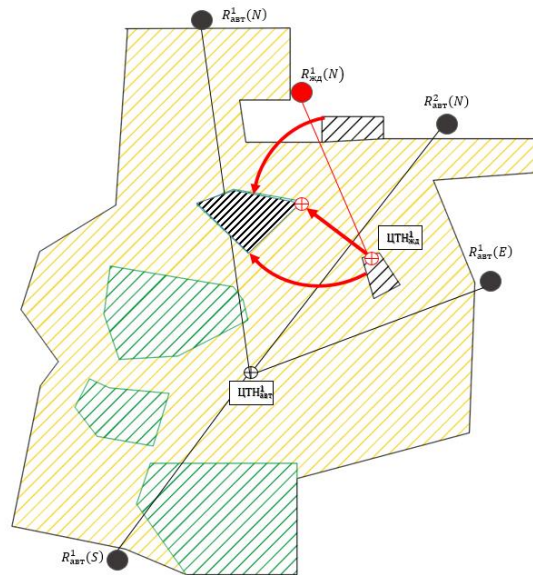


Рисунок 4.19 – Стратегия развития ТУ «С»

Таблица 4.12 – Безразмерные показатели зон и зоны-«потомка»
при объединении зон «ПЗЗ» и «ТСЗ»

Зоны ТУ	T	L	B	S	A	P
«ТСЗ»	1	5	10	10	10	2
«ПЗЗ»	2	16	6	10	1	8
Потомок № 7	1	4	8	8	8	5

Для ТУ «НВ» выполнено расширение территории ПЗЗ за счет ЗЗ и свободных территорий (рисунок 4.20). В результате коэффициент дивергенции уменьшился на 0,001467 и составил $CD = 0,113008$. В результате перестановки площадь ЗЗ уменьшилась на 0,5 км², а площадь ПЗЗ увеличилась на 0,7 км².

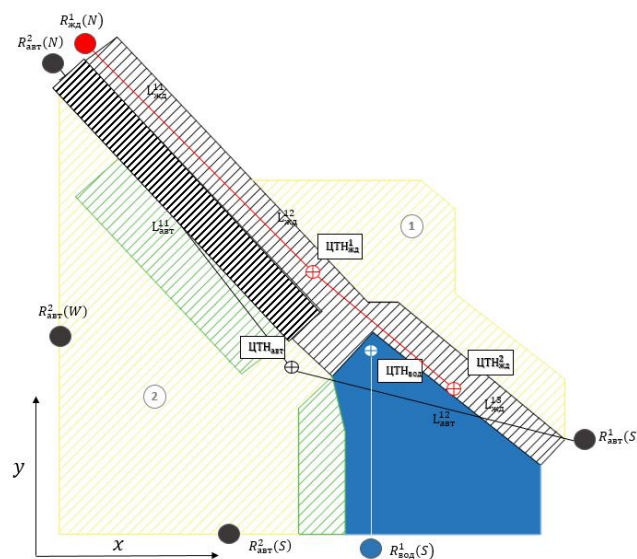


Рисунок 4.20 – Стратегия развития узла «НВ»

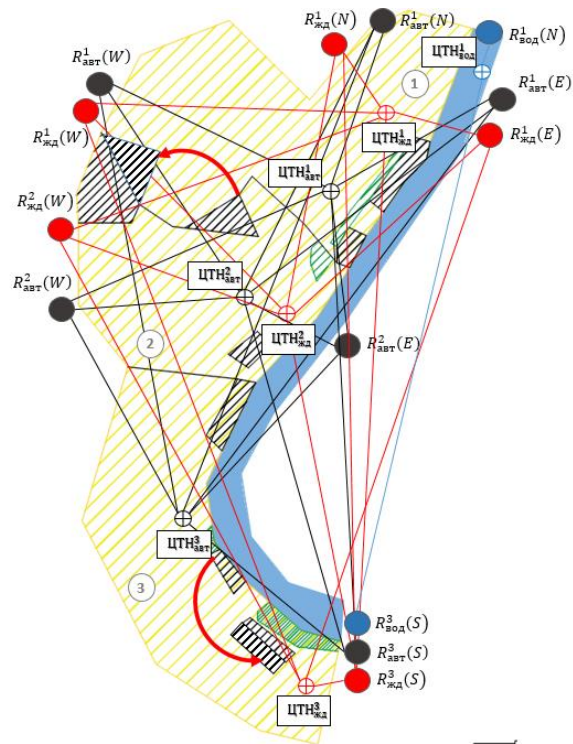


Рисунок 4.22 – Стратегия развития ТУ «В»

Для ТУ «А» выполнено: 1) объединение двух ПЗЗ; 2) объединение двух ПЗЗ и вынос на окраину (рисунок 4.23). В результате коэффициент дивергенции уменьшился на 0,000002 и составил $CD = 0,06186$ (таблицы 4.15-4.16, Приложение 4.12).

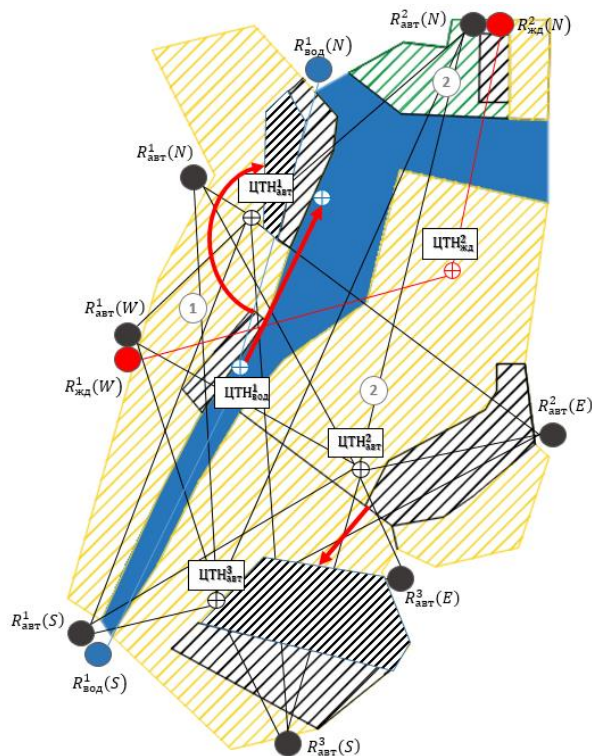


Рисунок 4.23 – Стратегия развития ТУ «А»

Таблица 4.15 – Безразмерные показатели зон и зоны-«потомка»
при объединении зон «3ПЗЗ Аэр» и «3 ПЗЗ треуг»

Зоны ТУ	T	L	B	S	A	P
3ПЗЗ Аэр	1	1	2	11	10	5
3 ПЗЗ треуг	1	16	8	10	4	3
Потомок № 4	1	9	2	9	9	5

Таблица 4.16 – Безразмерные показатели зон и зоны-«потомка»
при объединении зон «3ПЗЗ ГРЭС» и «3 ПЗЗ»

Зоны ТУ	T	L	B	S	A	P
3ПЗЗ ГРЭС	5	26	1	10	10	3
3 ПЗЗ	8	33	1	10	22	3
Потомок № 4	6	9	1	6	9	3

В результате оценки разницы критерия ΔR («выживаемость») в решениях уравнений ЛДУ параметров зон-«потомков» составили: для ТУ «Р» – 19 и 21 % (два «потомка»); для ТУ «МВ» – 34 % (один «потомок»), для ТУ «Д» – 61 % (один «потомок»), для ТУ «Н» – 26 % (один «потомок»), для ТУ «М» – 21 % (один «потомок»), для ТУ «ТГ» – 9 % (один «потомок»), для ТУ «ВД» – 22 % (один «потомок»), для ТУ «МЗ» – 71 % (один «потомок»), для ТУ «ТХ» – 67 % (один «потомок»), для ТУ «С» – 12 % (один «потомок»), для ТУ «К» – 7 % (один «потомок»), для ТУ «В» – 8 и 15 % (два «потомка»), для ТУ «А» – 16 и 26 % (два «потомка»).

Получен вывод о том, что чем больше значение разницы ΔR , тем большая неопределенность в выборе направлений развития инфраструктуры ТУ.

4.3 Оценка зависимости перспективного инфраструктурного развития узловых зон и форм организации узловых транспортных процессов

Для возврата безразмерных величин параметров, полученных по формуле $k(\theta) = 1 + 99 \cdot \frac{\theta_{\max} - \theta_i}{\theta_{\max} - \theta_{\min}}$ и приведенных нормализацией для использования в ЛДУ в исходный вид, используем формулу:

$$\Pi_{\text{и}} = \frac{(P_1^{\text{и}} + P_2^{\text{и}}) \cdot P^{\text{б}}}{P_1^{\text{б}} + P_2^{\text{б}}},$$

где $P_1^{\text{и}}$, $P_2^{\text{и}}$ – исходные значения параметров зон-«родителей», $P_1^{\text{б}}$, $P_2^{\text{б}}$ – безразмерные значения параметров зон-«родителей», $P^{\text{б}}$ – безразмерные значения параметров зон-«потомков».

В результате получены следующие значения параметров зон-«потомков» транспортных узлов:

1 Для ТУ «Р» значения параметров зон-«потомков» сведены в таблицы 4.17, 4.18.

Таблица 4.17 – Параметры зоны – «потомка» зон «С-П» и «Р-Т»

Зоны узла	Кол-во видов тр-та T	Длина L , ед.	Ширина B , ед.	Площадь, S , ед. ²	Население A , тыс. чел.	Показатель P
«С-П»	4	28	18,2	533	12	0,42
«Р-Т»	6	30,7	8,7	267,1	9	0,48
Потомок № 6	5	33,32	9,47	360,05	9,06	0,4

Таблица 4.18 – Параметры зоны – «потомка» зон «Р-З» и «Р-Г»

Зоны узла	Кол-во видов тр-та T	Длина L , ед.	Ширина B , ед.	Площадь S , ед. ²	Население A , тыс. чел.	Показатель P
«Р-З»	4	60,3	10,5	480,4	2	0,58
«Р-Г»	3	29,7	10	288,9	15	0,25
Потомок № 2	3	34,75	9,95	346,19	2,76	0,6

Таким образом, в результате площадь ПЗЗ ТУ «Р» уменьшилась на 4,4 км², а площадь ТСЗ – на 1,4 км².

2 Для ТУ «МВ» значения параметров зон-«потомков» сведены в таблицу 4.19.

Таблица 4.19 – Параметры зоны – «потомка» зон «ТСЗ ЖД» и «ТСЗ Аэр»

Зоны узла	Кол-во видов тр-та T	Длина L , ед.	Ширина B , ед.	Площадь S , ед. ²	Население A , тыс. чел.	Показатель P
ТСЗ ЖД	5	50	10	500	700	0,35
ТСЗ Аэр	3	115	50	5750	4000	0,51
Потомок № 4	4,00	319,17	340,73	1822,04	1383,54	0,4

В результате площадь ПЗЗ ТУ «МВ» уменьшилась на 3,4 км².

3 Для ТУ «Д» значения параметров зон-«потомков» сведены в таблицу 4.20.

Таблица 4.20 – Параметры зоны – «потомка» зон «ПЗ31» и «ПЗ3 2»

Зоны узла	Кол-во видов тр-та T	Длина L , ед.	Ширина B , ед.	Площадь S , ед. ²	Население A , тыс. чел.	Показатель P
ПЗ31	2	663	486	293	2	0,31
ПЗ32	2	377	189	54	1	0,25
Потомок № 1	2,00	260,00	411,85	324,28	1,33	0,2

В результате площадь ПЗ3 ТУ «Д» уменьшилась на 0,02 км².

4 Для ТУ «Н» значения параметров зон-«потомков» сведены в таблицу 4.21.

Таблица 4.21 – Параметры зоны – «потомка» зон «ПЗ32» и «ПЗ33»

Зоны узла	Кол-во видов тр-та T	Длина L , ед.	Ширина B , ед.	Площадь S , ед. ²	Население A , тыс. чел.	Показатель P
ПЗ32	3	390	189	78	5	0,08
ПЗ33	3	332	308	87	6	0,08
Потомок № 1	3,00	290,09	133,80	10,29	5,46	0,2

В результате площадь ПЗ3 «Н» уменьшилась на 0,2 км².

5 Для ТУ «М» значения параметров зон-«потомков» сведены в таблицу 4.22.

Таблица 4.22 – Параметры зоны – «потомка» зон «ТС3» и «ПЗ3»

Зоны узла	Кол-во видов тр-та T	Длина L , ед.	Ширина B , ед.	Площадь, S , ед. ²	Население A , тыс. чел.	Показатель P
ТС3	6	74	20	1332	60	0,35
ПЗ3	4	23	18	209	14	0,64
Потомок № 4	5,00	35,81	23,25	693,45	34,07	0,60

В результате площадь ПЗ3 ТУ «М» уменьшилась на 4,5 км².

6 Для ТУ «ТГ» значения параметров зон-«потомков» сведены в таблицу 4.23.

Таблица 4.23 – Параметры зоны–«потомка» зон «ТС3 ЖДТ» и «ТС3 ЖДПром»

Зоны узла	Кол-во видов тр-та T	Длина L , ед.	Ширина B , ед.	Площадь S , ед. ²	Население A , тыс. чел.	Показатель P
ТС3 ЖД Т	4	20	9	191	20	0,4
ТС3ЖД Пром	4	15	25	411	5	0,32
Потомок № 2	4,00	18,64	10,46	210,70	16,33	0,60

В результате площадь ТСЗ ТУ «ТГ» уменьшилась на 0,6 км².

7 Для ТУ «ВД» значения параметров зон-«потомков» сведены в таблицу 4.24.

Таблица 4.24 – Параметры зоны – «потомка» зон «ПЗЗ бол» и «ПЗЗ мал»

Зоны узла	Кол-во видов тр-та T	Длина L , ед.	Ширина B , ед.	Площадь S , ед. ²	Население A , тыс. чел.	Показатель P
«ПЗЗ бол»	2	46	23	991	10	0,27
«ПЗЗ мал»	3	14	14	191	50	0,15
Потомок № 4	3	24,60	18,70	295,50	108,89	0,20

В результате площадь ПЗЗ ТУ «ВД» уменьшилась на 8,1 км².

8 Для ТУ «МЗ» значения параметров зон-«потомков» сведены в таблицу 4.25.

Таблица 4.25 – Параметры зоны – «потомка» зон «ПЗЗ» и «ТСЗ»

Зоны узла	Кол-во видов тр-та T	Длина, L , ед.	Ширина, B , ед.	Площадь, S , ед. ²	Население A , тыс. чел.	Показатель P
«ПЗЗ»	2	8,6	3,1	26,9	0,2	0,25
«ТСЗ»	4	44	8,4	343	15	0,74
Потомок № 5	3	23,47	3,28	73,98	11,66	0,80

В результате площадь ПЗЗ ТУ «МЗ» уменьшилась на 0,4 км².

9 Для ТУ «ТХ» значения параметров зон-«потомков» сведены в таблицу 4.26.

Таблица 4.26 – Параметры зоны – «потомка» зон «ПЗЗ» и «ТСЗ»

Зоны узла	Кол-во видов тр-та T	Длина L , ед.	Ширина B , ед.	Площадь S , ед. ²	Население A , тыс. чел.	Показатель P
«ПЗЗ»	2	16	6,6	122	0,3	0,26
«ТСЗ»	2	28	17	400	0,4	0,27
Потомок № 4	2	61,08	6,30	78,30	0,35	0,30

В результате площадь ПЗЗ ТУ «ТХ» уменьшилась на 0,7 км².

10 Для ТУ «С» значения параметров зон-«потомков» сведены в таблицу 4.27.

В результате площадь ПЗЗ ТУ «С» уменьшилась на 0,6 км², а площадь ЗЗ – на 2,2 км².

Таблица 4.27 – Параметры зоны – «потомка» зон «ТСЗ» и «ПЗЗ»

Зоны узла	Кол-во видов тр-та, T	Длина L , ед.	Ширина B , ед.	Площадь S , ед. ²	Население A , тыс. чел.	Показатель P
«ТСЗ»	4	7	10	71	10	0,19
«ПЗЗ»	2	17	6	110	0,5	0,81
Потомок № 7	2	4,50	8,08	72,40	7,73	0,50

11 Для ТУ «К» значения параметров зон-«потомков» сведены в таблицу 4.28.

Таблица 4.28 – Параметры зоны – «потомка» зон «ТСЗ» и «ПЗЗ»

Зоны узла	Кол-во видов тр-та, T	Длина L , ед.	Ширина B , ед.	Площадь S , ед. ²	Население A , тыс. чел.	Показатель P
«ТСЗ»	4	21	7	150	50	0,52
«ПЗЗ»	5	17	18	229	20	0,58
Потомок № 8	5	10,09	12,78	170,55	15,82	0,80

В результате площадь ПЗЗ ТУ «К» уменьшилась на 1,9 км².

12 Для ТУ «В» значения параметров зон-«потомков» сведены в таблицы 4.29–4.30.

Таблица 4.29 – Параметры зоны – «потомка» зон «3ПЗЗ Аэр» и «3 ПЗЗ треуг»

Зоны узла	Кол-во видов тр-та T	Длина L , ед.	Ширина B , ед.	Площадь S , ед. ²	Население A , тыс. чел.	Показатель P
3ПЗЗ Аэр	5	10	19	149	1500	0,49
3 ПЗЗ треуг	4	13	8	62	6	0,34
Потомок № 4	5	11,70	5,54	171,80	1298,10	0,50

Таблица 4.30 – Параметры зоны – «потомка» зон 3ПЗЗ ГРЭС» и «3 ПЗЗ»

Зоны узла	Кол-во видов тр-та, T	Длина L , ед.	Ширина B , ед.	Площадь S , ед. ²	Население A , тыс. чел.	Показатель P
3ПЗЗ ГРЭС	4	9	3	27	26	0,33
3 ПЗЗ	4	11	2	30	8	0,33
Потомок № 4	4	3,07	2,50	17,10	25,91	0,60

В результате площадь ПЗЗ ТУ «В» уменьшилась на 6 км².

13 Для ТУ «А» значения параметров зон-«потомков» сведены в таблицы 4.31–4.32.

Таблица 4.31 – Параметры зоны – «потомка» зон «ПЗ31» и «ПЗ32»

Зоны узла	Кол-во видов тр-та, T	Длина L , ед.	Ширина B , ед.	Площадь S , ед. ²	Население, A , тыс. чел.	Показатель P
«ПЗ3 1»	4	34	8	216	15	0,1
«ПЗ3 2»	4	23	4	116	20	0,16
Потомок № 6	4,00	12,16	3,10	116,20	11,51	0,20

Таблица 4.32 – Параметры зоны – «потомка» зон «Кутум» и «Аэр»

Зоны узла	Кол-во видов тр-та, T	Длина L , ед.	Ширина B , ед.	Площадь S , ед. ²	Население A , тыс. чел	Показатель P
«Кутум»	4	36	12	546	90	0,28
«Аэр»	3	35	15	467	2000	0,19
Потомок № 4	4	15,06	13,31	571,84	1253,55	0,40

В результате площадь ПЗ3 ТУ «А» уменьшилась на 2 км².

Итоговые результаты изменения площадей зон транспортных узлов в результате выполненных перестановок сведены в таблицу 4.33.

4.4 Система показателей рациональных компоновочных решений транспортных узлов

В результате выполненных перестановок и модификаций узловых зон определено изменение площадей зон ТУ (см. таблицу 4.33). Получено, что для одного узла в среднем при укрупнении ПЗ3 высвобождается до 8 км² территории узла, для ТСЗ – до 1,4 км², для ЗЗ – 2,2 км². Высвобожденная территория при этом может использоваться для развития транспортных коммуникаций или зон СЗ.

Проектные значения балльных рейтингов транспортных узлов после перестановок сведены в таблицы 4.34–4.35. Получено как повышение, так и снижение значений рейтингов ТУ. Из семнадцати исследуемых транспортных узлов рейтинг десяти ТУ показывает положительное изменение, а рейтинг семи ТУ – снижение баллов.

Таблица 4.33 – Сводная ведомость показателей узловых структур

ТУ	S , км ²	N , тыс. чел	$n_{\text{маг}}$, шт.	$n_{\text{гор}}$, шт.	L_a , км	$L_{\text{ж}}$, км	L_b , км	C_3 , руб.	$S_{\text{ПЗЗ}}$, км ²	$S_{\text{ТСЗ}}$, км ²	$S_{\text{СЗ}}$, км ²	$S_{\text{ЗЗ}}$, км ²	$C_{\text{п}}$, руб.
«А»	208	524	4	1	168,2	78,6	31,2	108	12,2 ↓	3,9	167	1,2	224
«В»	859	1005	4	5	201,3	147,6	61,6	85	12,1 ↓	6,9	580	5,2	339
«К»	294	1107	4	4	133	79,2	36,3	377	10,7 ↓	7,1	227	6,9	363
«Р»	248	1138	4	5	134,9	83,4	26,9	467	17,6 ↓	3 ↓	257	21,1	326
«М»	468	604	4	1	97,1	39,6	-	615	5,6 ↓	2,1	109	2,4	220
«МВ»	51,5	72	3	1	68,5	27,9	-	141	0,9 ↓	3,8	36,2	1	219
«НВ»	86,5	277	3	3	84,1	28,7	-	380	10,2 ↑	3,9	63,1	2,7 ↓	293
«С»	171	458	3	2	84,9	27,9	-	597	2,6 ↓	0,8	121	14,5 ↓	256
«СЧ»	97,2	564	4	4	89,3	61,5	-	980	1,6	4,8	62,5	11	728
«ТХ»	46	55	2	1	66	29,6	-	76	2,5 ↓	1,1	33,8	2	221
«Т»	33,4	61	3	1	34,5	17,9	-	550	4,3 ↑	2	22,9	1,7 ↓	229
«МЗ»	17,5	41	2	2	54,3	25,1	-	232	2,4 ↓	3,2	10,5	1	234
«Д»	69,6	125	2	2	41,4	18,7	-	169	1,18 ↓	0,3	46,8	1,3	219
«ТГ»	80	245	3	5	73,3	32,1	-	400	11,2	5,4 ↓	54,8	2	282
«Н»	67	247	3	1	57,6	16,1	-	125	1,6 ↓	1,1	49,7	2	206
«ВЛ»	291	296	3	1	49,4	11,1	-	520	7 ↑	1,8	16,9	3,6	206
«ВД»	182	168	4	3	62,3	42,1	26,4	183	2,6 ↓	2,7	126	1	247

Таблица 4.34 – Значения балльных рейтингов узлов после перестановок объектов инфраструктуры

ТУ	Критерий Лапласа	Критерий Вальда	Критерий Сэвиджа	Критерий Гурвица	Критерий Ходжа – Лемана	Баллы
«СЧ»	76,31	38,80	50,67	47,18	87,38	60,07
«В»	84,31	56,22	32,06	49,50	78,33	60,08
«Р»	78,10	51,90	46,89	50,36	69,40	59,33
«М»	64,44	35,03	46,45	55,97	83,66	57,11
«К»	67,74	48,47	49,37	48,63	64,23	55,69
«С»	61,68	6,27	49,28	52,23	74,39	48,77
«ВЛ»	52,82	27,88	51,70	40,94	59,16	46,50
«НВ»	48,19	43,04	48,46	34,32	54,08	45,62
«ТГ»	39,67	39,93	36,55	38,82	48,76	40,75
«А»	62,91	31,12	44,62	45,38	11,16	39,04
«Т»	32,83	21,33	16,53	49,19	43,73	32,72
«Н»	27,75	18,16	41,03	31,48	38,52	31,39
«ВД»	38,28	24,46	29,78	26,24	5,68	24,89
«МВ»	16,84	15,05	21,82	10,64	27,66	18,40
«Д»	20,62	3,02	25,92	5,32	33,12	17,60
«МЗ»	11,23	12,04	5,61	21,12	22,13	14,43
«ТХ»	5,22	9,00	11,08	15,94	16,65	11,58
n=	0,20	0,20	0,30	0,20	0,10	

Наибольший рост баллов рейтинга зафиксирован у ТУ «Р» – увеличение баллов на +1,75 (+3,04 %), у ТУ «В» – увеличение баллов на +1,07 (+1,81 %), у ТУ «А» – увеличение баллов на +1,06 (+2,79 %).

Рейтинг ТУ с наибольшим снижением баллов выявлен у ТУ «ТГ» – на 0,87 (–2,09 %), ТУ «Д» – на –0,50 (–2,76 %).

Таблица 4.35 – Ведомость изменения оценок инфраструктур транспортных узлов

ТУ	$R_{\text{сущ}}$	$R_{\text{проект}}$	ΔR	% измене- ния R	$CD_{\text{сущ}}$	$CD_{\text{проект}}$	ΔCD	% измене- ния CD	$\Psi_{\text{сущ}}$	$\psi_{\text{проект}}$
«СЧ»	60,88	60,07	−0,81	−1,33	0,110643	0,102436	−0,008207	−7,42	0,550	0,586
«В»	59,18	60,08	+1,07	+1,81	0,052192	0,051156	−0,001046	−2,00	1,134	1,151
«Р»	57,58	59,33	+1,75	+3,04	0,066035	0,06289	−0,003145	−4,76	0,872	0,943
«М»	57,1	57,11	+0,01	+0,02	0,101862	0,089635	−0,012227	−12,00	0,561	0,637
«К»	55,36	55,69	+0,33	+0,60	0,049967	0,048809	−0,001158	−2,32	1,108	1,141
«С»	49,52	48,77	−0,75	−1,51	0,058714	0,05778	−0,000934	−1,59	0,843	0,844
«ВЛ»	46,82	46,50	−0,32	−0,68	0,080421	0,092095	+0,011674	+14,52	0,582	0,505
«НВ»	45,76	45,62	−0,14	−0,31	0,114475	0,113008	−0,001467	−1,28	0,400	0,404
«ТГ»	41,62	40,75	−0,87	−2,09	0,056625	0,056178	−0,000447	−0,79	0,735	0,725
«А»	37,98	39,04	+1,06	+2,79	0,061862	0,06186	−0,000002	−0,003	0,614	0,631
«Т»	32,62	32,72	+0,1	+0,31	0,057208	0,054397	−0,002811	−4,91	0,570	0,602
«Н»	31,46	31,39	−0,07	−0,22	0,031515	0,02895	−0,002565	−8,14	0,998	1,084
«ВД»	24,74	24,89	+0,15	+0,61	0,110623	0,099731	−0,010892	−9,85	0,224	0,249
«МВ»	18,18	18,40	+0,22	+1,21	0,089727	0,086301	−0,003426	−3,82	0,203	0,213
«Д»	18,1	17,60	−0,5	−2,76	0,061084	0,06096	−0,000124	−0,20	0,296	0,289
«МЗ»	14,38	14,43	+0,05	+0,34	0,091272	0,08581	−0,005462	−5,98	0,157	0,168
«ТХ»	11,6	11,58	−0,02	−0,17	0,060448	0,058103	−0,002345	−3,88	0,192	0,199

Таким образом, увеличение балльных рейтингов транспортных узлов свидетельствует о целесообразности выполненных перестановок инфраструктурных объектов. Хотя и снижение баллов у некоторых ТУ после компоновки не всегда свидетельствует об их значительном инфраструктурном ухудшении. Поскольку балльный рейтинг имеет динамический характер и зависит от всех исследуемых ТУ, то на примере полученных заметных улучшений параметров некоторых ТУ незначительное улучшение для других ТУ может выглядеть как неэффективное в общей стратегии развития. Это требует дальнейшего отдельного и углубленного исследования таких ТУ, которое может быть реализовано в программе ОП ГКА v. 1.0.

Динамика изменений коэффициентов дивергенции CD узлов (уменьшение до $-12,0\%$) после перестановок говорит о повышении однородности расположения объектов ТУ, что является признаком сбалансированного развития инфраструктуры и открывает возможности для внедрения инновационных решений и формирования более гармоничной городской среды.

На рисунке 4.24 представлены области эффективности проектного размещения объектов инфраструктуры исследуемых узлов, а в таблице 4.36 – результаты изменения коэффициентов эффективности после перестановок.

Из рисунка 4.24 следует, что получены две области эффективности, площади которых составили: для малых узлов – $S_m^{\text{проект}} = 1,59 \text{ ед.}^2$, для средних и больших узлов – $S_6^{\text{проект}} = 16,29 \text{ ед.}^2$. Изменение площадей составило (см. рисунок 3.12): $\Delta S_m = 1,83 - 1,59 = 0,24 \text{ ед.}^2$; $\Delta S_6 = 17,7 - 16,29 = 1,41 \text{ ед.}^2$

Введем понятие «плотности» области эффективности относительно количества ТУ – $\rho_{\text{ТУ}}^{\text{проект}} = \frac{S_{\text{ТУ}}^{\text{проект}}}{N_{\text{ТУ}}}, \frac{\text{ед.}^2}{\text{ТУ}}$. В результате получено, что $\rho_m^{\text{проект}} = \frac{1,59}{5} = 0,318 \frac{\text{ед.}^2}{\text{ТУ}}$, а $\rho_6^{\text{проект}} = \frac{16,29}{9} = 1,81 \frac{\text{ед.}^2}{\text{ТУ}}$. При этом ТУ «К», ТУ «В» и ТУ «Н» имеют расположение объектов инфраструктуры в соответствии со степенью их развитости, т. е. $\psi_{\text{сущ}}(K, B, H) \rightarrow \max$.

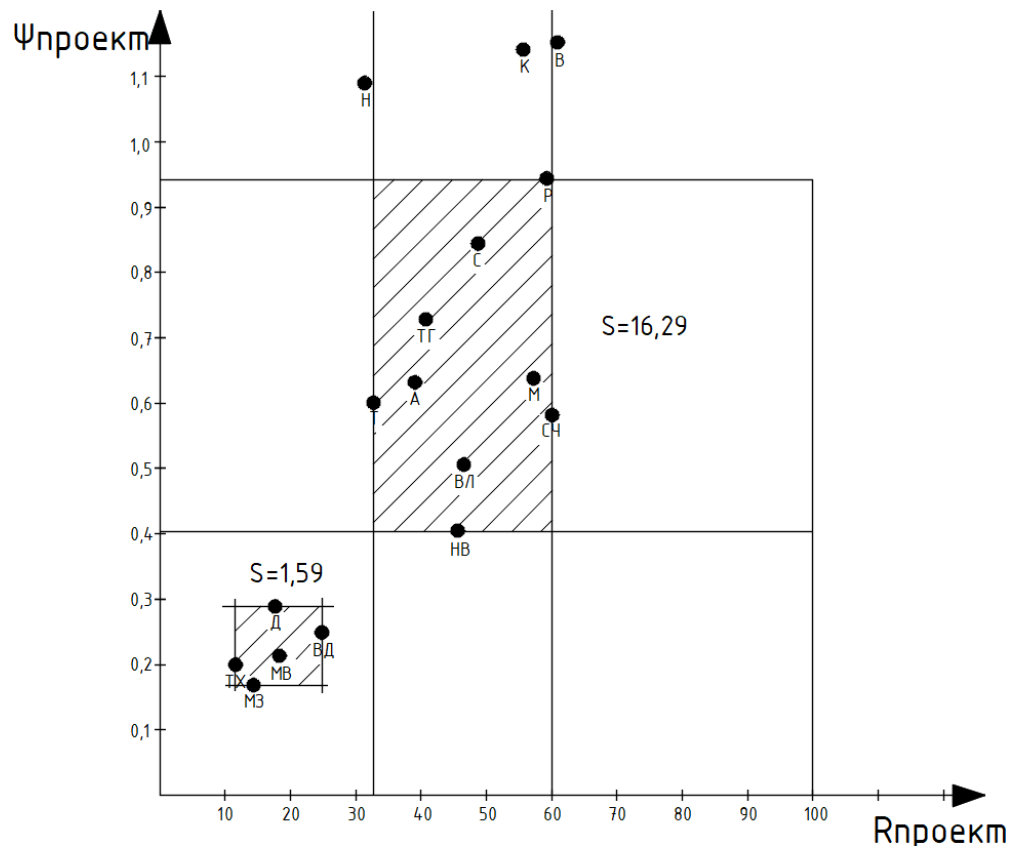


Рисунок 4.24 – Область эффективности проектных вариантов размещения объектов инфраструктуры транспортных узлов (по Парето)

Таблица 4.36 – Ведомость изменения коэффициента эффективности

Название ТУ	$\Delta_{\text{сущ}} = 1 - \psi $	$\Delta_{\text{проект}} = 1 - \psi $	$ \Delta_{\text{сущ}} - \Delta_{\text{проект}} $
«Н»	0,002	0,084	0,082
«К»	0,108	0,141	0,033
«Р»	0,128	0,057	0,071
«В»	0,134	0,175	0,041
«С»	0,157	0,156	0,001
«ТГ»	0,265	0,275	0,010
«А»	0,386	0,369	0,017
«ВЛ»	0,418	0,52	0,102
«Т»	0,430	0,398	0,032
«М»	0,439	0,363	0,076
«СЧ»	0,450	0,414	0,036
«НВ»	0,600	0,596	0,004
«Д»	0,704	0,711	0,007
«ВД»	0,776	0,75	0,026
«МВ»	0,797	0,787	0,010
«ТХ»	0,808	0,801	0,007
«МЗ»	0,843	0,832	0,011

В результате проведенных перестановок количество малых узлов осталось прежним, но площадь области эффективности по сравнению с существующим вариантом уменьшилась на 0,24 ед.², т. е. стала более концентрированной, а инфраструктура ТУ – унифицированной.

Количество средних и больших узлов в области эффективности уменьшилось с десяти до девяти, а ТУ «Н» попал в область расположения объектов инфраструктуры, соответствующую степени развитости. Кроме того, площадь области эффективности для средних и больших узлов уменьшилась на 1,41 ед.² «Плотность» области эффективности относительно количества ТУ для малых узлов уменьшилась на $0,048 \frac{\text{ед.}^2}{\text{ТУ}}$, а для средних и больших – увеличилась на $0,04 \frac{\text{ед.}^2}{\text{ТУ}}$. Таким образом, имеет место выравнивание инфраструктурных показателей основных ТУ [167].

В заключение оценки показателей рациональных компоновочных решений транспортных узлов рассмотрим укрупненные значения транспортных расходов на завоз-вывоз грузов от узловых точек входа-выхода до ЦТН зон (объектов) по существующим и проектным вариантам размещения (таблица 4.37).

Таблица 4.37 – Укрупненная ведомость стоимостных показателей перевозок по вариантам компоновок ТУ

ТУ	Стоимость перевозок, С _п , руб/т-км	Расст. до ближ. точки вх.-вых. узла (исх.), км	Расст. до ближ. точки вх.-вых. узла (проект), км	Уменьшение расстояния завоза-вывоза, км	Экономия, тыс. руб/т (пасс)-км	Стоимость занимаемой земли, С _з , тыс. руб/га
1	2	3	4	5	6	7
«А»	224	5,64	0,95	5,46	1223,04	108
		5,91	5,14			
«В»	339	9,25	4,35	6,68	2264,52	85
		6,52	4,74			
«К»	363	11,7	3,30	15,75	5717,25	377
		8,66	1,31			

Продолжение таблицы 4.37

1	2	3	4	5	6	7
«Р»	326	6,15	2,68	4,63	1509,38	467
		3,44	2,28			
«М»	220	5,12	3,42	1,7	374	615
«МВ»	219	2,44	1,07	1,37	300,03	141
«НВ»	293	0,98	0,98	0	0	380
«С»	256	5,76	4,03	1,73	442,88	597
«СЧ»	728	8,69	2,62	6,07	4418,96	980
«ТХ»	221	3,60	2,28	1,32	291,72	76
«Т»	229	1,12	1,12	0	0	550
«МЗ»	234	1,02	0,96	0,06	14,04	232
«Д»	219	2,77	1,91	0,86	188,34	169
«ТГ»	282	7,27	4,43	2,84	800,88	400
«Н»	206	2,54	2,16	0,38	78,28	125
«ВЛ»	206	4,19	1,21	2,98	613,88	520
«ВД»	247	4,17	1,92	2,25	555,75	183

В результате получено, что для малых узлов экономия стоимости завоза-вывоза одной тонны груза составляет от 14,04 до 613,9 тыс. руб/т в год. Для средних и больших ТУ экономия транспортных расходов составляет от 800,9 до 5717,25 тыс. руб/т (пасс)-км. Следует отметить, что данные результаты ожидаемы, так как перенос инфраструктурных зон (объектов) ТУ выполняется на окраины узла за пределы СЗ с приближением к магистральным транспортным коммуникациям. При оценке реального варианта инфраструктурного развития узла необходим полный расчет капитальных затрат и эксплуатационных расходов.

Таким образом, разработанный метод размещения узловых зон и объектов согласно ГКА ТУ в условиях нечеткой параметризации транспортных процессов необходим как для целей предварительного экспресс-анализа стратегий узлового развития при оценке множества вариантов компоновочных решений в кратчайшие сроки, так и при оценке итоговых проектов развития узла по дополнительным внутрисистемным параметрам.

4.5 Выводы по главе

В главе представлена апробация метода выбора рациональных компоновочных решений узловых зон и объектов в условиях нечетких данных проектирования на примере семнадцати ТУ юга России согласно разработанному алгоритму ГКА ТУ и программному комплексу ОП ГКА v. 1.0.

В результате перестановок объектов инфраструктуры в целом площади ПЗЗ уменьшились на 30,12 км², площадь ТСЗ – на 2 км², площадь РЗ – на 2,2 км², а ЗЗ – на 0,8 км², что указывает на эффективность предлагаемых решений и шаг к более гармоничному развитию узловой территории, когда промышленные и складские объекты выносятся из городской застройки, что способствует повышению комфорта жизни населения ТУ.

Проектные значения балльных рейтингов транспортных узлов после перестановок показывают как положительное (у 10 узлов), так и отрицательное (у 7 узлов) изменение. Наибольший рост баллов рейтинга у ТУ «Р» – на +1,75 (+3,04 %), у ТУ «В» – на +1,07 (+1,81 %), у ТУ «А» – на +1,06 (+2,79 %). Рейтинг ТУ с наибольшим снижением баллов: ТУ «ТГ» – на –0,87 (–2,09 %), ТУ «Д» – на –0,50 (–2,76 %). Увеличение балльных рейтингов ТУ подтверждает целесообразность выполненных перестановок инфраструктурных объектов. Хотя снижение баллов у некоторых ТУ после компоновок не всегда свидетельствует об их инфраструктурном ухудшении. Поскольку балльный рейтинг имеет динамический характер и зависит от всех исследуемых ТУ, то на примере полученных заметных улучшений параметров некоторых ТУ незначительное улучшение для других ТУ может выглядеть как неэффективное в общей стратегии развития. Это требует дальнейшего отдельного и углубленного исследования таких ТУ, которое может быть реализовано в программе ОП_ГКА_1.0.

Динамика изменений коэффициентов дивергенции *CD* узлов говорит о повышении однородности расположения объектов во всех ТУ, что является признаком устойчивого и сбалансированного развития транспортных узлов и открывает возможности для внедрения инновационных решений. Только у ТУ «ВЛ» коэффициент дивергенции увеличился на 14,52 %, хотя меньшая

однородность инфраструктуры узла может указывать на более разнообразные стратегии и подходы в управлении технологией работы, что может способствовать более гибким и эффективным перспективным решениям.

В главе также исследовано понятие «плотности» области эффективности компоновочных решений. В результате проведенных перестановок количество малых узлов осталось прежним, но площадь области эффективности по сравнению с существующим вариантом уменьшилась на 0,24 ед.², т.е. стала более концентрированной, а инфраструктура ТУ – унифицированной. Количество средних и больших узлов в области эффективности уменьшилось с десяти до девяти, а ТУ «Н» попал в область расположения объектов инфраструктуры, соответствующую степени развитости. Кроме того, площадь области эффективности для средних и больших узлов уменьшилась на 1,41 ед.² Таким образом, имеет место выравнивание инфраструктурных показателей основных ТУ.

Выполненный укрупненный расчет значений транспортных расходов на завоз-вывоз грузов от узловых точек входа-выхода до ЦТН зон (объектов) по существующим и проектным вариантам размещения показал, что для малых узлов экономия стоимости завоза-вывоза одной тонны груза составляет от 14,04 до 613,9 тыс. руб/т (пасс)-км. Для средних и больших ТУ экономия транспортных расходов составляет от 800,9 до 5717,25 тыс. руб/т (пасс)-км. Следует отметить, что данные результаты ожидаемы, так как перенос инфраструктурных зон (объектов) ТУ выполняется на окраины узла за пределы СЗ с приближением к магистральным транспортным коммуникациям. При оценке реального варианта инфраструктурного развития узла потребуется, конечно, полный расчет капитальных затрат и эксплуатационных расходов по всему узлу. Таким образом, разработанный метод размещения узловых зон и объектов согласно ГКА ТУ в условиях нечеткой параметризации транспортных процессов необходим как для целей предварительного экспресс-анализа стратегий узлового развития при оценке множества вариантов компоновочных решений в кратчайшие сроки, так и при оценке итоговых проектов развития узла по дополнительным внутрисистемным параметрам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований получены научно обоснованные предложения по формированию метода размещения инфраструктурных объектов транспортных узлов в условиях нечетких принципов параметризации, а именно:

1 Исследованы история развития и практический опыт формирования схем транспортных узлов как высшей ступени комплексной инфраструктурно-технологической интеграции (на примере юга России). Исследована проблема определения транспортного узла методами экспертного анализа, логистического ABC-анализа и морфологического анализа семантических сочетаний. Предлагается определять транспортный узел как «мультимодальный центр многокомпонентной системы логистически взаимодействующих видов транспорта, расположенной в пределах крупных городских агломераций и центров промышленного производства».

2 Установлено, что с учетом новых технологических процессов необходимо расширить существующую классификацию ТУ и дополнить ее такими признаками, как уровень логистического сервиса, агломерационно-экономическая роль, степень развития промышленного производства, тип центра скрещения транспорта, степень цифровизации транспортных процессов, степень вовлеченности в международное транспортное производство.

3 Обзор отечественных и зарубежных научных разработок показал, что существующие методики компоновки узловой инфраструктуры недостаточно учитывают многовариантность возможных решений и взаимосвязь разнородных сложноформализуемых факторов. В связи с этим в работе предложен и обоснован метод размещения, интеграции и модификации узловых зон и объектов, основанный на блочно-модульном принципе и новых адаптивных эволюционных подходах с учетом теорий системного анализа, активных систем, нечетких множеств, а также метода анализа иерархий.

4 Разработан комплексный динамический балльный рейтинг узловой структуры транспортного узла, основанный на критериях теории принятия решений, с учетом множества факторов и динамики их изменения. Перспективная системная классификация транспортных узлов включает пять классов: крупнейшие, крупные, большие, средние и малые.

5 Рассмотрено применение специального градостроительного показателя P (СГП) объекта инфраструктуры узла, для обработки данных которого использован метод анализа иерархий (МАИ). Значение СГП определяется на основе интегральной функции с удельными «весами» показателей грузооборота, пассажирооборота, технического состояния зоны, коэффициента застройки и площади застроенной территории, значимости зоны по категории отраслей промышленности, надежности и устойчивости транспортных связей, коэффициента связности узла и коэффициента эффективности системы, соответствия экологическим нормам и программам регионального развития.

6 Сформирован метод размещения инфраструктурных объектов транспортных узлов в условиях нечетких принципов параметризации на основе авторского генетического компоновочного алгоритма инфраструктурных объектов транспортного узла (ГКА ТУ). Для этого выполнена постановка задачи размещения узловых зон и объектов, модифицирован понятийный аппарат ГКА ТУ, впервые решены линейные диофантовы уравнения (ЛДУ) применительно к оценке параметров зон транспортных узлов, разработан программный комплекс размещения инфраструктурных объектов транспортного узла на языке программирования *Python*.

7 Предложено использовать расширенную систему показателей узловых компоновочных решений на основе коэффициента Энгеля, коэффициента дивергенции CD , площадей и «плотности» двумерных областей эффективности вариантов размещения объектов инфраструктуры (по Парето), а также зависимостей балльного рейтинга узла от коэффициента дивергенции для оценки вариантов расположения инфраструктурных зон и объектов перспективного узлового развития.

8 В результате компоновочных решений для семнадцати ТУ получено:

1 – для одного узла в среднем при укрупнении ПЗЗ высвобождается до 8 км² территории, для ТСЗ – до 1,4 км², для РЗ – 2,2 км², а ЗЗ – до 0,8 км²;

2 – проектные значения балльных рейтингов транспортных узлов после перестановок показывают как положительное (у 10 узлов), так и отрицательное (у 7 узлов) изменение (рост баллов рейтинга у ТУ «Р» – на +1,75, у ТУ «В» – на +1,07, у ТУ «А» – на +1,06, наибольшее снижение баллов у ТУ «ТГ» – на –0,87 и ТУ «Д» – на –0,50;

3 – динамика уменьшения коэффициентов дивергенции *CD* узлов говорит о повышении однородности расположения объектов, что является признаком сбалансированного развития;

4 – площадь области эффективности компоновочных решений по сравнению с существующим вариантом для малых узлов уменьшилась на 0,24 ед.², а для средних и больших – на 1,41 ед.², т. е. стала более концентрированной, а инфраструктура ТУ – более унифицированной;

5 – укрупненный расчет значений транспортных расходов на завоз-вывоз грузов от узловых точек входа-выхода до ЦТН зон (объектов) по существующим и проектным вариантам размещения показал, что для малых узлов экономия стоимости завоза-вывоза одной тонны груза составляет от 14,04 до 613,9 тыс. руб/т (пасс)-км, а для средних и больших ТУ – от 800,9 до 5717,25 тыс руб/т (пасс)-км.

Следует отметить, что данные результаты ожидаемы, так как перенос инфраструктурных зон (объектов) ТУ выполняется на окраины узла за пределы СЗ с приближением к магистральным транспортным коммуникациям. При оценке реального варианта инфраструктурного развития узла потребуются, конечно, полный расчет капитальных затрат и эксплуатационных расходов по всему узлу.

