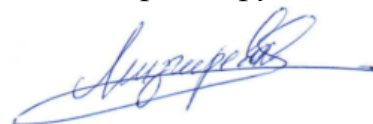


На правах рукописи



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

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ростов-на-Дону
2025

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

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

Официальные оппоненты – **Москвичев Олег Валерьевич**,
доктор технических наук, доцент, директор
Института управления и экономики ФГБОУ ВО
«Приволжский государственный университет
путей сообщения»;
Сидраков Александр Андреевич,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Железнодорожные станции и транспортные
узлы» ФГАОУ ВО «Российский университет
транспорта (МИИТ)»

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Петербургский государственный
университет путей сообщения Императора
Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС)

Защита состоится « 25 » ноября 2025 г. в 14:00 на заседании диссертационного совета 44.2.005.03 на базе ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» по адресу: 344038, Ростовская область, городской округ город Ростов-на-Дону, город Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, зд. 2 (главный корпус, читальный зал).

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

Автореферат разослан « ____ » _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 44.2.005.03
доктор технических наук, профессор

В. А. Финоченко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Проблематика компоновочных решений транспортных узлов представляет собой сложную, многогранную задачу с глубокими историческими корнями. В вопросе позиционирования узловых объектов и моделирования их взаимодействия важную роль играют 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, селитебными и рекреационными зонами, что подразумевает множество аспектов, включая объемы работы, количество пользователей, выбор маршрута, потребности в перевозках и т. д. Несмотря на прогрессивное развитие транспортной отрасли, по-прежнему остается проблемной задача рационального размещения узловых объектов, а также планирования и долгосрочного прогнозирования их последующего развития, связанного 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 развития методологического инструментария выбора компоновочных решений транспортных узлов, что свидетельствует об актуальности и целесообразности выполненных в диссертации научных исследований.

Степень разработанности темы исследования. 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. Земблинов, 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. Осьмина, 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.

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 цели работы поставлены 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.

Диссертация выполнена в рамках паспорта 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 в области проектирования и размещения узловых транспортных зон и объектов, экономико-математического моделирования, теории вероятностей и математической статистики, теории систем, теории графов, теории кластерного анализа, эволюционной теории, метода анализа иерархий 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 узла (СГП), коэффициента дивергенции и метода анализа иерархий.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке научных и развитии практических рекомендаций по совершенствованию оценки инфраструктуры 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.

Теоретическая и 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 форм организации узловых транспортно-технологических процессов.

Апробация работы. Основные положения диссертационного исследования докладывались на международных научно-практических конференциях: «Транспорт: наука, образование, производство» (Ростов-на-Дону, 2020–2024 гг.); «Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России» (Ростов-на-Дону, 2020 г.); «Современное развитие науки и техники» (Ростов-на-Дону, 2020 г.); «Транспорт и логистика» (Ростов-на-Дону, 2021–2024 гг.); «МехТрибоТранс» (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), «Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте» (г. Липецк, 2024 г.); юбилейной Международной научно-практической конференции, посвященной 150-летию академика В. Н. Образцова и 100-летию кафедр «ЖСиТУ» и «УЭРиБТ» (г. Москва, 2024 г.); на заседаниях кафедр «Станции и грузовая работа» ФГБОУ ВО РГУПС

(г. Ростов-на-Дону). Результаты диссертационного исследования были представлены на конкурсах: «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 РГУПС 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 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», при подготовке отчета по результатам исследования, финансируемого грантом ОАО «РЖД», Фонда «Талант и успех», НТУ «Сириус», проект РФФИ № 20-38-51014 «Методы цифровизации и интеллектуализации параметров логистического взаимодействия в системе «железнодорожная станция – порт» в условиях мультиагентности транспортно-технологических процессов» (2021 г.). Имеются акты внедрения.

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 РФ, 3 учебно-методических пособия в соавторстве.