Таким образом, разработанный метод размещения узловых зон и объектов согласно ГКА ТУ в условиях нечеткой параметризации транспортных процессов необходим как для целей предварительного экспресс-анализа

стратегий узлового развития при оценке множества вариантов компоновочных решений в кратчайшие сроки, так и при оценке итоговых проектов развития узла по дополнительным внутрисистемным параметрам.

В качестве рекомендаций по результатам выполненного исследования следует указать:

1 При разработке проектов развития транспортных узлов необходимо учитывать весь спектр методологического инструментария оценки размещения объектов с уточнением классификационных признаков.

2 Для характеристики качества компоновочных решений транспортных узлов целесообразно использовать расширенную систему показателей и динамический балльный рейтинг узла.

3 Метод размещения объектов узловой инфраструктуры в условиях динамических сложноформализуемых факторов требует использования большого объема данных. Для целей создания автоматизированного научно-методического комплекса решения задач компоновки необходимо сформировать электронную базу данных схем основных транспортных узлов и их показателей.

4 Разработанный в диссертации метод размещения инфраструктурных объектов транспортных узлов в условиях нечетких принципов параметризации на основе генетического компоновочного алгоритма может быть адаптирован для узлов других видов транспорта и планирования территорий городских агломераций.

Перспективы дальнейшей разработки темы диссертационной работы связаны с развитием методологии компоновки объектов узловых инфраструктур и территорий городских агломераций с учетом изменений в сфере информационно-логистических, транспортных коммуникаций и их показателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Числов, О. Н.** О вопросе формирования определения транспортного узла / О. Н. Числов, Е. Е. Мизгирева // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – 2023. – № 2 (35). – С. 91–98. – ISSN 2415-8658.
- 2 **Головин, Ар. А.** Экономическая география и регионалистика мира : учебное пособие / Ар. А. Головин, А. А. Головин, М. А. Пархомчук. – Санкт-Петербург : ИЦ Интермедия, 2019. – 144 с. – ISBN 978-5-4383-0188-2.
- 3 Статистика // Министерство транспорта Российской Федерации [сайт]. – URL: <https://mintrans.gov.ru/ministry/results/180/documents> (дата обращения: 02.05.2025).
- 4 **Мизгирева, Е. Е.** Проблемы и перспективы развития транспортных узлов крупных городских агломераций / Е. Е. Мизгирева // Механика и трибология транспортных систем (МехТрибоТранс-2021) : сборник статей Международной научной конференции. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2021. – С. 85–89. – DOI 10.46973/978-5-907295-52-0_2021_85.
- 5 **Желтиков, В. П.** Экономическая география : учебное пособие / В. П. Желтиков. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2003. – 383 с. – ISBN 5222033082.
- 6 Южный федеральный округ // Министерство транспорта Российской Федерации [сайт]. – URL: https://mintrans.gov.ru/transport_of_russian/2__ (дата обращения: 15.06.2025).
- 7 **Сидоренко, В. Т.** Путешествие в историю Северо-Кавказской железной дороги, 1860–1920 / В. Т. Сидоренко. – Ростов-на-Дону : Омега-Принт, 2007. – 327 с.
- 8 **Числов, О. Н.** Принципы формирования комплексного критерия оценки структуры транспортного узла / О. Н. Числов, Е. Е. Мизгирева // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 1 (93). – С. 122–131. – DOI 10.46973/0201-727X 2024 1 122 – ISSN 0201-727X.
- 9 **Крейнис, З. Л.** Очерки истории железных дорог. Два столетия. Кн. 3: Великий Российский путь из Санкт-Петербурга во Владивосток / З. Л. Крейнис. –

Москва : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2010. – 491 с. – ISBN 978-5-9994-0024-6.

10 Стратегия социально-экономического развития Астраханской области на период до 2035 года // Министерство экономического развития Российской Федерации [сайт]. – URL: https://www.economy.gov.ru/material/file/4b8094cf56b7ee8f6cf6fb146c7c8f52/astr_obl.pdf (дата обращения: 14.05.2025).

11 Стратегия социально-экономического развития Волгограда до 2030 года // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/446507709> (дата обращения: 14.05.2025).

12 Стратегия социально-экономического развития Волгоградской области до 2030 года // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/578044892> (дата обращения: 14.05.2025).

13 Стратегия социально-экономического развития муниципального образования город Краснодар до 2030 года // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/571007846> (дата обращения: 14.05.2025).

14 Стратегия социально-экономического развития города Ростова-на-Дону на период до 2035 года // Официальный портал городской Думы и Администрации города Ростова-на-Дону. – URL: <https://rostov-gorod.ru/administration/structure/departments/deg/action/materialy.php> (дата обращения: 14.05.2025).

15 Стратегия социально-экономического развития Северо-Кавказского федерального округа на период до 2030 года // Правительство Российской Федерации [сайт]. – URL: <http://static.government.ru/media/files/zAyJ1T99GfiNha1pYvXzv5AgPYJgapga.pdf> (дата обращения: 14.05.2025).

16 Стратегия социально-экономического развития Краснодарского края до 2030 года // Министерство экономического развития Российской Федерации [сайт]. – URL: <https://www.economy.gov.ru/material/file/e4e8b9ddede078a93f60f5e7a08fce28/krasnodar.pdf> (дата обращения: 14.05.2025).

17 Стратегия социально-экономического развития муниципального образования городской округ город-курорт Сочи Краснодарского края на период до 2035 года // Официальный портал города-курорта Сочи. – URL: <https://sochi.ru/upload/iblock/c72/fzk235up957fu8loc9gahk3r0syldva.pdf> (дата обращения: 14.05.2025).

18 Стратегия социально-экономического развития Ростовской области на период до 2030 года // Официальный портал Правительства Ростовской области. – URL: <https://www.donland.ru/activity/2158/> (дата обращения: 14.05.2025).

19 **Мизгирева, Е. Е.** Исследование параметров транспортных узлов / Е. Е. Мизгирева // Транспорт: наука, образование, производство : сборник трудов Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2022. – С. 253–257. – ISBN 978-5-907295-67-4.

20 **Числов, О. Н.** О вопросе формирования определения транспортного узла / О. Н. Числов, Е. Е. Мизгирева // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – 2023. – № 2 (35). – С. 91–98. – ISSN 2415-8658.

21 География. Современная иллюстрированная энциклопедия / под редакцией проф. А. П. Горкина. – Москва : Росмэн, 2006. – 624 с. – ISBN 5-353-02443-5.

22 Технический железнодорожный словарь / под редакцией Н. Н. Васильева, О. Н. Исаакяна, Н. О. Рогинского [и др.]. – Москва : Государственное транспортное железнодорожное издательство, 1941. – 608 с.

23 Большой нормативно-технический словарь : около 15000 терминов / автор-составитель Ю. И. Фединский. – Москва : Астрель, 2007. – 926 с. – ISBN 5-271-15119-0.

24 **Загорский, И. О.** Транспортная инфраструктура / И. О. Загорский, П. П. Володькин, А. С. Рыжова. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2015. – 228 с. – ISBN 978-5-7389-1545-1.

25 **Балалаев, А. С.** Организация мультимодальных перевозок : учебник / А. С. Балалаев, В. А. Телегина, Н. И. Костенко ; под редакцией А. С. Балалаева. –

Москва : ФБГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2017. – 440 с. – ISBN 978-5-89035-954-4.

26 ГОСТ 34530-2019. Транспорт железнодорожный. Основные понятия. Термины и определения : межгосударственный стандарт : издание официальное : введен в действие в качестве национального стандарта РФ с 01.02.2020 приказом Росстандарта № 748-ст от 24.09.2019. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 50 с.

27 Алаев, Э. Б. Социально-экономическая география : Понятийно-терминологический словарь / Э. Б. Алаев. – Москва : Мысль, 1983. – 290 с.

28 Клименко, В. В. К вопросу о понятии «транспортный узел» / В. В. Клименко // Логистика – Евразийский мост : материалы XI Международной научно-практической конференции. – Красноярск, 2016. – С. 211–214. – ISBN 978-5-94617-384-1.

29 Земблинов, С. В. Станции и узлы / С. В. Земблинов, И. И. Страковский. – Москва : Трансжелдориздат, 1963. – 348 с.

30 Балалаев, А. С. Терминально-логистические комплексы : учебное пособие / А. С. Балалаев, Р. Г. Король. – Хабаровск : ДВГУПС, 2014. – 138 с.

31 Нестерова, Н. С. Проектирование мультимодальной транспортной сети / Н. С. Нестерова, В. А. Анисимов, С. М. Гонрачук // Бюллетень результатов научных исследований. – 2017. – № 4. – С. 41–51. – eISSN 2223-9987.

32 Бродецкий, Г. Л. Системный анализ в логистике: выбор в условиях неопределенности : учебник / Г. Л. Бродецкий. – Москва : Издательский центр «Академия», 2010. – 336 с. – ISBN 978-5-4468-6711-0.

33 Ватутин, В. А. Теория вероятностей и математическая статистика в задачах : учебное пособие для вузов / В. А. Ватутин, Г. И. Ивченко, Ю. И. Медведев. – Москва : Дрофа, 2003. – 328 с. – ISBN 5-7107-8917-8.

34 Бешелев, С. Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гуревич. – Москва : Статистика, 1980. – 264 с.

35 Моисеев, Н. Н. Математические задачи системного анализа : учебное пособие / Н. Н. Моисеев. – Москва : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 488 с.

36 **Числов, О. Н.** Компонентные решения мультимодальных транспортных узлов для обеспечения заданных пропускных способностей инфраструктуры / О. Н. Числов, Е. Е. Мизгирева // Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах (РИЛТТРАНС-2023) : сборник трудов V Международной научно-практической конференции. В 2 ч. Ч. 1. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2023. – С. 215–225.

37 СП 42.13330.2016. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89 : введен в действие с 01.07.2017 Приказом Минстроя России от 30.12.2016 № 1034/пр // Контур-Норматив. Справочно-правовая система. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=437043&ysclid=md2zpx5wzh48083052> (дата обращения: 15.05.2025).

38 **Еловой, И. А.** Эффективность логистических транспортно-технологических систем (теория и методы расчета) : монография / И. А. Еловой. – Гомель : БелГУТ, 2000. – 290 с. – ISBN 985-6550-51-3.

39 **Балалаев, А. С.** Организация мультимодальных перевозок : учебник / А. С. Балалаев, В. А. Телегина, Н. И. Костенко. – Москва : ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2017. – 440 с. – ISBN 978-5-89035-954-4.

40 О Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года : Распоряжение Правительства РФ от 27.11.2021 № 3363-р (ред. от 06.11.2024) // КонсультантПлюс. Справочно-правовая система. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_402052 (дата обращения: 14.05.2025).

41 **Доенин, В. В.** Динамическая логистика транспортных процессов / В. В. Доенин. – Москва : Компания «Спутник», 2010. – 246 с. – ISBN 978-5-9973-0569-7.

42 **Левушкин, А. Н.** Заключение, изменение и исполнение узлового соглашения / А. Н. Левушкин, И. К. Кузьмина // Транспортное право. – 2023. – № 4. – С. 19–24. – DOI 10.18572/1812-3937-2023-4-19-24.

43 **Терехов, О. А.** Организация взаимоувязанной работы Ленинградского транспортного узла Передовой опыт Балт. мор. пароходства, Окт. ж. д., Сев.-Зап. реч. пароходства, Всесоюз. об-ния «Союзвнештранс», Главленавтотранса и Ленингр. мор. порта / О. А. Терехов, Ф. Д. Иванников, В. И. Тюрин. – Москва : Транспорт, 1978. – 96 с. – (Передовые коллективы).

44 **Чеченова, Л. М.** Интеллектуализация железнодорожного транспорта как фактор развития транспортной отрасли / Л. М. Чеченова // Вестник транспорта Поволжья. – 2021. – № 2 (86). – С. 78–85. – ISSN 1997-0722

45 **Мизгирева, Е. Е.** Направления цифровизации узловых транспортных процессов / Е. Е. Мизгирева // Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России (ТрансПромЭк-2020) : сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону, 2020. – С. 165–169.

46 **Мизгирева, Е. Е.** Направления цифровизации узловых транспортных процессов на примере Краснодарского транспортного узла / Е. Е. Мизгирева // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. – 2020. – № 1 (2). – С. 113–119. – ISSN 2664-5025.

47 **Лябах, Н. Н.** Нетрадиционные страницы менеджмента / Н. Н. Лябах, А. Н. Лябах. – Ростов-на-Дону : БАРО-ПРЕСС, 2002. – 208 с. – ISBN 5-94004-133-7.

48 Паспорт национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» : утвержден президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24.12.2018 № 16 // ГАРАНТ. Информационно-правовое обеспечение. – URL: <https://base.garant.ru/72190282/?ysclid=md31od4oks521468903> (дата обращения: 17.05.2025).

49 Стратегическое направление в области цифровой трансформации транспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года : утверждено распоряжением Правительства Российской Федерации от 03.11.2023 № 3097-р (ред. от 21.10.2024) // Официальный интернет-портал правовой информации. –

URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&prevDoc=607732029&backlink=1&&nd=606066341&ysclid=md31s0v9x8567246324> (дата обращения: 17.05.2025).

50 Стратегия цифровой трансформации ОАО «РЖД» до 2025 года : утверждена решением совета директоров ОАО «РЖД» от 25.10.2019 (актуализирована решением Правления ОАО «РЖД» от 23.08.2021, протокол № 40) URL: <https://www.hse.ru/data/2020/01/29/1569354186/Долгосрочная%20программа%20развития%20РЖД%20до%202025%20г.pdf> (дата обращения: 17.07.2025)

51 Цифровые технологии в управлении перевозочным процессом : учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта / О. В. Москвичев [и др.]. – Самара : СамГУПС, 2023. – 206 с. – ISBN 978-5-98941-372-0.

52. **Алхелу, Н.** Выбор оптимального размещения транспортно-пересадочного узла (ТПУ) для взаимодействия железнодорожного транспорта с другими видами транспорта / Н. Алхелу, С. П. Вакуленко, А. О. Демидова, А. А. Сидраков // Экономика железных дорог. – 2023. – № 9. – С. 40-48. – ISSN 1727-6500

53. **Брюханов, П. А.** Методика формирования транспортной сети метрополитена. Метод оптимальной связи / П. А. Брюханов, А. А. Сидраков // Транспортное дело России. – 2024. – № 7. – С. 240-244. – ISSN 2072-8689

54. **Алхелу, Н.** Классификация транспортно-пересадочных узлов с использованием методов математического анализа / Н. Алхелу, А. О. Демидова, М. Ю. Савельев, А. А. Сидраков // Экономика железных дорог. – 2023. – № 10. – С. 26-38 – ISSN 1727-6500

55 **Козлов, П. А.** Теоретические основы, организационные формы, методы оптимизации гибкой технологии транспортного обслуживания заводов черной металлургии : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук : 05.22.12 / Козлов Петр Алексеевич. – Москва : МИИТ, 1987. – 49 с.

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

57 **Четчуев, М. В.** Актуализация комплексного метода обоснования этапности развития железнодорожных станций и узлов / М. В. Четчуев // Экономика железных дорог. – 2019. – № 3. – С. 67–72. – ISSN 1727-6500

58 Проблемы оптимизации этапности развития станций при использовании альтернативных вариантов проектных решений / Ю. И. Ефименко, М. В. Четчуев, А. Г. Филиппов, М. В. Губарь // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2018. – Т. 15, № 2. – С. 194–205. – ISSN 1815-588X.

59 Проблемы развития транспорта : Комплексная эксплуатация / под редакцией С. С. Ушакова, В. С. Кравченко. – Москва : Транспорт, 1983. – 230 с.

60 **Жардемов, Б. Б.** Теоретические основы развития железнодорожных станций и узлов : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук : 05.22.08 / Жардемов Болат Баделович. – Москва : МИИТ, 1999. – 410 с.

61 **Никитин, В. Д.** Типовая схема узловой средней станции / В. Д. Никитин // Труды Московского института инженеров железнодорожного транспорта. – 1932. – Вып. XXI. – С. 130–158. – ISSN 0208-3456.

62 **Хомяков, Д. М.** Основы системного анализа / Д. М. Хомяков, П. М. Хомяков. – Москва : МГУ, 1996. – 108 с. – ISBN 5-87597-015-4 : Б. ц.

63 **Белов, И. В.** Экономическая теория транспорта в СССР: Исторический опыт, современные проблемы и решения, взгляд в будущее / И. В. Белов, В. А. Персианов. – Москва : Транспорт, 1993. – 415 с.

64 **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.

65 **Харари, Ф.** Теория графов / Ф. Харари ; перевод с английского В. П. Козырева ; под редакцией Г. П. Гаврилова. – 2-е изд. – Москва : УРСС, 2003. – 296 с. – ISBN 5-354-00301-6 : 2000.

66 **Попов, А. М.** Теория вероятностей и математическая статистика : учебник для бакалавров / А. М. Попов, В. Н. Сотников ; под редакцией проф.

А. М. Попова. – Москва : Издательство Юрайт, 2015. – 440 с. – ISBN 978-5-9916-2738-2.

67 **Мирошниченко, В. М.** Некоторые вопросы автоматизации проектирования железнодорожных станций с помощью ЭЦВМ : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук : (434) / Мирошниченко Виктор Михайлович. – Киев, 1969. – 25 с.

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

69 **Козлов, П. А.** Совместное использование аналитических методов и имитационных моделей / П. А. Козлов, В. С. Колокольников, В. И. Сорокин // Транспорт Урала. – 2016. – № 3. – С. 3–8. – DOI 10.20291/1815-9400-2016-3-3-8.

70 **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.

71 **Балалаев, А. С.** Методология транспортно-логистического взаимодействия при мультимодальных перевозках : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук : 05.22.01 / Балалаев Александр Сергеевич. – Хабаровск, 2010 – 48 с.

72 **Батурин, А. П.** Теория выбора оптимального развития технического оснащения сети железных дорог : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук : 05.22.08 / Батурин Александр Павлович. – Москва : МИИТ, 2000. – 336 с

73 **Долгоруков, Д. С.** Формирование системы прогнозирования подвода грузов к портам / Д. С. Долгоруков, Т. Н. Каликина // Вестник транспорта Поволжья. – 2012. – № 2 (32). – С. 39–43. – ISSN 1997-0722.

74 **Барский, А. Б.** Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений / А. Б. Барский. – Москва : Финансы и статистика, 2004. – 176 с. – ISBN 5-279-02757-X.

75 **Ту, Дж.** Принципы распознавания образов / Джулиус Ту, Рауль Гонсалес де Каскорро. – Москва : Мир, 1978. – 411 с.

76 **Лябах, Н. Н.** Техническая кибернетика на железнодорожном транспорте : учебник для вузов / Н. Н. Лябах, А. Н. Шабельников. – Ростов-на-Дону : СКНЦ ВШ, 2002. – 283 с. – ISBN 588-8-14129-1.

77 Efficient and secure logistics transportation system / M. V. Kolesnikov, N. N. Lyabakh, E. A. Mamaev, M. V. Bakalov // VIII International Scientific Conference Transport of Siberia – 2020. – 2020. – Vol. 918, No. 012031. – DOI 10.1088/1757-899X/918/1/012031.

78 **Колесников, М. В.** Методика разработки морфологической идентификации параметров управления предприятием / М. В. Колесников // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2005. – № 1. – С. 81–83. – ISSN 0201-727X.

79 **Колесников, М. В.** Формирование эффективной и конкурентоспособной деятельности транспортных систем / М. В. Колесников, М. В. Бакалов // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2015. – № 5. – С. 37–39. – ISSN 1818-5509.

80 **Кофман, А.** Введение в теорию нечетких множеств / Арнольд Кофман ; перевод с французского В. Б. Кузьмина ; редактор С. И. Травкин. – Москва : Радио и связь, 1982. – 432 с.

81 **Персианов, В. А.** Проблемные вопросы методологии исследований и управления транспортом России на завершающем этапе реструктуризации отрасли / В. А. Персианов, А. В. Степанов, Т. М. Гайноченко // Управление. – 2017. – № 3 (17). – С. 11–18. – ISSN 2309-3633.

82 Транспортная политика России: ситуационный анализ, исторический опыт, проблемные вопросы : монография / под общей редакцией проф. В. А. Персианова. – Москва : Альта-Принт, 2009. – 464 с.

83 **Таль, К. К.** Основные вопросы применения методов моделирования при проектировании станций и узлов / К. К. Таль // Труды ЦНИИС. – 1971. – Вып. 47. – С. 56–96.

84 **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.

85 **Алибеков, Б. И.** Модели размещения и развития объектов региональной транспортной системы и приближенный метод их решения / Б. И. Алибеков, Э. А. Мамаев // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2012. – № 4. – С. 96–106. – ISSN 0201-727X.

86 **Интрилигатор, М.** Математические методы оптимизации и экономическая теория / М. Интрилигатор ; перевод с английского Г. И. Жуковой, Ф. Я. Кельмана. – Москва : Айрис-пресс, 2002. – 576 с. – ISBN 5-8112-0042-0.

87 **Малышев, И. А.** Разработка интеллектуальной системы поддержки принятия экономических решений на основе методов теорий нечетких множеств : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук : 08.00.13 / Малышев Илья Александрович. – Волгоград : ВГТУ, 2006. – 23 с.

88 **Осинцев, Н. А.** Оценка резервов пропускной и перерабатывающей способности технологических железнодорожных станций с использованием теории нечетких множеств / Н. А. Осинцев, А. Н. Рахмангулов // Вестник транспорта Поволжья. – 2011. – № 1 (25). – С. 45–49. – ISSN 1997-0722.

89 **Сотников, Е. А.** Интеллектуализация оперативного управления перевозочным процессом на уровне региональной дирекции / Е. А. Сотников // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 11. – С. 36–42. – ISSN 0044-4448.

90 Развитие методики цифрового аксиоматного моделирования объекта транспортной инфраструктуры / О. Н. Числов, Н. М. Луганченко, В. В. Хан, Н. М. Магомедова // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 1 (68). – С. 22–32. – DOI 10.52170/1815-9265_2024_68_22.

91 **Числов, О. Н.** Принципы теории нечетких множеств в формализации инфраструктурно-технологического взаимодействия припортовой железнодорожной транспортной системы / О. Н. Числов, Д. С. Безусов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2021. – № 4. – С. 578–590. – DOI 10.20295/1815-588X-2021-4-578-590.

92 Fuzzy modelling of the transportation logistics processes / O. Chislov, N. Lyabakh, M. Kolesnikov, M. Bakalov and D. Bezusov // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 2131. – P. 032007. – DOI 10.1088/1742-6596/2131/3/032007.

93 **Chiao, J. Y.** Neural basis of social status hierarchy across species / J. Y. Chiao // Current Opinion in Neurobiology. – 2010, Dec. – Vol. 20 (6). – P. 803–809. – DOI 10.1016/j.conb.2010.08.006.

94 **Tian, W.** A generalized interval fuzzy mixed integer programming model for a multimodal transportation problem under uncertainty / W. Tian, C. Cao // Engineering Optimization. – 2017. – Vol. 49, Iss. 3. – P. 1–18. – DOI 10.1080/0305215X.2016.1190351.

95 О применении искусственных нейронных сетей на железнодорожном транспорте / В. Б. Положишников, В. А. Акманов, С. Н. Томащенко, Т. В. Шипунов // Железнодорожный транспорт. – 2019. – № 3. – С. 33–36. – ISSN 0044-4448.

96 **Рахмангулов, А. Н.** Методы интеллектуализации управления технологическими процессами в железнодорожных промышленных транспортных системах / А. Н. Рахмангулов, С. Н. Корнилов, П. Н. Мишкурин // Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах (РИЛТТРАНС-2023) : сборник трудов V Международной научно-практической конференции. В 2 ч. Ч. 1. – Санкт-Петербург, 2023. – С. 186–193.

97 **Правдин, Н. В.** Взаимодействие различных видов транспорта: (примеры и расчеты) / Н. В. Правдин, В. Я. Негрей, В. А. Подкопаев ; под редакцией Н. В. Правдина. – Москва : Транспорт, 1989. – 208 с.

98 Железнодорожные узлы: схемные решения, транспортная работа и их оценка : монография / О. Н. Числов, В. В. Хан, В. М. Задорожний, Н. М. Магомедова ; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2016. – 229 с. – ISBN 978-5-88814-461-9.

99 **Хан, В. В.** Развитие методов определения рациональных структур и организации транспортно-технологических процессов железнодорожных узлов :

диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.22.01 / Хан Владимир Васильевич. – Ростов-на-Дону : ФГБОУ ВО РГУПС, 2017. – 209 с

100 **Сай, В. М.** Планетарные структуры управления на железнодорожном транспорте : монография / В. М. Сай. – Москва : ВИНТИ РАН, 2003. – 345 с. – ISBN 5-900242-307 : 500.

101 **Афанасьева, Н. А.** Организация взаимодействия ОАО «РЖД» с субъектами Российской Федерации : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук : 05.02.22 / Афанасьева Наталья Александровна. – Екатеринбург, 2010. – 23 с.

102 **Даутхаджиева, М. Х.** Кластеризация экономики как фактор повышения уровня регионального развития использования / М.Х. Даутхаджиева // Terra Economicus. – 2010. – Т. 8, № 4–3. – С. 185–187. – ISSN 2073-6606.

103 **Портер, М. Е.** Конкурентное преимущество : Как достичь высокого результата и обеспечить его устойчивость : перевод с английского / Майкл Е. Портер. – Москва : Альпина Бизнес Букс, 2005. – 715 с. – ISBN 5-9614-0182-0.

104 **Кравец, А. С.** Развитие методов технологического взаимодействия предприятий в региональных системах транспортировки насыпных грузов : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.22.01 / Кравец Александра Сергеевна. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2020. – 197 с.

105 **Котиков, Ю. Г.** Концепция мультипортовой мультимодальной полицентрической системы Ленинградского региона / Ю. Г. Котиков // Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах (РИЛТТРАНС-2017) : сборник трудов Второй международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2018. – С. 38–46.

106 **Краснощек, А. А.** Мировые тенденции развития морских портов, припортовых железнодорожных узлов и подходов к ним / А. А. Краснощек, А. Ю. Паныхев, П. К. Рыбин // Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах (РИЛТТРАНС-2017) : сборник трудов Второй международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2018. – С. 3–11.

107 **Дюран, Б.** Кластерный анализ / Б. Дюран, П. Оделл ; перевод с английского Е. З. Демиденко ; под редакцией А. Я. Боярского. – Москва : Статистика, 1977. – 128 с.

108 **Matusita, K.** On the theory of statistical decision functions / Kameo Matusita // Annals of the Institute of Statistical Mathematics (Tokyo). – 1951. – Vol. 3. – P. 17–35.

109 **Clark, P. J.** An axtension of the coefficient of divergence for use with multiple characters / Philip J. Clark // Copeia – 1952. – Iss. 2. – P. 61–64.

110 **Числов, О. Н.** Принципы разработки генетического компоновочного алгоритма размещения объектов транспортного узла / О.Н. Числов, Е.Е. Мизгирева // Транспорт: наука, образование, производство : сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону, 2024. – С. 267–271.

111 **Holland, J. H.** Adaptation in natural and artificial systems / J. H. Holland. – University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975. – 183 с. – ISBN 100472084607.

112 **Софронова, Е. А.** Вариационный генетический алгоритм и его применение к управлению транспортными потоками в городской среде / Е. А. Софронова // International Journal of Open Information Technologies. – 2023. – Т. 11, № 4. – С. 3–13. – ISSN 2307-8162

113 **Костин, Е. С.** Особенности решения задачи коммивояжера при помощи генетического алгоритма / Е. С. Костин // Системный анализ и логистика. – 2023. – № 3 (37). – С. 91–96. – DOI 10.31799/2077-5687-2023-3-91-96.

114 **Доманов, К. И.** Сравнительный анализ эффективности работы генетического алгоритма при модификации оператора мутации в задаче коммивояжера / К. И. Доманов // Политехнический молодежный журнал. – 2022. – № 1 (66). – DOI 10.18698/2541-8009-2022-1-760.

115 **Дерина, Е. А.** Коррекция инерциальной навигационной системы с помощью генетического алгоритма / Е. А. Дерина, Н. В. Лукьянова, А. О. Куприянов // Автоматизация. Современные технологии. – 2022. – Т. 76, № 8. – С. 359–364. – DOI 10.36652/0869-4931-2022-76-8-359-364

116 **Акопов, А. С.** Адаптивное управление транспортной инфраструктурой в городской среде с использованием генетического алгоритма вещественного кодирования / А. С. Акопов, Е. А. Зарипов, А. М. Мельников // Бизнес-информатика. – 2024. – Т. 18, № 2. – С. 48–66. – DOI 10.17323/2587-814X.2024.2.48.66

117 **Комовкина, Н. С.** Обоснование размещения в железнодорожных узлах станций, обслуживающих крупные морские порты : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.22.08 / Комовкина Наталия Сергеевна ; ПГУПС. – Санкт-Петербург, 2013. – 20 с.

118 **Петраков, Г. С.** Организация взаимодействия железных дорог с другими видами транспорта в транспортных узлах на основе мультимодальных логистических центров : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук : 05.22.08 / Петраков Геннадий Петрович ; Моск. гос. ун-т путей сообщ. – Москва, 2014. – 25 с.

119 **Леонова, С. А.** Методические основы выбора мест размещения транспортно-пересадочных узлов : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.22.01 / Леонова Светлана Александровна. – Самара, 2020. – 20 с

120 **Вебер, А.** Теория размещения промышленности : с приложением работы Шлира «Промышленность Германии с 1860 г.» / Альфред Вебер ; изложил и перевел Н. Морозов, под редакцией и с предисловием Н. Баранского. – Ленинград ; Москва : Книга, 1926. – 223 с.

121. **Лёш, А.** Географическое размещение хозяйства / Август Лёш. – Москва : Издательство иностранной литературы, 1959. – 455 с.

122. **Харпер-Смит, П.** Управление проектами : перевод с английского / Патрик Харпер-Смит, Саймон Дерри. – Москва : Дело и Сервис, 2011. – 240 с. – ISBN 978-5-8018-0536-8.

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

124 **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.

125 **Vernon, R.** International Investment and International Trade in the Product Cycle / R. Vernon // The Quarterly Journal of Economics. – 1966. – Vol. 80 (2). – P. 190. – DOI 10.2307/1880689.

126 **Сторпер, М.** Ключи от города : Как устроено развитие? / Майкл Сторпер ; перевод с английского Ольга Шамина. – Москва : Strelka Press, 2018. – 364 с. – ISBN 978-5-906264-84-8.

127 **Уолкер, Р.** Экономическая география / Р. Уолкер. – Москва : Издательство «Гео», 2004. – 280 с. – ISBN 978-5-00-000000-5.

128 **Фридман, А. М.** Экономика предприятий торговли и питания потребительского общества : учебник / А. М. Фридман. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Дашков и К, 2021. – 656 с. – ISBN 978-5-394-04507-3.

129 **Christopher, M.** Logistics and supply chain management / Martin Christopher. – 6th ed. – FT Publishing International, 2023. – 360 p. – ISBN 978-1292416205.

130 **Lambert, D. M.** Supply Chain Management: Processes, Partnerships, Performance / Douglas M. Lambert ; Supply Chain Management Institute. – Sarasota, Florida, 2004. – 407 p. – ISBN 9780975994900.

131 **Мэрфи, П. Р.** Современная логистика = Contemporary logistics / Пол. Р. Мэрфи-мл., Дональд Ф. Вуд ; перевод с английского О. Л. Пелявского] – 8-е изд. – Москва : Вильямс, 2016. – 716 с. – ISBN 978-5-8459-0969-5 : Б. ц.

132 **Уотерс, Д.** Управление цепями поставок и логистика : перевод с английского / Д. Уотерс. – Москва : ЮНИТИ-ДАНА, 2017 – 503 с. – ISBN 978-5-238-00569-5.

133 **Поттхофф, Г.** Теория массового обслуживания: перевод с немецкого / Г. Поттхофф ; под редакцией Е. П. Нестерова. – Москва : Транспорт, 1979. – 144 с.

134 **Мюллер, У.** Устройства железной дороги и динамика движения (Muller W. Die Grundlagen der Fahrdynamik // Eisenbahnaniagen u. Fahrdynamik. Springer-Verlag, Berlin, 1960. V. 1-2. P. 5–44) / У. Мюллер // Железные дороги мира. – 1991. – № 4. – С. 46–52. – ISSN 0321-1495.

135 **Балух, Х.** Модульное автоматизированное проектирование путевого развития станций (Baluch H. CAD in modular designing of track layout in railway stations) / Х. Балух // Железные дороги мира. – 1989. – № 7. – С. 70–74. – ISSN 0321-1495.

136 **Зюмер, М.** Алгоритм выбора места расположения проектируемых станций (Sumer M. An algorithm for determining convenient location of projected station points with probability theory) / М. Зюмер // Железные дороги мира. – 1990. – № 4. – С. 47–50. – ISSN 0321-1495.

137 **Корацца, Г.** Методология проектирования путевого развития станций (Corazza G. & Musso A. Methodology for station track layout design) / Г. Корацца // Железные дороги мира. – 1991. – № 4. – С. 46–52. – ISSN 0321-1495.

138 **Шеннон, К. Э.** Работы по теории информации и кибернетике : сборник статей : перевод с английского / Клод Эльвуд Шеннон ; под редакцией Р. Л. Добрушина и О. Б. Лупанова. – Москва : Иностранная литература, 1963. – 832 с.

139 Classifying railway stations for strategic transport and land use planning: Context matters! / S. Zemp, M. Stauffacher, D. J. Lang, R. W. Scholz // Journal of Transport Geography. – 2011. – No. 19. – P. 670–679. – DOI 10.1016/J.JTRANGE.2010.08.008.

140 A graph application for design and capacity analysis of railway junctions / P. Jovanovic, N. Pavlovic, I. Belosevic, S. Milinkovic // 8th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis. – 2019. – P. 491–507.

141 **Müller-Hillebrand, M.** Die Wiederherstellung der Marktfähigkeit des Eisenbahnreiseverkelus / Markwart Müller-Hillebrand // Eisenbahntechnische Rundschau. – 1962. – Heft 10–11. – S. 455–487.

142 **Pirath, C.** Das Raumzeitsystem der Siedlungen / Carl Pirath. – Stuttgart, K. Wittmer, 1947. – 39 s.

143 **Гиг, Дж. ван** Прикладная общая теория систем. В 2 кн. Кн. 1 / Джон ван Гиг ; перевод с английского под редакцией к.физ.н. Б. Г. Сушкова, д. филос.н В. С. Тюхтина. – Москва : Мир, 1981. – 336 с.

144 **Форрестер, Дж.** Динамика развития города / Джей Форрестер ; перевод с английского М. Г. Орловой. – Москва : Прогресс, 1974. – 286 с

145 **Сай, В. М.** Методология построения сетевых организационных структур в железнодорожном транспорте : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.02.22 / Сай Василий Михайлович. – Екатеринбург, 2003. – 385 с

146 **Кондаков Н. И.** Логический словарь-справочник / Н. И. Кондаков. – Москва : Наука, 1975. – 720 с.

147 **Семенов, А. К.** Методы системного анализа структуры народного хозяйства / А. К. Семенов. – Москва : Наука, 1974. – 223 с.

148 **Mintzberg, H.** The Structuring of organizations / Henry Mintzberg. – Prentice Hall, 1979. – 536 p. – ISBN 978-0138552701.

149 **Олтяну, И.** Организационные структуры современного предприятия (вводные элементы) / Ионица Олтяну : сокращенный перевод с румынского Р. Н. Жегровой. – Москва : Экономика, 1971. – 87 с.

150 **Числов, О. Н.** Комплексные методы рационального размещения элементов транспортно-технологических систем в железнодорожных узлах : монография / О. Н. Числов ; РГУПС. – Ростов-на-Дону, 2009. – 294 с. – ISBN 978-5-88814-234-9.

151 **Числов, О. Н.** К вопросу моделирования инфраструктурно-технологического взаимодействия в транспортных узлах / О. Н. Числов, Е. Е. Мизгирева // Вестник транспорта Поволжья. – 2023. – № 3 (99). – С. 86–91. – ISSN 1997-0722.

152 **Кудрявцев, А. М.** Методика комплексной оценки эффективности функционирования транспортной инфраструктуры региона / М. А. Кудрявцев, Л. Н. Руднева // Российское предпринимательство. – 2014. – № 8 (524). – С. 109-121. – ISSN 1994-6937.

153 **Виленский, П. Л.** Оценка эффективности инвестиционных проектов: теория и практика : учебное пособие / П. Л. Виленский, В. Н. Лившиц, С. А. Смоляк. – Москва : Поли Принт Сервис, 2015. – 1300 с. – ISBN 978-5-904466-17-6

154 **Булавина, Л. В.** Проектирование и оценка транспортной сети и маршрутной системы в городах / Л. В. Булавина. – 2-е изд. – Екатеринбург : УрФУ, 2019. – 80 с. – ISBN 978-5-7996-2574-0.

155 **Хан, В. В.** Обоснование рациональных структур и организации транспортно-технологических процессов железнодорожных узлов : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.22.01 / Хан Владимир Васильевич ; РГУПС. – Ростов-на-Дону, 2016. – 23 с.

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

157 **Гельруд, Я. Д.** Методы принятия управленческих решений : учебное пособие / Я. Д. Гельруд, Т. А. Шиндина. – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – ISBN 978-5-696-04733-1.

158 Выбор схемы мультимодальной доставки по критериям Лапласа, Вальда, Сэвиджа и Гурвица / П. В. Куренков, Е. А. Герасимова, А. И. Хуснутдинов, А. П. Иванов // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2023. – № 1. – С. 3–8. – DOI 10.36535/0236-1914-2023-01-1 – ISSN 0236-1914

159 **Саати, Т. Л.** Принятие решений : Метод анализа иерархий / Томас Л. Саати ; перевод с английского Р. Г. Вачнадзе. – Москва : Радио и связь, 1993. – 314 с. – ISBN 5-256-00443-3.

160 **Семенихина, Н. Б.** Метод анализа иерархий как системный подход к проблеме принятия решений / Д. Б. Семенихина // Дискуссия. – 2023. – № 117. – С. 38–48. – DOI 10.46320/2077-7639-2023-2-117-38-48. – ISSN 2077-7639

161 **Петровский, А. Б.** Теория принятия решений / А. Б. Петровский. – Москва : ИЦ «Академия», 2009. – 398 с. – ISBN 978-5-7695-5093-5.

162 **Числов, О. Н.** Принципы формирования системы оценки показателей инфраструктуры транспортного узла / О. Н. Числов, Е. Е. Мизгирева, С. А. Колошин // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. – 2024 – № 1 (6). – С. 164–169. – ISSN 2664-5025.

163 **Числов, О. Н.** Генетический компоновочный алгоритм размещения объектов транспортного узла: постановка задачи, формирование и использование массивов данных, методика решения / О. Н. Числов, Е. Е. Мизгирева, Н. М. Луганченко // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2025. – Т. 22, Вып. 1. – С. 32-46. – DOI 10.20295/1815-588X-2025-1-32-46

164 **Базылев, Д. Ф.** Справочное пособие к решению задач: диофантовы уравнения / Д. Ф. Базылев. – Минск : НТЦ «АПИ», 1999. – 160 с. – ISBN 985-6344-27-1

165 **Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025663676 Российская Федерация.** / О. Н. Числов, Е.Е. Мизгирева, Н.М. Луганченко. – № 2025661784 : заявл. 12.05.2025 ; опубли. 29.05.2025. – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ.

166 Современный стратегический анализ : учебное пособие / Е. Ю. Кузнецова [и др.] ; под общей ред., д.э.н., проф. Е. Ю. Кузнецовой. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016.– 131 с. – ISBN 978-5-7996-1832-2.

167 **Мизгирева, Е.Е.** Программный комплекс выбора рациональных параметров объектов инфраструктуры в компоновочных решениях транспортного узла // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2025. – № 2. – С. 208-218 – DOI 10.46973/0201-727X_2025_2_208 – ISSN 0201-727X

168 Программа организации скоростного и высокоскоростного движения железнодорожного сообщения в Российской Федерации : утверждена протокольным решением заседания правления ОАО «РЖД» от 23 ноября 2015 г. № 43. – Москва, 2015. – 152 с. – Текст: электронный. – URL: <https://company.rzd.ru/api/media/resources/1345191?action=download&ysclid=md4hv7r8uj344266438> (дата обращения: 18.05.2025).

169 **Мизгирева, Е. Е.** Анализ влияния внедрения высокоскоростных магистралей в Ростовскую городскую агломерацию / Е. Е. Мизгирева // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. – 2022. – № 1 (4). – С. 159–163. – ISSN 2664-5025.

170 **Числов, О. Н.** Принципы разработки генетического компоновочного алгоритма размещения объектов транспортного узла / О. Н. Числов, Е. Е. Мизгирева // Транспорт: наука, образование, производство (Транспорт-2024) : сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону, 2024. – С. 194–198.

171 СП 34.13330.2021. СНиП 2.05.02-85*. Автомобильные дороги. – Москва : Минстрой, 2021. – 96 с.

172 СП 119.13330.2024. СНиП 32-01-95. Железные дороги колеи 1520 мм. – Москва : Минстрой, 2024. – 228 с.

173 СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. – Москва : Минрегион России, 2011. – 344 с.

174 СП 42.13330.2011. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. – Москва : Минрегион России, 2011. – 113 с.

175 СНиП 31-01-2003. Здания жилые многоквартирные. – Москва : Стройиздат, 2003. – 64 с.

176 СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. – Москва : Минстрой, 2016. – 146 с.

177 СП 225.1326000.2014. Станционные здания, сооружения и устройства. – Москва : Минтранс, 2014. – 133 с.

178 СП 396.1325800.2018. Улицы и дороги населенных пунктов. Правила градостроительного проектирования. – Москва : Минстрой России, 2018. – 82 с.

181 ГОСТ Р 51256-99. Технические средства организации дорожного движения. Разметка дорожная. Типы и основные параметры. Общие технические требования. – Москва : Госстандарт России, 1999. – 28 с.

182 ГОСТ Р 52289-2004. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств. – Москва : Издатцентр, 2004. – 103 с.

183 ГОСТ 33997-2016. Транспортные средства. Требования к безопасности при эксплуатации. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 68 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

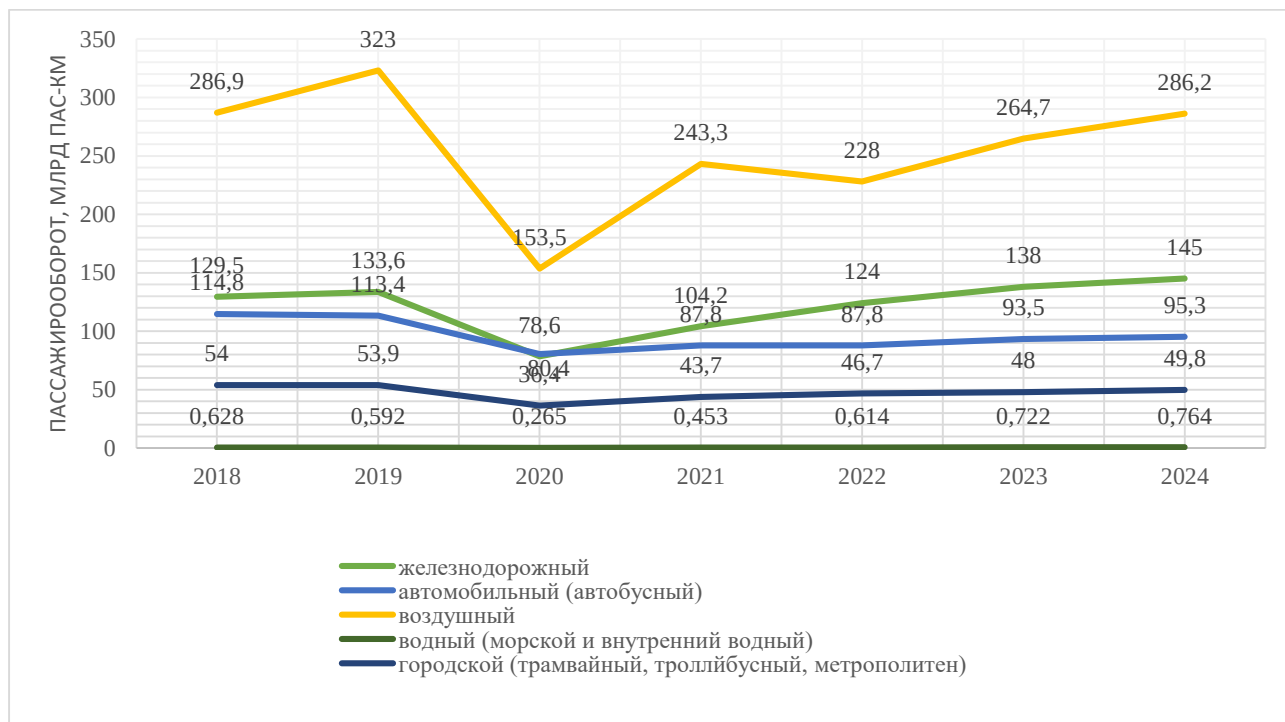


Рисунок П1.1 – Структура пассажирооборота по видам транспорта Российской Федерации, млрд пасс-км

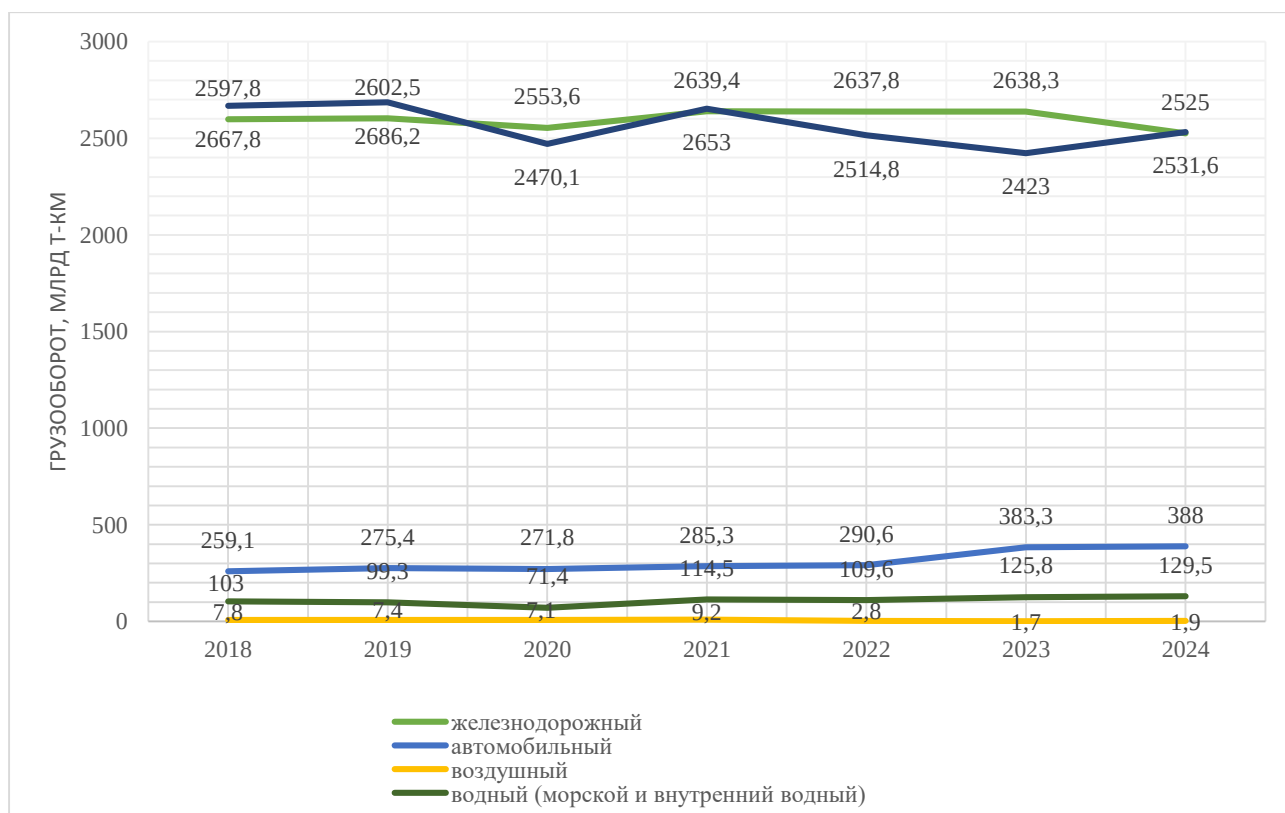
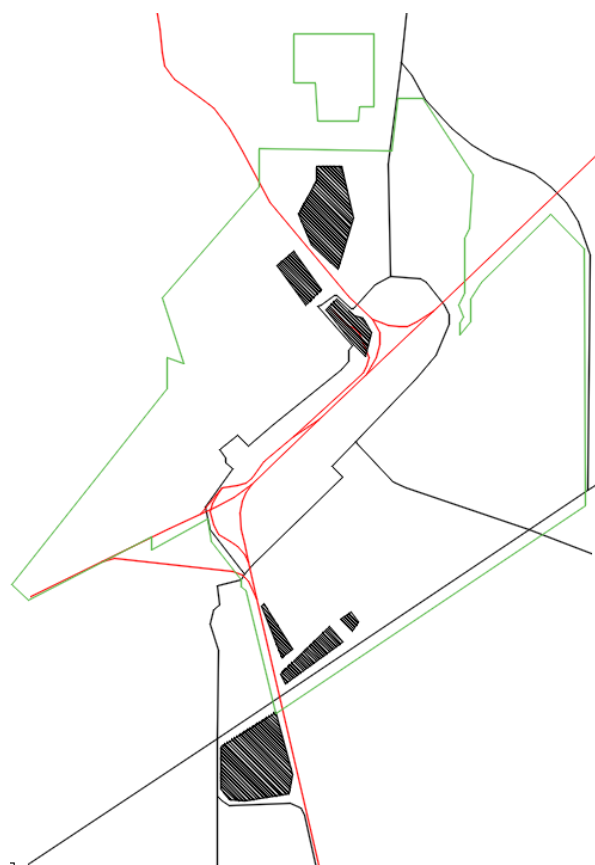
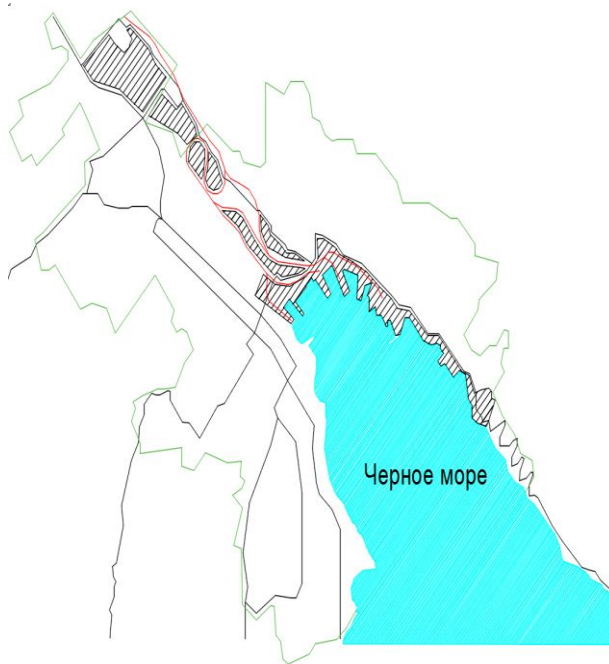


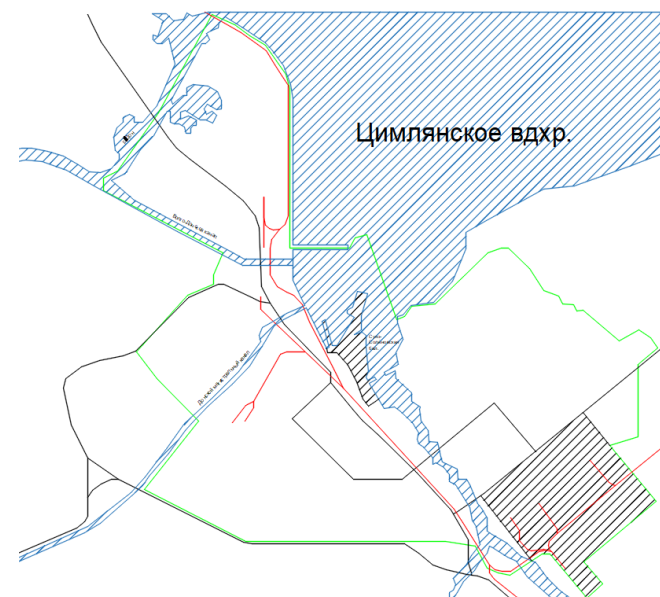
Рисунок П1.2 – Структура грузооборота по видам транспорта Российской Федерации, млрд т-км



a



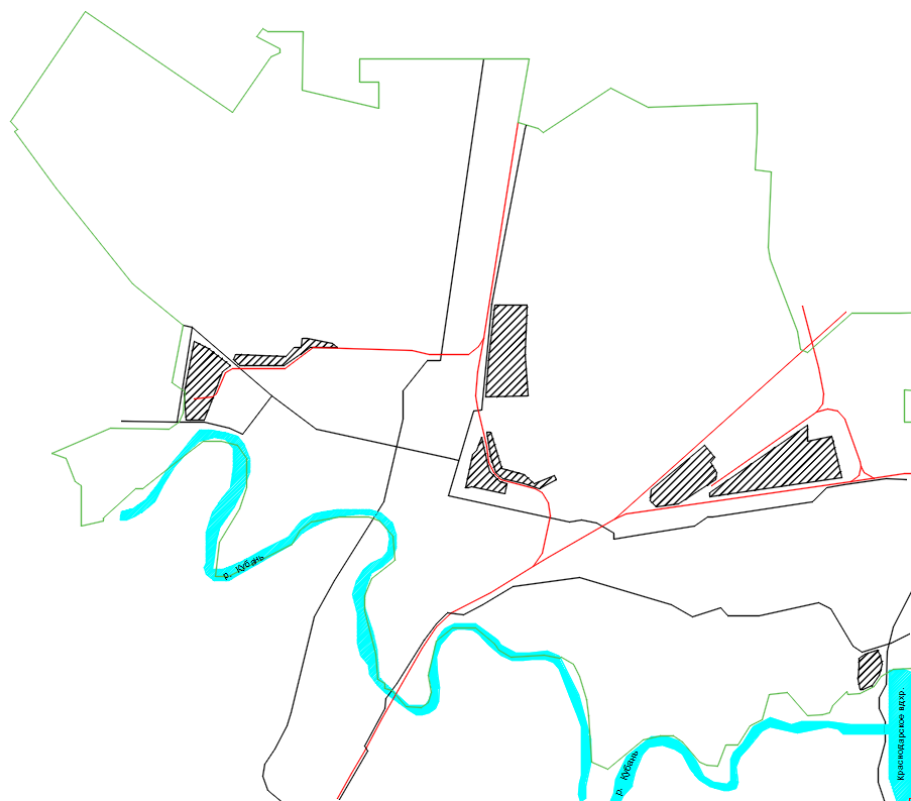
б



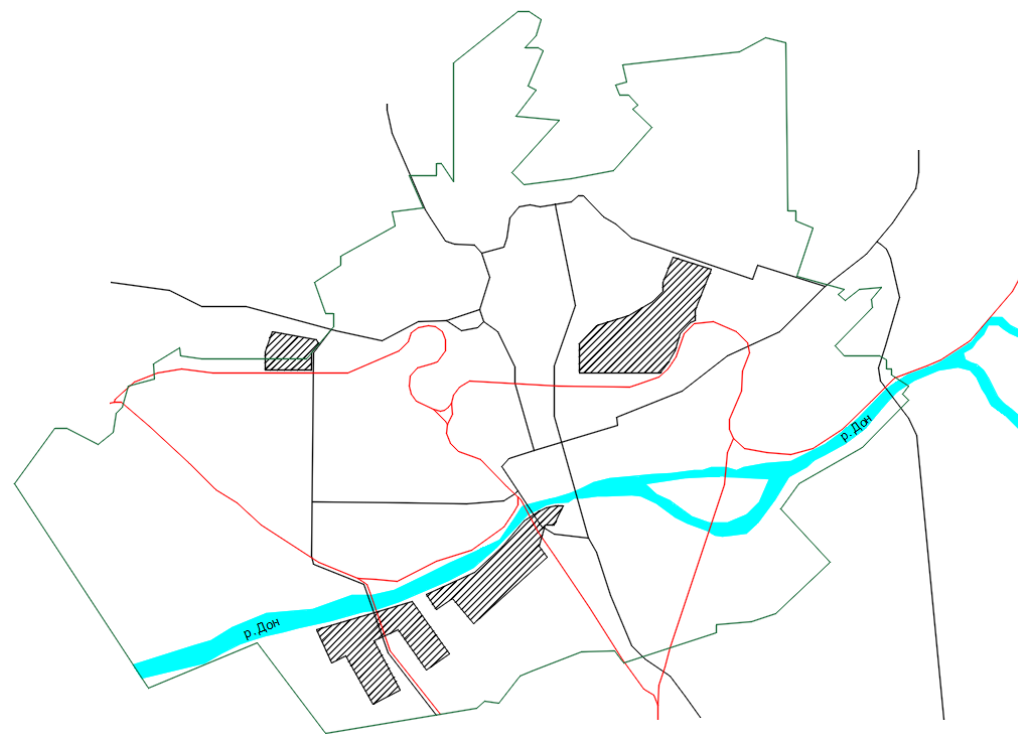
в

Рисунок П1.3 – Схемы транспортных узлов (*начало*):

a – схема транспортного узла «ТХ»; *б* – схема транспортного узла «НВ»; *в* – схема транспортного узла «ВД»

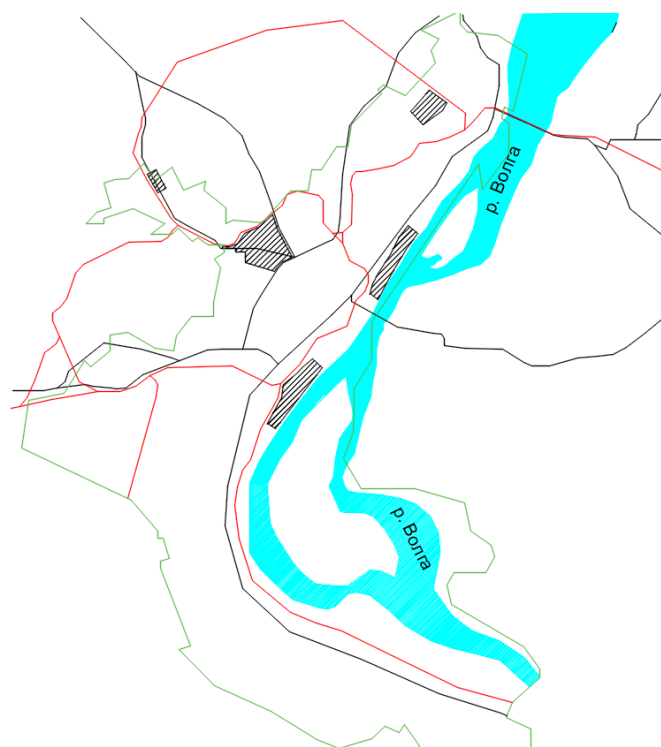


г



д

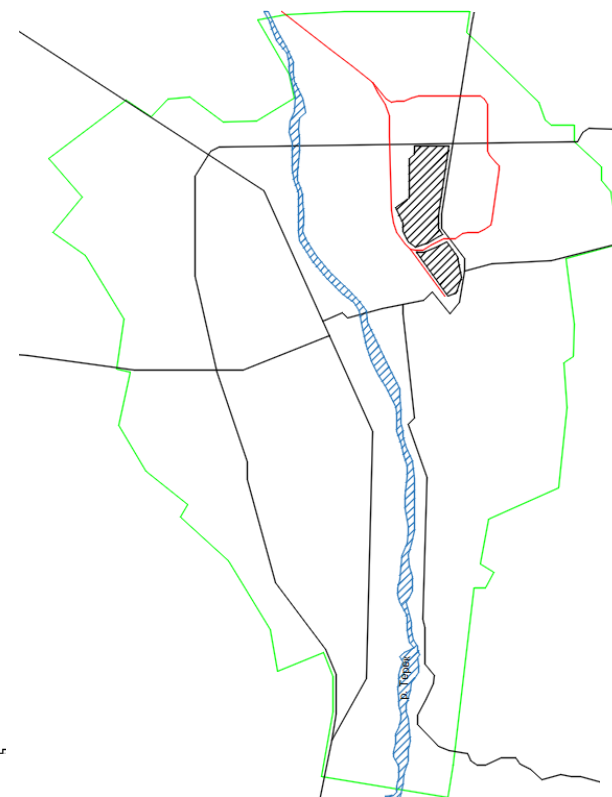
Рисунок П1.3 – Схемы транспортных узлов (*продолжение*):
г – схема транспортного узла «К»; д – схема транспортного узла «Р»



e



ж



з

Рисунок П1.3 – Схемы транспортных узлов (*продолжение*):

e – схема транспортного узла «В»; *ж* – схема транспортного узла «СЧ»; *з* – схема транспортного узла «ВЛ»

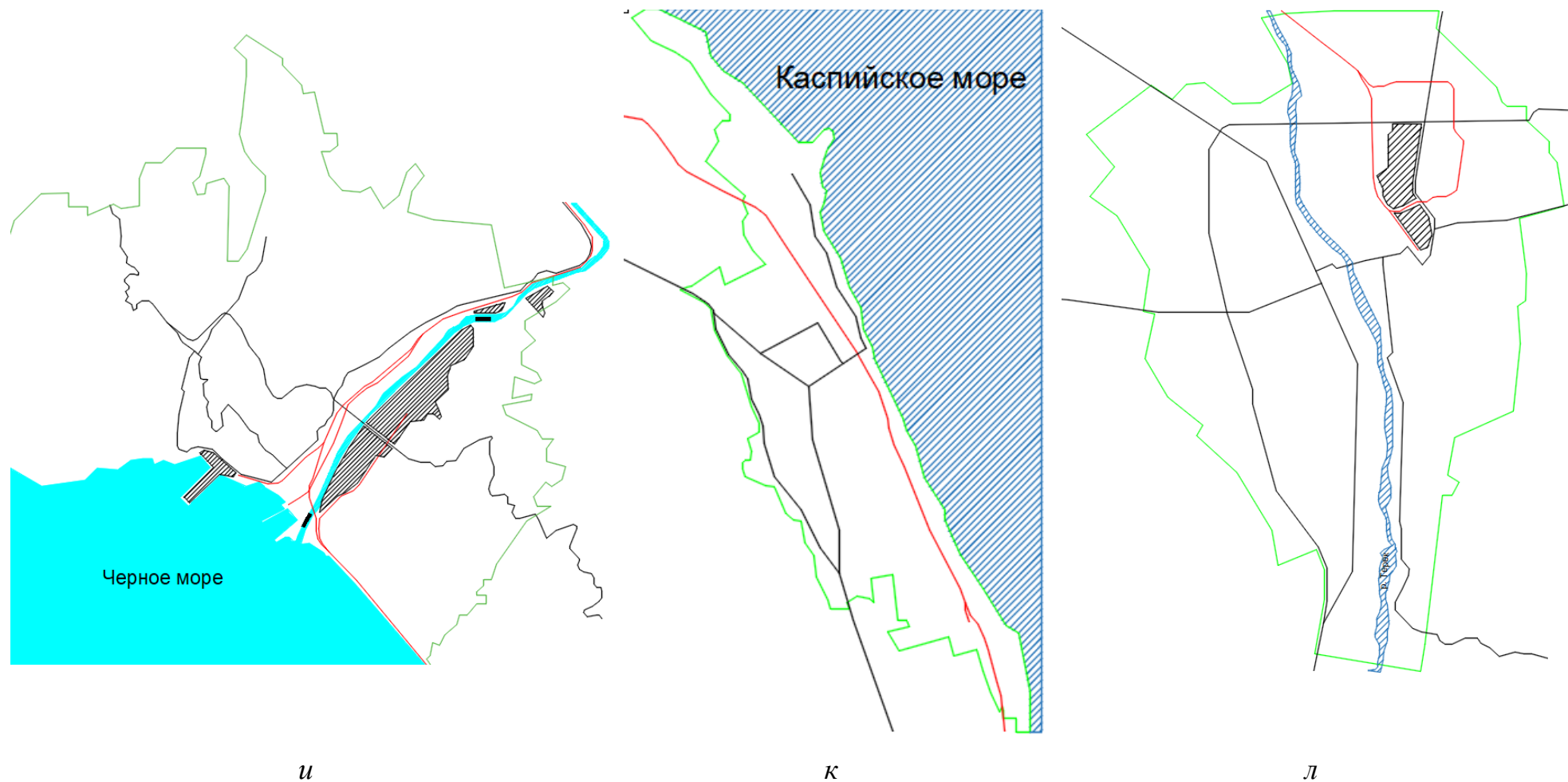
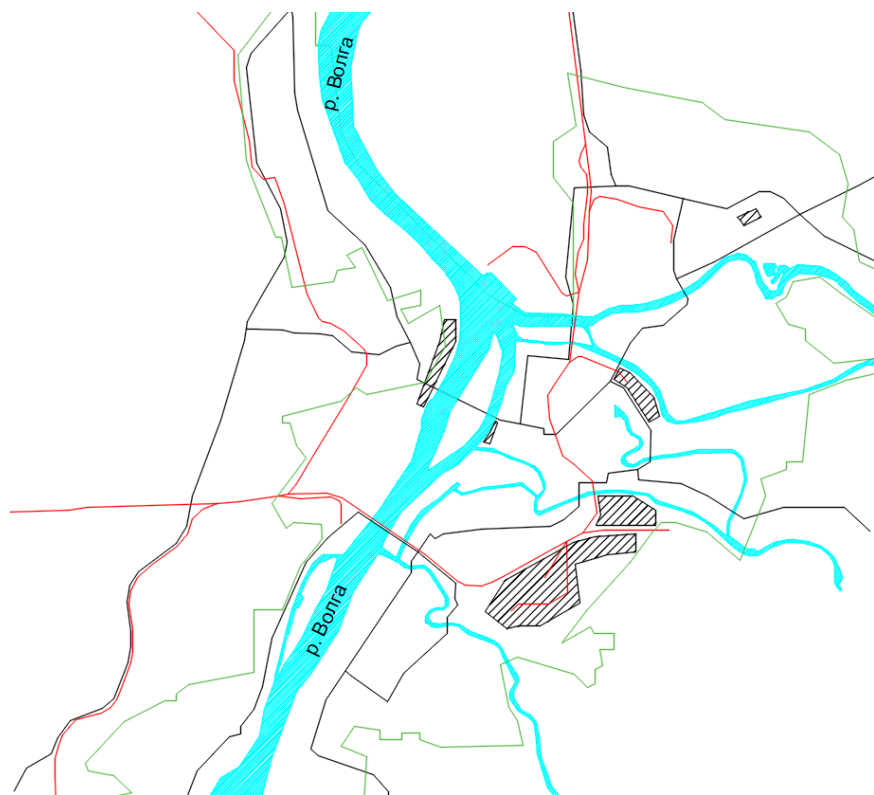
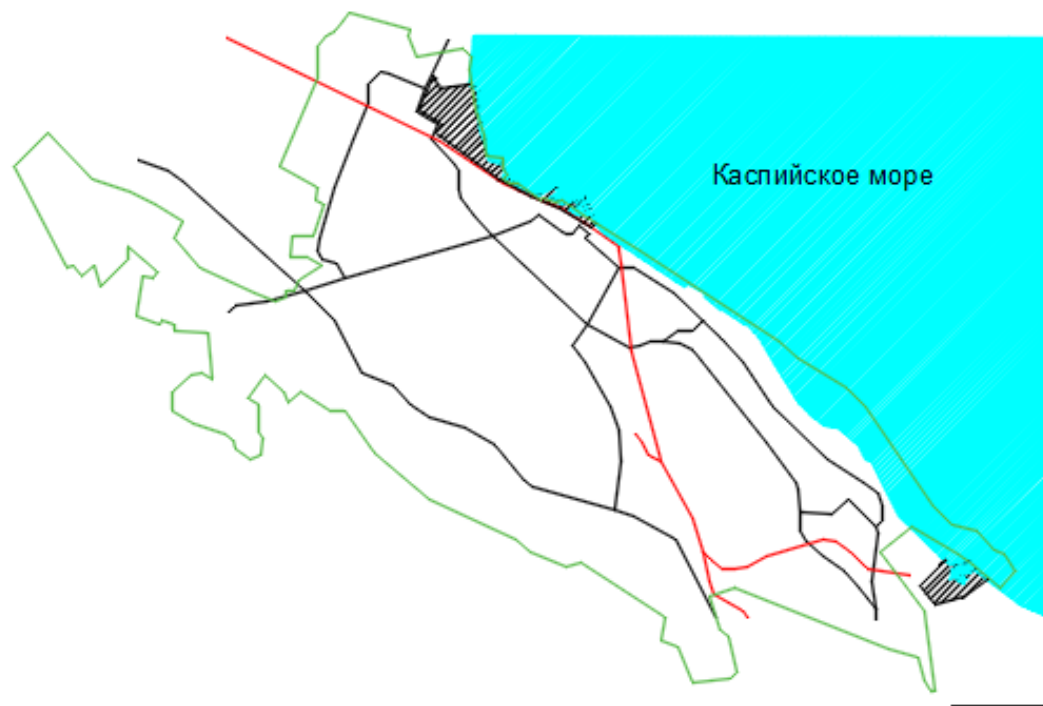


Рисунок П1.3 – Схемы транспортных узлов (продолжение):

и – схема транспортного узла «Т»; *к* – схема транспортного узла «Д»; *л* – схема транспортного узла «ВЛ»



м



н

Рисунок П1.3 – Схемы транспортных узлов (*продолжение*):
 м – схема транспортного узла «А»; н – схема транспортного узла «М»

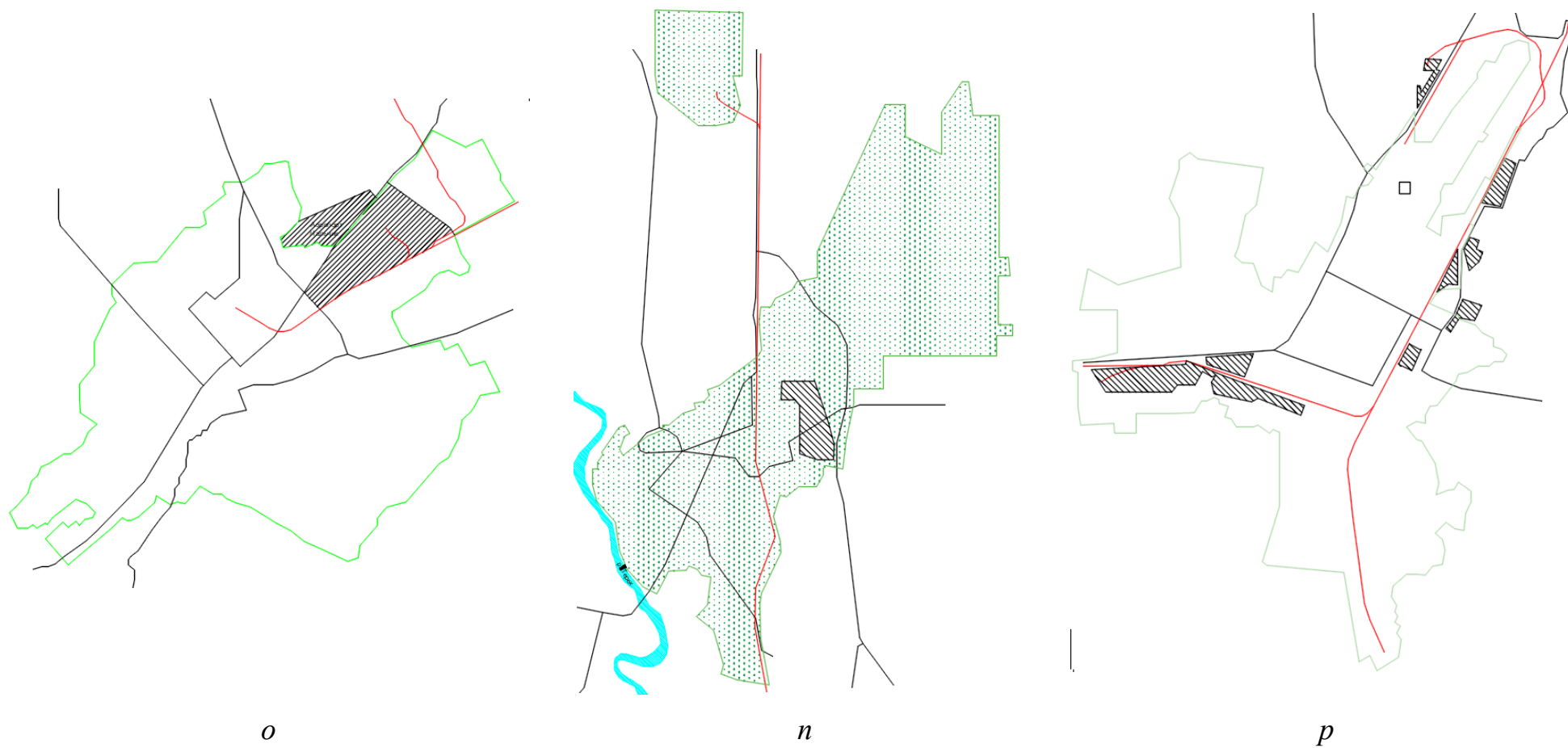
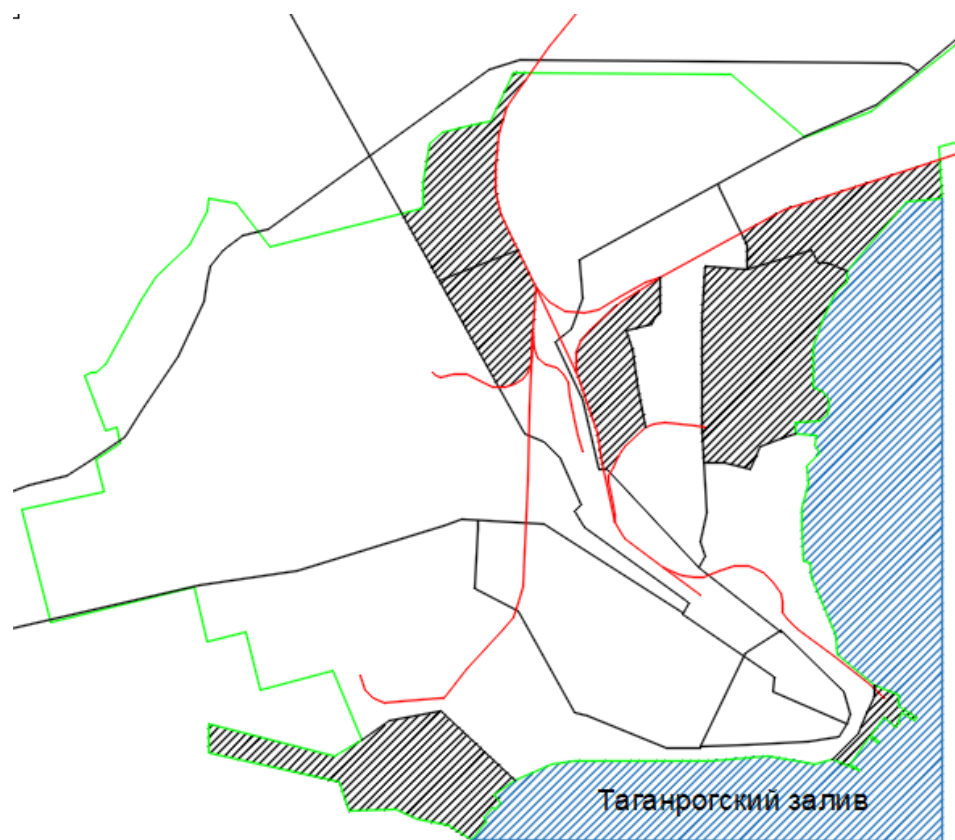
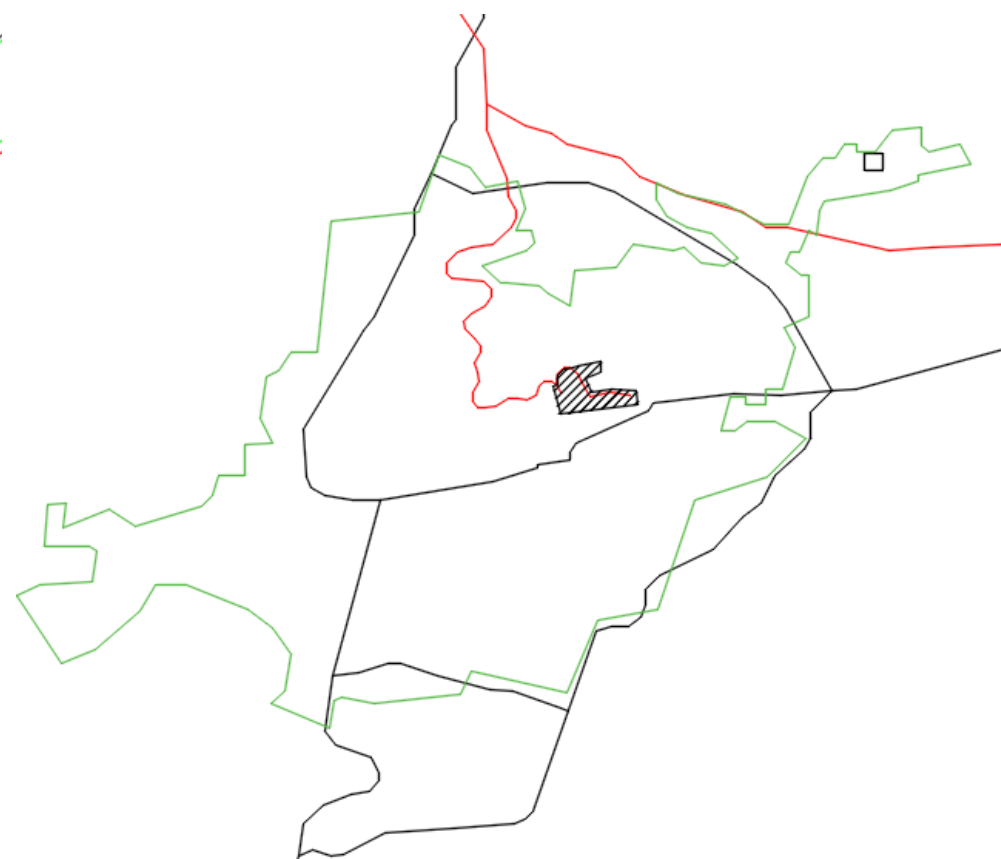


Рисунок П1.3 – Схемы транспортных узлов (*продолжение*):

o – схема транспортного узла «Н»; *n* – схема транспортного узла «МЗ»; *p* – схема транспортного узла «МВ»



с



т

Рисунок П1.3 – Схемы транспортных узлов (*продолжение*):

с – схема транспортного узла «ТГ»;

т – схема транспортного узла «С»

Таблица П1.1 – Частота использования слов

Слово	Повторений	Плотность, %
Транспортный (транспортных, транспортными, транспортного, транспортной)	14	4,71
Транспорт (транспорта)	12	4,04
Вид (виды, вида, видов, видами)	11	3,7
Груз (грузов, грузами)	6	2,02
Место (место, местах, месте, мест)	6	2,02
Пассажир (пассажиров, пассажирами)	6	2,02
Пункт (пункт, пункте, пунктах, пунктам)	6	2,02
Городской (городской, городского, городскими)	5	1,68
Средство (средств, средствами)	5	1,68
Мультимодальный (мультимодальных, мультимодального, мультимодальной)	3	1,01

Таблица П1.2 – Частота использования словосочетаний из двух слов

Слово	Повторений	Плотность, %
Вид транспорт (видов транспорта, видами транспорта, вида транспорта, виды транспорта)	7	4,71
Комплекс транспортный (комплекс транспортных)	3	2,02
Местный перевозка (местные перевозки)	3	2,02
Транспортный средство (транспортных средств, транспортными средствами)	3	2,02
Перевозка пассажир (перевозки пассажиров, перевозкам пассажиров)	2	1,35
Мультимодальный комплекс (мультимодального комплекса)	2	1,35
Линия различных (линий различных)	1	0,68
Внешний транспорт (внешнего транспорта)	1	0,68

Таблица П1.3 – Частота использования словосочетаний из трех слов

Слово	Повторений	Плотность, %
Комплекс транспортных устройств	2	2,02
Пересечение транспортных линий	2	2,02
Местные перевозки пассажиров	2	2,02
Мультимодальный транспортный комплекс	1	1,01
Сложная многокомпонентная система	1	1,01
Стыкование нескольких видов	1	1,01

Таблица П1.4 – Ранжирование факторов предпочтения в вариантах
определения транспортного узла

Фактор Эксперты	Минимизация количества слов	Необходимость использования словосочетаний «комплекс транспортных средств и устройств»	Необходимость разделения в определении пассажирских и грузовых перевозок	Необходимость обозначения экономической роли	Необходимость обозначения социальной роли	Необходимость перечисления видов транспорта	Сумма значений рангов
	1	2	3	4	5	6	
1	5	1	3	6	4	2	21
2	1	3	4	5	2	6	21
3	2	6	3	4	1	5	21
4	4	5	6	1	2	3	21
5	2	4	6	5	3	1	21
6	3	5	2	1	6	4	21
7	2	4	5	6	3	1	21
8	2	5	4	1	6	3	21
9	3	5	4	6	2	1	21
10	4	6	5	2	3	1	21
11	2	5	4	3	6	1	21
12	3	4	1	5	6	2	21
13	2	5	3	4	6	1	21
Сумма рангов	35	58	50	49	50	31	273
Отклонения	–11	12	4	3	4	–15	-
Квадраты отклонений	121	146	16	9	16	225	533

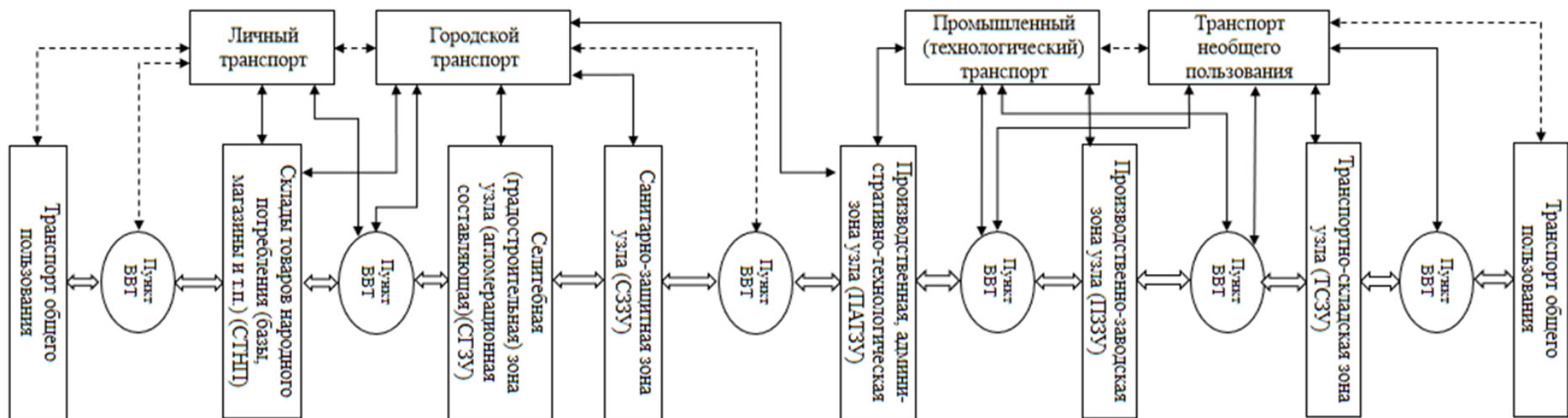


Рисунок П1.4 – Блочно-модульный подход к инфраструктуре наземного транспорта

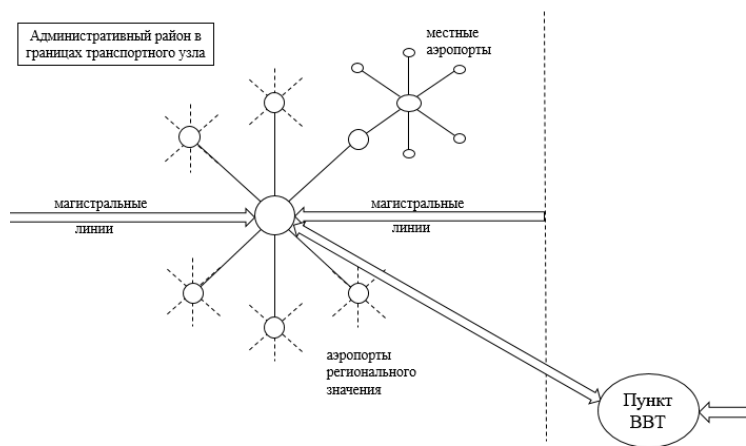


Рисунок П1.5 – Инфраструктура воздушного транспорта

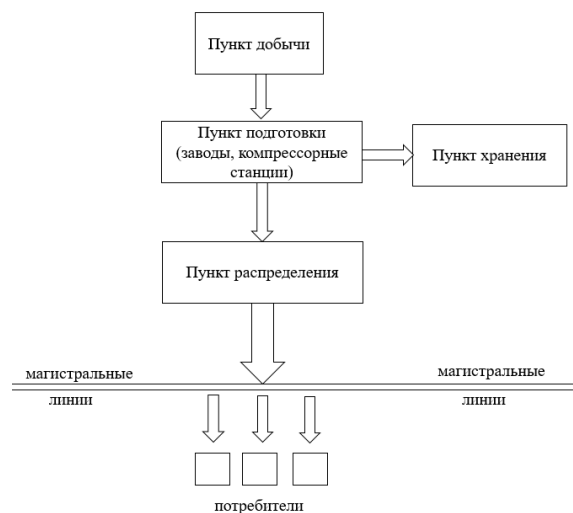


Рисунок П1.6 – Инфраструктура трубопроводного транспорта

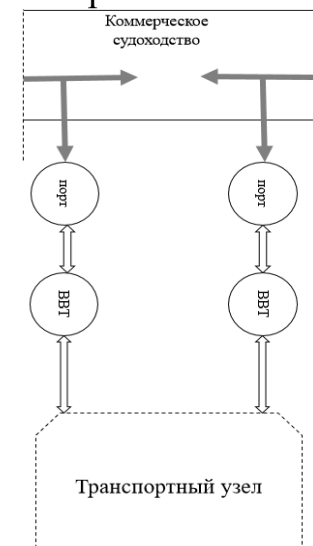
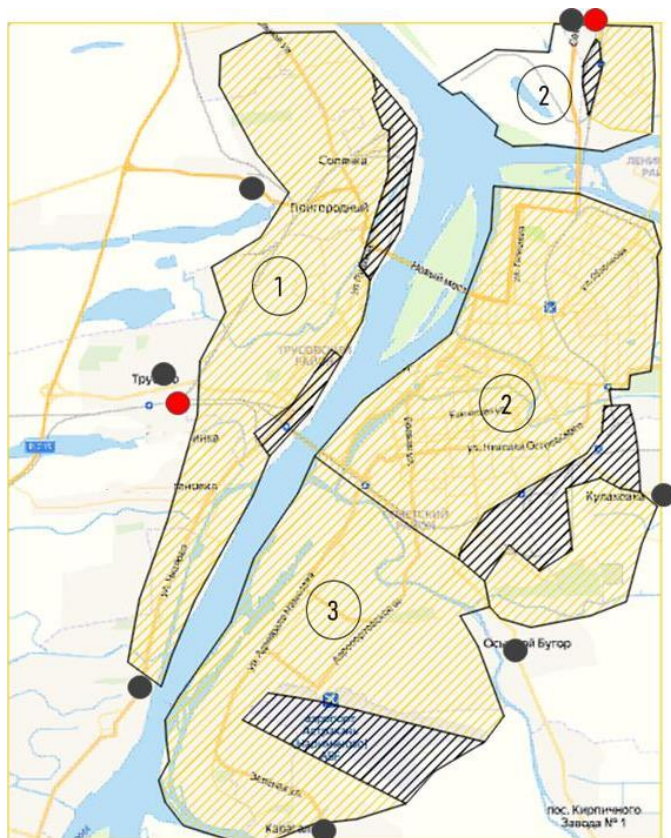
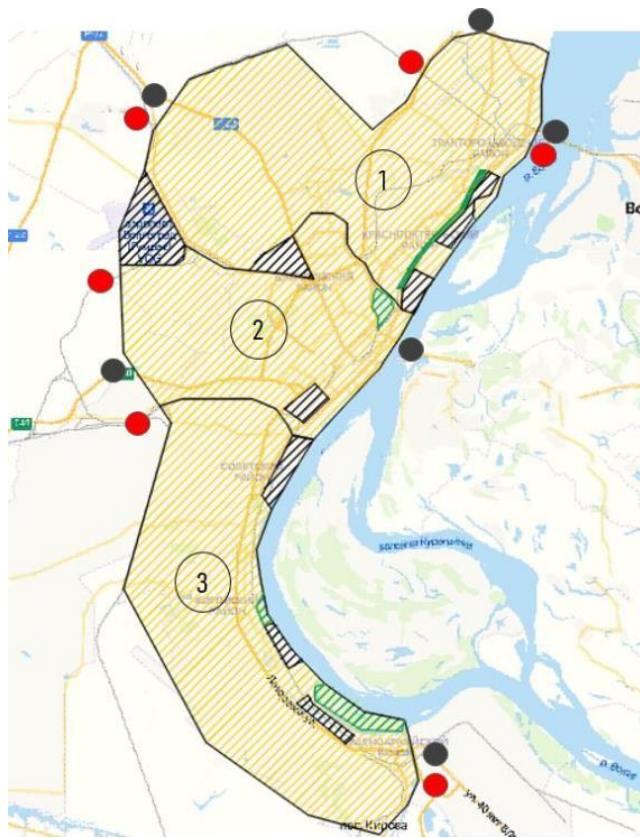


Рисунок П1.7 – Инфраструктура водного транспорта

Зонирование транспортного узла «А»



Зонирование транспортного узла «В»



Зонирование транспортного узла «Д»