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

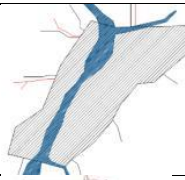
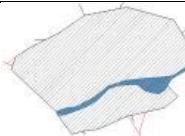
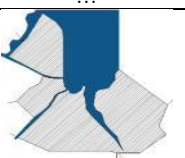
ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе «Транспортный узел как результат комплексной инфраструктурно-технологической интеграции» рассмотрена роль транспортных узлов юга России в системе путей сообщения страны, регионов, а также транспортных коридоров стран Черноморского и Прикаспийского бассейнов.

Специфические экономико-географические условия и исторические особенности развития наделяют транспортные узлы юга России уникальными инфраструктурно-технологическими характеристиками (табл. 1). В главе исследована проблема определения транспортного узла методами экспертного, 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.

Таблица 1 – Характеристика транспортных узлов юга России (фрагмент)

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, $T_g \times 100$	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
«К»		294	1107	400	400	133	79,2	36,3
«Р»		248	1138	400	500	134,9	83,4	26,9
...	...	...	...	...	...	...	...	...
«ВД»		182	168	400	300	62,3	42,1	26,4

Условные обозначения:  – область занимаемая ТУ;  – море
 – автомобильный подход;  – река;  – железнодорожный подход

С учетом новых технологических процессов предложено расширить классификацию ТУ и дополнить ее такими признаками, как уровень логистического сервиса, агломерационная роль, степень развития промышленного производства, тип центра скрещения транспорта, степень цифровизации, степень вовлеченности в международное транспортное производство. Проблематика компоновочных решений производственно-транспортно-складских объектов транспортных узлов представляет собой сложную, многофакторную задачу с глубокими историческими корнями. Выбор внутриузлового вида транспорта, в значительной степени диктуется типом внешнего транспорта, направлениями и объемами перевозок грузов и пассажиров 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 зоны – РЗ) (рис. 1).

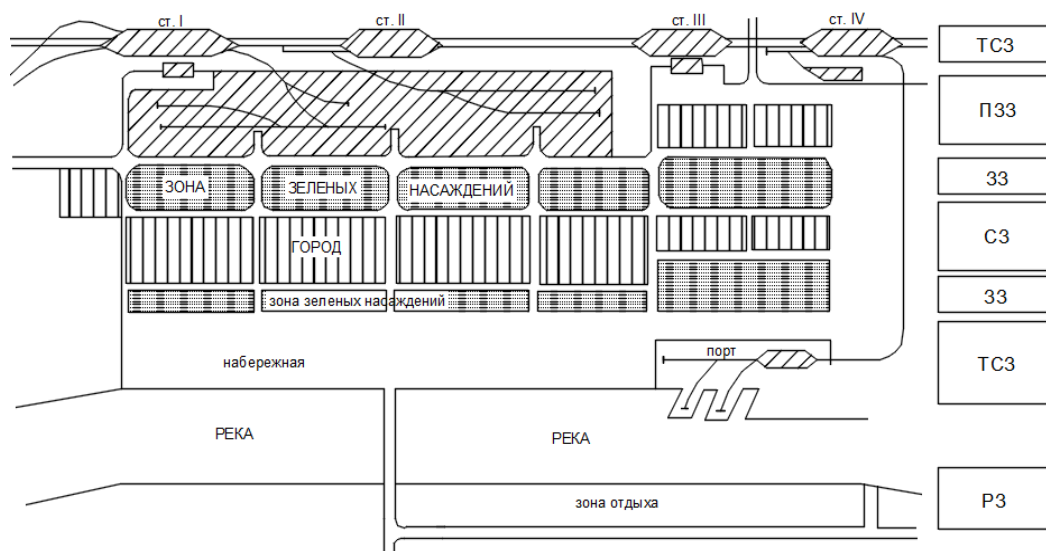


Рисунок 1 – Пример компоновки зон транспортного узла

Проблема усугубляется сложноформализуемыми факторами, такими как социальные аспекты, экономические и политические изменения. Многообразие возможных решений и взаимообусловленность разнородных факторов усложняют задачу размещения и развития узловых объектов, требуя разработки новых методов проектирования и размещения. Это определяет необходимость и последовательность диссертационного исследования (рис. 2).