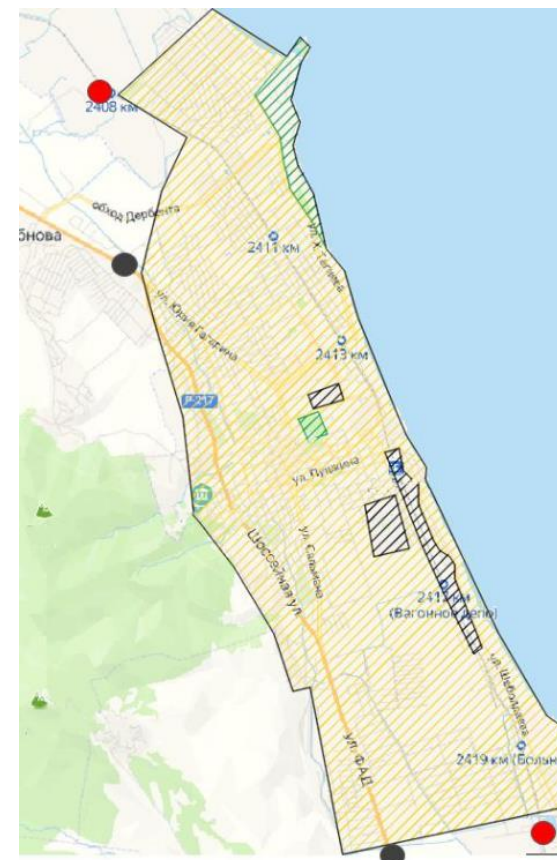
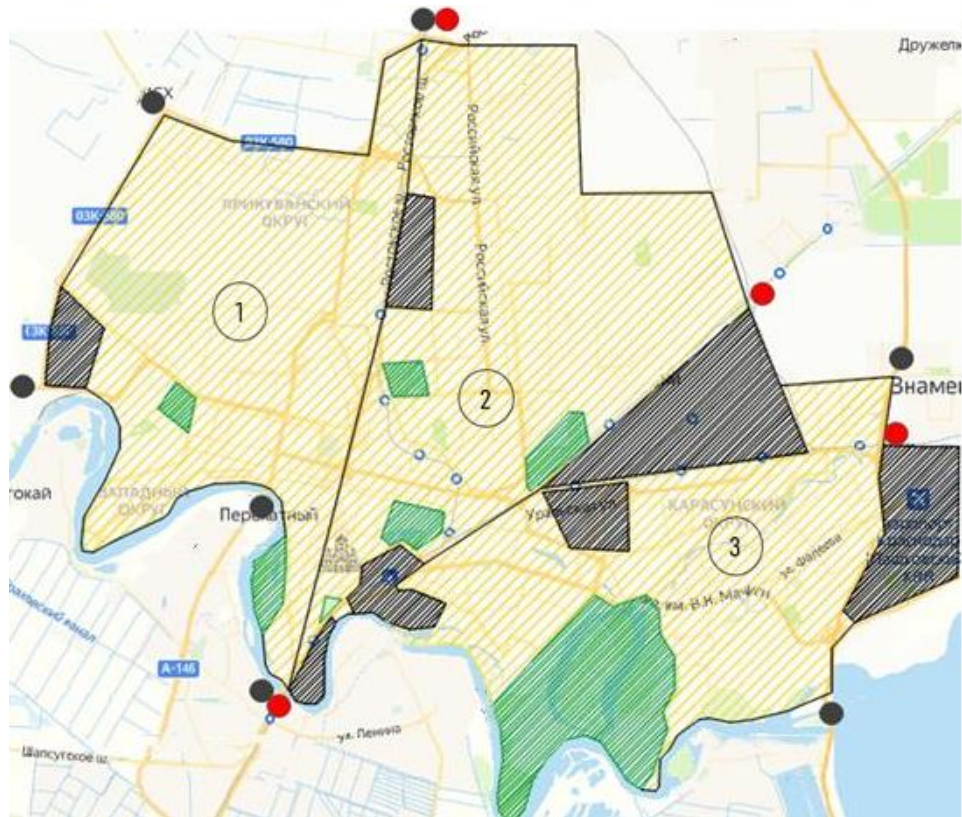


Рисунок П1.8 – Зонирование транспортных узлов (начало):

- – точка входа/выхода грузо- и пассажиропотока автомобильного транспорта
- – точка входа/выхода грузо- и пассажиропотока железнодорожного транспорта

- – точка входа/выхода грузо- и пассажиропотока водного транспорта
- 2 – номер района транспортного узла

Зонирование транспортного узла «К»



Зонирование транспортного узла «М»

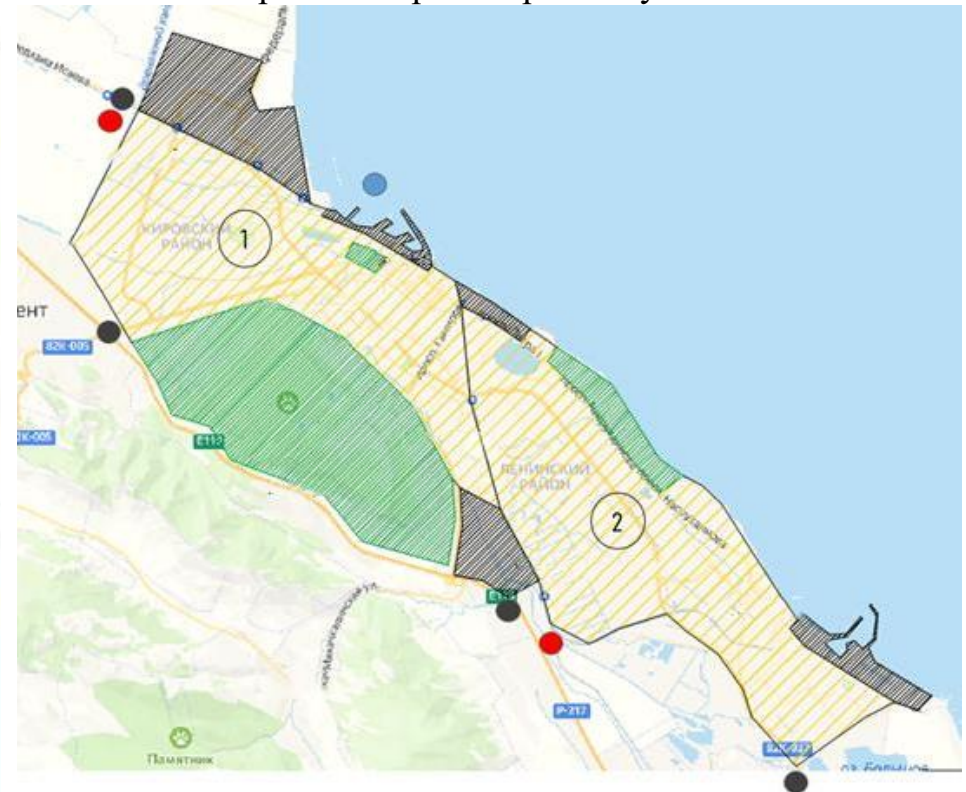
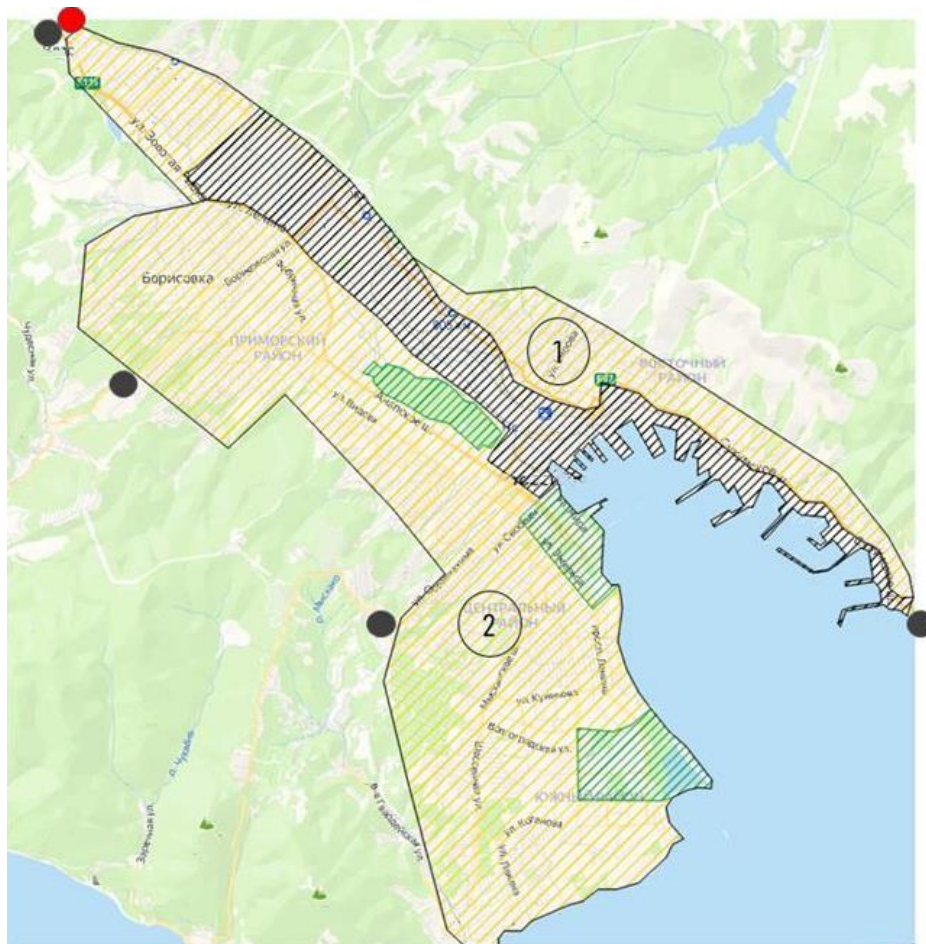


Рисунок П1.8 – Зонирование транспортных узлов (продолжение)

Зонирование транспортного узла «НВ»



Зонирование транспортного узла «С»

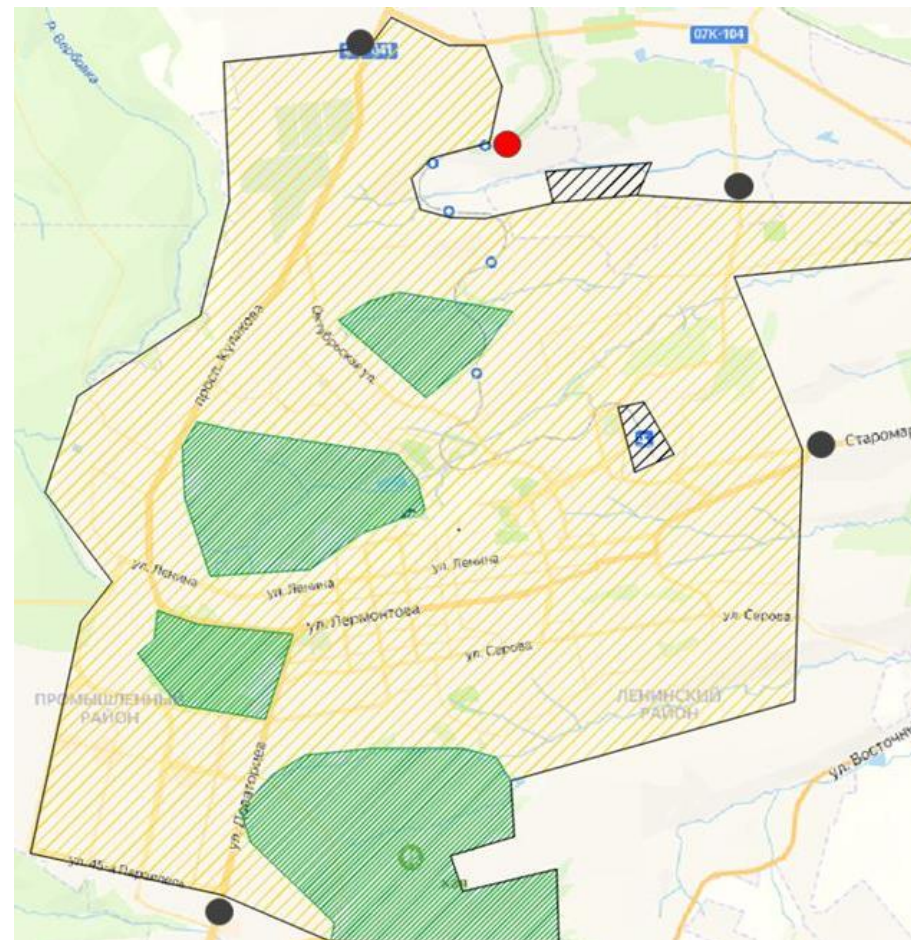
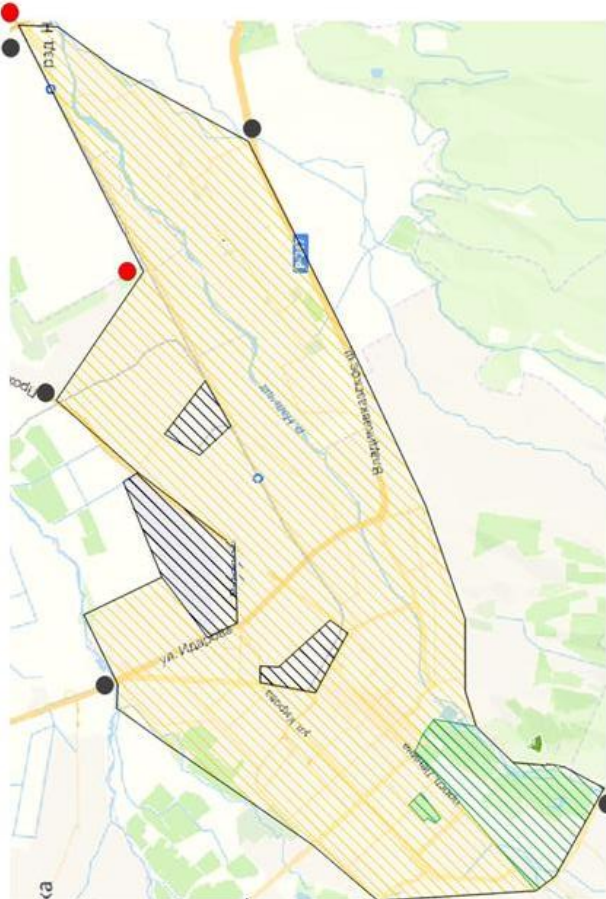


Рисунок П1.8 – Зонирование транспортных узлов (продолжение)

[illegible][illegible]

180

Зонирование транспортного узла «Н»



Зонирование в узле «МВ»



Зонирование транспортного узла «ВЛ»

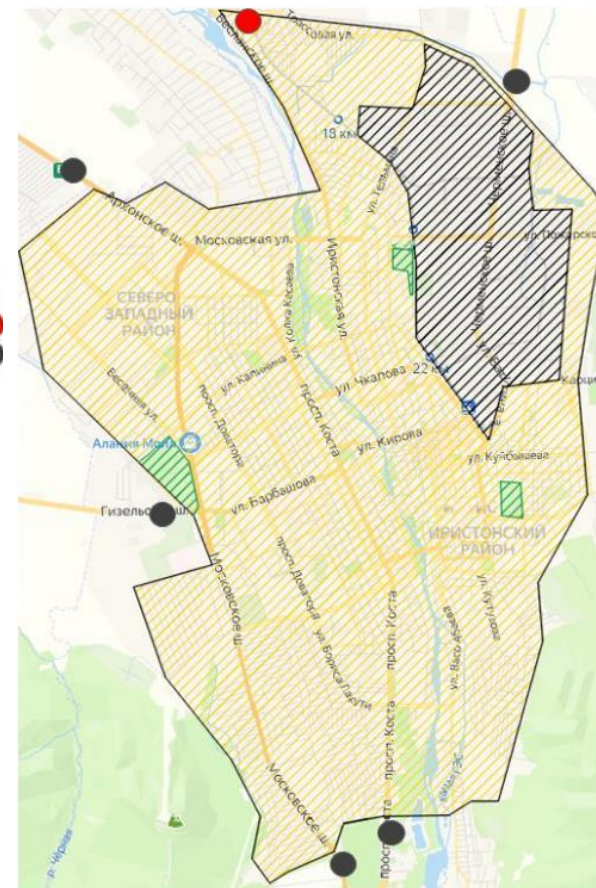
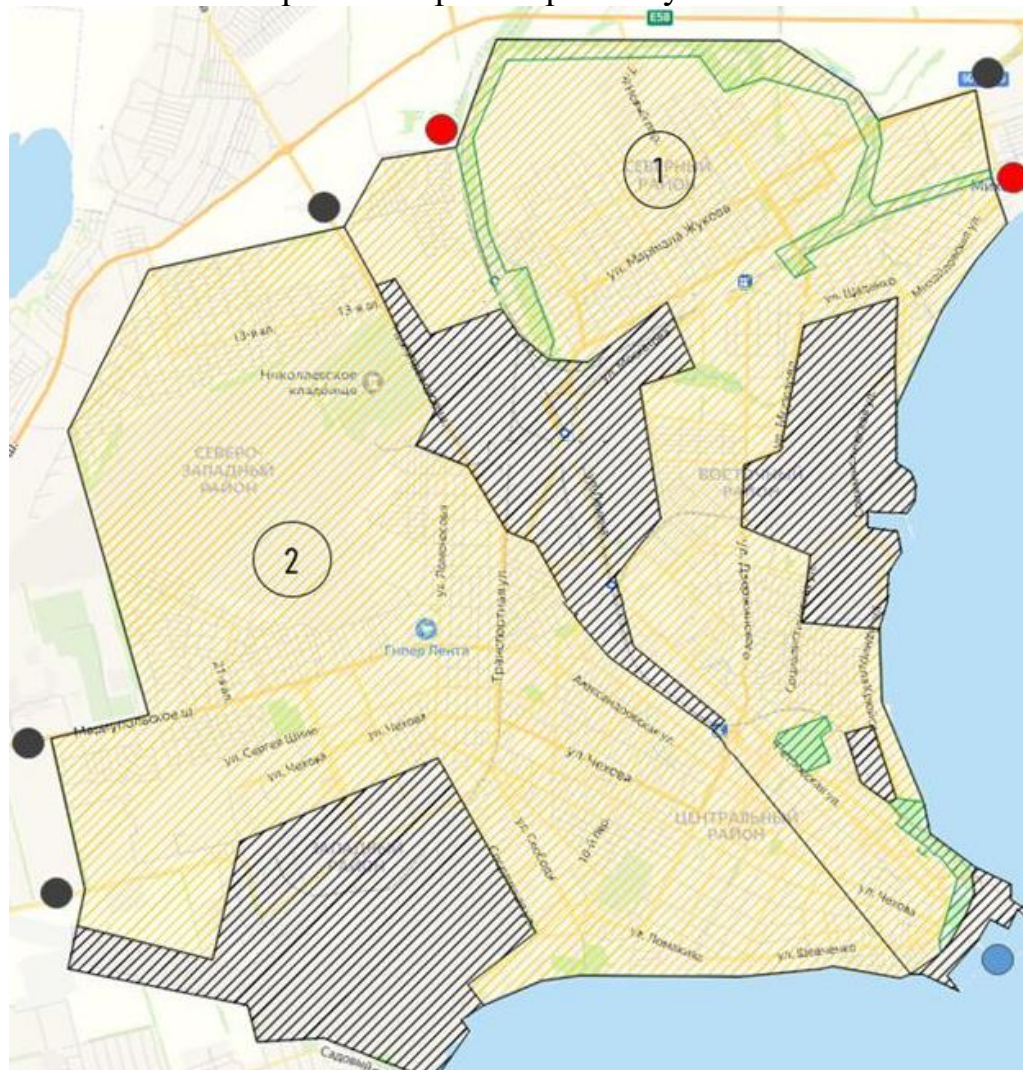


Рисунок П1.8 – Зонирование транспортных узлов (продолжение)

Зонирование транспортного узла «ТГ»



Зонирование транспортного узла «МЗ»

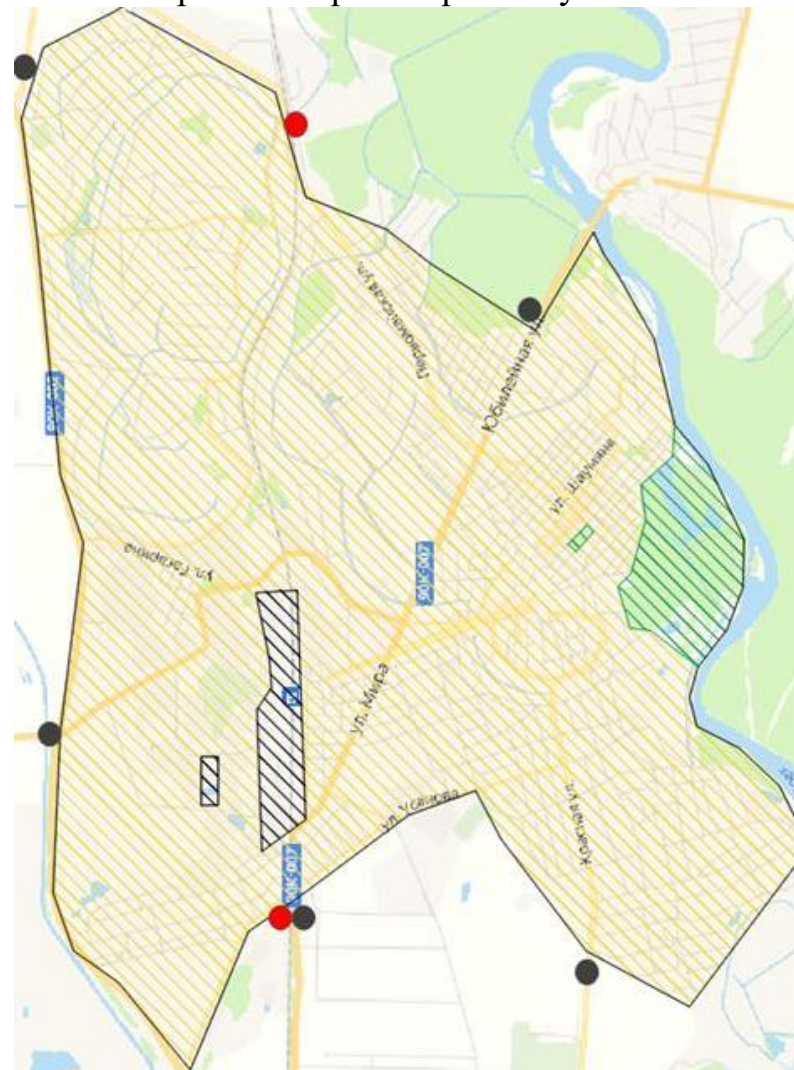
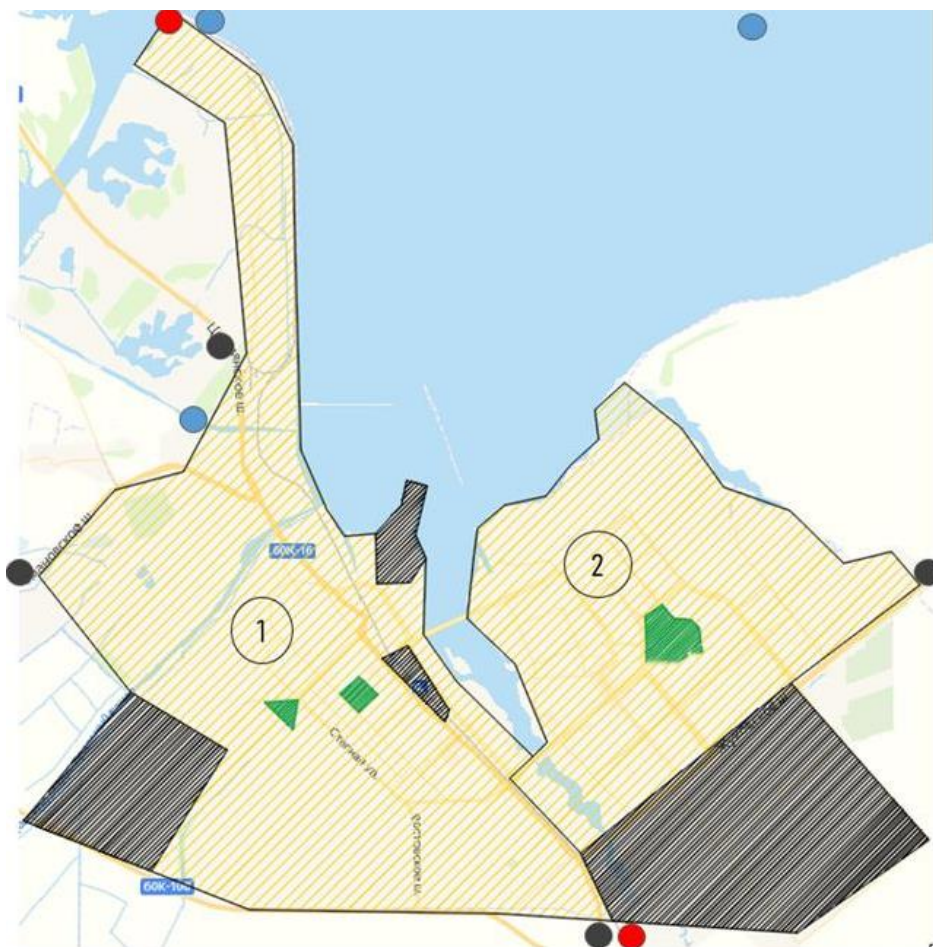


Рисунок П1.8 – Зонирование транспортных узлов (продолжение)

Зонирование транспортного узла «ВД»



Зонирование транспортного узла «СЧ»



Рисунок П1.8 – Зонирование транспортных узлов (продолжение)

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 (продолжение)

SWOT-анализ внешней среды ТУ

SWOT-анализ представляет собой осуществление экспертным способом выдвижения и отбора факторов каждой группы по следующей схеме [168]:

1 Определение шкалы оценок факторов $[a_j, b_j]$, где a_j – минимальное (наихудшее) значение фактора; b_j – максимальное (лучшее) значение фактора. Для удобства и однозначности восприятия экспертами для всех факторов может использоваться одинаковая шкала, например, степени важности (3 – высокая, 2 – средняя, 1 – низкая).

2 Формирование потенциального множества факторов путем опроса экспертов без их отсеивания: пусть F – множество факторов $F = \{F_1, F_2 \dots F_k\}$.

3 Определение оценок факторов c_{jm} , $a_j \leq c_{jm} \leq b_j$ – вес m -го фактора, определенный j -м экспертом, $j = \overline{1, l}$, $m = \overline{1, k}$.

4 Вычисление суммарного веса фактора $C_m = \sum_{j=1}^l c_{jm}$.

5 Определение метода отбора значимых факторов: в процентном соотношении от количества; по правилу Парето; по распределению величин.

6 Отбор значимых факторов: в соответствие с выбранным методом.

Таблица П1.5 – Анализ внешней среды транспортного узла
с помощью PEST-анализа

Политические	Экономические
Межнациональная политика в сфере транспорта Введение ограничений на экспорт/импорт определенных категорий товаров Налоговая политика (снижение НДС, увеличение налога на недвижимое имущество) Тенденции к урегулированию или дерегулированию в сфере транспорта Изменения во взаимоотношениях с ключевыми торговыми партнерами	Уровень экономического развития России, Южного региона, субъектов РФ Структура и динамика ВВП, ВРП Национальные тарифные политики Динамика и темпы роста мировой экономики Изменение курса рубля Снижение уровня инфляции и процентных ставок Экономическое положение транспортного комплекса
Социокультурные	Технологические
Низкие темпы прироста населения Изменение уровня и образа жизни населения Падение числа экономически активного населения Развитие туризма Развитие курортных и санаторных зон	Состояние предприятий транспортной инфраструктуры Организационно-правовая форма транспортных предприятий Развитие информационных технологий Использование инновационного подвижного состава Себестоимость транспортных услуг

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 (продолжение)

Вариант оценки перспективного развития ВСМ в составе узла «Р»

Согласно [167] Системообразующими проектами являются ВСМ Москва – Казань – Екатеринбург, Москва – Ростов-на-Дону – Адлер и Москва – Санкт-Петербург. Задача создания этих ВСМ – модернизация опорного каркаса сети железных дорог Российской Федерации и приведение его в соответствие с сегодняшним и будущим спросом на пассажирские и грузовые перевозки.

Таким образом, узлы Ростовский, Краснодарский, Туапсинский обладают мощным потенциалом развития – строительство линий высокоскоростного движения до 300–400 км/ч (коэф. – 3). Волгоград, Минеральные Воды, Махачкала – линии скоростного движения до 200 км/ч, реконструкция и/или строительство дополнительных путей в существующем профиле; Астрахань, Ставрополь – линии скоростного движения до 200 км/ч, проектирование и строительство в новом профиле (коэф. – 1). Остальные – (коэф. – 0).

От уровня развития транспортной сферы и экономического, социального и политического потенциала страны. Вместе с тем развитость ВСМ отражает уровень качества жизни и коммуникационных способностей в государстве. Становление высокоскоростного и скоростного сообщения определено Программой организации скоростного и высокоскоростного железнодорожного сообщения в Российской Федерации, согласно которой Ростов-на-Дону имеет большое значение, так как включен в системообразующий проект линии Москва – Адлер. В связи с этим огромное значение имеет модернизация сети железных дорог для достижения возможности удовлетворить быстро растущий спрос на грузовые и пассажирские перевозки.

Согласно технической документации все варианты магистрали незначительно отличаются по длине и по влиянию на экологию. Варианты строительства линии ВСМ на территории Ростовской городской агломерации представлен на рисунке П1.9.

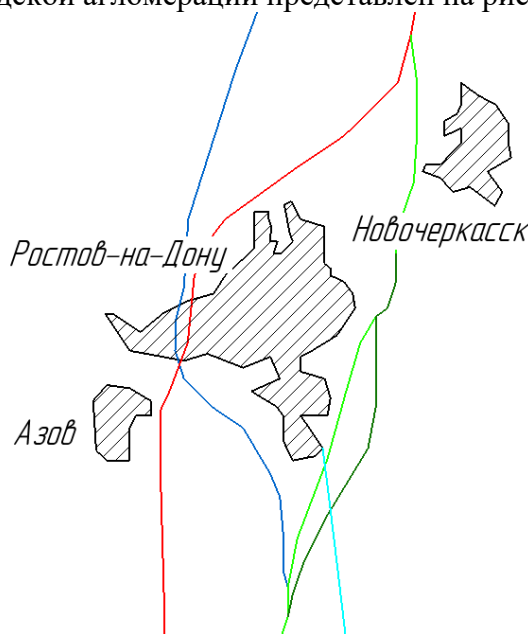


Рисунок П1.9 – Варианты строительства ВСМ:

вариант «рекомендованный» – красная линия; вариант 1.1 – светло-зеленая линия; вариант 1.2 – темно-зеленая линия; вариант 2 – синяя линия;
вариант 3 – голубая линия

Согласно [167] Ростовская городская агломерация является ключевым звеном в организации скоростного и высокоскоростного движения в рамках южного полигона (рисунок П1.10).

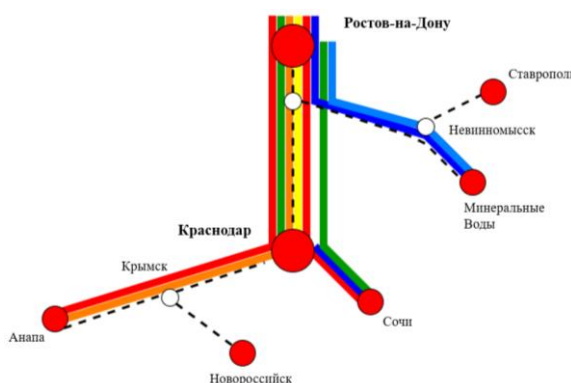


Рисунок П1.10 – Формирование южного полигона скоростного и высокоскоростного движения

Среди прочего, его создание даст и определенные геополитические эффекты. Таким образом, проект ВСМ-3, который является системообразующим на Юге, позволит преодолевать расстояние от Москвы до курортов Азово-Черноморского побережья всего за одну ночь. Стоит отметить, что уже на второй год эксплуатации на участке Москва – Адлер планируется 15 пар ночных поездов в сутки при пассажиропотоке почти 1,5 млн чел., а на маршруте Минеральные Воды – Ростов-на-Дону прогнозный пассажиропоток достигает 0,6 млн чел.

Таблица П1.6 – Основные показатели деятельности перевозчиков на ВСМ-3 (Юг)

Пассажиропоток, пасс/год		Размеры движения	
на второй год эксплуатации	в 2031	на второй год эксплуатации	в 2031
12 018 023	12 626 872	74	74

Агломерационные эффекты представлены на рисунке П1.11.



Рисунок П1.11 – Агломерационные эффекты от внедрения ВСМ в городскую среду

В результате внедрения ВСМ для Ростовской городской агломерации, прирост ВРП достигнет 750 млрд руб. Реализация проектов ВСМ, кроме прямых положительных эффектов на развитие транспортной системы, также оказывает благоприятное воздействие на производительность труда, темпы городского развития и общую занятость населения, развитие туризма.

Изменения показателей при вводе ВСМ в Ростовскую городскую агломерацию представлены в таблице П1.7.

Таблица П1.7 – Изменение показателей при внедрении ВСМ

№ п/п	Наименование показателя	Формула	Значение «до»	Значение «после»
1	Плотность транспортной сети	$\delta = \frac{L_c}{S_3}$, где L_c – протяженность транспортной сети, км; S_3 – площадь территории узла	0,24	0,36
2	Относительная величина освоенной территории	$s = \frac{10^6 S_{осв}}{N}$, где N – численность населения города	305 800	372 807
3	Коэффициент Энгеля	$d = \frac{L}{\sqrt{SH}}$, где L – общая длина транспортных путей, S – площадь территории, H – численность населения	0,39	0,46
4	Коэффициент связности узла	$K_s = \frac{\sum \deg x_i}{n}$, где $\sum \deg x_i$ – сумма степеней (связей) всех точек X (объектов) графа узла; n – количество всех объектов узла	2,2	2,3
5	Коэффициент достижимости узла	$K_d = \frac{\sum_1^n dx_i}{n_i \cdot n_i - n}$, где $\sum_1^n dx_i$ – общая длина всех транспортных маршрутов узла (от i -го пункта до j -го пункта); $n_i \cdot n_i - n$ – общее количество возможных вариантов маршрутов	2,69	2,6
6	Уровень организации узла	$R = 1 - \frac{H}{H_{\max}}$, где R – уровень относительной организации системы или ее «избыточность»; H – текущее значение неопределенности системы; $H_{\max}$ – максимально возможная неопределенность системы	0,963	0,972

На примере строительства ВСМ мы видим, что масштабные инвестиции в сфере транспорта, как правило, влекут за собой развитие сообщения между периферийными районами и административными центрами, что благоприятно влияет на централизацию рынка труда и концентрацию трудовых ресурсов. Концентрация трудовых ресурсов тесно связана с уровнем производительности и последующим экономическим ростом.

Таким образом, развитие ВСМ оказывает огромное влияние на укрепление рынков, обеспечивая доступ к ключевым ресурсам, таким как финансовые, трудовые и пр. Все это ведет к увеличению производительности и, как следствие, к росту региональной экономики и экономики страны в целом [169].

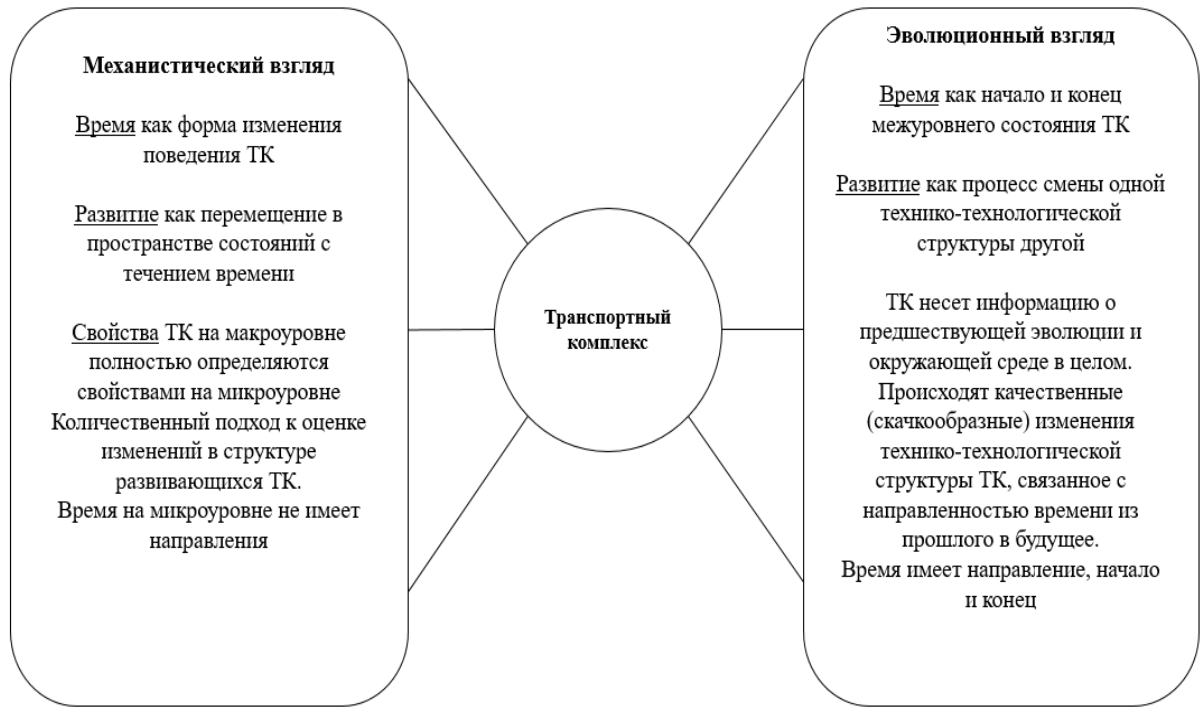


Рисунок П1.12 – Подходы к выбору процесса развития транспортного комплекса

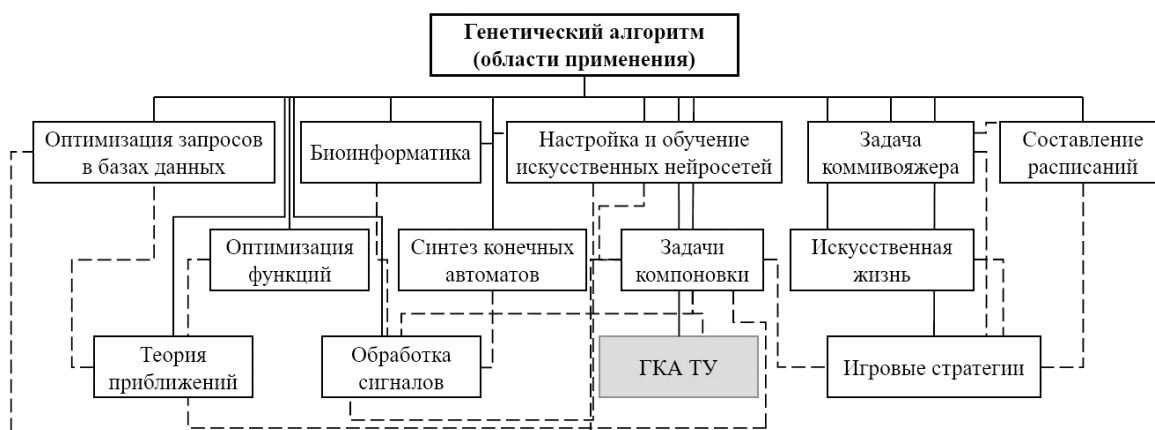


Рисунок П2.1 – Области применения генетических алгоритмов [170]

Таблица П2.1 – Основные функции оценки расстояний в ТУ [107]

№ п/п	Название	Формула
1	Евклидово расстояние	$d_2(X_i, X_j) = \left[\sum_{k=1}^p (x_{ki} - x_{kj})^2 \right]^{1/2}$
2	l_i -норма	$d_1(X_i, X_j) = \left[\sum_{k=1}^p (x_{ki} - x_{kj}) \right]$
3	Сюпремум-норма	$d_\infty(X_i, X_j) = \sup\{ x_{ki} - x_{kj} \}, k = 1, 2, \dots, p$
4	p_i -норма	$d_p(X_i, X_j) = \left[\sum_{k=1}^p (x_{ki} - x_{kj})^p \right]^{1/p}$
5	Махаланобиса	$D^2(X_i, X_j) = (X_i - X_j)^T W^{-1} (X_i - X_j)$

Таблица П2.2 – Нормативно-правовые документы проектирования транспортных узлов [171–183]

Название	Описание	Основные положения
1	2	3
СП 34.13330.2021. «Автомобильные дороги»	Описывает правила проектирования узлов и пересечений автомобильных дорог	Устанавливает требования к организации движения, проектированию развязок, остановок и других элементов, обеспечивающих безопасность и эффективность транспортных потоков
СНиП 32-01-95 «Железные дороги»	Регулирует проектирование железнодорожных станций и узлов, включая их размещение, конструктивные решения и эксплуатацию	Устанавливает требования к проектированию путей, платформ, зданий и сооружений на станциях, а также к организации движения поездов и безопасности

Продолжение таблицы П2.2

1	2	3
СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы»	Определяет нормы проектирования мостов	Указывает требования к расчету прочности, устойчивости и долговечности мостовых конструкций, а также к их интеграции в транспортные узлы
СП 42.13330.2011. Градостроительство. Планировка и застройка территорий.	Содержит рекомендации по организации транспортных узлов в городах, включая их размещение и взаимодействие с другими элементами городской инфраструктуры	Указывает на необходимость учета транспортных потоков, доступности для населения и экологических аспектов при проектировании
СНиП 31-01-2003 «Жилые здания»	Обновляет и уточняет требования к проектированию жилых зданий в СНиП II-89-80, учитывая современные условия и технологии в	Устанавливает основные параметры жилых зданий, включая высоту, этажность и размеры помещений
СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия»	Устанавливает требования к расчету нагрузок и воздействий на строительные конструкции	Обеспечивает стандарты и требования, которые способствуют безопасности, надежности и долговечности строительных конструкций
СП 225.1326000.2014. «Станционные здания, сооружения и устройства»	Описывает правила проектирования железнодорожных узлов и станций, включая их функциональные зоны и организацию движения.	Указывает на требования к проектированию платформ, зданий для пассажиров, а также к системам безопасности и управления движением
СП 396.1325800.2018. «Улицы и дороги населенных пунктов»	Описывает правила проектирования транспортных развязок, включая различные типы развязок и их функциональные характеристики	Устанавливает требования к проектированию различных типов развязок, включая их геометрию, организацию движения и безопасность транспортных потоков
ГОСТ Р 51256-99 «Транспортные средства. Общие требования безопасности»	Устанавливает требования к безопасности транспортных средств, которые могут использоваться в узлах	Определяет параметры, касающиеся конструкции, эксплуатации и технического обслуживания транспортных средств для обеспечения безопасности на дорогах и в транспортных узлах
ГОСТ Р 52289-2004 «Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств»	Указывает на требования к системам управления движением в транспортных узлах	Определяет параметры проектирования и эксплуатации систем управления движением, включая светофоры, знаки и системы мониторинга
ГОСТ 33866-2016 «Транспортные средства. Требования к безопасности при эксплуатации»	Регулируют различные аспекты проектирования, эксплуатации и безопасности транспортных средств и инфраструктуры	Охватывают широкий спектр вопросов, связанных с безопасностью, проектированием и эксплуатацией транспортных средств и инфраструктуры, обеспечивая стандарты, которые способствуют повышению безопасности и эффективности транспортной системы

Таблица П2.3 – Балльная система показателей ТУ по критерию Лапласа

ТУ	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	Крите- рий Лапласа	Приори- тет	Бал- лы
«А»	81,93	54,43	99,68	99,94	85,39	93,19	97,31	90,63	98,79	99,69	85,49	99,92	80,53	89,76	7	89,76
«В»	25,28	12,57	99,68	99,59	82,51	87,18	94,67	92,63	98,45	99,43	49,56	99,57	70,53	77,82	1	77,82
«К»	74,44	3,70	99,68	99,68	88,45	93,13	96,87	67,22	98,93	99,41	80,27	99,43	68,44	82,28	4	82,28
«Р»	78,45	1,00	99,68	99,59	88,29	92,77	97,69	59,39	98,11	99,64	77,66	98,19	71,66	81,70	3	81,70
«М»	59,30	47,47	99,68	99,94	91,58	96,58	-	46,51	99,15	99,84	90,54	99,82	80,88	84,27	5	84,27
«МВ»	95,54	93,76	99,77	99,94	94,07	97,60	-	87,76	99,65	99,70	96,88	99,94	80,97	95,46	15	95,46
«НВ»	92,50	75,92	99,77	99,77	92,71	97,53	-	66,96	99,20	99,69	94,54	99,74	74,53	91,07	9	91,07
«С»	85,15	60,17	99,77	99,85	92,64	97,60	-	48,08	99,75	99,96	89,50	98,57	77,75	87,40	6	87,40
«СЧ»	91,57	50,95	99,68	99,68	92,26	94,67	-	14,75	99,89	99,61	94,59	99,07	36,68	81,11	2	81,11
«ТХ»	96,02	95,24	99,85	99,94	94,28	97,45	-	93,41	99,75	99,93	97,08	99,85	80,80	96,13	17	96,13
«Т»	97,12	94,72	99,77	99,94	97,02	98,47	-	52,17	99,74	99,85	98,03	99,85	80,10	93,06	12	93,06
«МЗ»	98,50	96,46	99,85	99,85	95,30	97,84	-	79,84	99,78	99,75	99,11	99,94	79,66	95,49	16	95,49
«Д»	93,97	89,15	99,85	99,85	96,42	98,40	-	85,32	99,92	100,00	95,95	99,91	80,97	94,98	14	94,98
«ТГ»	93,06	78,71	99,77	99,59	93,65	97,23	-	65,22	99,05	99,50	95,26	99,85	75,49	91,36	10	91,36
«Н»	94,20	78,53	99,77	99,94	95,01	98,63	-	89,15	99,87	99,93	95,70	99,85	82,10	94,39	13	94,39
«ВЛ»	74,70	74,27	99,77	99,94	95,73	99,06	-	54,78	99,45	99,87	98,56	99,71	82,10	89,83	8	89,83
«ВД»	84,19	85,41	99,68	99,77	94,60	96,36	97,73	84,10	99,10	99,79	89,06	99,94	78,53	92,94	11	92,94

Таблица П2.4 – Балльная система показателей ТУ по критерию Вальда

ТУ	k(01)	k(01)	k(01)	k(01)	k(01)	k(01)	k(01)	k(01)	k(01)	k(01)	k(01)	k(01)	k(01)	Критерий Вальда	Рей-тинг узла	Приоритет	Бал-лы
«А»	81,93	54,43	99,68	99,94	85,39	93,19	97,31	90,63	98,79	99,69	85,49	99,92	80,53	99,939	5,924	8	52,9
«В»	25,28	12,57	99,68	99,59	82,51	87,18	94,67	92,63	98,45	99,43	49,56	99,57	70,53	99,678	12,804	1	56,2
«К»	74,44	3,70	99,68	99,68	88,45	93,13	96,87	67,22	98,93	99,41	80,27	99,43	68,44	99,678	10,232	3	55,0
«Р»	78,45	1,00	99,68	99,59	88,29	92,77	97,69	59,39	98,11	99,64	77,66	98,19	71,66	99,678	10,566	2	55,1
«М»	59,30	47,47	99,68	99,94	91,58	96,58	-	46,51	99,15	99,84	90,54	99,82	80,88	99,939	8,384	7	54,2
«МВ»	95,54	93,76	99,77	99,94	94,07	97,60	-	87,76	99,65	99,70	96,88	99,94	80,97	99,939	2,443	13	51,2
«НВ»	92,50	75,92	99,77	99,77	92,71	97,53	-	66,96	99,20	99,69	94,54	99,74	74,53	99,765	4,773	4	52,3
«С»	85,15	60,17	99,77	99,85	92,64	97,60	-	48,08	99,75	99,96	89,50	98,57	77,75	99,956	6,723	16	53,3
«СЧ»	91,57	50,95	99,68	99,68	92,26	94,67	-	14,75	99,89	99,61	94,59	99,07	36,68	99,887	10,068	6	55,0
«ТХ»	96,02	95,24	99,85	99,94	94,28	97,45	-	93,41	99,75	99,93	97,08	99,85	80,80	99,939	2,089	15	51,0
«Т»	97,12	94,72	99,77	99,94	97,02	98,47	-	52,17	99,74	99,85	98,03	99,85	80,10	99,939	3,715	11	51,8
«МЗ»	98,50	96,46	99,85	99,85	95,30	97,84	-	79,84	99,78	99,75	99,11	99,94	79,66	99,939	2,443	14	51,2
«Д»	93,97	89,15	99,85	99,85	96,42	98,40	-	85,32	99,92	100,0 0	95,95	99,91	80,97	100,000	2,694	17	51,3
«ТГ»	93,06	78,71	99,77	99,59	93,65	97,23	-	65,22	99,05	99,50	95,26	99,85	75,49	99,852	4,616	5	52,2
«Н»	94,20	78,53	99,77	99,94	95,01	98,63	-	89,15	99,87	99,93	95,70	99,85	82,10	99,939	3,006	12	51,5
«ВЛ»	74,70	74,27	99,77	99,94	95,73	99,06	-	54,78	99,45	99,87	98,56	99,71	82,10	99,939	5,430	9	52,7
«ВД»	84,19	85,41	99,68	99,77	94,60	96,36	97,73	84,10	99,10	99,79	89,06	99,94	78,53	99,939	4,091	10	52,0

Таблица П2.5 – Балльная система оценки ТУ по критерию Сэвиджа

ТУ	$k(\theta_1)$	$k(\theta_1)$	$k(\theta_1)$	$k(\theta_1)$	$k(\theta_1)$	$k(\theta_1)$	$k(\theta_1)$	$k(\theta_1)$	$k(\theta_1)$	$k(\theta_1)$	$k(\theta_1)$	$k(\theta_1)$	$k(\theta_1)$	Крите- рий Сэвиджа	Приори- тет	Баллы
«А»	81,93	54,43	99,68	99,94	85,39	93,19	97,31	90,63	98,79	99,69	85,49	99,92	80,53	75,879	8	75,879
«В»	25,28	12,57	99,68	99,59	82,51	87,18	94,67	92,63	98,45	99,43	49,56	99,57	70,53	77,881	11	77,881
«К»	74,44	3,70	99,68	99,68	88,45	93,13	96,87	67,22	98,93	99,41	80,27	99,43	68,44	52,472	2	52,472
«Р»	78,45	1,00	99,68	99,59	88,29	92,77	97,69	59,39	98,11	99,64	77,66	98,19	71,66	53,168	3	53,168
«М»	59,30	47,47	99,68	99,94	91,58	96,58	-	46,51	99,15	99,84	90,54	99,82	80,88	46,467	1	46,467
«МВ»	95,54	93,76	99,77	99,94	94,07	97,60	-	87,76	99,65	99,70	96,88	99,94	80,97	92,761	14	92,761
«НВ»	92,50	75,92	99,77	99,77	92,71	97,53	-	66,96	99,20	99,69	94,54	99,74	74,53	74,922	7	74,922
«С»	85,15	60,17	99,77	99,85	92,64	97,60	-	48,08	99,75	99,96	89,50	98,57	77,75	59,868	4	59,868
«СЧ»	91,57	50,95	99,68	99,68	92,26	94,67	-	14,75	99,89	99,61	94,59	99,07	36,68	66,290	5	66,290
«ТХ»	96,02	95,24	99,85	99,94	94,28	97,45	-	93,41	99,75	99,93	97,08	99,85	80,80	94,240	16	94,240
«Т»	97,12	94,72	99,77	99,94	97,02	98,47	-	52,17	99,74	99,85	98,03	99,85	80,10	93,718	15	93,718
«МЗ»	98,50	96,46	99,85	99,85	95,30	97,84	-	79,84	99,78	99,75	99,11	99,94	79,66	95,458	17	95,458
«Д»	93,97	89,15	99,85	99,85	96,42	98,40	-	85,32	99,92	100,00	95,95	99,91	80,97	88,149	13	88,149
«ТГ»	93,06	78,71	99,77	99,59	93,65	97,23	-	65,22	99,05	99,50	95,26	99,85	75,49	77,707	10	77,707
«Н»	94,20	78,53	99,77	99,94	95,01	98,63	-	89,15	99,87	99,93	95,70	99,85	82,10	77,533	9	77,533
«ВЛ»	74,70	74,27	99,77	99,94	95,73	99,06	-	54,78	99,45	99,87	98,56	99,71	82,10	73,269	6	73,269
«ВД»	84,19	85,41	99,68	99,77	94,60	96,36	97,73	84,10	99,10	99,79	89,06	99,94	78,53	84,407	12	84,407

Таблица П2.6 – Матрица сожалений Сэвиджа для ТУ

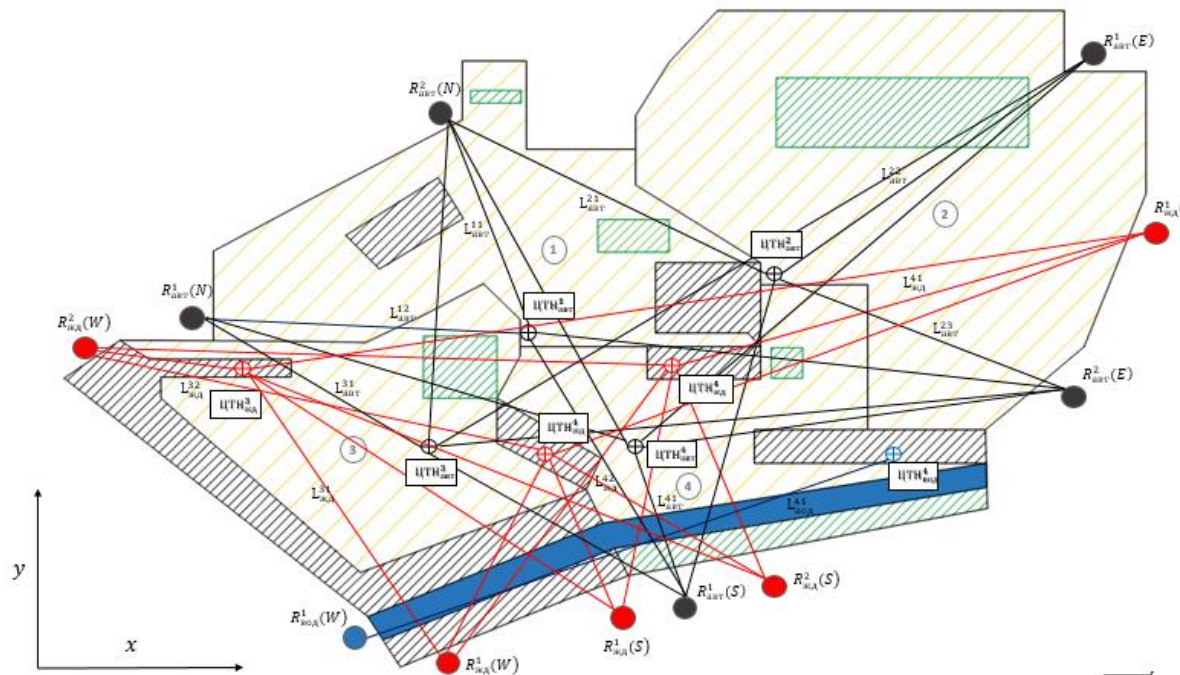
ТУ	$k(\theta_1)$	$k(\theta_1)$	$k(\theta_1)$	$k(\theta_1)$	$k(\theta_1)$	$k(\theta_1)$	$k(\theta_1)$	$k(\theta_1)$	$k(\theta_1)$	$k(\theta_1)$	$k(\theta_1)$	$k(\theta_1)$	$k(\theta_1)$
«А»	56,649	53,429	0,000	0,348	2,880	6,004	2,645	75,879	0,679	0,278	35,938	1,732	43,857
«В»	0,000	11,573	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	77,881	0,339	0,017	0,000	1,384	33,850
«К»	49,165	2,698	0,000	0,087	5,943	5,952	2,202	52,472	0,818	0,000	30,717	1,236	31,761
«Р»	53,168	0,000	0,000	0,000	5,778	5,587	3,020	44,640	0,000	0,235	28,107	0,000	34,981
«М»	34,024	46,467	0,000	0,348	9,067	9,398	0,000	31,761	1,036	0,435	40,985	1,627	44,205
«МВ»	70,267	92,761	0,087	0,348	11,556	10,416	0,000	73,008	1,540	0,287	47,320	1,749	44,292
«НВ»	67,221	74,922	0,087	0,174	10,198	10,346	0,000	52,211	1,088	0,278	44,979	1,549	37,853
«С»	59,868	59,172	0,087	0,261	10,129	10,416	0,000	33,328	1,636	0,548	39,941	0,383	41,072
«СЧ»	66,290	49,948	0,000	0,087	9,746	7,492	0,000	0,000	1,775	0,200	45,032	0,879	0,000
«ТХ»	70,745	94,240	0,174	0,348	11,773	10,268	0,000	78,664	1,636	0,522	47,529	1,662	44,118
«Т»	71,842	93,718	0,087	0,348	14,515	11,286	0,000	37,418	1,627	0,444	48,478	1,662	43,422
«МЗ»	73,225	95,458	0,174	0,261	12,792	10,660	0,000	65,089	1,671	0,339	49,557	1,749	42,987
«Д»	68,692	88,149	0,174	0,261	13,914	11,217	0,000	70,571	1,810	0,592	46,398	1,723	44,292
«ТГ»	67,787	77,707	0,087	0,000	11,138	10,051	0,000	50,470	0,940	0,096	45,702	1,662	38,810
«Н»	68,918	77,533	0,087	0,348	12,504	11,443	0,000	74,400	1,758	0,522	46,145	1,662	45,423
«ВЛ»	49,426	73,269	0,087	0,348	13,218	11,878	0,000	40,028	1,340	0,461	49,000	1,523	45,423
«ВД»	58,911	84,407	0,000	0,174	12,095	9,180	3,063	69,353	0,983	0,383	39,506	1,749	41,855

Таблица П2.7 – Балльная система показателей ТУ по критерию Гурвица

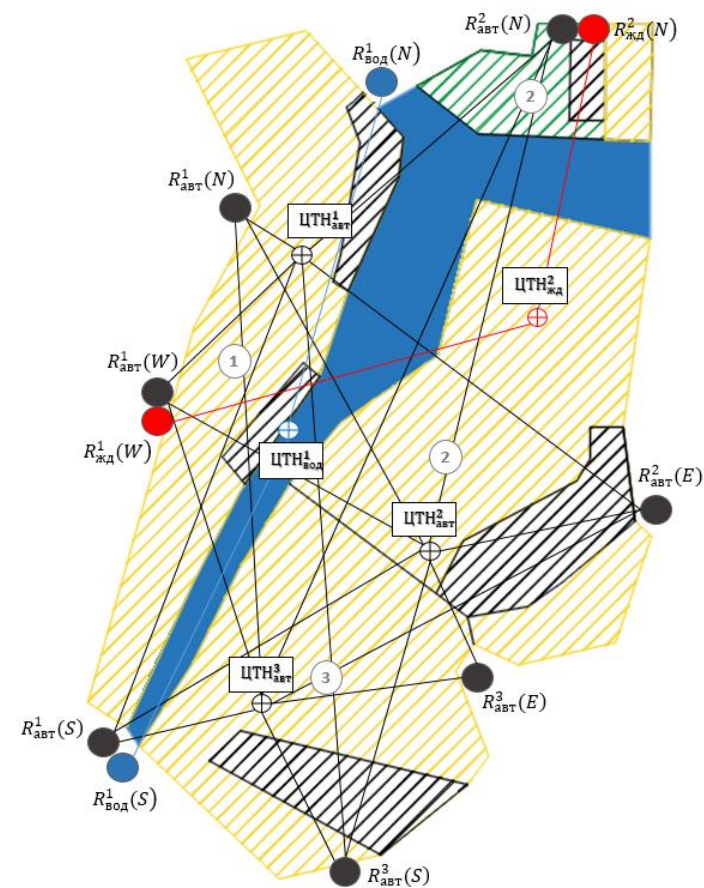
ТУ	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	Критерий Гурвица	Приоритет	Баллы
«А»	81,93	54,43	99,68	99,94	85,39	93,19	97,31	90,63	98,79	99,69	85,49	99,92	80,53	77,18	8	77,18
«В»	25,28	12,57	99,68	99,59	82,51	87,18	94,67	92,63	98,45	99,43	49,56	99,57	70,53	56,13	3	56,13
«К»	74,44	3,70	99,68	99,68	88,45	93,13	96,87	67,22	98,93	99,41	80,27	99,43	68,44	51,69	2	51,69
«Р»	78,45	1,00	99,68	99,59	88,29	92,77	97,69	59,39	98,11	99,64	77,66	98,19	71,66	50,34	1	50,34
«М»	59,30	47,47	99,68	99,94	91,58	96,58	-	46,51	99,15	99,84	90,54	99,82	80,88	73,22	5	73,22
«МВ»	95,54	93,76	99,77	99,94	94,07	97,60	-	87,76	99,65	99,70	96,88	99,94	80,97	90,45	16	90,45
«НВ»	92,50	75,92	99,77	99,77	92,71	97,53	-	66,96	99,20	99,69	94,54	99,74	74,53	83,36	11	83,36
«С»	85,15	60,17	99,77	99,85	92,64	97,60	-	48,08	99,75	99,96	89,50	98,57	77,75	74,02	6	74,02
«СЧ»	91,57	50,95	99,68	99,68	92,26	94,67	-	14,75	99,89	99,61	94,59	99,07	36,68	57,32	4	57,32
«ТХ»	96,02	95,24	99,85	99,94	94,28	97,45	-	93,41	99,75	99,93	97,08	99,85	80,80	90,37	15	90,37
«Т»	97,12	94,72	99,77	99,94	97,02	98,47	-	52,17	99,74	99,85	98,03	99,85	80,10	76,05	7	76,05
«МЗ»	98,50	96,46	99,85	99,85	95,30	97,84	-	79,84	99,78	99,75	99,11	99,94	79,66	89,80	14	89,80
«Д»	93,97	89,15	99,85	99,85	96,42	98,40	-	85,32	99,92	100,00	95,95	99,91	80,97	90,48	17	90,48
«ТГ»	93,06	78,71	99,77	99,59	93,65	97,23	-	65,22	99,05	99,50	95,26	99,85	75,49	82,54	10	82,54
«Н»	94,20	78,53	99,77	99,94	95,01	98,63	-	89,15	99,87	99,93	95,70	99,85	82,10	89,24	12	89,24
«ВЛ»	74,70	74,27	99,77	99,94	95,73	99,06	-	54,78	99,45	99,87	98,56	99,71	82,10	77,36	9	77,36
«ВД»	84,19	85,41	99,68	99,77	94,60	96,36	97,73	84,10	99,10	99,79	89,06	99,94	78,53	89,24	13	89,24

Таблица П2.8 – Балльная система показателей ТУ по критерию Ходжа – Лемана

ТУ	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	$k(\theta 1)$	Критерий Ходжа – Лемана	Прио- ритет	Баллы
«А»	81,93	54,43	99,68	99,94	85,39	93,19	97,31	90,63	98,79	99,69	85,49	99,92	80,53	90,730	16	90,730
«В»	25,28	12,57	99,68	99,59	82,51	87,18	94,67	92,63	98,45	99,43	49,56	99,57	70,53	91,020	3	91,020
«К»	74,44	3,70	99,68	99,68	88,45	93,13	96,87	67,22	98,93	99,41	80,27	99,43	68,44	88,787	6	88,787
«Р»	78,45	1,00	99,68	99,59	88,29	92,77	97,69	59,39	98,11	99,64	77,66	98,19	71,66	87,419	5	87,419
«М»	59,30	47,47	99,68	99,94	91,58	96,58	-	46,51	99,15	99,84	90,54	99,82	80,88	88,904	2	88,904
«МВ»	95,54	93,76	99,77	99,94	94,07	97,60	-	87,76	99,65	99,70	96,88	99,94	80,97	90,356	13	90,356
«НВ»	92,50	75,92	99,77	99,77	92,71	97,53	-	66,96	99,20	99,69	94,54	99,74	74,53	92,965	8	92,965
«С»	85,15	60,17	99,77	99,85	92,64	97,60	-	48,08	99,75	99,96	89,50	98,57	77,75	94,896	4	94,896
«СЧ»	91,57	50,95	99,68	99,68	92,26	94,67	-	14,75	99,89	99,61	94,59	99,07	36,68	91,470	1	91,470
«ТХ»	96,02	95,24	99,85	99,94	94,28	97,45	-	93,41	99,75	99,93	97,08	99,85	80,80	92,137	15	92,137
«Т»	97,12	94,72	99,77	99,94	97,02	98,47	-	52,17	99,74	99,85	98,03	99,85	80,10	91,957	10	91,957
«МЗ»	98,50	96,46	99,85	99,85	95,30	97,84	-	79,84	99,78	99,75	99,11	99,94	79,66	93,578	14	93,578
«Д»	93,97	89,15	99,85	99,85	96,42	98,40	-	85,32	99,92	100,00	95,95	99,91	80,97	96,487	12	96,487
«ТГ»	93,06	78,71	99,77	99,59	93,65	97,23	-	65,22	99,05	99,50	95,26	99,85	75,49	94,086	9	94,086
«Н»	94,20	78,53	99,77	99,94	95,01	98,63	-	89,15	99,87	99,93	95,70	99,85	82,10	94,384	11	94,384
«ВЛ»	74,70	74,27	99,77	99,94	95,73	99,06	-	54,78	99,45	99,87	98,56	99,71	82,10	94,074	7	94,074
«ВД»	84,19	85,41	99,68	99,77	94,60	96,36	97,73	84,10	99,10	99,79	89,06	99,94	78,53	93,879	17	93,879

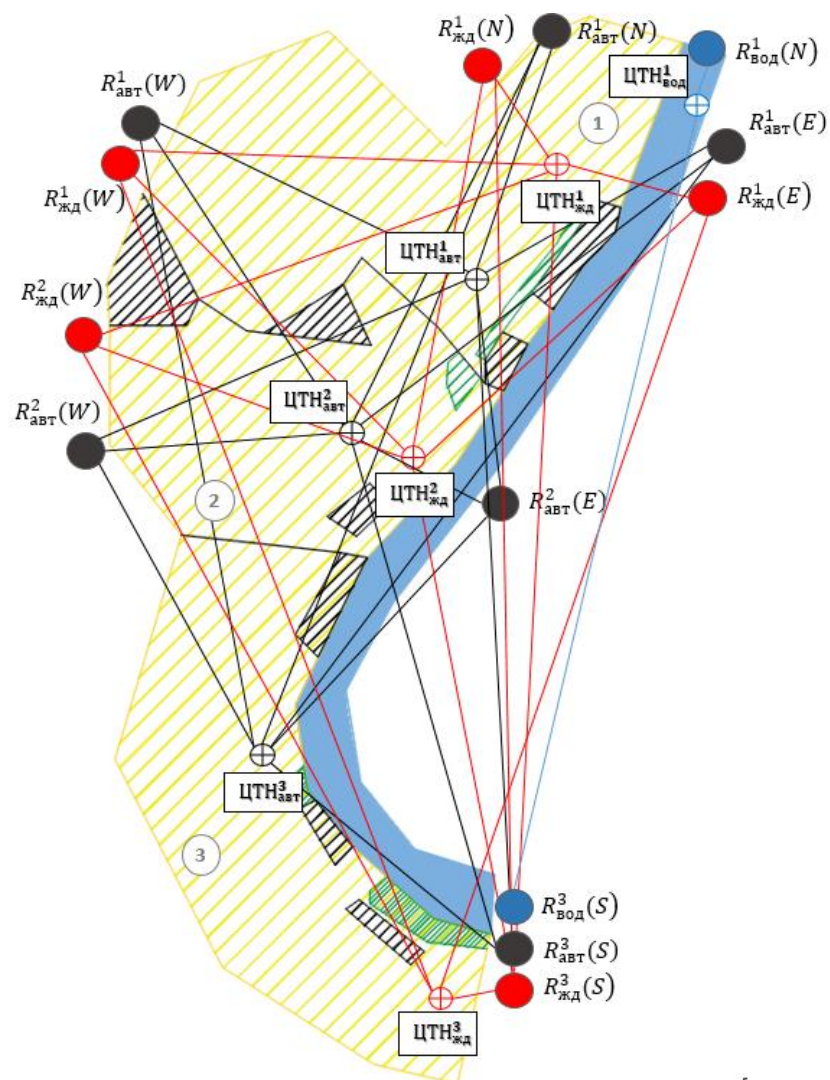


ТУ «Р»

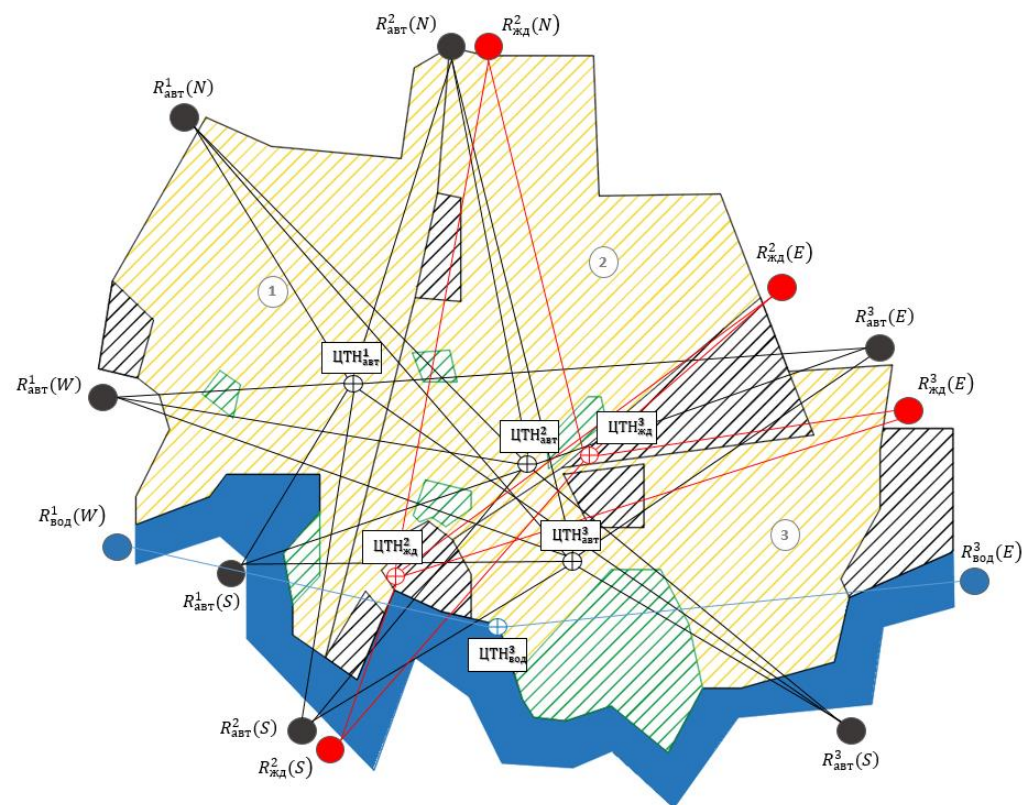


ТУ «А»

Рисунок П2.2 – Блочно-модульная компоновка узла с укрупненной сетью путей сообщения (начало)

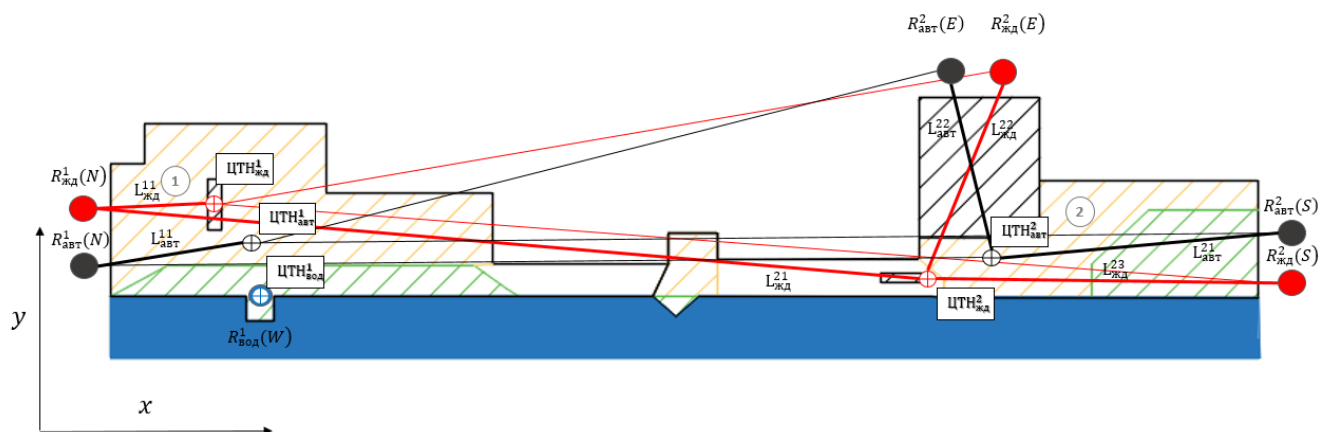


ТУ «В»

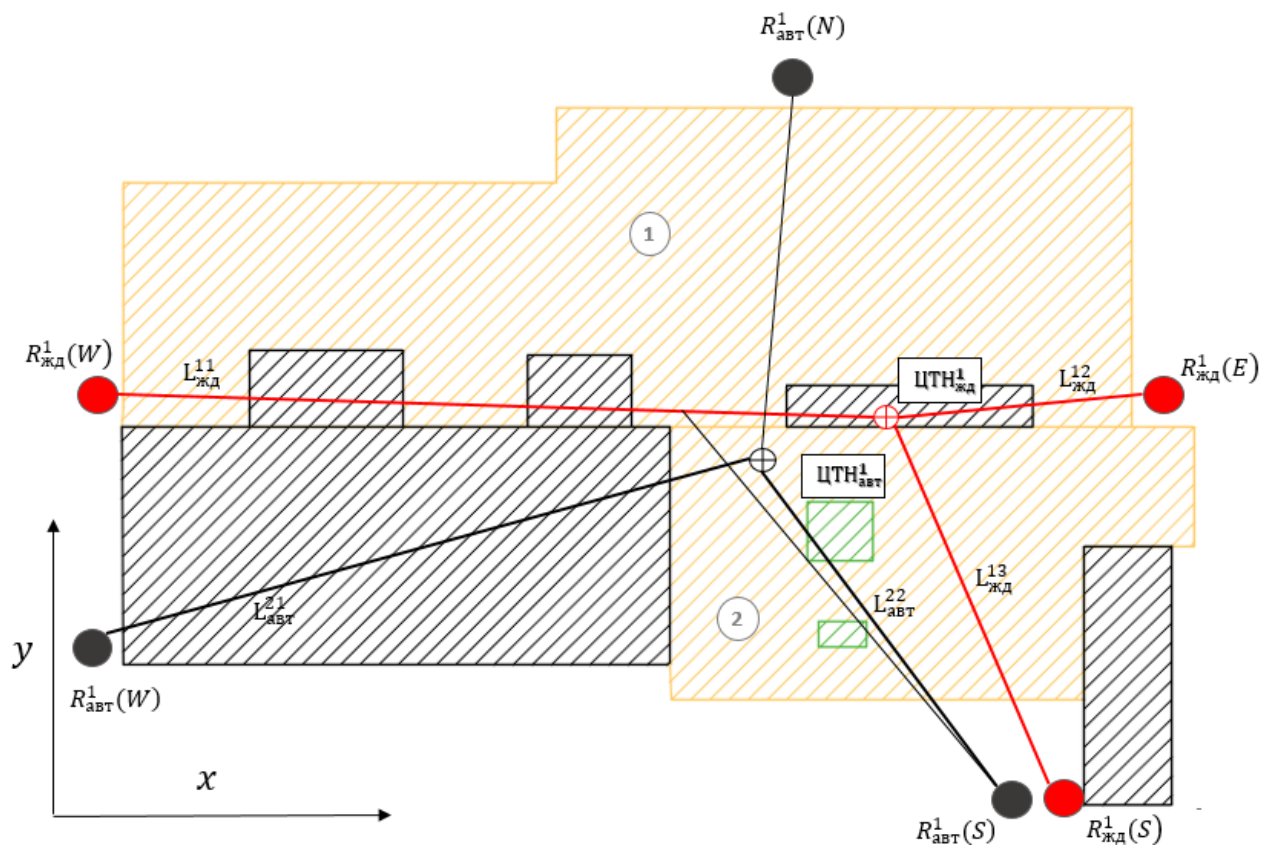


ТУ «К»

Рисунок П2.2 – Блочно-модульная компоновка узла с укрупненной сетью путей сообщения (продолжение)

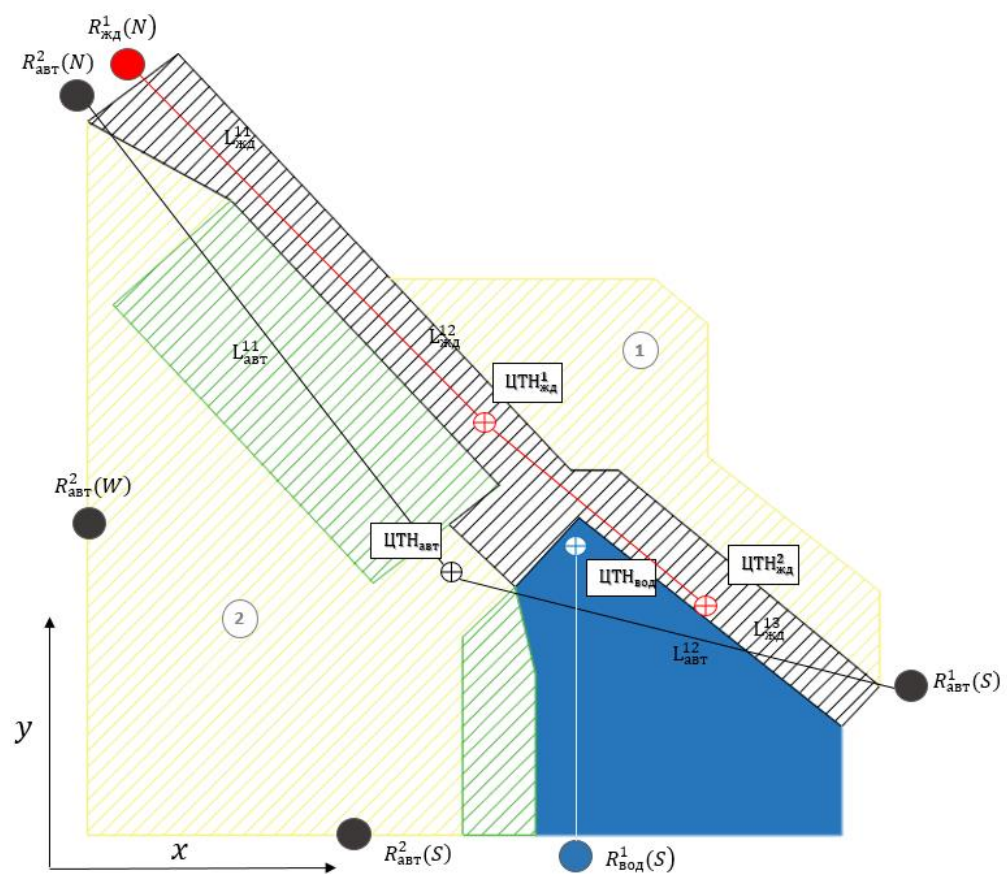


ТУ «СЧ»

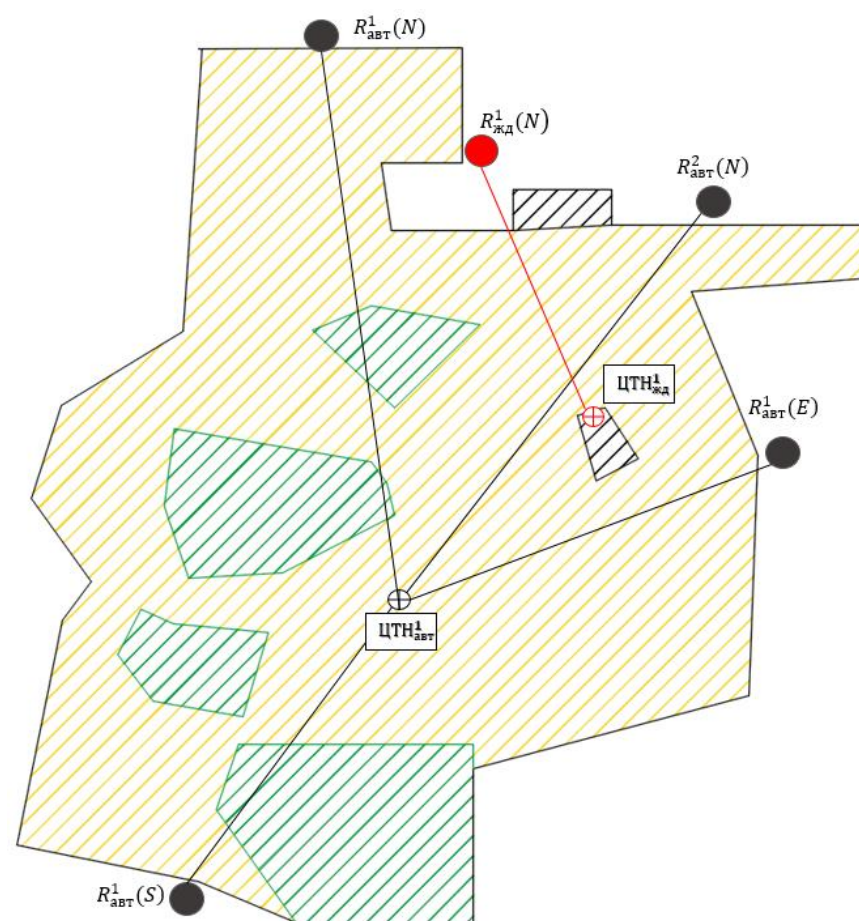


ТУ «МВ»

Рисунок П2.2 – Блочно-модульная компоновка узла с укрупненной сетью путей сообщения (продолжение)

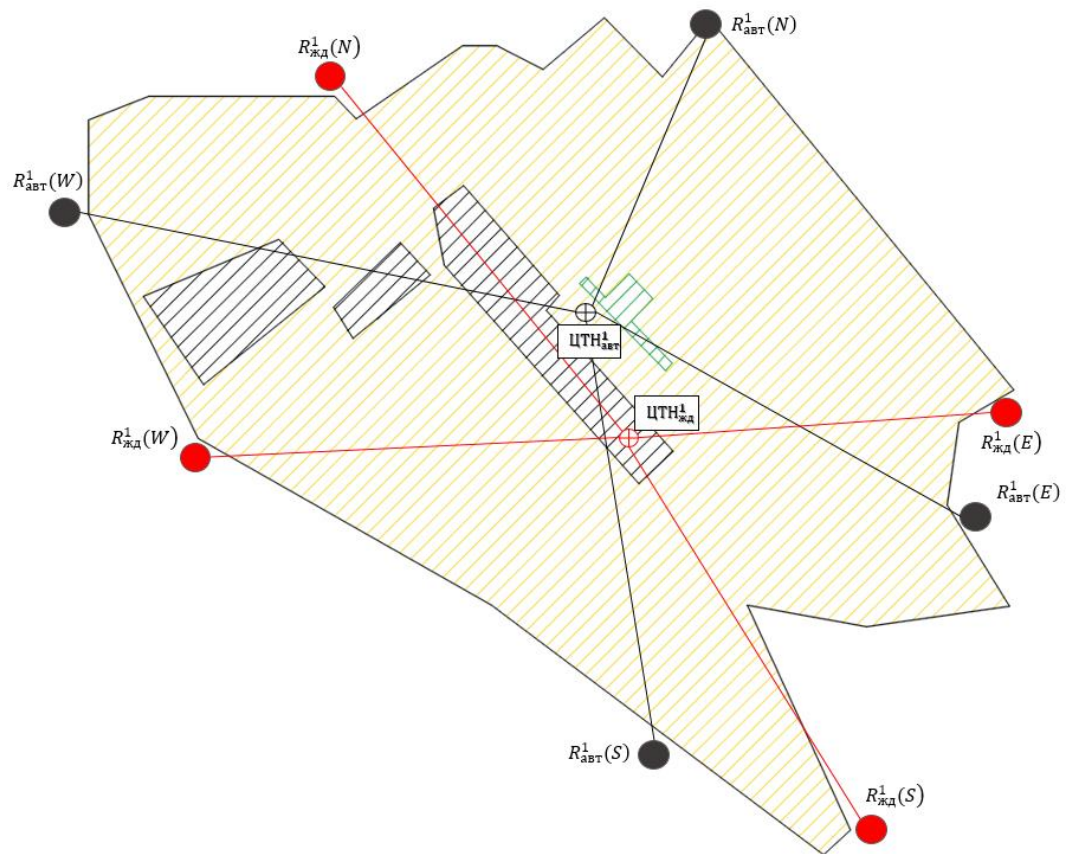


ТУ «Н»

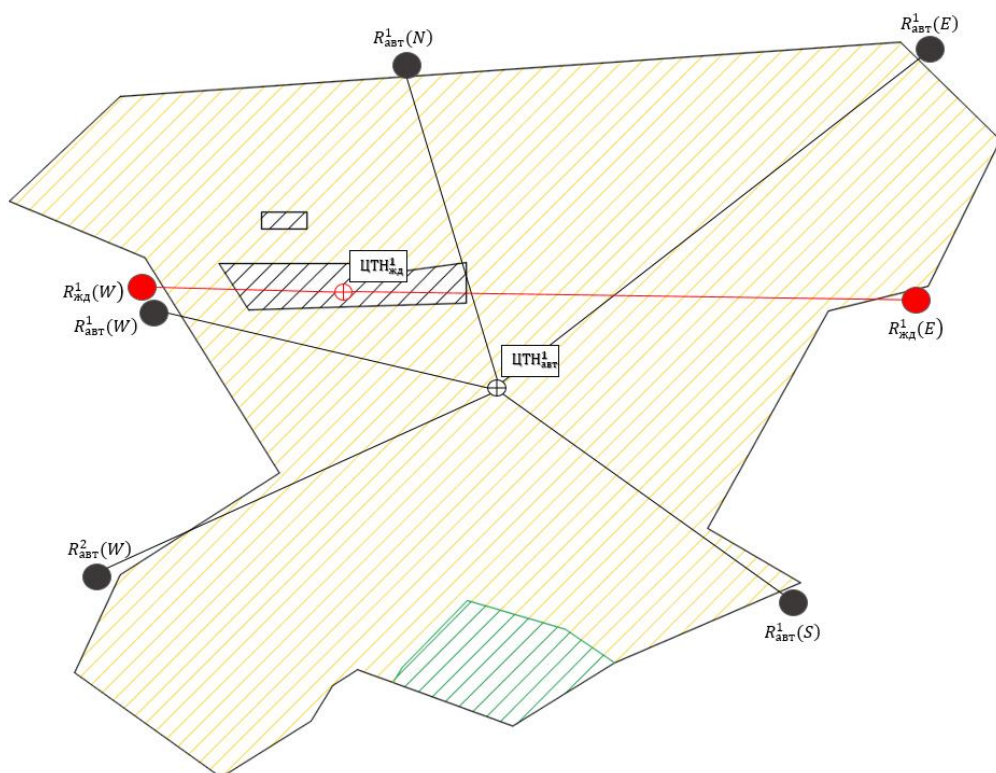


ТУ «С»

Рисунок П2.2 – Блочно-модульная компоновка узла с укрупненной сетью путей сообщения (продолжение)

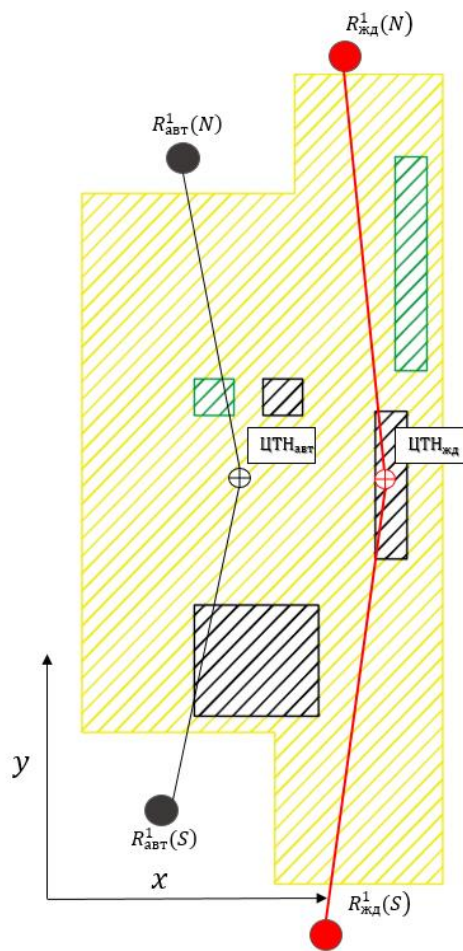


ТУ «ТХ»

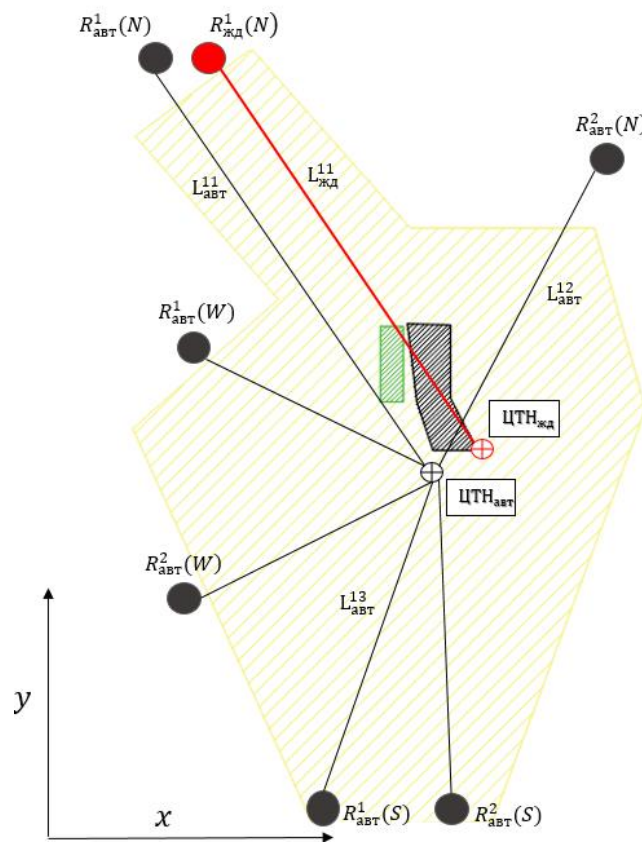


ТУ «МЗ»

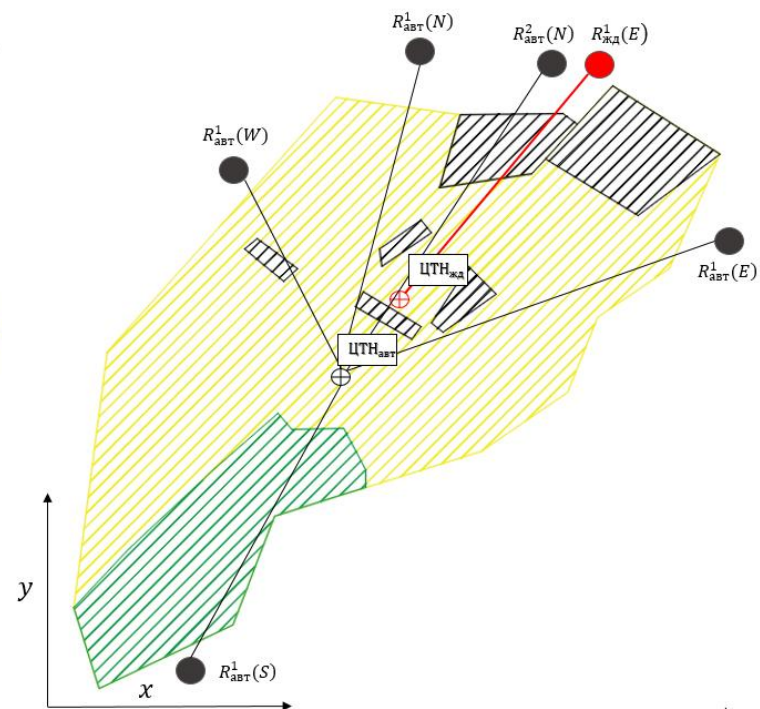
Рисунок П2.2 – Блочно-модульная компоновка узла с укрупненной сетью путей сообщения (продолжение)



ТУ «Д»

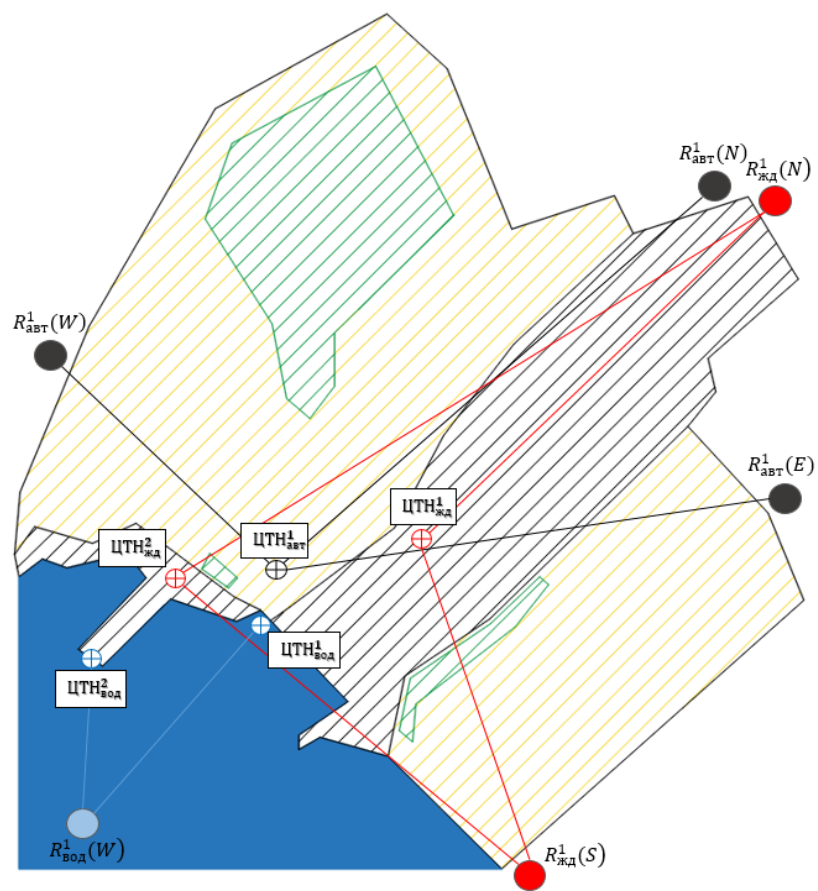


ТУ «ВЛ»

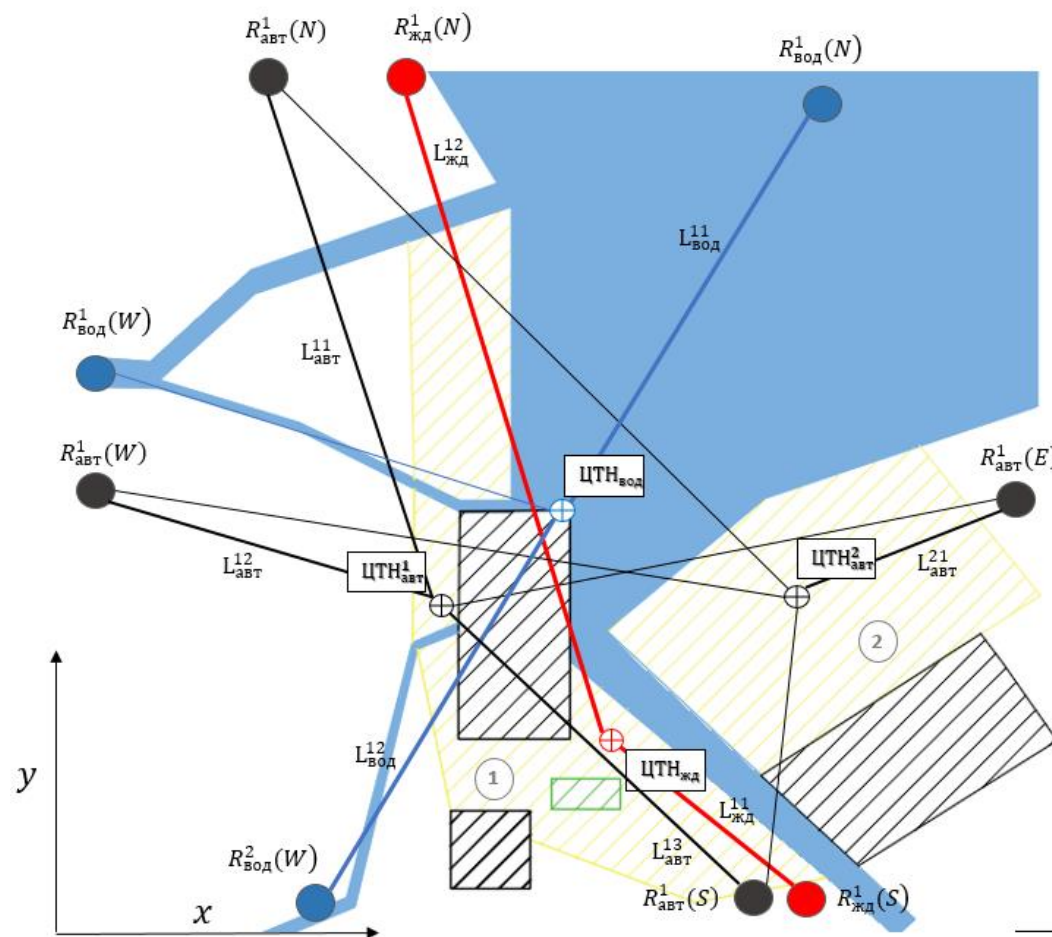


ТУ «Н»

Рисунок П2.2 – Блочно-модульная компоновка узла с укрупненной сетью путей сообщения (продолжение)

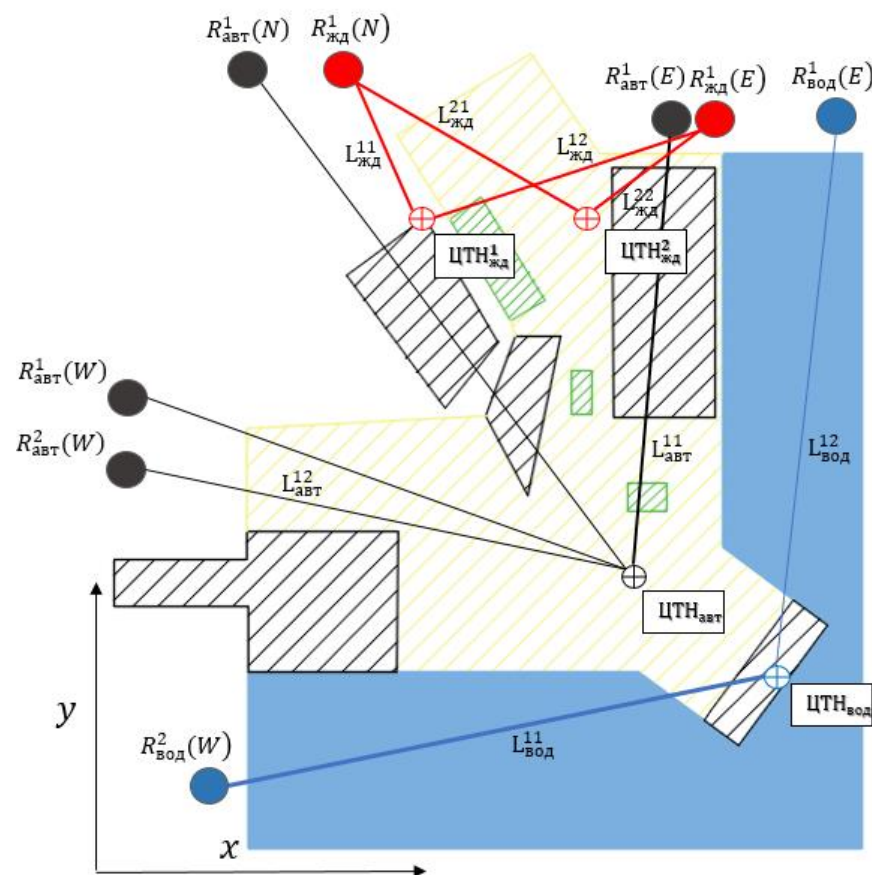


ТУ «Т»

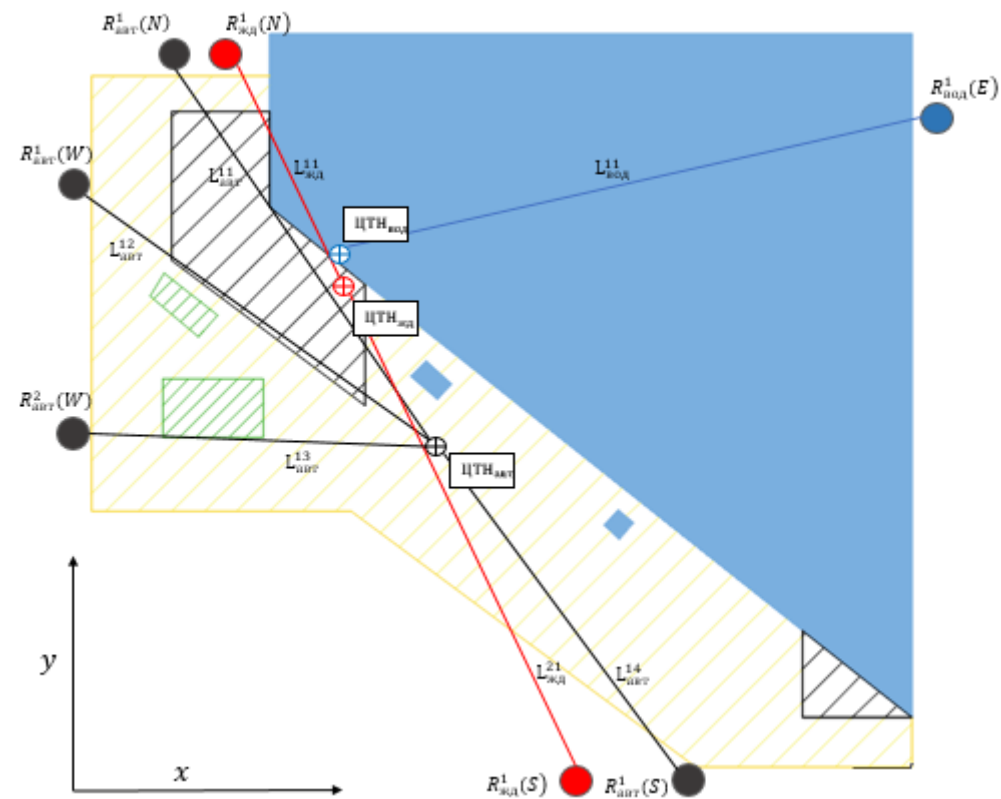


ТУ «ВД»

Рисунок П2.2 – Блочно-модульная компоновка узла с укрупненной сетью путей сообщения (продолжение)



ТУ «ТГ»



ТУ «М»

Рисунок П2.2 – Блочнo-модульная компоновка узла с укрупненной сетью путей сообщения (продолжение)

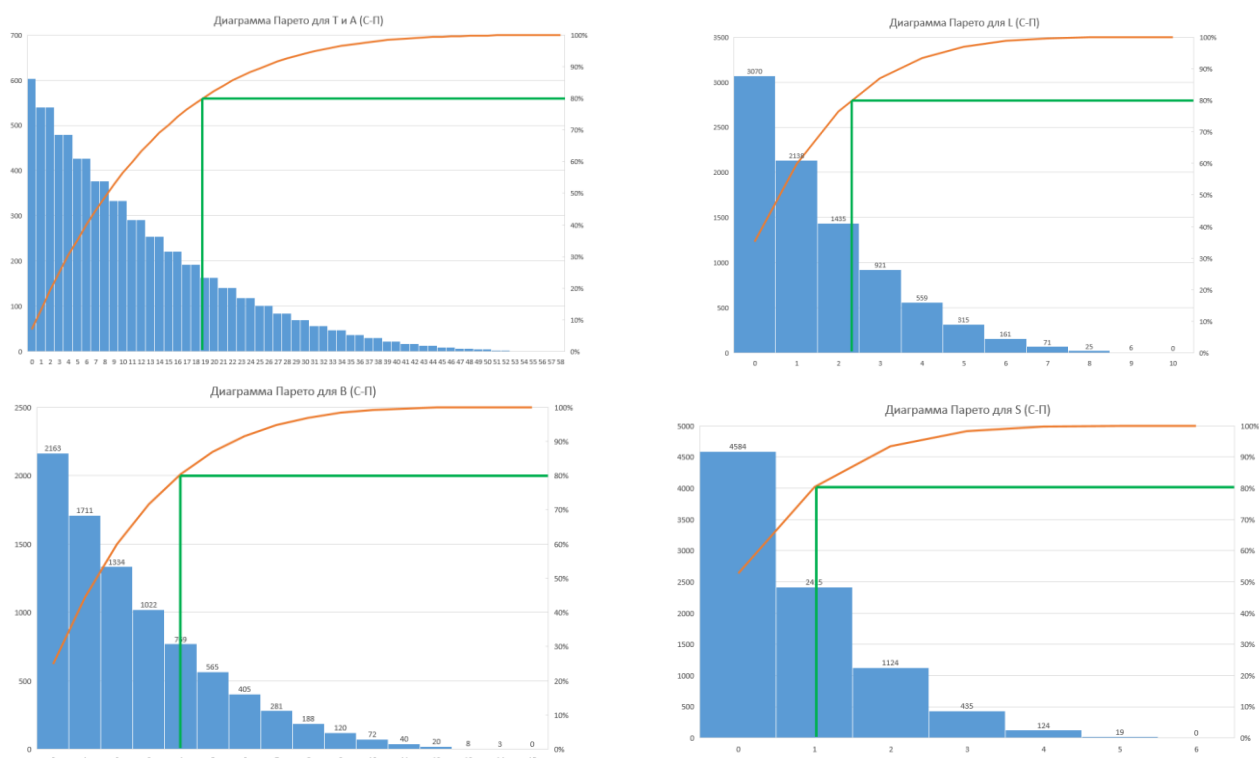


Рисунок П3.1 – Диаграммы Парето оценки параметров зоны «С-П»
при размещении

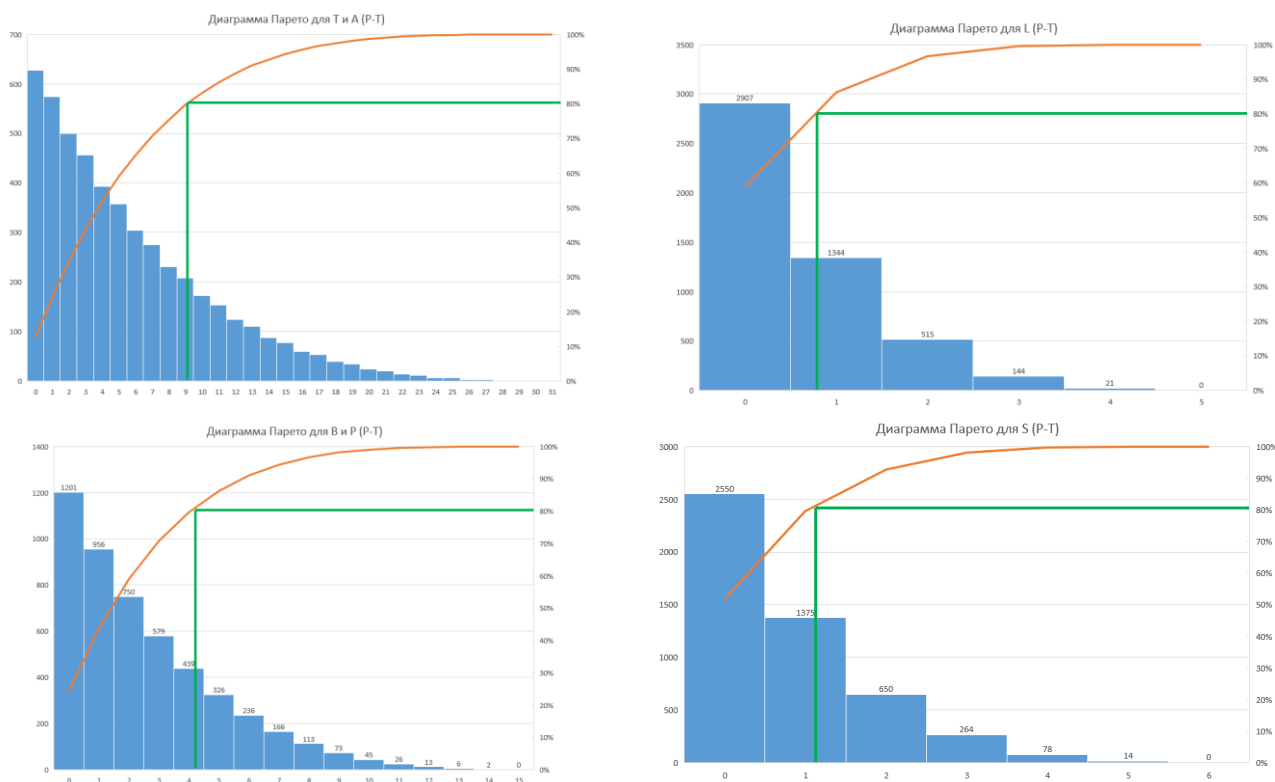


Рисунок П3.2 – Диаграммы Парето оценки параметров зоны «Р-Т»
при размещении

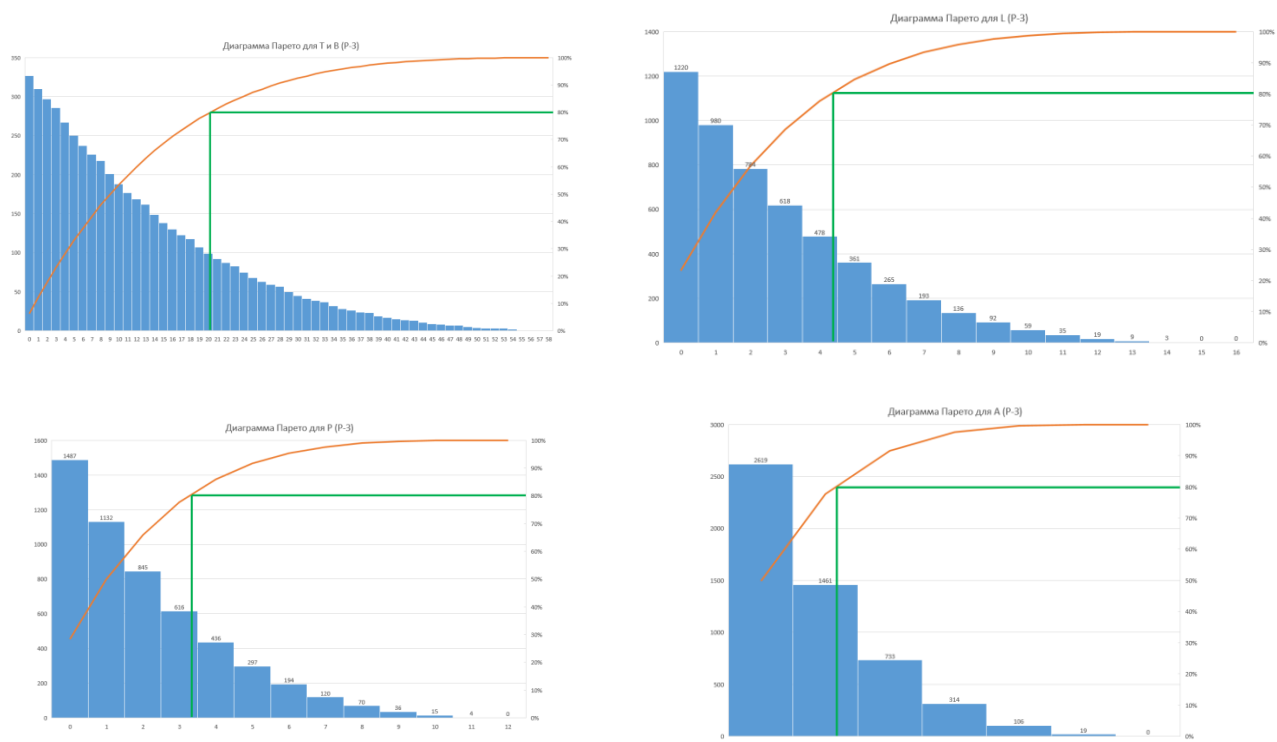


Рисунок ПЗ.3 – Диаграммы Парето оценки параметров зоны «Р-3»
при размещении

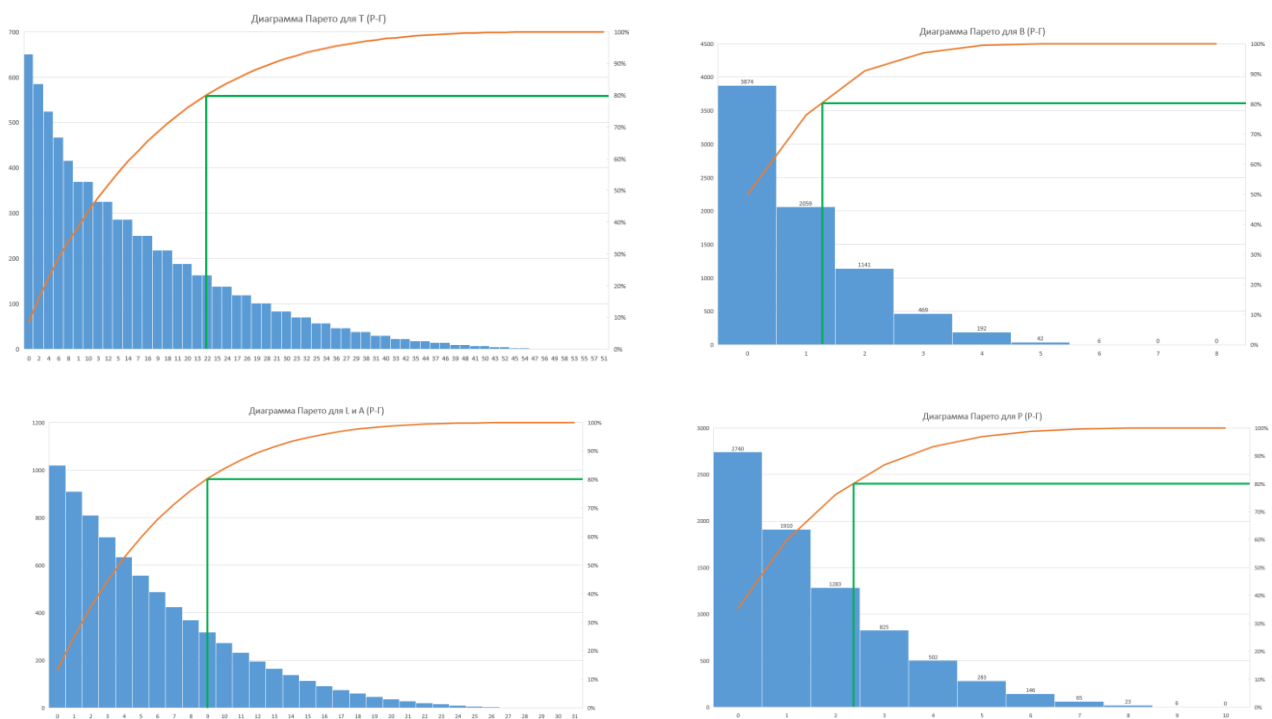


Рисунок ПЗ.4 – Диаграммы Парето оценки параметров зоны «Р-Г»
при размещении

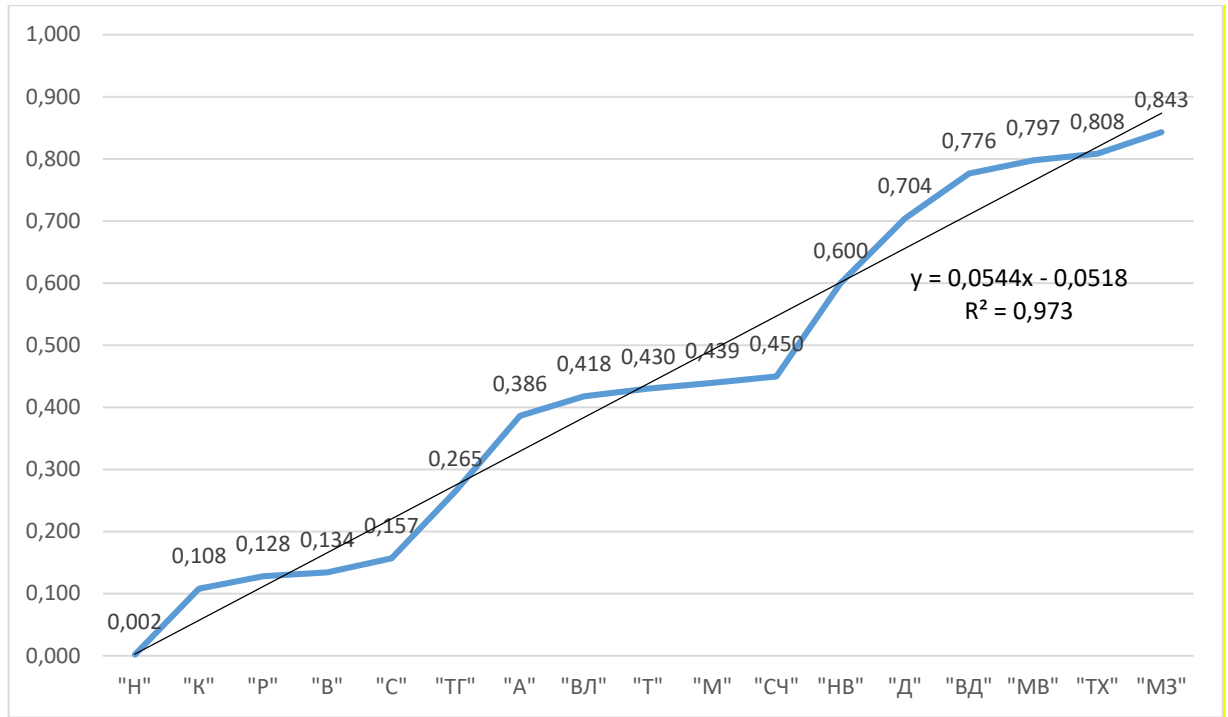


Рисунок ПЗ.5 – Существующий $\Delta = |1 - \psi|$ для ТУ юга России

П4.1 Расчет ЛДУ показателей компоновки зон ТУ «МВ» в программе ОП ГКУ 1.0 согласно ГКА ТУ

ТСЗ «ЖД»

$$1 \cdot a(i) + 7 \cdot b(i) + 2 \cdot c(i) + 7 \cdot d(i) + 10 \cdot e(i) + 4 \cdot f(i) = 18$$

77 решений

ТСЗ «Аэр»

$$1 \cdot a(i) + 3 \cdot b(i) + 2 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 7 \cdot e(i) + 5 \cdot f(i) = 18$$

113 решений

ТСЗ «ЖД»

Рациональный корень для переменной a: 5.15

Рациональный корень для переменной b: 0.40

Рациональный корень для переменной c: 2.60

Рациональный корень для переменной d: 0.40

Рациональный корень для переменной e: 0.18

Рациональный корень для переменной f: 1.03

Т.О. принимаем a(i) = 6, b(i) = 1, c(i) = 3, d(i) = 1, e(i) = 1, f(i) = 2

ТСЗ «Аэр»

Рациональный корень для переменной a: 4.58

Рациональный корень для переменной b: 1.49

Рациональный корень для переменной c: 2.50

Рациональный корень для переменной d: 0.16

Рациональный корень для переменной e: 0.37

Рациональный корень для переменной f: 0.69

Т.О. принимаем a(i) = 5, b(i) = 2, c(i) = 3, d(i) = 1, e(i) = 1, f(i) = 1

Выбор параметров новой зоны, полученной в результате объединения (модификации) существующих зон «ТСЗ ЖД» и «ТСЗ Аэр» узла «МВ»

$$\left(\begin{array}{l} \text{X. -P1: } 6 | 1, 3, 1, 1, 2 \text{ X. -P2: } 5 | 2, 3, 1, 1, 1 \text{ X. -П(1,2): } 6, 2, 3, 1, 1, 1 \text{ or } 5, 1, 3, 1, 1, 2; \\ \text{X. -P1: } 6, 1 | 3, 1, 1, 2 \text{ X. -P2: } 5, 2 | 3, 1, 1, 1 \text{ X. -П(1,2): } 6, 1, 3, 1, 1, 1 \text{ or } 5, 2, 3, 1, 1, 2; \\ \text{X. -P1: } 6, 1, 3 | 1, 1, 2 \text{ X. -P2: } 5, 2, 3 | 1, 1, 1 \text{ X. -П(1,2): } 6, 1, 3, 1, 1, 1 \text{ or } 5, 2, 3, 1, 1, 2; \\ \text{X. -P1: } 6, 1, 3, 1 | 1, 2 \text{ X. -P2: } 5, 2, 3, 1 | 1, 1 \text{ X. -П(1,2): } 6, 1, 3, 1, 1, 1 \text{ or } 5, 2, 3, 1, 1, 2; \\ \text{X. -P1: } 6, 1, 3, 1, 1 | 2 \text{ X. -P2: } 5, 2, 3, 1, 1 | 1 \text{ X. -П(1,2): } 6, 1, 3, 1, 1, 1 \text{ or } 5, 2, 3, 1, 1, 2; \end{array} \right)$$

Уравнение № 1 - $6 \cdot T(i) + 2 \cdot L(i) + 3 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 1 \cdot P(i) = 18$.
Решений – 2106.

Уравнение № 2 - $5 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 3 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 18$.
Решений – 2314.

Уравнение № 3 - $6 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 3 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 1 \cdot P(i) = 18$.
Решений – 3812.

Уравнение № 4 - $5 \cdot T(i) + 2 \cdot L(i) + 3 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 18$.
Решений – 1278

Решение уравнения № 1

Рациональный корень для переменной a: 0.34

Рациональный корень для переменной b: 1.93

Рациональный корень для переменной c: 1.11

Рациональный корень для переменной d: 4.21

Рациональный корень для переменной e: 4.21

Рациональный корень для переменной f: 4.21

Т.О. принимаем T = 1, L = 2, B = 2, S = 5, A = 5, P = 5

$$6 \cdot 1 + 2 \cdot 2 + 3 \cdot 2 + 1 \cdot 5 + 1 \cdot 5 + 1 \cdot 5 = 6 + 4 + 6 + 5 + 5 + 5 = 31$$

Разница – 13

Решение уравнения № 2

Рациональный корень для переменной a: 0.47

Рациональный корень для переменной b: 4.17

Рациональный корень для переменной c: 1.09

Рациональный корень для переменной d: 4.17

Рациональный корень для переменной e: 4.17

Рациональный корень для переменной f: 1.90

Т.О. принимаем T = 1, L = 5, B = 2, S = 5, A = 5, P = 2

$$5 \cdot 1 + 1 \cdot 5 + 3 \cdot 2 + 1 \cdot 5 + 1 \cdot 5 + 2 \cdot 2 = 5 + 5 + 6 + 5 + 5 + 4 = 30$$

Разница – 12

Решение уравнения № 3

Рациональный корень для переменной a: 0.33

Рациональный корень для переменной b: 4.15

Рациональный корень для переменной c: 1.08

Рациональный корень для переменной d: 4.15

Рациональный корень для переменной e: 4.15

Рациональный корень для переменной f: 4.15

Т.О. принимаем $T = 1, L = 5, B = 2, S = 5, A = 5, P = 5$

$6 \cdot 1 + 1 \cdot 5 + 3 \cdot 2 + 1 \cdot 5 + 1 \cdot 5 + 1 \cdot 5 = 6 + 5 + 6 + 5 + 5 + 5 = 32.$

Разница – 14.

Решение уравнения № 4

Рациональный корень для переменной a: 0.49

Рациональный корень для переменной b: 1.95

Рациональный корень для переменной c: 1.12

Рациональный корень для переменной d: 4.22

Рациональный корень для переменной e: 4.22

Рациональный корень для переменной f: 1.95

Т.О. принимаем $T = 1, L = 2, B = 2, S = 5, A = 5, P = 2$

$5 \cdot 1 + 2 \cdot 2 + 3 \cdot 2 + 1 \cdot 5 + 1 \cdot 5 + 2 \cdot 2 = 5 + 4 + 6 + 5 + 5 + 4 = 29.$

Разница – 11.

П4.2 Расчет ЛДУ показателей компоновки зон ТУ «Д» в программе ОП ГКУ 1.0 согласно ГКА ТУ

«ПЗ31»

$$1 \cdot a(i) + 10 \cdot b(i) + 7 \cdot c(i) + 5 \cdot d(i) + 1 \cdot e(i) + 3 \cdot f(i) = 18$$

209 решений

«ПЗ32»

$$1 \cdot a(i) + 10 \cdot b(i) + 5 \cdot c(i) + 15 \cdot d(i) + 1 \cdot e(i) + 3 \cdot f(i) = 18$$

161 решение

«ПЗ3 1»

Рациональный корень для переменной a: 4.57

Рациональный корень для переменной b: 0.15

Рациональный корень для переменной c: 0.36

Рациональный корень для переменной d: 0.67

Рациональный корень для переменной e: 4.57

Рациональный корень для переменной f: 1.44

Т.О. принимаем $a(i) = 5, b(i) = 1, c(i) = 1, d(i) = 1, e(i) = 5, f(i) = 2$

«ПЗ3 2»

Рациональный корень для переменной a: 4.76

Рациональный корень для переменной b: 0.18

Рациональный корень для переменной c: 0.74

Рациональный корень для переменной d: 0.04

Рациональный корень для переменной e: 4.76

Рациональный корень для переменной f: 1.57

Т.О. принимаем $a(i) = 5, b(i) = 1, c(i) = 1, d(i) = 1, e(i) = 5, f(i) = 2$

Выбор параметров новой зоны, полученной в результате объединения (модификации) существующих зон «ПЗ3 1» и «ПЗ32» узла «Д»

$$\left(\begin{array}{l} X.-P1: 5 | 1, 1, 1, 5, 2 \quad X.-P2: 5 | 1, 1, 1, 5, 2 \quad X.-П(1,2): 5, 1, 1, 1, 5, 2 \text{ or } 5, 1, 1, 1, 5, 2; \\ X.-P1: 5, 1 | 1, 1, 5, 2 \quad X.-P2: 5, 1 | 1, 1, 1, 5, 2 \quad X.-П(1,2): 5, 1, 1, 1, 5, 2 \text{ or } 5, 1, 1, 1, 5, 2; \\ X.-P1: 5, 1, 1 | 1, 5, 2 \quad X.-P2: 5, 1, 1 | 1, 5, 2 \quad X.-П(1,2): 5, 1, 1, 1, 5, 2 \text{ or } 5, 1, 1, 1, 5, 2; \\ X.-P1: 5, 1, 1, 1 | 5, 2 \quad X.-P2: 5, 1, 1, 1 | 5, 2 \quad X.-П(1,2): 5, 1, 1, 1, 5, 2 \text{ or } 5, 1, 1, 1, 5, 2; \\ X.-P1: 5, 1, 1, 1, 5 | 2 \quad X.-P2: 5, 1, 1, 1, 5 | 2 \quad X.-П(1,2): 5, 1, 1, 1, 5, 2 \text{ or } 5, 1, 1, 1, 5, 2; \end{array} \right)$$

$$\text{Уравнение № 1} - 5 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 1 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 5 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 18.$$

Решений – 1668.

Решение уравнения № 1

Рациональный корень для переменной a: 0.50

Рациональный корень для переменной b: 4.17

Рациональный корень для переменной c: 4.17

Рациональный корень для переменной d: 4.17

Рациональный корень для переменной e: 0.50

Рациональный корень для переменной f: 1.97

Т.О. $T = 1, L = 5, B = 5, S = 5, A = 1, P = 2$

$5 \cdot 1 + 1 \cdot 5 + 1 \cdot 5 + 1 \cdot 5 + 5 \cdot 2 + 2 \cdot 4 = 5 + 5 + 5 + 5 + 5 + 4 = 29.$

Разница – 11.

П4.3 Расчет ЛДУ показателей компоновки зон ТУ «Н» в программе ОП ГКУ 1.0 согласно ГКА ТУ

«ПЗ32»

$$1 \cdot a(i) + 10 \cdot b(i) + 5 \cdot c(i) + 20 \cdot d(i) + 2 \cdot e(i) + 1 \cdot f(i) = 31$$

1138 решений

«ПЗ33»

$$1 \cdot a(i) + 10 \cdot b(i) + 9 \cdot c(i) + 26 \cdot d(i) + 2 \cdot e(i) + 1 \cdot f(i) = 31$$

728 решений

«ПЗ3 2»

Рациональный корень для переменной a: 6.39

Рациональный корень для переменной b: 0.44

Рациональный корень для переменной c: 1.35

Рациональный корень для переменной d: 0.07

Рациональный корень для переменной e: 4.10

Рациональный корень для переменной f: 6.39

Т.О. принимаем $a(i) = 7, b(i) = 1, c(i) = 2, d(i) = 1, e(i) = 5, f(i) = 7$

«ПЗ3 3»

Рациональный корень для переменной a: 6.55

Рациональный корень для переменной b: 0.49

Рациональный корень для переменной c: 0.60

Рациональный корень для переменной d: 0.02

Рациональный корень для переменной e: 4.19

Рациональный корень для переменной f: 6.55

Т.О. принимаем $a(i) = 7, b(i) = 1, c(i) = 1, d(i) = 1, e(i) = 5, f(i) = 7$

Выбор параметров новой зоны, полученной в результате объединения (модификации) существующих зон «ПЗ3 2» и «ПЗ3 3» узла «Н»

$$\left(\begin{array}{l} X.-P1: 7 | 1, 2, 1, 5, 7 \quad X.-P2: 7 | 1, 1, 1, 5, 7 \quad X.-П(1,2): 7, 1, 1, 1, 5, 7 \text{ or } 7, 1, 2, 1, 5, 7; \\ X.-P1: 7, 1 | 2, 1, 5, 7 \quad X.-P2: 7, 1 | 1, 1, 5, 7 \quad X.-П(1,2): 7, 1, 1, 1, 5, 7 \text{ or } 7, 1, 2, 1, 5, 7; \\ X.-P1: 7, 1, 2 | 1, 5, 7 \quad X.-P2: 7, 1, 1 | 1, 5, 7 \quad X.-П(1,2): 7, 1, 2, 1, 5, 7 \text{ or } 7, 1, 1, 1, 5, 7; \\ X.-P1: 7, 1, 2, 1 | 5, 7 \quad X.-P2: 7, 1, 1, 1 | 5, 7 \quad X.-П(1,2): 7, 1, 2, 1, 5, 7 \text{ or } 7, 1, 1, 1, 5, 7; \end{array} \right)$$

Уравнение № 1 - $7 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 1 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 5 \cdot A(i) + 7 \cdot P(i) = 31.$

Решений – 4185.

$$\text{Уравнение № 2 - } 7 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 5 \cdot A(i) + 7 \cdot P(i) = 31$$

Решений – 2220.

Решение уравнения № 1

Рациональный корень для переменной a: 0.68

Рациональный корень для переменной b: 5.64

Рациональный корень для переменной c: 5.64

Рациональный корень для переменной d: 5.64

Рациональный корень для переменной e: 1.13

Рациональный корень для переменной f: 0.68

Т.О. $T = 1, L = 6, B = 6, S = 6, A = 2, P = 1$

$7 \cdot 1 + 1 \cdot 6 + 1 \cdot 6 + 1 \cdot 6 + 5 \cdot 2 + 7 \cdot 1 = 7 + 6 + 6 + 6 + 10 + 7 = 42.$

Разница – 11.

Решение уравнения № 2

Рациональный корень для переменной a: 0.69

Рациональный корень для переменной b: 5.89

Рациональный корень для переменной c: 3.69

Рациональный корень для переменной d: 5.89

Рациональный корень для переменной e: 1.15

Рациональный корень для переменной f: 0.6

Т.О. $T = 1, L = 6, B = 4, S = 6, A = 2, P = 1$

$7 \cdot 1 + 1 \cdot 6 + 2 \cdot 4 + 1 \cdot 6 + 5 \cdot 2 + 7 \cdot 1 = 7 + 6 + 8 + 6 + 10 + 7 = 44$

Разница – 13

П4.4 Расчет ЛДУ показателей компоновки зон ТУ «М» в программе ОП ГКУ 1.0 согласно ГКА ТУ

«ТСЗ»

$$1 \cdot a(i) + 6 \cdot b(i) + 2 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 5 \cdot e(i) + 4 \cdot f(i) = 57$$

6047 решений.

«ПЗЗ»

$$1 \cdot a(i) + 10 \cdot b(i) + 8 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 6 \cdot e(i) + 6 \cdot f(i) = 57$$

746 решений.

«ТСЗ»

Рациональный корень для переменной a: 8.69

Рациональный корень для переменной b: 1.84

Рациональный корень для переменной c: 5.11

Рациональный корень для переменной d: 0.90

Рациональный корень для переменной e: 2.34

Рациональный корень для переменной f: 3.04

Т.О. принимаем a(i) = 9, b(i) = 2, c(i) = 6, d(i) = 1, e(i) = 3, f(i) = 4

«ПЗЗ»

Рациональный корень для переменной a: 8.04

Рациональный корень для переменной b: 1.01

Рациональный корень для переменной c: 1.39

Рациональный корень для переменной d: 1.01

Рациональный корень для переменной e: 2.02

Рациональный корень для переменной f: 2.02

Т.О. принимаем a(i) = 9, b(i) = 2, c(i) = 2, d(i) = 2, e(i) = 3, f(i) = 3

Выбор параметров новой зоны, полученной в результате объединения (модификации) существующих зон «ТСЗ» и «ПЗЗ» узла «М»

$$\left(\begin{array}{l} \text{X. -P1: } 9 \mid 2, 6, 1, 3, 4 \text{ X. -P2: } 9 \mid 2, 2, 2, 3, 3 \text{ X. -П(1,2): } 9, 2, 2, 2, 3, 3 \text{ or } 9, 2, 6, 1, 3, 4; \\ \text{X. -P1: } 9, 2 \mid 6, 1, 3, 4 \text{ X. -P2: } 9, 2 \mid 2, 2, 3, 3 \text{ X. -П(1,2): } 9, 2, 2, 2, 3, 3 \text{ or } 9, 2, 6, 1, 3, 4; \\ \text{X. -P1: } 9, 2, 6 \mid 1, 3, 4 \text{ X. -P2: } 9, 2, 2 \mid 2, 3, 3 \text{ X. -П(1,2): } 9, 2, 6, 2, 3, 3 \text{ or } 9, 2, 2, 1, 3, 4; \\ \text{X. -P1: } 9, 2, 6, 1 \mid 3, 4 \text{ X. -P2: } 9, 2, 2, 2 \mid 3, 3 \text{ X. -П(1,2): } 9, 2, 6, 1, 3, 3 \text{ or } 9, 2, 2, 2, 3, 4; \\ \text{X. -P1: } 9, 2, 6, 1, 3 \mid 4 \text{ X. -P2: } 9, 2, 2, 2, 3 \mid 3 \text{ X. -П(1,2): } 9, 2, 6, 1, 3, 3 \text{ or } 9, 2, 2, 2, 3, 4; \end{array} \right)$$

Уравнение № 1 $-9 \cdot T(i) + 2 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 2 \cdot S(i) + 3 \cdot A(i) + 3 \cdot P(i) = 57$.
Решений – 17621.

Уравнение № 2 $-9 \cdot T(i) + 2 \cdot L(i) + 6 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 3 \cdot A(i) + 4 \cdot P(i) = 57$.
Решений – 10162.

Уравнение № 3 $-9 \cdot T(i) + 2 \cdot L(i) + 6 \cdot B(i) + 2 \cdot S(i) + 3 \cdot A(i) + 3 \cdot P(i) = 57$.
Решений – 6809.

Уравнение № 4 $-9 \cdot T(i) + 2 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 3 \cdot A(i) + 4 \cdot P(i) = 57$.
Решений – 26446.

Уравнение № 5 $-9 \cdot T(i) + 2 \cdot L(i) + 6 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 3 \cdot A(i) + 3 \cdot P(i) = 57$.
Решений – 13156.

Уравнение № 6 $-9 \cdot T(i) + 2 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 2 \cdot S(i) + 3 \cdot A(i) + 4 \cdot P(i) = 57$.
Решений – 13324.

Решение уравнения № 1

Рациональный корень для переменной a: 0.99

Рациональный корень для переменной b: 5.01

Рациональный корень для переменной c: 5.01

Рациональный корень для переменной d: 5.01

Рациональный корень для переменной e: 4.05

Рациональный корень для переменной f: 4.05

Т.О. T = 1, L = 6, B = 6, S = 6, A = 5, P = 5

$$9 \cdot 1 + 2 \cdot 6 + 2 \cdot 6 + 2 \cdot 6 + 3 \cdot 5 + 3 \cdot 5 = 9 + 12 + 12 + 12 + 15 + 15 = 75.$$

Разница – 18.

Решение уравнения № 2

Рациональный корень для переменной a: 1.03

Рациональный корень для переменной b: 5.07

Рациональный корень для переменной c: 1.80

Рациональный корень для переменной d: 8.80

Рациональный корень для переменной e: 4.13

Рациональный корень для переменной f: 2.97

Т.О. T = 2, L = 6, B = 2, S = 9, A = 5, P = 3

$$9 \cdot 2 + 2 \cdot 6 + 6 \cdot 2 + 1 \cdot 9 + 3 \cdot 5 + 4 \cdot 3 = 18 + 12 + 12 + 9 + 15 + 12 = 78.$$

Разница – 21.

Решение уравнения № 3

Рациональный корень для переменной a: 1.04

Рациональный корень для переменной b: 5.30

Рациональный корень для переменной c: 1.81

Рациональный корень для переменной d: 5.34

Рациональный корень для переменной e: 4.10

Рациональный корень для переменной f: 4.10

Т.О. T = 2, L = 6, B = 2, S = 6, A = 5, P = 5

$$9 \cdot 2 + 2 \cdot 6 + 6 \cdot 2 + 2 \cdot 6 + 3 \cdot 5 + 3 \cdot 5 = 18 + 12 + 12 + 12 + 15 + 15 = 84.$$

Разница – 27.

Решение уравнения № 4

Рациональный корень для переменной a: 0.99

Рациональный корень для переменной b: 5.01

Рациональный корень для переменной c: 5.01

Рациональный корень для переменной d: 8.48

Рациональный корень для переменной e: 4.04

Рациональный корень для переменной f: 2.88

Т.О. T = 1, L = 6, B = 6, S = 9, A = 5, P = 3

$$9 \cdot 1 + 2 \cdot 6 + 2 \cdot 6 + 1 \cdot 9 + 3 \cdot 5 + 4 \cdot 3 = 9 + 12 + 12 + 9 + 15 + 12 = 69.$$

Разница – 12.

Решение уравнения № 5

Рациональный корень для переменной a: 1.03

Рациональный корень для переменной b: 5.24

Рациональный корень для переменной c: 1.79

Рациональный корень для переменной d: 8.90

Рациональный корень для переменной e: 4.14

Рациональный корень для переменной f: 4.14

Т.О. T = 2, L = 6, B = 2, S = 9, A = 5, P = 5

$$9 \cdot 2 + 2 \cdot 6 + 6 \cdot 2 + 1 \cdot 9 + 3 \cdot 5 + 3 \cdot 5 = 18 + 12 + 12 + 9 + 15 + 15 = 81.$$

Разница – 24.

Решение уравнения № 6

Рациональный корень для переменной a: 1.05

Рациональный корень для переменной b: 5.00

Рациональный корень для переменной c: 5.00

Рациональный корень для переменной d: 5.00

Рациональный корень для переменной e: 3.58

Рациональный корень для переменной f: 2.86

Т.О. T = 2, L = 5, B = 5, S = 5, A = 4, P = 3

$$9 \cdot 2 + 2 \cdot 5 + 2 \cdot 5 + 2 \cdot 5 + 3 \cdot 4 + 4 \cdot 3 = 18 + 10 + 10 + 10 + 12 + 12 = 72.$$

Разница – 15.

П4.5 Расчет ЛДУ показателей компоновки зон ТУ «ТГ» в программе ОП ГКУ 1.0 согласно ГКА ТУ

ТСЗ «ЖД Т»

$$1 \cdot a(i) + 9 \cdot b(i) + 4 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 9 \cdot e(i) + 4 \cdot f(i) = 42$$

487 решений

ТСЗ «ЖД Пром»

$$1 \cdot a(i) + 4 \cdot b(i) + 6 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 1 \cdot e(i) + 3 \cdot f(i) = 42$$

5313 решений

«ТСЗ ЖД Т»

Рациональный корень для переменной a: 7.51

Рациональный корень для переменной b: 0.79

Рациональный корень для переменной c: 2.47

Рациональный корень для переменной d: 0.69

Рациональный корень для переменной e: 0.79

Рациональный корень для переменной f: 2.47

Т.О. принимаем a(i) = 8, b(i) = 1, c(i) = 3, d(i) = 1, e(i) = 1, f(i) = 3

«ТСЗ ЖД Пром»

Рациональный корень для переменной a: 7.17

Рациональный корень для переменной b: 2.19

Рациональный корень для переменной c: 1.28

Рациональный корень для переменной d: 0.58

Рациональный корень для переменной e: 7.17

Рациональный корень для переменной f: 3.10

Т.О. принимаем $a(i) = 8$, $b(i) = 3$, $c(i) = 2$, $d(i) = 1$, $e(i) = 8$, $f(i) = 4$

Выбор параметров новой зоны, полученной в результате объединения (модификации) существующих зон «ТСЗ ЖТ» и «ТСЗ ЖД Пром» узла «ТГ»

$$\left(\begin{array}{l} \text{X. -P1: } 8 | 1, 3, 1, 1, 3 \text{ X. -P2: } 8 | 3, 2, 1, 8, 4 \text{ X. -П(1,2): } 8, 3, 2, 1, 8, 4 \text{ or } 8, 1, 3, 1, 1, 3; \\ \text{X. -P1: } 8, 1 | 3, 1, 1, 3 \text{ X. -P2: } 8, 3 | 2, 1, 8, 4 \text{ X. -П(1,2): } 8, 1, 2, 1, 8, 4 \text{ or } 8, 3, 3, 1, 1, 3; \\ \text{X. -P1: } 8, 1, 3 | 1, 1, 3 \text{ X. -P2: } 8, 3, 2 | 1, 8, 4 \text{ X. -П(1,2): } 8, 1, 3, 1, 8, 4 \text{ or } 8, 3, 2, 1, 1, 3; \\ \text{X. -P1: } 8, 1, 3, 1 | 1, 3 \text{ X. -P2: } 8, 3, 2, 1 | 8, 4 \text{ X. -П(1,2): } 8, 1, 3, 1, 8, 4 \text{ or } 8, 3, 2, 1, 1, 3; \\ \text{X. -P1: } 8, 1, 3, 1, 1 | 3 \text{ X. -P2: } 8, 3, 2, 1, 8 | 4 \text{ X. -П(1,2): } 8, 1, 3, 1, 1, 4 \text{ or } 8, 3, 2, 1, 8, 3; \end{array} \right)$$

Уравнение № 1 $-8 \cdot T(i) + 3 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 8 \cdot A(i) + 4 \cdot P(i) = 42$.
Решений – 2623.

Уравнение № 2 $-8 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 3 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 3 \cdot P(i) = 42$.
Решений – 36964.

Уравнение № 3 $-8 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 8 \cdot A(i) + 4 \cdot P(i) = 42$.
Решений – 7168.

Уравнение № 4 $-8 \cdot T(i) + 3 \cdot L(i) + 3 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 3 \cdot P(i) = 42$.
Решений – 13586.

Уравнение № 5 $-8 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 3 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 8 \cdot A(i) + 4 \cdot P(i) = 42$.
Решений – 4990.

Уравнение № 6 $-8 \cdot T(i) + 3 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 3 \cdot P(i) = 42$.
Решений – 19408.

Уравнение № 7 $-8 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 3 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 4 \cdot P(i) = 42$.
Решений – 29072.

Уравнение № 8 $-8 \cdot T(i) + 3 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 8 \cdot A(i) + 3 \cdot P(i) = 42$.
Решений – 3333.

Решение уравнения № 1

Рациональный корень для переменной a: 0.85

Рациональный корень для переменной b: 3.12

Рациональный корень для переменной c: 4.37

Рациональный корень для переменной d: 7.32

Рациональный корень для переменной e: 0.85

Рациональный корень для переменной f: 2.22

Т.О. $T = 1$, $L = 4$, $B = 5$, $S = 8$, $A = 1$, $P = 3$

$$8 \cdot 1 + 3 \cdot 4 + 2 \cdot 5 + 1 \cdot 8 + 8 \cdot 1 + 4 \cdot 3 = 8 + 12 + 10 + 8 + 8 + 12 = 58.$$

Разница – 16.

Решение уравнения № 2

Рациональный корень для переменной a: 0.75

Рациональный корень для переменной b: 6.76

Рациональный корень для переменной c: 2.86

Рациональный корень для переменной d: 6.76

Рациональный корень для переменной e: 6.76

Рациональный корень для переменной f: 2.86

Т.О. $T = 1$, $L = 7$, $B = 3$, $S = 7$, $A = 7$, $P = 3$

$$8 \cdot 1 + 1 \cdot 7 + 3 \cdot 3 + 1 \cdot 7 + 1 \cdot 7 + 3 \cdot 3 = 8 + 7 + 9 + 7 + 7 + 9 = 47.$$

Разница – 5.

Решение уравнения № 3

Рациональный корень для переменной a: 0.83

Рациональный корень для переменной b: 7.17

Рациональный корень для переменной c: 4.34

Рациональный корень для переменной d: 7.17

Рациональный корень для переменной e: 0.83

Рациональный корень для переменной f: 2.17

Т.О. $T = 1$, $L = 8$, $B = 5$, $S = 8$, $A = 1$, $P = 3$

$$8 \cdot 1 + 1 \cdot 8 + 2 \cdot 5 + 1 \cdot 8 + 8 \cdot 1 + 4 \cdot 3 = 8 + 8 + 10 + 8 + 8 + 12 = 54.$$

Разница – 12.

Решение уравнения № 4

Рациональный корень для переменной a: 0.78

Рациональный корень для переменной b: 2.93

Рациональный корень для переменной c: 2.93

Рациональный корень для переменной d: 6.81

Рациональный корень для переменной e: 6.81

Рациональный корень для переменной f: 2.93

Т.О. T = 1, L = 3, B = 3, S = 7 A = 7, P = 3

$$8 \cdot 1 + 3 \cdot 3 + 3 \cdot 3 + 1 \cdot 7 + 1 \cdot 7 + 3 \cdot 3 = 8 + 9 + 9 + 7 + 7 + 9 = 49.$$

Разница – 7.

Решение уравнения № 5

Рациональный корень для переменной a: 0.84

Рациональный корень для переменной b: 6.92

Рациональный корень для переменной c: 3.11

Рациональный корень для переменной d: 6.92

Рациональный корень для переменной e: 0.84

Рациональный корень для переменной f: 2.19

Т.О. T = 1, L = 7, B = 4, S = 7 A = 1, P = 3

$$8 \cdot 1 + 1 \cdot 7 + 3 \cdot 4 + 1 \cdot 7 + 8 \cdot 1 + 4 \cdot 3 = 8 + 7 + 12 + 7 + 8 + 12 = 54.$$

Разница – 12.

Решение уравнения № 6

Рациональный корень для переменной a: 0.77

Рациональный корень для переменной b: 2.90

Рациональный корень для переменной c: 4.21

Рациональный корень для переменной d: 6.79

Рациональный корень для переменной e: 6.79

Рациональный корень для переменной f: 2.90

Т.О. T = 1, L = 3, B = 5, S = 7 A = 7, P = 3

$$8 \cdot 1 + 3 \cdot 3 + 2 \cdot 5 + 1 \cdot 7 + 1 \cdot 7 + 3 \cdot 3 = 8 + 9 + 10 + 7 + 7 + 9 = 50.$$

Разница – 8.

Решение уравнения № 7

Рациональный корень для переменной a: 0.77

Рациональный корень для переменной b: 6.79

Рациональный корень для переменной c: 2.89

Рациональный корень для переменной d: 6.79

Рациональный корень для переменной e: 6.79

Рациональный корень для переменной f: 2.03

Т.О. T = 1, L = 7, B = 3, S = 7 A = 7, P = 3

$$8 \cdot 1 + 1 \cdot 7 + 3 \cdot 3 + 1 \cdot 7 + 1 \cdot 7 + 4 \cdot 3 = 8 + 7 + 9 + 7 + 7 + 12 = 50.$$

Разница – 8.

Решение уравнения № 8

Рациональный корень для переменной a: 0.84

Рациональный корень для переменной b: 3.11

Рациональный корень для переменной c: 4.36

Рациональный корень для переменной d: 7.17

Рациональный корень для переменной e: 0.84

Рациональный корень для переменной f: 3.11

Т.О. T = 1, L = 4, B = 5, S = 8 A = 1, P = 4

$$8 \cdot 1 + 3 \cdot 4 + 2 \cdot 5 + 1 \cdot 8 + 8 \cdot 1 + 3 \cdot 4 = 8 + 12 + 10 + 8 + 8 + 12 = 58.$$

Разница – 16.

П4.6 Расчет ЛДУ показателей компоновки зон ТУ «ВД» в программе ОП ГКУ 1.0 согласно ГКА ТУ

«ПЗЗ бол»

$$1 \cdot a(i) + 15 \cdot b(i) + 3 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 6 \cdot e(i) + 1 \cdot f(i) = 25.$$

381 решение.

«ПЗЗ мал»

$$1 \cdot a(i) + 7 \cdot b(i) + 7 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 3 \cdot e(i) + 2 \cdot f(i) = 25.$$

258 решений.

«ПЗЗ бол»

Рациональный корень для переменной a: 5.58

Рациональный корень для переменной b: 0.11

Рациональный корень для переменной c: 2.14

Рациональный корень для переменной d: 0.32

Рациональный корень для переменной e: 0.82

Рациональный корень для переменной f: 5.61

Т.О. принимаем $a(i) = 6, b(i) = 1, c(i) = 3, d(i) = 1, e(i) = 1, f(i) = 6$

«ПЗЗ мал»

Рациональный корень для переменной a: 5.27

Рациональный корень для переменной b: 0.59

Рациональный корень для переменной c: 0.59

Рациональный корень для переменной d: 0.29

Рациональный корень для переменной e: 2.04

Рациональный корень для переменной f: 3.34

Т.О. принимаем $a(i) = 6, b(i) = 1, c(i) = 1, d(i) = 1, e(i) = 3, f(i) = 4$

Выбор параметров новой зоны, полученной в результате объединения (модификации) существующих зон «ПЗЗ бол» и «ПЗЗ мал» узла «ВД»

$$\left(\begin{array}{l} \text{X. -P1: } 6 | 1, 3, 1, 1, 6 \text{ X. -P2: } 6 | 1, 1, 1, 3, 4 \text{ X. -П(1,2): } 6, 1, 1, 1, 3, 4 \text{ or } 6, 1, 3, 1, 1, 6; \\ \text{X. -P1: } 6, 1 | 3, 1, 1, 6 \text{ X. -P2: } 6, 1 | 1, 1, 3, 4 \text{ X. -П(1,2): } 6, 1, 1, 1, 3, 4 \text{ or } 6, 1, 3, 1, 1, 6; \\ \text{X. -P1: } 6, 1, 3 | 1, 1, 6 \text{ X. -P2: } 6, 1, 1 | 1, 3, 4 \text{ X. -П(1,2): } 6, 1, 3, 1, 3, 4 \text{ or } 6, 1, 1, 1, 1, 6; \\ \text{X. -P1: } 6, 1, 3, 1 | 1, 6 \text{ X. -P2: } 6, 1, 1, 1 | 3, 4 \text{ X. -П(1,2): } 6, 1, 3, 1, 3, 4 \text{ or } 6, 1, 1, 1, 1, 6; \\ \text{X. -P1: } 6, 1, 3, 1, 1 | 6 \text{ X. -P2: } 6, 1, 1, 1, 3 | 4 \text{ X. -П(1,2): } 6, 1, 3, 1, 1, 4 \text{ or } 6, 1, 1, 1, 3, 6; \end{array} \right) = 25.$$

Решений – 4310.

Уравнение № 2 $-6 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 3 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 6 \cdot P(i) = 25.$

Решений – 3297.

Уравнение № 3 $-6 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 3 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 3 \cdot A(i) + 4 \cdot P(i) = 25.$

Решений – 1666.

Уравнение № 4 $-6 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 1 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 6 \cdot P(i) = 25.$

Решений – 8536.

Уравнение № 5 $-6 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 3 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 4 \cdot P(i) = 25.$

Решений – 4310.

Уравнение № 6 $-6 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 1 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 3 \cdot A(i) + 6 \cdot P(i) = 25.$

Решений – 3297.

Решение уравнения № 1

Рациональный корень для переменной a: 0.59

Рациональный корень для переменной b: 4.94

Рациональный корень для переменной c: 4.94

Рациональный корень для переменной d: 4.94

Рациональный корень для переменной e: 1.66

Рациональный корень для переменной f: 1.12

Т.О., $T = 1, L = 5, B = 5, S = 5, A = 2, P = 2$

$$6 \cdot 1 + 1 \cdot 5 + 1 \cdot 5 + 1 \cdot 5 + 3 \cdot 2 + 4 \cdot 2 = 6 + 5 + 5 + 5 + 6 + 8 = 35.$$

Разница – 10.

Решение уравнения № 2

Рациональный корень для переменной a: 0.61

Рациональный корень для переменной b: 5.00

Рациональный корень для переменной c: 1.71

Рациональный корень для переменной d: 5.00

Рациональный корень для переменной e: 5.00

Рациональный корень для переменной f: 0.61

Т.о., $T = 1, L = 5, B = 2, S = 5, A = 5, P = 1$

$$6 \cdot 1 + 1 \cdot 5 + 3 \cdot 2 + 1 \cdot 5 + 1 \cdot 5 + 6 \cdot 1 = 6 + 5 + 6 + 5 + 5 + 6 = 33.$$

Разница – 8.

Решение уравнения № 3

Рациональный корень для переменной a: 0.62

Рациональный корень для переменной b: 5.01

Рациональный корень для переменной c: 1.72

Рациональный корень для переменной d: 5.01

Рациональный корень для переменной e: 1.72

Рациональный корень для переменной f: 1.16

Т.о.: $T = 1, L = 6, B = 2, S = 6, A = 2, P = 2$

$$6 \cdot 1 + 1 \cdot 6 + 3 \cdot 2 + 1 \cdot 6 + 3 \cdot 2 + 4 \cdot 2 = 6 + 6 + 6 + 6 + 6 + 8 = 38.$$

Разница – 13.

Решение уравнения № 4

Рациональный корень для переменной a: 0.58

Рациональный корень для переменной b: 4.93

Рациональный корень для переменной с: 4.93

Рациональный корень для переменной d: 4.93

Рациональный корень для переменной e: 4.93

Рациональный корень для переменной f: 0.58

Т.о., $T = 1, L = 5, B = 5, S = 5, A = 5, P = 1$

$$6 \cdot 1 + 1 \cdot 5 + 1 \cdot 5 + 1 \cdot 5 + 1 \cdot 5 + 6 \cdot 1 = 6 + 5 + 5 + 5 + 5 + 6 = 32.$$

Разница – 7.

Решение уравнения № 5

Рациональный корень для переменной a: 0.59

Рациональный корень для переменной b: 4.94

Рациональный корень для переменной c: 1.66

Рациональный корень для переменной d: 4.94

Рациональный корень для переменной e: 4.94

Рациональный корень для переменной f: 1.12

Т.о.: $T = 1, L = 5, B = 2, S = 5, A = 5, P = 2$

$$6 \cdot 1 + 1 \cdot 5 + 3 \cdot 2 + 1 \cdot 5 + 1 \cdot 5 + 4 \cdot 2 = 6 + 5 + 6 + 5 + 5 + 8 = 35.$$

Разница – 10.

Решение уравнения № 6

Рациональный корень для переменной a: 0.61

Рациональный корень для переменной b: 5.00

Рациональный корень для переменной c: 5.00

Рациональный корень для переменной d: 5.00

Рациональный корень для переменной e: 1.71

Рациональный корень для переменной f: 0.61

Т.о.: $T = 1, L = 5, B = 5, S = 5, A = 2, P = 1$

$$6 \cdot 1 + 1 \cdot 5 + 1 \cdot 5 + 1 \cdot 5 + 3 \cdot 2 + 6 \cdot 1 = 6 + 5 + 5 + 5 + 6 + 6 = 33.$$

Разница – 8.

П4.7 Расчет ЛДУ показателей компоновки зон ТУ «МЗ» в программе ОП ГКУ 1.0 согласно ГКА ТУ

«ПЗЗ»

$$8 \cdot a(i) + 3 \cdot b(i) + 12 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 1 \cdot e(i) + 3 \cdot f(i) = 14.$$

25 решений.

«ТСЗ»

$$1 \cdot a(i) + 1 \cdot b(i) + 2 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 4 \cdot e(i) + 7 \cdot f(i) = 14.$$

157 решений.

«ПЗЗ»

Рациональный корень для переменной a: 0.30

Рациональный корень для переменной b: 1.25

Рациональный корень для переменной c: 0.05

Рациональный корень для переменной d: 0.15

Рациональный корень для переменной e: 5.00

Рациональный корень для переменной f: 1.25

Т.о. принимаем $a(i) = 1, b(i) = 2, c(i) = 1, d(i) = 1, e(i) = 5, f(i) = 2$

«ТСЗ»

Рациональный корень для переменной a: 4.21

Рациональный корень для переменной b: 4.22

Рациональный корень для переменной c: 1.88

Рациональный корень для переменной d: 0.08

Рациональный корень для переменной e: 0.69

Рациональный корень для переменной f: 0.22

Т.о. принимаем $a(i) = 5, b(i) = 5, c(i) = 2, d(i) = 1, e(i) = 1, f(i) = 1$

Выбор параметров новой зоны, полученной в результате объединения (модификации) существующих зон «ПЗЗ» и «ТСЗ» узла «МЗ»

$$\left(\begin{array}{l} \text{X. -P1: } 1 | 2, 1, 1, 5, 2 \text{ X. -P2: } 5 | 5, 2, 1, 1, 1 \text{ X. -П(1,2): } 1, 5, 2, 1, 1, 1 \text{ or } 5, 2, 1, 1, 5, 2; \\ \text{X. -P1: } 1, 2 | 1, 1, 5, 2 \text{ X. -P2: } 5, 5 | 2, 1, 1, 1 \text{ X. -П(1,2): } 1, 2, 2, 1, 1, 1 \text{ or } 5, 5, 1, 1, 5, 2; \\ \text{X. -P1: } 1, 2, 1 | 1, 5, 2 \text{ X. -P2: } 5, 5, 2 | 1, 1, 1 \text{ X. -П(1,2): } 1, 2, 1, 1, 1, 1 \text{ or } 5, 5, 2, 1, 5, 2; \\ \text{X. -P1: } 1, 2, 1, 1 | 5, 2 \text{ X. -P2: } 5, 5, 2, 1 | 1, 1 \text{ X. -П(1,2): } 1, 2, 1, 1, 1, 1 \text{ or } 5, 5, 2, 1, 5, 2; \\ \text{X. -P1: } 1, 2, 1, 1, 5 | 2 \text{ X. -P2: } 5, 5, 2, 1, 1 | 1 \text{ X. -П(1,2): } 1, 2, 1, 1, 5, 1 \text{ or } 5, 5, 2, 1, 1, 2; \end{array} \right)$$

Решений – 2182.

$$\text{Уравнение № 1 } 1 \cdot T(i) + 5 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 1 \cdot P(i) = 14.$$

$$\text{Уравнение № 2 } 5 \cdot T(i) + 2 \cdot L(i) + 1 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 5 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 14.$$

Решений – 386.

$$\text{Уравнение № 3 } -1 \cdot T(i) + 2 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 1 \cdot P(i) = 14.$$

Решений – 3816.

$$\text{Уравнение № 4 } -5 \cdot T(i) + 5 \cdot L(i) + 1 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 5 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 14.$$

Решений – 208.

$$\text{Уравнение № 5 } -1 \cdot T(i) + 2 \cdot L(i) + 1 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 1 \cdot P(i) = 14.$$

Решений – 6672.

$$\text{Уравнение № 6 } -5 \cdot T(i) + 5 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 5 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 14.$$

Решений – 117.

$$\text{Уравнение № 7 } -1 \cdot T(i) + 2 \cdot L(i) + 1 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 5 \cdot A(i) + 1 \cdot P(i) = 14.$$

Решений – 2182.

$$\text{Уравнение № 8 } -5 \cdot T(i) + 5 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 14.$$

Решений – 386.

Решение уравнения № 1

Рациональный корень для переменной a: 3.31

Рациональный корень для переменной b: 0.29

Рациональный корень для переменной c: 1.39

Рациональный корень для переменной d: 3.31

Рациональный корень для переменной e: 3.31

Рациональный корень для переменной f: 3.31

Т.О.: T = 4, L = 1, B = 2, S = 4, A = 4, P = 4

$$1 \cdot 4 + 5 \cdot 1 + 2 \cdot 2 + 1 \cdot 4 + 1 \cdot 4 + 1 \cdot 4 = 4 + 5 + 4 + 4 + 4 + 4 = 25.$$

Разница – 11.

Решение уравнения № 2

Рациональный корень для переменной a: 0.36

Рациональный корень для переменной b: 1.60

Рациональный корень для переменной c: 3.73

Рациональный корень для переменной d: 3.73

Рациональный корень для переменной e: 0.36

Рациональный корень для переменной f: 1.60

Т.О.: T = 1, L = 2, B = 4, S = 4, A = 1, P = 2

$$5 \cdot 1 + 2 \cdot 2 + 1 \cdot 4 + 1 \cdot 4 + 5 \cdot 1 + 2 \cdot 2 = 5 + 4 + 4 + 4 + 5 + 4 = 26.$$

Разница – 12.

Решение уравнения № 3

Рациональный корень для переменной a: 3.10

Рациональный корень для переменной b: 1.28

Рациональный корень для переменной c: 1.28

Рациональный корень для переменной d: 3.10

Рациональный корень для переменной e: 3.10

Рациональный корень для переменной f: 3.10

Т.О.: T = 4, L = 2, B = 2, S = 4, A = 4, P = 4

$$1 \cdot 4 + 2 \cdot 2 + 2 \cdot 2 + 1 \cdot 4 + 1 \cdot 4 + 1 \cdot 4 = 4 + 4 + 4 + 4 + 4 + 4 = 24.$$

Разница – 10.

Решение уравнения № 4

Рациональный корень для переменной a: 0.40

Рациональный корень для переменной b: 0.40

Рациональный корень для переменной c: 3.96

Рациональный корень для переменной d: 3.96

Рациональный корень для переменной e: 0.40

Рациональный корень для переменной f: 1.75

Т.О.: T = 1, L = 1, B = 4, S = 4, A = 1, P = 2

$$5 \cdot 1 + 5 \cdot 1 + 1 \cdot 4 + 1 \cdot 4 + 5 \cdot 1 + 2 \cdot 2 = 5 + 5 + 4 + 4 + 5 + 4 = 27.$$

Разница – 13.

Решение уравнения № 5

Рациональный корень для переменной a: 3.01

Рациональный корень для переменной b: 1.24

Рациональный корень для переменной c: 3.01

Рациональный корень для переменной d: 3.01

Рациональный корень для переменной e: 3.01

Рациональный корень для переменной f: 3.01

Т.О.: T = 4, L = 2, B = 4, S = 4, A = 4, P = 4

$$1 \cdot 4 + 2 \cdot 2 + 1 \cdot 4 + 1 \cdot 4 + 1 \cdot 4 + 1 \cdot 4 = 4 + 4 + 4 + 4 + 4 + 4 = 24.$$

Разница – 10.

Решение уравнения № 6

Рациональный корень для переменной a: 0.41

Рациональный корень для переменной b: 0.41

Рациональный корень для переменной c: 1.79

Рациональный корень для переменной d: 4.05

Рациональный корень для переменной e: 0.41

Рациональный корень для переменной f: 1.79

Т.О.: T = 1, L = 1, B = 2, S = 5, A = 1, P = 2

$$5 \cdot 1 + 5 \cdot 1 + 2 \cdot 2 + 1 \cdot 5 + 5 \cdot 1 + 2 \cdot 2 = 5 + 5 + 4 + 5 + 5 + 4 = 28.$$

Разница – 14.

Решение уравнения № 7

Рациональный корень для переменной a: 3.31

Рациональный корень для переменной b: 1.39

Рациональный корень для переменной c: 3.31

Рациональный корень для переменной d: 3.31

Рациональный корень для переменной e: 0.29

Рациональный корень для переменной f: 3.31

Т.О.: T = 4, L = 2, B = 4, S = 4, A = 1, P = 4

$$1 \cdot 4 + 2 \cdot 2 + 1 \cdot 4 + 1 \cdot 4 + 5 \cdot 1 + 1 \cdot 4 = 4 + 4 + 4 + 4 + 5 + 4 = 25.$$

Разница – 11.

Решение уравнения № 8

Рациональный корень для переменной a: 0.36

Рациональный корень для переменной b: 0.36

Рациональный корень для переменной c: 1.60

Рациональный корень для переменной d: 3.73

Рациональный корень для переменной e: 3.73

Рациональный корень для переменной f: 1.60

Т.О.: T = 1, L = 1, B = 2, S = 4, A = 4, P = 2

$$5 \cdot 1 + 5 \cdot 1 + 2 \cdot 2 + 1 \cdot 4 + 1 \cdot 4 + 2 \cdot 2 = 5 + 5 + 4 + 4 + 4 + 4 = 26.$$

Разница – 12.

П4.8 Расчет ЛДУ показателей компоновки зон ТУ «ТХ» в программе ОП ГКУ 1.0 согласно ГКА ТУ

«ПЗЗ»

$$2 \cdot a(i) + 1 \cdot b(i) + 6 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 1 \cdot e(i) + 3 \cdot f(i) = 12.$$

130 решений.

«ТСЗ»

$$1 \cdot a(i) + 8 \cdot b(i) + 5 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 1 \cdot e(i) + 3 \cdot f(i) = 12.$$

63 решения.

«ПЗЗ»

Рациональный корень для переменной a: 1.58

Рациональный корень для переменной b: 3.68

Рациональный корень для переменной c: 0.24

Рациональный корень для переменной d: 0.04

Рациональный корень для переменной e: 3.68

Рациональный корень для переменной f: 0.88

Т.О. принимаем a(i) = 2, b(i) = 4, c(i) = 1, d(i) = 1, e(i) = 4, f(i) = 1

«ТСЗ»

Рациональный корень для переменной a: 3.88

Рациональный корень для переменной b: 0.14

Рациональный корень для переменной c: 0.42

Рациональный корень для переменной d: 0.06

Рациональный корень для переменной e: 3.92

Рациональный корень для переменной f: 1.02

Т.О. принимаем a(i) = 4, b(i) = 1, c(i) = 1, d(i) = 1, e(i) = 4, f(i) = 2

Выбор параметров новой зоны, полученной в результате объединения (модификации) существующих зон «ПЗЗ» и «ТСЗ» узла «ТХ»

$$\left(\begin{array}{l} X. -P1: 2 | 4, 1, 1, 4, 1 X. -P2: 4 | 1, 1, 1, 4, 2 X. -П(1,2): 2, 1, 1, 1, 4, 2 \text{ or } 4, 4, 1, 1, 4, 1; \\ X. -P1: 2, 4 | 1, 1, 4, 1 X. -P2: 4, 1 | 1, 1, 4, 2 X. -П(1,2): 2, 4, 1, 1, 4, 2 \text{ or } 4, 1, 1, 1, 4, 1; \\ X. -P1: 2, 4, 1 | 1, 4, 1 X. -P2: 4, 1, 1 | 1, 4, 2 X. -П(1,2): 2, 4, 1, 1, 4, 2 \text{ or } 4, 1, 1, 1, 4, 1; \\ X. -P1: 2, 4, 1, 1 | 4, 1 X. -P2: 4, 1, 1, 1 | 4, 2 X. -П(1,2): 2, 4, 1, 1, 4, 2 \text{ or } 4, 1, 1, 1, 4, 1; \\ X. -P1: 2, 4, 1, 1, 4 | 1 X. -P2: 4, 1, 1, 1, 4 | 2 X. -П(1,2): 2, 4, 1, 1, 4, 2 \text{ or } 4, 1, 1, 1, 4, 1; \end{array} \right)$$

Уравнение № 1 $2 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 1 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 4 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 12$.
 Решений – 794.

Уравнение № 2 $4 \cdot T(i) + 4 \cdot L(i) + 1 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 4 \cdot A(i) + 1 \cdot P(i) = 12$
 Решений – 326

Уравнение № 3 $2 \cdot T(i) + 4 \cdot L(i) + 1 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 4 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 12$
 Решений – 296

Уравнение № 4 $4 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 1 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 4 \cdot A(i) + 1 \cdot P(i) = 12$
 Решений – 894

Решение уравнения № 1

Рациональный корень для переменной a: 1.19

Рациональный корень для переменной b: 2.91

Рациональный корень для переменной c: 2.91

Рациональный корень для переменной d: 2.91

Рациональный корень для переменной e: 0.37

Рациональный корень для переменной f: 1.19

Т.О.: T = 2, L = 3, B = 3, S = 3 A = 1, P = 2

$$2 \cdot 2 + 1 \cdot 3 + 1 \cdot 3 + 1 \cdot 3 + 4 \cdot 1 + 2 \cdot 2 = 4 + 3 + 3 + 3 + 4 + 4 = 21.$$

Разница – 9.

Решение уравнения № 2

Рациональный корень для переменной a: 0.44

Рациональный корень для переменной b: 0.44

Рациональный корень для переменной c: 3.23

Рациональный корень для переменной d: 3.23

Рациональный корень для переменной e: 0.44

Рациональный корень для переменной f: 3.23

Т.О.: T = 1, L = 1, B = 4, S = 4 A = 1, P = 4

$$4 \cdot 1 + 4 \cdot 1 + 1 \cdot 4 + 1 \cdot 4 + 4 \cdot 1 + 1 \cdot 4 = 4 + 4 + 4 + 4 + 4 + 4 = 24.$$

Разница – 12.

Решение уравнения № 3

Рациональный корень для переменной a: 1.32

Рациональный корень для переменной b: 0.43

Рациональный корень для переменной c: 3.11

Рациональный корень для переменной d: 3.11

Рациональный корень для переменной e: 0.43

Рациональный корень для переменной f: 1.32

Т.О.: T = 2, L = 1, B = 4, S = 4 A = 1, P = 2

$$2 \cdot 2 + 4 \cdot 1 + 1 \cdot 4 + 1 \cdot 4 + 4 \cdot 1 + 2 \cdot 2 = 4 + 4 + 4 + 4 + 4 + 4 = 24.$$

Разница – 12.

Решение уравнения № 4

Рациональный корень для переменной a: 0.39

Рациональный корень для переменной b: 2.98

Рациональный корень для переменной c: 2.98

Рациональный корень для переменной d: 2.98

Рациональный корень для переменной e: 0.39

Рациональный корень для переменной f: 2.98

Т.О.: T = 1, L = 3, B = 3, S = 3 A = 1, P = 3

$$4 \cdot 1 + 1 \cdot 3 + 1 \cdot 3 + 1 \cdot 3 + 4 \cdot 1 + 1 \cdot 3 = 4 + 3 + 3 + 3 + 4 + 3 = 20.$$

Разница – 8.

П4.9 Расчет ЛДУ показателей компоновки зон ТУ «С» в программе ОП ГКУ 1.0 согласно ГКА ТУ

«ТСЗ»

$$1 \cdot a(i) + 5 \cdot b(i) + 10 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 10 \cdot e(i) + 2 \cdot f(i) = 50.$$

1246 решений.

«ПЗЗ»

$$2 \cdot a(i) + 16 \cdot b(i) + 6 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 1 \cdot e(i) + 8 \cdot f(i) = 50.$$

973 решения.

«ТСЗ»

Рациональный корень для переменной a: 9.12

Рациональный корень для переменной b: 2.20

Рациональный корень для переменной c: 0.86

Рациональный корень для переменной d: 0.86

Рациональный корень для переменной e: 0.86

Рациональный корень для переменной f: 5.29

Т.О. принимаем $a(i) = 10, b(i) = 3, c(i) = 1, d(i) = 1, e(i) = 1, f(i) = 6$

«ПЗЗ»

Рациональный корень для переменной a: 5.11

Рациональный корень для переменной b: 0.40

Рациональный корень для переменной c: 1.82

Рациональный корень для переменной d: 0.89

Рациональный корень для переменной e: 10.21

Рациональный корень для переменной f: 1.24

Т.О. принимаем $a(i) = 6, b(i) = 1, c(i) = 2, d(i) = 1, e(i) = 11, f(i) = 2$

Выбор параметров новой зоны, полученной в результате объединения (модификации) существующих зон «ПЗЗ» и «ТСЗ» узла «С»

$$\left(\begin{array}{l} \text{X. -P1: } 10 | 3, 1, 1, 1, 6 \text{ X. -P2: } 6 | 1, 2, 1, 11, 2 \text{ X. -П(1,2): } 10, 1, 2, 1, 11, 2 \text{ or } 6, 3, 1, 1, 1, 6; \\ \text{X. -P1: } 10, 3 | 1, 1, 1, 6 \text{ X. -P2: } 6, 1 | 2, 1, 11, 2 \text{ X. -П(1,2): } 10, 3, 2, 1, 11, 2 \text{ or } 6, 1, 1, 1, 1, 6; \\ \text{X. -P1: } 10, 3, 1 | 1, 1, 6 \text{ X. -P2: } 6, 1, 2 | 1, 11, 2 \text{ X. -П(1,2): } 10, 3, 1, 1, 11, 2 \text{ or } 6, 1, 2, 1, 1, 6; \\ \text{X. -P1: } 10, 3, 1, 1 | 1, 6 \text{ X. -P2: } 6, 1, 2, 1 | 11, 2 \text{ X. -П(1,2): } 10, 3, 1, 1, 11, 2 \text{ or } 6, 1, 2, 1, 1, 6; \\ \text{X. -P1: } 10, 3, 1, 1, 1 | 6 \text{ X. -P2: } 6, 1, 2, 1, 11 | 2 \text{ X. -П(1,2): } 10, 3, 1, 1, 1, 2 \text{ or } 6, 1, 2, 1, 1, 6; \end{array} \right)$$

$$\text{Уравнение № 1 - } 10 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 11 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 50.$$

Решений – 18636.

$$\text{Уравнение № 2 - } 6 \cdot T(i) + 3 \cdot L(i) + 1 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 6 \cdot P(i) = 50.$$

Решений – 54054.

$$\text{Уравнение № 3 - } 10 \cdot T(i) + 3 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 11 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 50.$$

Решений – 6720.

$$\text{Уравнение № 4 - } 6 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 1 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 6 \cdot P(i) = 50.$$

Решений – 149082.

$$\text{Уравнение № 5 - } 10 \cdot T(i) + 3 \cdot L(i) + 1 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 11 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 50.$$

Решений – 12913.

$$\text{Уравнение № 6 - } 6 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 6 \cdot P(i) = 50.$$

Решений – 77781.

$$\text{Уравнение № 7 - } 10 \cdot T(i) + 3 \cdot L(i) + 1 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 50.$$

Решений – 96553.

$$\text{Уравнение № 8 - } 6 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 11 \cdot A(i) + 6 \cdot P(i) = 50.$$

Решений – 10425.

Решение уравнения № 1

Рациональный корень для переменной a: 0.75

Рациональный корень для переменной b: 8.04

Рациональный корень для переменной c: 4.68

Рациональный корень для переменной d: 8.04

Рациональный корень для переменной e: 0.64

Рациональный корень для переменной f: 4.68

Т.О.: $T = 1, L = 9, B = 5, S = 9, A = 1, P = 5$

$$10 \cdot 1 + 1 \cdot 9 + 2 \cdot 5 + 1 \cdot 9 + 11 \cdot 1 + 2 \cdot 5 = 10 + 9 + 10 + 9 + 11 + 10 = 59.$$

Разница – 9.

Решение уравнения № 2

Рациональный корень для переменной a: 1.46

Рациональный корень для переменной b: 3.46

Рациональный корень для переменной c: 7.63

Рациональный корень для переменной d: 7.63

Рациональный корень для переменной e: 7.63

Рациональный корень для переменной f: 1.46

Т.О.: $T = 2, L = 4, B = 8, S = 8, A = 8, P = 2$

$$6 \cdot 2 + 3 \cdot 4 + 1 \cdot 8 + 1 \cdot 8 + 1 \cdot 8 + 6 \cdot 2 = 12 + 12 + 8 + 8 + 8 + 12 = 60.$$

Разница – 10.

Решение уравнения № 3

Рациональный корень для переменной a: 0.77

Рациональный корень для переменной b: 3.77

Рациональный корень для переменной c: 4.89

Рациональный корень для переменной d: 8.10

Рациональный корень для переменной e: 0.66

Рациональный корень для переменной f: 4.89

Т.О.: T = 1, L = 4, B = 5, S = 9 A = 1, P = 5

$$10 \cdot 1 + 3 \cdot 4 + 2 \cdot 5 + 1 \cdot 9 + 11 \cdot 1 + 2 \cdot 5 = 10 + 12 + 10 + 9 + 11 + 12 = 64.$$

Разница – 14.

Решение уравнения № 4

Рациональный корень для переменной a: 1.42

Рациональный корень для переменной b: 7.59

Рациональный корень для переменной c: 7.59

Рациональный корень для переменной d: 7.59

Рациональный корень для переменной e: 7.59

Рациональный корень для переменной f: 1.42

Т.О.: T = 2, L = 8, B = 8, S = 8 A = 8, P = 2

$$6 \cdot 2 + 1 \cdot 8 + 1 \cdot 8 + 1 \cdot 8 + 1 \cdot 8 + 6 \cdot 2 = 12 + 8 + 8 + 8 + 8 + 12 = 56.$$

Разница – 6.

Решение уравнения № 5

Рациональный корень для переменной a: 0.76

Рациональный корень для переменной b: 3.74

Рациональный корень для переменной c: 8.06

Рациональный корень для переменной d: 8.06

Рациональный корень для переменной e: 0.65

Рациональный корень для переменной f: 4.70

Т.О.: T = 1, L = 4, B = 9, S = 9 A = 1, P = 5

$$10 \cdot 1 + 3 \cdot 4 + 1 \cdot 9 + 1 \cdot 9 + 11 \cdot 1 + 2 \cdot 5 = 10 + 12 + 9 + 9 + 11 + 10 = 61.$$

Разница – 11.

Решение уравнения № 6

Рациональный корень для переменной a: 1.44

Рациональный корень для переменной b: 7.61

Рациональный корень для переменной c: 4.53

Рациональный корень для переменной d: 7.61

Рациональный корень для переменной e: 7.61

Рациональный корень для переменной f: 1.44

Т.О.: T = 2, L = 8, B = 5, S = 8 A = 8, P = 2

$$6 \cdot 2 + 1 \cdot 8 + 2 \cdot 5 + 1 \cdot 8 + 1 \cdot 8 + 6 \cdot 2 = 12 + 8 + 10 + 8 + 8 + 12 = 58.$$

Разница – 8.

Решение уравнения № 7

Рациональный корень для переменной a: 0.68

Рациональный корень для переменной b: 3.44

Рациональный корень для переменной c: 7.62

Рациональный корень для переменной d: 7.62

Рациональный корень для переменной e: 7.62

Рациональный корень для переменной f: 4.54

Т.О.: T = 1, L = 4, B = 8, S = 8 A = 8, P = 5

$$10 \cdot 1 + 3 \cdot 4 + 1 \cdot 8 + 1 \cdot 8 + 1 \cdot 8 + 2 \cdot 5 = 10 + 12 + 8 + 8 + 8 + 10 = 56.$$

Разница – 6.

Решение уравнения № 8

Рациональный корень для переменной a: 1.59

Рациональный корень для переменной b: 8.05

Рациональный корень для переменной c: 4.69

Рациональный корень для переменной d: 8.05

Рациональный корень для переменной e: 0.64

Рациональный корень для переменной f: 1.59

Т.О.: T = 2, L = 9, B = 5, S = 9 A = 1, P = 2

$$6 \cdot 2 + 1 \cdot 9 + 2 \cdot 5 + 1 \cdot 9 + 11 \cdot 1 + 6 \cdot 2 = 12 + 9 + 10 + 9 + 11 + 12 = 63.$$

Разница – 13.

П4.10 Расчет ЛДУ показателей компоновки зон ТУ «К» в программе ОП ГКУ 1.0 согласно ГКА ТУ

«2 ПЗЗ»

$$1 \cdot a(i) + 13 \cdot b(i) + 3 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 32 \cdot e(i) + 5 \cdot f(i) = 55$$

572 решения

«ПЗЗ ЖД»

$$1 \cdot a(i) + 6 \cdot b(i) + 7 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 8 \cdot e(i) + 6 \cdot f(i) = 55$$

873 решения

«2 ПЗЗ»

Рациональный корень для переменной a: 10.13

Рациональный корень для переменной b: 0.74

Рациональный корень для переменной c: 4.38

Рациональный корень для переменной d: 1.11

Рациональный корень для переменной e: 0.10

Рациональный корень для переменной f: 2.75

Т.О. принимаем a(i) = 11, b(i) = 1, c(i) = 5, d(i) = 2, e(i) = 1, f(i) = 3

«ПЗЗ ЖД»

Рациональный корень для переменной a: 8.82

Рациональный корень для переменной b: 1.93

Рациональный корень для переменной c: 1.59

Рациональный корень для переменной d: 0.95

Рациональный корень для переменной e: 1.31

Рациональный корень для переменной f: 1.93

Т.О. принимаем a(i) = 9, b(i) = 2, c(i) = 2, d(i) = 1, e(i) = 2, f(i) = 2

Выбор параметров новой зоны, полученной в результате объединения (модификации) существующих зон «2 ПЗЗ» и «3 ПЗЗ ЖД» узла «К»

$$\left(\begin{array}{l} \text{X. -P1: } 11 | 1, 5, 2, 1, 3 \text{ X. -P2: } 9 | 2, 2, 1, 2, 2 \text{ X. -П(1,2): } 11, 2, 2, 1, 2, 2 \text{ or } 9, 1, 5, 2, 1, 3; \\ \text{X. -P1: } 11, 1 | 5, 2, 1, 3 \text{ X. -P2: } 9, 2 | 2, 1, 2, 2 \text{ X. -П(1,2): } 11, 1, 2, 1, 2, 2 \text{ or } 9, 2, 5, 2, 1, 3; \\ \text{X. -P1: } 11, 1, 5 | 2, 1, 3 \text{ X. -P2: } 9, 2, 2 | 1, 2, 2 \text{ X. -П(1,2): } 11, 1, 5, 1, 2, 2 \text{ or } 9, 2, 2, 2, 1, 3; \\ \text{X. -P1: } 11, 1, 5, 2 | 1, 3 \text{ X. -P2: } 9, 2, 2, 1 | 2, 2 \text{ X. -П(1,2): } 11, 1, 5, 2, 2, 2 \text{ or } 9, 2, 2, 1, 1, 3; \\ \text{X. -P1: } 11, 1, 5, 2, 1 | 3 \text{ X. -P2: } 9, 2, 2, 1, 2 | 2 \text{ X. -П(1,2): } 11, 1, 5, 2, 1, 2 \text{ or } 9, 2, 2, 1, 2, 3; \end{array} \right)$$

Уравнение № 1 - $11 \cdot T(i) + 2 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 2 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 55$.

Решений – 52752.

$$\text{Уравнение № 2 - } 9 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 5 \cdot B(i) + 2 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 3 \cdot P(i) = 55.$$

Решений – 36339.

$$\text{Уравнение № 3 - } 11 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 2 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 55.$$

Решений – 102839.

$$\text{Уравнение № 4 - } 9 \cdot T(i) + 2 \cdot L(i) + 5 \cdot B(i) + 2 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 3 \cdot P(i) = 55.$$

Решений – 18868.

$$\text{Уравнение № 5 - } 11 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 5 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 2 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 55.$$

Решений – 46028.

$$\text{Уравнение № 6 - } 9 \cdot T(i) + 2 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 2 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 3 \cdot P(i) = 55.$$

Решений – 42151.

$$\text{Уравнение № 7 - } 11 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 5 \cdot B(i) + 2 \cdot S(i) + 2 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 55.$$

Решений – 23862.

$$\text{Уравнение № 8 - } 9 \cdot T(i) + 2 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 3 \cdot P(i) = 55.$$

Решений – 81170.

$$\text{Уравнение № 9 - } 11 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 5 \cdot B(i) + 2 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 2 \cdot P(i) = 55.$$

Решений – 46028.

$$\text{Уравнение № 10 - } 9 \cdot T(i) + 2 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 2 \cdot A(i) + 3 \cdot P(i) = 55.$$

Решений – 42151.

Решение уравнения № 1

Рациональный корень для переменной a: 0.69

Рациональный корень для переменной b: 4.91

Рациональный корень для переменной c: 4.91

Рациональный корень для переменной d: 8.16

Рациональный корень для переменной e: 4.91

Рациональный корень для переменной f: 4.91

Т.О.: T = 1, L = 5, B = 5, S = 9 A = 5, P = 5

$$11 \cdot 1 + 2 \cdot 5 + 2 \cdot 5 + 1 \cdot 9 + 2 \cdot 5 + 2 \cdot 5 = 11 + 10 + 10 + 9 + 10 + 10 = 60.$$

Разница – 5.

Решение уравнения № 2

Рациональный корень для переменной a: 0.95

Рациональный корень для переменной b: 8.39

Рациональный корень для переменной c: 2.11

Рациональный корень для переменной d: 4.95

Рациональный корень для переменной e: 8.39

Рациональный корень для переменной f: 3.89

Т.О.: T = 1, L = 9, B = 3, S = 5 A = 9, P = 4

$$9 \cdot 1 + 1 \cdot 9 + 5 \cdot 3 + 2 \cdot 5 + 1 \cdot 9 + 3 \cdot 4 = 9 + 9 + 15 + 12 + 9 + 12 = 66.$$

Разница – 11.

Решение уравнения № 3

Рациональный корень для переменной a: 0.67

Рациональный корень для переменной b: 8.10

Рациональный корень для переменной c: 4.91

Рациональный корень для переменной d: 8.10

Рациональный корень для переменной e: 4.91

Рациональный корень для переменной f: 4.91

Т.О.: T = 1, L = 9, B = 5, S = 9 A = 5, P = 5

$$11 \cdot 1 + 1 \cdot 9 + 2 \cdot 5 + 1 \cdot 9 + 2 \cdot 5 + 2 \cdot 5 = 11 + 9 + 10 + 9 + 10 + 10 = 59.$$

Разница – 4.

Решение уравнения № 4

Рациональный корень для переменной a: 0.96

Рациональный корень для переменной b: 4.96

Рациональный корень для переменной c: 2.13

Рациональный корень для переменной d: 4.96

Рациональный корень для переменной e: 8.41

Рациональный корень для переменной f: 3.93

Т.О.: T = 1, L = 5, B = 3, S = 5 A = 9, P = 4

$$9 \cdot 1 + 2 \cdot 5 + 5 \cdot 3 + 2 \cdot 5 + 1 \cdot 9 + 3 \cdot 4 = 9 + 10 + 15 + 10 + 9 + 12 = 65.$$

Разница – 10.

Решение уравнения № 5

Рациональный корень для переменной a: 0.69

Рациональный корень для переменной b: 8.41

Рациональный корень для переменной c: 2.12

Рациональный корень для переменной d: 8.41

Рациональный корень для переменной e: 4.96

Рациональный корень для переменной f: 4.96

Т.О.: T = 1, L = 9, B = 3, S = 9 A = 5, P = 5

$$11 \cdot 1 + 1 \cdot 9 + 5 \cdot 3 + 1 \cdot 9 + 2 \cdot 5 + 2 \cdot 5 = 11 + 9 + 15 + 9 + 10 + 10 = 64.$$

Разница – 9.

Решение уравнения № 6

Рациональный корень для переменной a: 0.93

Рациональный корень для переменной b: 4.91

Рациональный корень для переменной c: 4.91

Рациональный корень для переменной d: 4.91

Рациональный корень для переменной e: 8.10

Рациональный корень для переменной f: 3.84

Т.О.: T = 1, L = 5, B = 5, S = 5 A = 9, P = 4

$$9 \cdot 1 + 2 \cdot 5 + 2 \cdot 5 + 2 \cdot 5 + 1 \cdot 9 + 3 \cdot 4 = 9 + 10 + 10 + 10 + 9 + 12 = 60.$$

Разница – 5.

Решение уравнения № 7

Рациональный корень для переменной a: 0.70

Рациональный корень для переменной b: 8.19

Рациональный корень для переменной c: 2.15

Рациональный корень для переменной d: 4.97

Рациональный корень для переменной e: 4.97

Рациональный корень для переменной f: 4.97

Т.О.: T = 1, L = 9, B = 3, S = 5 A = 5, P = 5

$$11 \cdot 1 + 1 \cdot 9 + 5 \cdot 3 + 2 \cdot 5 + 2 \cdot 5 + 2 \cdot 5 = 11 + 9 + 15 + 10 + 10 + 10 = 65.$$

Разница – 10.

Решение уравнения № 8

Рациональный корень для переменной a: 0.91

Рациональный корень для переменной b: 4.90

Рациональный корень для переменной c: 4.90

Рациональный корень для переменной d: 8.09

Рациональный корень для переменной e: 8.09

Рациональный корень для переменной f: 3.80

Т.О.: T = 1, L = 5, B = 5, S = 9 A = 9, P = 4

$$9 \cdot 1 + 2 \cdot 5 + 2 \cdot 5 + 1 \cdot 9 + 1 \cdot 9 + 3 \cdot 4 = 9 + 10 + 10 + 9 + 9 + 12 = 59.$$

Разница – 4.

Решение уравнения № 9

Рациональный корень для переменной a: 0.69

Рациональный корень для переменной b: 8.41

Рациональный корень для переменной c: 2.12

Рациональный корень для переменной d: 4.96

Рациональный корень для переменной e: 8.81

Рациональный корень для переменной f: 4.96

Т.О.: T = 1, L = 9, B = 3, S = 5 A = 9, P = 5

Разница – 9

Решение уравнения № 10

Рациональный корень для переменной a: 0.93

Рациональный корень для переменной b: 4.91

Рациональный корень для переменной c: 4.91

Рациональный корень для переменной d: 8.10

Рациональный корень для переменной e: 4.91

Рациональный корень для переменной f: 3.84

Т.О.: T = 1, L = 5, B = 5, S = 9 A = 5, P = 4

Разница – 5.

П4.11 Расчет ЛДУ показателей компоновки зон ТУ «В» в программе ОП ГКУ 1.0 согласно ГКА ТУ

«2 ПЗЗ Аэр»

$$1 \cdot a(i) + 1 \cdot b(i) + 2 \cdot c(i) + 11 \cdot d(i) + 10 \cdot e(i) + 5 \cdot f(i) = 59$$

16170 решений

«2 ПЗЗ треугог»

$$1 \cdot a(i) + 16 \cdot b(i) + 8 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 4 \cdot e(i) + 3 \cdot f(i) = 59$$

1672 решения

И

«3 ПЗЗ ГРЭС»

$$5 \cdot a(i) + 26 \cdot b(i) + 1 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 10 \cdot e(i) + 3 \cdot f(i) = 59$$

926 решений

«3 ПЗЗ»

$$8 \cdot a(i) + 33 \cdot b(i) + 1 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 22 \cdot e(i) + 3 \cdot f(i) = 59$$

358 решений

«2 ПЗЗ Аэр»

Рациональный корень для переменной a: 9.23

Рациональный корень для переменной b: 9.23

Рациональный корень для переменной c: 5.19

Рациональный корень для переменной d: 0.83

Рациональный корень для переменной e: 0.96

Рациональный корень для переменной f: 2.43

Т.О. принимаем a(i) = 10, b(i) = 10, c(i) = 6, d(i) = 1, e(i) = 1, f(i) = 3

«2 ПЗЗ треугог»

Рациональный корень для переменной a: 9.69

Рациональный корень для переменной b: 0.49

Рациональный корень для переменной c: 1.45

Рациональный корень для переменной d: 1.06

Рациональный корень для переменной e: 3.44

Рациональный корень для переменной f: 4.26

Т.О. принимаем a(i) = 10, b(i) = 1, c(i) = 2, d(i) = 2, e(i) = 4, f(i) = 5

«3 ПЗЗ ГРЭС»

Рациональный корень для переменной a: 2.81

Рациональный корень для переменной b: 0.19

Рациональный корень для переменной c: 10.12

Рациональный корень для переменной d: 1.14

Рациональный корень для переменной e: 1.14

Рациональный корень для переменной f: 4.23

Т.О. принимаем a(i) = 3, b(i) = 1, c(i) = 11, d(i) = 2, e(i) = 2, f(i) = 5

«3 ПЗЗ»

Рациональный корень для переменной a: 1.76

Рациональный корень для переменной b: 0.13

Рациональный корень для переменной c: 11.00

Рациональный корень для переменной d: 1.30

Рациональный корень для переменной e: 0.35

Рациональный корень для переменной f: 4.62

Т.О. принимаем $a(i) = 2$, $b(i) = 1$, $c(i) = 11$, $d(i) = 2$, $e(i) = 1$, $f(i) = 5$

Выбор параметров новой зоны, полученной в результате объединения (модификации) существующих зон «3 ПЗЗ Аэр» и «3 ПЗЗ тревуг» узла «В»

$$\left(\begin{array}{l} \text{X. -P1: } 10 \mid 10,6,1,1,3 \text{ X. -P2: } 10 \mid 1,2,2,4,5 \text{ X. -П(1,2): } 10,1,2,2,4,5 \text{ or } 10,10,6,1,1,3; \\ \text{X. -P1: } 10,10 \mid 6,1,1,3 \text{ X. -P2: } 10,1 \mid 2,2,4,5 \text{ X. -П(1,2): } 10,10,2,2,4,5 \text{ or } 10,1,6,1,1,3; \\ \text{X. -P1: } 10,10,6 \mid 1,1,3 \text{ X. -P2: } 10,1,2 \mid 2,4,5 \text{ X. -П(1,2): } 10,10,6,2,4,5 \text{ or } 10,1,2,1,1,3; \\ \text{X. -P1: } 10,10,6,1 \mid 1,3 \text{ X. -P2: } 10,1,2,2 \mid 4,5 \text{ X. -П(1,2): } 10,10,6,1,4,5 \text{ or } 10,1,2,2,1,3; \\ \text{X. -P1: } 10,10,6,1,1 \mid 3 \text{ X. -P2: } 10,1,2,2,4 \mid 5 \text{ X. -П(1,2): } 10,10,6,1,1,5 \text{ or } 10,1,2,2,4,3; \end{array} \right)$$

Уравнение № 1 - $10 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 2 \cdot S(i) + 4 \cdot A(i) + 5 \cdot P(i) = 59$.

Решений – 18238.

Уравнение № 2 - $10 \cdot T(i) + 10 \cdot L(i) + 6 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 3 \cdot P(i) = 59$.

Решений – 10231.

Уравнение № 3 - $10 \cdot T(i) + 10 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 2 \cdot S(i) + 4 \cdot A(i) + 5 \cdot P(i) = 59$.

Решений – 2056.

Уравнение № 4 - $10 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 6 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 3 \cdot P(i) = 59$

Решений – 75860

Уравнение № 5 - $10 \cdot T(i) + 10 \cdot L(i) + 6 \cdot B(i) + 2 \cdot S(i) + 4 \cdot A(i) + 5 \cdot P(i) = 59$.

Решений – 781.

Уравнение № 6 - $10 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 3 \cdot P(i) = 59$.

Решений – 197731.

Уравнение № 7 - $10 \cdot T(i) + 10 \cdot L(i) + 6 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 4 \cdot A(i) + 5 \cdot P(i) = 59$.

Решений – 1793.

Уравнение № 8 - $10 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 2 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 3 \cdot P(i) = 59$.

Решений – 102523.

Уравнение № 9 - $10 \cdot T(i) + 10 \cdot L(i) + 6 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 5 \cdot P(i) = 59$.

Решений – 6546.

Уравнение № 10 - $10 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 2 \cdot B(i) + 2 \cdot S(i) + 4 \cdot A(i) + 3 \cdot P(i) = 59$.

Решений – 28428.

Решение уравнения № 1

Рациональный корень для переменной a: 0.91

Рациональный корень для переменной b: 8.69

Рациональный корень для переменной c: 5.11

Рациональный корень для переменной d: 5.11

Рациональный корень для переменной e: 3.05

Рациональный корень для переменной f: 2.35

Т.О.: $T = 1$, $L = 9$, $B = 6$, $S = 6$, $A = 4$, $P = 3$

$$10 \cdot 1 + 1 \cdot 9 + 2 \cdot 6 + 2 \cdot 6 + 4 \cdot 4 + 5 \cdot 3 = 10 + 9 + 12 + 12 + 16 + 12 = 71.$$

Разница – 12.

Решение уравнения № 2

Рациональный корень для переменной a: 0.97

Рациональный корень для переменной b: 0.97

Рациональный корень для переменной c: 1.96

Рациональный корень для переменной d: 9.25

Рациональный корень для переменной e: 9.25

Рациональный корень для переменной f: 4.23

Т.О.: $T = 1$, $L = 1$, $B = 2$, $S = 10$, $A = 10$, $P = 5$

$$10 \cdot 1 + 10 \cdot 1 + 6 \cdot 2 + 1 \cdot 10 + 1 \cdot 10 + 3 \cdot 5 = 10 + 10 + 12 + 10 + 10 + 15 = 67.$$

Разница – 8.

Решение уравнения № 3

Рациональный корень для переменной a: 0.93

Рациональный корень для переменной b: 0.93

Рациональный корень для переменной c: 5.15

Рациональный корень для переменной d: 5.15

Рациональный корень для переменной e: 3.10

Рациональный корень для переменной f: 1.00

Т.О.: $T = 1$, $L = 1$, $B = 6$, $S = 6$, $A = 4$, $P = 1$

$10 \cdot 1 + 10 \cdot 1 + 2 \cdot 6 + 2 \cdot 6 + 4 \cdot 4 + 5 \cdot 1 = 10 + 10 + 12 + 12 + 16 + 5 = 65$.
Разница – 6.

Решение уравнения № 4

Рациональный корень для переменной a: 0.89

Рациональный корень для переменной b: 8.83

Рациональный корень для переменной c: 1.82

Рациональный корень для переменной d: 8.83

Рациональный корень для переменной e: 8.83

Рациональный корень для переменной f: 4.15

Т.О.: T = 1, L = 9, B = 2, S = 9 A = 9, P = 5

$$10 \cdot 1 + 1 \cdot 9 + 6 \cdot 2 + 1 \cdot 9 + 1 \cdot 9 + 3 \cdot 5 = 10 + 9 + 12 + 9 + 9 + 15 = 64.$$

Разница – 5.

Решение уравнения № 5

Рациональный корень для переменной a: 0.97

Рациональный корень для переменной b: 0.97

Рациональный корень для переменной c: 1.95

Рациональный корень для переменной d: 5.21

Рациональный корень для переменной e: 3.21

Рациональный корень для переменной f: 1.70

Т.О.: T = 1, L = 1, B = 2, S = 6 A = 4, P = 2

$$10 \cdot 1 + 10 \cdot 1 + 6 \cdot 2 + 2 \cdot 6 + 4 \cdot 4 + 5 \cdot 2 = 10 + 10 + 12 + 12 + 16 + 10 = 70.$$

Разница – 11.

Решение уравнения № 6

Рациональный корень для переменной a: 0.85

Рациональный корень для переменной b: 8.50

Рациональный корень для переменной c: 5.03

Рациональный корень для переменной d: 8.50

Рациональный корень для переменной e: 8.50

Рациональный корень для переменной f: 4.07

Т.О.: T = 1, L = 9, B = 6, S = 9 A = 9, P = 5

$$10 \cdot 1 + 1 \cdot 9 + 2 \cdot 6 + 1 \cdot 9 + 1 \cdot 9 + 3 \cdot 5 = 10 + 9 + 12 + 9 + 9 + 15 = 64.$$

Разница – 5.

Решение уравнения № 7

Рациональный корень для переменной a: 1.01

Рациональный корень для переменной b: 1.01

Рациональный корень для переменной c: 2.04

Рациональный корень для переменной d: 9.46

Рациональный корень для переменной e: 3.34

Рациональный корень для переменной f: 2.56

Т.О.: T = 2, L = 2, B = 3, S = 10 A = 4, P = 3

$$10 \cdot 2 + 10 \cdot 2 + 6 \cdot 3 + 1 \cdot 10 + 4 \cdot 4 + 5 \cdot 3 = 20 + 20 + 18 + 10 + 16 + 15 = 99.$$

Разница – 40.

Решение уравнения № 8

Рациональный корень для переменной a: 0.86

Рациональный корень для переменной b: 8.52

Рациональный корень для переменной c: 5.05

Рациональный корень для переменной d: 5.05

Рациональный корень для переменной e: 8.52

Рациональный корень для переменной f: 4.10

Т.О.: T = 1, L = 9, B = 6, S = 6 A = 9, P = 5

$$10 \cdot 1 + 1 \cdot 9 + 2 \cdot 6 + 2 \cdot 6 + 1 \cdot 9 + 3 \cdot 5 = 10 + 9 + 12 + 12 + 9 + 15 = 67.$$

Разница – 8.

Решение уравнения № 9

Рациональный корень для переменной a: 0.98

Рациональный корень для переменной b: 0.98

Рациональный корень для переменной c: 1.99

Рациональный корень для переменной d: 9.29

Рациональный корень для переменной e: 9.29

Рациональный корень для переменной f: 2.49

Т.О.: T = 1, L = 1, B = 2, S = 10 A = 10, P = 3

$$10 \cdot 1 + 10 \cdot 1 + 6 \cdot 2 + 1 \cdot 10 + 1 \cdot 10 + 5 \cdot 3 = 10 + 10 + 12 + 10 + 10 + 15 = 67.$$

Разница – 8.

Решение уравнения № 10

Рациональный корень для переменной a: 0.89

Рациональный корень для переменной b: 8.56

Рациональный корень для переменной c: 5.09

Рациональный корень для переменной d: 5.09

Рациональный корень для переменной e: 3.00

Рациональный корень для переменной f: 4.06

Т.О.: T = 1, L = 9, B = 6, S = 6 A = 3, P = 5

$$10 \cdot 1 + 1 \cdot 9 + 2 \cdot 12 + 2 \cdot 6 + 4 \cdot 3 + 3 \cdot 5 = 10 + 9 + 12 + 12 + 12 + 15 = 70$$

Разница – 11.

Выбор параметров новой зоны, полученной в результате объединения (модификации) существующих зон «З ПЗЗ ГРЭС» и «З ПЗЗ» узла «В»

$$\left(\begin{array}{l} \text{X. -P1: } 3 | 1, 11, 2, 2, 5 \text{ X. -P2: } 2 | 1, 11, 2, 1, 5 \text{ X. -П(1,2): } 3, 1, 11, 2, 1, 5 \text{ or } 2, 1, 11, 2, 2, 5; \\ \text{X. -P1: } 3, 1 | 11, 2, 2, 5 \text{ X. -P2: } 2, 1 | 11, 2, 1, 5 \text{ X. -П(1,2): } 3, 1, 11, 2, 1, 5 \text{ or } 2, 1, 11, 2, 2, 5; \\ \text{X. -P1: } 3, 1, 11 | 2, 2, 5 \text{ X. -P2: } 2, 1, 11 | 2, 1, 5 \text{ X. -П(1,2): } 3, 1, 11, 2, 1, 5 \text{ or } 2, 1, 11, 2, 2, 5; \\ \text{X. -P1: } 3, 1, 11, 2 | 2, 5 \text{ X. -P2: } 2, 1, 11, 2 | 1, 5 \text{ X. -П(1,2): } 3, 1, 11, 2, 1, 5 \text{ or } 2, 1, 11, 2, 2, 5; \\ \text{X. -P1: } 3, 1, 11, 2, 2 | 5 \text{ X. -P2: } 2, 1, 11, 2, 1 | 5 \text{ X. -П(1,2): } 3, 1, 11, 2, 2, 5 \text{ or } 2, 1, 11, 2, 1, 5; \end{array} \right)$$

$$\text{Уравнение № 1 - } 3 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 11 \cdot B(i) + 2 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 5 \cdot P(i) = 59.$$

Решений – 42798.

$$\text{Уравнение № 2 - } 2 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 11 \cdot B(i) + 2 \cdot S(i) + 2 \cdot A(i) + 5 \cdot P(i) = 59.$$

Решений – 32071.

$$\text{Уравнение № 3 - } 3 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 11 \cdot B(i) + 2 \cdot S(i) + 2 \cdot A(i) + 5 \cdot P(i) = 59.$$

Решений – 22165.

$$\text{Уравнение № 4 - } 2 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 11 \cdot B(i) + 2 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 5 \cdot P(i) = 59.$$

Решений – 61981.

Решение уравнения № 1

Рациональный корень для переменной a: 4.14

Рациональный корень для переменной b: 8.85

Рациональный корень для переменной c: 0.77

Рациональный корень для переменной d: 5.10

Рациональный корень для переменной e: 8.85

Рациональный корень для переменной f: 2.31

Т.О.: T = 5, L = 9, B = 1, S = 6 A = 9, P = 3

$$3 \cdot 5 + 1 \cdot 9 + 11 \cdot 1 + 2 \cdot 6 + 1 \cdot 9 + 5 \cdot 3 = 15 + 9 + 11 + 12 + 9 + 15 = 71.$$

Разница – 12.

Решение уравнения № 2

Рациональный корень для переменной a: 5.10

Рациональный корень для переменной b: 8.86

Рациональный корень для переменной c: 0.78

Рациональный корень для переменной d: 5.10

Рациональный корень для переменной e: 5.10

Рациональный корень для переменной f: 2.31

Т.О.: T = 6, L = 9, B = 1, S = 6 A = 6, P = 3

$$2 \cdot 6 + 1 \cdot 9 + 11 \cdot 1 + 2 \cdot 6 + 2 \cdot 6 + 5 \cdot 3 = 12 + 9 + 11 + 12 + 12 + 15 = 71.$$

Разница – 12.

Решение уравнения № 3

Рациональный корень для переменной a: 4.16

Рациональный корень для переменной b: 8.87

Рациональный корень для переменной c: 0.78

Рациональный корень для переменной d: 5.12

Рациональный корень для переменной e: 5.12

Рациональный корень для переменной f: 2.33

Т.О.: T = 5, L = 9, B = 1, S = 6 A = 6, P = 3

$$3 \cdot 5 + 1 \cdot 9 + 11 \cdot 1 + 2 \cdot 6 + 2 \cdot 6 + 5 \cdot 3 = 15 + 9 + 11 + 12 + 12 + 15 = 74.$$

Разница – 15.

Решение уравнения № 4

Рациональный корень для переменной a: 5.09

Рациональный корень для переменной b: 8.83

Рациональный корень для переменной c: 0.77

Рациональный корень для переменной d: 5.09

Рациональный корень для переменной e: 8.83

Рациональный корень для переменной f: 2.29

Т.О.: T = 6, L = 9, B = 1, S = 6 A = 9, P = 3

$2 \cdot 6 + 1 \cdot 9 + 11 \cdot 1 + 2 \cdot 6 + 1 \cdot 9 + 5 \cdot 3 = 12 + 9 + 11 + 12 + 9 + 15 = 68.$

Разница – 9.

П4.12 Расчет ЛДУ показателей компоновки зон ТУ «А» в программе ОП ГКУ 1.0 согласно ГКА ТУ

«1 ПЗ31»

$$1 \cdot a(i) + 15 \cdot b(i) + 3 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 6 \cdot e(i) + 1 \cdot f(i) = 38$$

1533 решения

«1 ПЗ32»

$$1 \cdot a(i) + 18 \cdot b(i) + 1 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 15 \cdot e(i) + 2 \cdot f(i) = 38.$$

1167 решений.

«3 ПЗ3 Кутум»

$$1 \cdot a(i) + 7 \cdot b(i) + 2 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 17 \cdot e(i) + 3 \cdot f(i) = 38.$$

682 решения.

«3 ПЗ3 Аэр»

$$1 \cdot a(i) + 3 \cdot b(i) + 2 \cdot c(i) + 24 \cdot d(i) + 10 \cdot e(i) + 2 \cdot f(i) = 38.$$

1744 решения.

«1 ПЗ3 1»

Рациональный корень для переменной a: 6.94

Рациональный корень для переменной b: 0.26

Рациональный корень для переменной c: 3.09

Рациональный корень для переменной d: 0.58

Рациональный корень для переменной e: 1.28

Рациональный корень для переменной f: 6.94

Т.О. принимаем a(i) = 7, b(i) = 1, c(i) = 4, d(i) = 1, e(i) = 2, f(i) = 7

«1 ПЗ3 2»

Рациональный корень для переменной a: 7.40

Рациональный корень для переменной b: 0.19

Рациональный корень для переменной c: 7.40

Рациональный корень для переменной d: 0.65

Рациональный корень для переменной e: 0.30

Рациональный корень для переменной f: 4.52

Т.О. принимаем a(i) = 8, b(i) = 1, c(i) = 8, d(i) = 1, e(i) = 1, f(i) = 5

«3 ПЗ3 Кутум»

Рациональный корень для переменной a: 7.26

Рациональный корень для переменной b: 1.07

Рациональный корень для переменной c: 4.43

Рациональный корень для переменной d: 0.60

Рациональный корень для переменной e: 0.20

Рациональный корень для переменной f: 3.19

Т.О. принимаем a(i) = 8, b(i) = 2, c(i) = 5, d(i) = 1, e(i) = 1, f(i) = 4

«3 ПЗ3 Аэр»

Рациональный корень для переменной a: 7.30

Рациональный корень для переменной b: 3.13

Рациональный корень для переменной c: 4.42

Рациональный корень для переменной d: 0.06

Рациональный корень для переменной e: 0.59

Рациональный корень для переменной f: 4.42

Т.О. принимаем a(i) = 8, b(i) = 4, c(i) = 5, d(i) = 1, e(i) = 1, f(i) = 5

Выбор параметров новой зоны, полученной в результате объединения (модификации) существующих зон «ПЗ3 1» и «ПЗ3 2» узла «А»

$$\left(\begin{array}{l} \text{X. -P1: } 7 | 1, 4, 1, 2, 7 \text{ X. -P2: } 8 | 1, 8, 1, 1, 5 \text{ X. -П(1,2): } 7, 1, 8, 1, 1, 5 \text{ or } 8, 1, 4, 1, 2, 7; \\ \text{X. -P1: } 7, 1 | 4, 1, 2, 7 \text{ X. -P2: } 8, 1 | 8, 1, 1, 5 \text{ X. -П(1,2): } 7, 1, 8, 1, 1, 5 \text{ or } 8, 1, 4, 1, 2, 7; \\ \text{X. -P1: } 7, 1, 4 | 1, 2, 7 \text{ X. -P2: } 8, 1, 8 | 1, 1, 5 \text{ X. -П(1,2): } 7, 1, 4, 1, 1, 5 \text{ or } 8, 1, 8, 1, 2, 7; \\ \text{X. -P1: } 7, 1, 4, 1 | 2, 7 \text{ X. -P2: } 8, 1, 8, 1 | 1, 5 \text{ X. -П(1,2): } 7, 1, 4, 1, 1, 5 \text{ or } 8, 1, 8, 1, 2, 7; \\ \text{X. -P1: } 7, 1, 4, 1, 2 | 7 \text{ X. -P2: } 8, 1, 8, 1, 1 | 5 \text{ X. -П(1,2): } 7, 1, 4, 1, 2, 5 \text{ or } 8, 1, 8, 1, 1, 7; \end{array} \right)$$

Уравнение № 1 - $7 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 8 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 5 \cdot P(i) = 38.$

Решений – 8424.

$$\text{Уравнение № 2 } -8 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 4 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 2 \cdot A(i) + 7 \cdot P(i) = 38.$$

Решений – 4278.

$$\text{Уравнение № 3 } -7 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 4 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 5 \cdot P(i) = 38.$$

Решений – 13902.

$$\text{Уравнение № 4 } -8 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 8 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 2 \cdot A(i) + 7 \cdot P(i) = 38.$$

Решений – 2176.

$$\text{Уравнение № 5 } -7 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 4 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 2 \cdot A(i) + 5 \cdot P(i) = 38.$$

Решений – 7322.

$$\text{Уравнение № 6 } -8 \cdot T(i) + 1 \cdot L(i) + 8 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 7 \cdot P(i) = 38.$$

Решений – 6048.

Решение уравнения № 1

Рациональный корень для переменной a: 0.89

Рациональный корень для переменной b: 6.47

Рациональный корень для переменной c: 0.72

Рациональный корень для переменной d: 6.47

Рациональный корень для переменной e: 6.47

Рациональный корень для переменной f: 1.44

Т.О.: $T = 1, L = 7, B = 1, S = 7, A = 7, P = 2$

$$7 \cdot 1 + 1 \cdot 7 + 8 \cdot 1 + 1 \cdot 7 + 1 \cdot 7 + 5 \cdot 2 = 7 + 7 + 8 + 7 + 7 + 10 = 46.$$

Разница – 8.

Решение уравнения № 2

Рациональный корень для переменной a: 0.72

Рациональный корень для переменной b: 6.48

Рациональный корень для переменной c: 1.94

Рациональный корень для переменной d: 6.48

Рациональный корень для переменной e: 4.21

Рациональный корень для переменной f: 0.89

Т.О.: $T = 1, L = 7, B = 2, S = 7, A = 5, P = 1$

$$8 \cdot 1 + 1 \cdot 7 + 4 \cdot 2 + 1 \cdot 7 + 2 \cdot 5 + 7 \cdot 1 = 8 + 7 + 8 + 7 + 10 + 7 = 47.$$

Разница – 9.

Решение уравнения № 3

Рациональный корень для переменной a: 0.84

Рациональный корень для переменной b: 6.39

Рациональный корень для переменной c: 1.85

Рациональный корень для переменной d: 6.39

Рациональный корень для переменной e: 6.39

Рациональный корень для переменной f: 1.38

Т.О.: $T = 1, L = 7, B = 2, S = 7, A = 7, P = 2$

$$7 \cdot 1 + 1 \cdot 7 + 4 \cdot 2 + 1 \cdot 7 + 1 \cdot 7 + 5 \cdot 2 = 7 + 7 + 8 + 7 + 7 + 10 = 46.$$

Разница – 8.

Решение уравнения № 4

Рациональный корень для переменной a: 0.76

Рациональный корень для переменной b: 6.78

Рациональный корень для переменной c: 0.76

Рациональный корень для переменной d: 6.78

Рациональный корень для переменной e: 4.20

Рациональный корень для переменной f: 0.93

Т.О.: $T = 1, L = 7, B = 1, S = 7, A = 5, P = 1$

$$8 \cdot 1 + 1 \cdot 7 + 8 \cdot 1 + 1 \cdot 7 + 2 \cdot 5 + 7 \cdot 1 = 8 + 7 + 8 + 7 + 10 + 7 = 47.$$

Разница – 9.

Решение уравнения № 5

Рациональный корень для переменной a: 0.86

Рациональный корень для переменной b: 6.41

Рациональный корень для переменной c: 1.88

Рациональный корень для переменной d: 6.41

Рациональный корень для переменной e: 4.19

Рациональный корень для переменной f: 1.39

Т.О.: $T = 1, L = 7, B = 2, S = 7, A = 5, P = 2$

$$7 \cdot 1 + 1 \cdot 7 + 4 \cdot 2 + 1 \cdot 7 + 2 \cdot 5 + 5 \cdot 2 = 7 + 7 + 8 + 7 + 10 + 10 = 49.$$

Разница – 11.

Решение уравнения № 6

Рациональный корень для переменной a: 0.75

Рациональный корень для переменной b: 6.75

Рациональный корень для переменной c: 0.75

Рациональный корень для переменной d: 6.75

Рациональный корень для переменной e: 6.75

Рациональный корень для переменной f: 0.92

Т.О.: $T = 1, L = 7, B = 1, S = 7, A = 7, P = 1$

$$8 \cdot 1 + 1 \cdot 7 + 8 \cdot 1 + 1 \cdot 7 + 1 \cdot 7 + 7 \cdot 1 = 8 + 7 + 8 + 7 + 7 + 7 = 44.$$

Разница – 6.

Выбор параметров новой зоны, полученной в результате объединения (модификации) существующих зон «1 Кутум» и «3 ПЗЗ Аэр» узла «А»

$$\left(\begin{array}{l} X. - P1: 8 | 2, 5, 1, 1, 4 \quad X. - P2: 8 | 4, 5, 1, 1, 5 \quad X. - П(1,2): 8, 4, 5, 1, 1, 5 \text{ or } 8, 2, 5, 1, 1, 4; \\ X. - P1: 8, 2 | 5, 1, 1, 4 \quad X. - P2: 8, 4 | 5, 1, 1, 5 \quad X. - П(1,2): 8, 2, 5, 1, 1, 5 \text{ or } 8, 4, 5, 1, 1, 4; \\ X. - P1: 8, 2, 5 | 1, 1, 4 \quad X. - P2: 8, 4, 5 | 1, 1, 5 \quad X. - П(1,2): 8, 2, 5, 1, 1, 5 \text{ or } 8, 4, 5, 1, 1, 4; \\ X. - P1: 8, 2, 5, 1 | 1, 4 \quad X. - P2: 8, 4, 5, 1 | 1, 5 \quad X. - П(1,2): 8, 2, 5, 1, 1, 5 \text{ or } 8, 4, 5, 1, 1, 4; \\ X. - P1: 8, 2, 5, 1, 1 | 4 \quad X. - P2: 8, 4, 5, 1, 1 | 5 \quad X. - П(1,2): 8, 2, 5, 1, 1, 5 \text{ or } 8, 4, 5, 1, 1, 4; \end{array} \right)$$

$$\text{Уравнение № 1} - 8 \cdot T(i) + 4 \cdot L(i) + 5 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 5 \cdot P(i) = 38.$$

Решений – 3113.

$$\text{Уравнение № 2} - 8 \cdot T(i) + 2 \cdot L(i) + 5 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 4 \cdot P(i) = 38.$$

Решений – 6718.

$$\text{Уравнение № 3} - 8 \cdot T(i) + 2 \cdot L(i) + 5 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 5 \cdot P(i) = 38.$$

Решений – 5642.

$$\text{Уравнение № 4} - 8 \cdot T(i) + 4 \cdot L(i) + 5 \cdot B(i) + 1 \cdot S(i) + 1 \cdot A(i) + 4 \cdot P(i) = 38.$$

Решений – 3714.

Решение уравнения № 1

Рациональный корень для переменной a: 0.73

Рациональный корень для переменной b: 1.97

Рациональный корень для переменной c: 1.46

Рациональный корень для переменной d: 6.49

Рациональный корень для переменной e: 6.49

Рациональный корень для переменной f: 1.46

Т.О.: $T = 1, L = 2, B = 2, S = 7, A = 7, P = 2$

$$8 \cdot 1 + 4 \cdot 2 + 5 \cdot 2 + 1 \cdot 7 + 1 \cdot 7 + 5 \cdot 2 = 8 + 8 + 10 + 7 + 7 + 10 = 50.$$

Разница – 12.

Решение уравнения № 2

Рациональный корень для переменной a: 0.70

Рациональный корень для переменной b: 4.16

Рациональный корень для переменной c: 1.41

Рациональный корень для переменной d: 6.43

Рациональный корень для переменной e: 6.43

Рациональный корень для переменной f: 1.90

Т.О.: $T = 1, L = 5, B = 2, S = 7, A = 7, P = 2$

$$8 \cdot 1 + 2 \cdot 5 + 5 \cdot 2 + 1 \cdot 7 + 1 \cdot 7 + 4 \cdot 2 = 8 + 10 + 10 + 7 + 7 + 8 = 50.$$

Разница – 12.

Решение уравнения № 3

Рациональный корень для переменной a: 0.71

Рациональный корень для переменной b: 4.18

Рациональный корень для переменной c: 1.43

Рациональный корень для переменной d: 6.45

Рациональный корень для переменной e: 6.45

Рациональный корень для переменной f: 1.43

Т.О.: $T = 1, L = 5, B = 2, S = 7, A = 7, P = 2$

$$8 \cdot 1 + 2 \cdot 5 + 5 \cdot 2 + 1 \cdot 7 + 1 \cdot 7 + 5 \cdot 2 = 8 + 10 + 10 + 7 + 7 + 10 = 52.$$

Разница – 14.

Решение уравнения № 4

Рациональный корень для переменной a: 0.72

Рациональный корень для переменной b: 1.94

Рациональный корень для переменной c: 1.45

Рациональный корень для переменной d: 6.46

Рациональный корень для переменной e: 6.46

Рациональный корень для переменной f: 1.94

Т.О.: $T = 1, L = 2, B = 2, S = 7, A = 7, P = 2$

$$8 \cdot 1 + 4 \cdot 2 + 5 \cdot 2 + 1 \cdot 7 + 1 \cdot 7 + 4 \cdot 2 = 8 + 8 + 10 + 7 + 7 + 8 = 48.$$

Разница – 10.

Акты внедрения



Ростовский проектно-изыскательский институт «Кавжелдорпроект» – филиал АО «Росжелдорпроект»
344082, Ростов-на-Дону,
Будёновский пр., д. 25
(863) 204-15-10, (863) 269-76-61
KavZDP@rzdpr.ru

«УТВЕРЖДАЮ»

Главный инженер –

и. о. директора филиала

Ю.О. Фиксель

« 5 » 2025 г.



А К Т

**о практической значимости результатов научно-исследовательской работы
Мизгиревой Екатерины Евгеньевны по теме «Формирование
метода размещения инфраструктурных объектов транспортных узлов в
условиях нечетких принципов параметризации»**

Комиссия, рассмотрев научное исследование Мизгиревой Екатерины Евгеньевны на тему «Формирование метода размещения инфраструктурных объектов транспортных узлов в условиях нечетких принципов параметризации», составила настоящий акт о том, что полученные автором результаты могут быть использованы в проектной деятельности института «Кавжелдорпроект» – филиал АО «Росжелдорпроект» при разработке:

1. Технических предложений по оценке компоновочных решений инфраструктур транспортных узлов.
2. Рекомендаций по моделированию вариантов размещения узловых объектов (транспортных, складских, производственных, селитебных, рекреационных и др. зон)
3. Стратегий развития узловой инфраструктуры при сокращении транспортных расходов на завоз-вывоз грузов и пассажиров.

Использование указанных результатов позволяет повысить качество проектных работ и сократить затраты на проведение исследований инфраструктур железнодорожных и транспортных узлов.

Заместитель директора филиала
по производству

Е. К. Нечаева



**ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«РОССИЙСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ»
(ОАО «РЖД»)**

**ЦЕНТРАЛЬНАЯ ДИРЕКЦИЯ
ИНФРАСТРУКТУРЫ
СЕВЕРО-КАВКАЗСКАЯ
ДИРЕКЦИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

Театральная пл. 4,
г. Ростов-на-Дону, 344019,
Тел./факс: (863) 259-49-05

г. № _____
На № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»
Начальник Северо-Кавказской
дирекции инфраструктуры



В.В. Оганесян
2025 г.

О Т З Ы В

**о практической значимости результатов диссертационной работы
Мизгиревой Екатерины Евгеньевны «Формирование метода
размещения инфраструктурных объектов транспортных узлов в
условиях нечетких принципов параметризации», представленной на
соискание ученой степени кандидата технических наук**

Комиссия, рассмотрев результаты научных исследований диссертационной работы Е.Е. Мизгиревой, составила настоящий акт о том, что автором разработаны практические рекомендации позволяющие:

- 1 – выполнять оценку компоновочных решений инфраструктуры железнодорожного и транспортного узла;
- 2 – моделировать варианты размещения узловых объектов (транспортно-складских, производственных зон, селитебных и др. зон) на основе разработанного алгоритма и программного комплекса;
- 3 – использовать систему показателей узловых компоновочных решений по оценке эффективности вариантов размещения объектов транспортной и производственной инфраструктуры, которые позволяют принимать решения по перспективному развитию.

Результаты научных исследований имеют практическую значимость для повышения эффективности размещения, текущего содержания и управления инфраструктурными объектами в системе железнодорожного и транспортного узла.

Главный инженер Северо-Кавказской дирекции инфраструктуры

А.В.Коломийцев



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) 255-32-83, 245-06-13, E-mail: up_del@dep.rgups.ru
 ОКПО 01116006, ОГРН 1026103709499, ИНН/КПП 6165009334/616501001



Проректор по научной работе
 А.Н. Гуда
 2025 г.

АКТ

об использовании результатов диссертационного исследования
Мизгиревой Екатерины Евгеньевны «Формирование метода размещения
инфраструктурных объектов транспортных узлов в условиях нечетких принципов
параметризации» при выполнении научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся, директор научно-исследовательской части, к.т.н., доцент Носков В.Н., заместитель директора научно-исследовательской части, к.т.н., доцент Назаретов А.А., заведующий кафедрой «Станции и грузовая работа», д.т.н., профессор Числов О.Н. составили настоящий акт о том, что результаты диссертационного исследования на соискание ученой степени кандидата технических наук Мизгиревой Екатерины Евгеньевны использовались при подготовке отчета по результатам исследования, финансируемого грантом ОАО «РЖД», Фонд «Талант и успех», НТУ «Сириус» и РФФИ 20-38-51014

– «Методы цифровизации и интеллектуализации параметров логистического взаимодействия в системе «железнодорожная станция – порт» в условиях мультиагентности транспортно-технологических процессов» (договор № 01/21-93/, 2021 г.).

Авторский вклад Мизгиревой Екатерины Евгеньевны в работу заключался в формировании метода размещения инфраструктурных объектов транспортных узлов в условиях нечетких принципов параметризации на основе генетического компоновочного алгоритма инфраструктурных объектов транспортного узла.

Директор НИЧ
 ФГБОУ ВО РГУПС
 к.т.н., доц.

В.Н. Носков

Заместитель директора НИЧ
 ФГБОУ ВО РГУПС
 к.т.н., доц.

А.А. Назаретов

Заведующий кафедрой СГР
 ФГБОУ ВО РГУПС
 д.т.н., проф.

О.Н. Числов



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) 255-32-83, 245-06-13, E-mail: up_del@dep.rgups.ru
 ОКПО 01116006, ОГРН 1026103709499, ИНН/КПП 6165009334/616501001



Первый проректор ФГБОУ ВО РГУПС
 М.А. Кравченко
 «13» 06 2025 г.

АКТ

об использовании результатов диссертационного исследования Мизгиревой Екатерины
Евгеньевны «Формирование метода размещения инфраструктурных объектов
транспортных узлов в условиях нечетких принципов параметризации»
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, д.т.н., доцент Костюков А.В. составили настоящий акт о том, что результаты диссертационного исследования на соискание ученой степени кандидата технических наук Мизгиревой Екатерины Евгеньевны используются в учебном процессе по направлению 23.05.04 «Эксплуатация железных дорог», в дисциплинах «Общий курс железных дорог», «Железнодорожные станции и узлы», «Управление грузовой и коммерческой работой», 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 учебно-методических работах:

1. Расчет соединений путей и проектирование промежуточных станций: учебное пособие / О.Н. Числов, В.М. Задорожний, В.В. Хан, Т.В. Никонова, Е.Е. Мизгирева. ФГБОУ ВО «Рост. гос. ун-т путей сообщения». - Ростов н/Д, 2025. – 85 с.

2. Техничко-экономическое обоснование проектных решений развития железнодорожной инфраструктуры: учеб.-метод. пособие к курс. и дипломному проектир. / О.Н. Числов, М.Г. Украинцев, А.Ф. Котляренко, В.М. Задорожний, Е.Е. Мизгирева.; ФГБОУ ВО РГУПС. - Ростов н/Д : [б. и.], 2021. - 78 с.

3 Железнодорожные станции и узлы: системы автоматизированного проектирования и расчета: учеб. пособие /О.Н. Числов, В.В. Хан, В.М. Задорожний, Е.Е. Мизгирева. ФГБОУ ВО РГУПС. - Ростов н/Д : [б. и.], 2019. – 73 с.

Декан факультета «УПП»
 ФГБОУ ВО РГУПС,
 к.т.н., доцент

Начальник отдела «Д и А»
 ФГБОУ ВО РГУПС,
 д.т.н., доцент

И.А. Колобов

А.В. Костюков

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025663676

**ОП ГКУ 1.0 - Оптимизация параметров генетического
компоновочного алгоритма**

Правообладатели: **Числов Олег Николаевич (RU), Мизгирева
Екатерина Евгеньевна (RU), Луганченко Никита
Максимович (RU)**

Авторы: **Числов Олег Николаевич (RU), Мизгирева
Екатерина Евгеньевна (RU), Луганченко Никита
Максимович (RU)**

Заявка № 2025661784

Дата поступления 12 мая 2025 г.

Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ 29 мая 2025 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов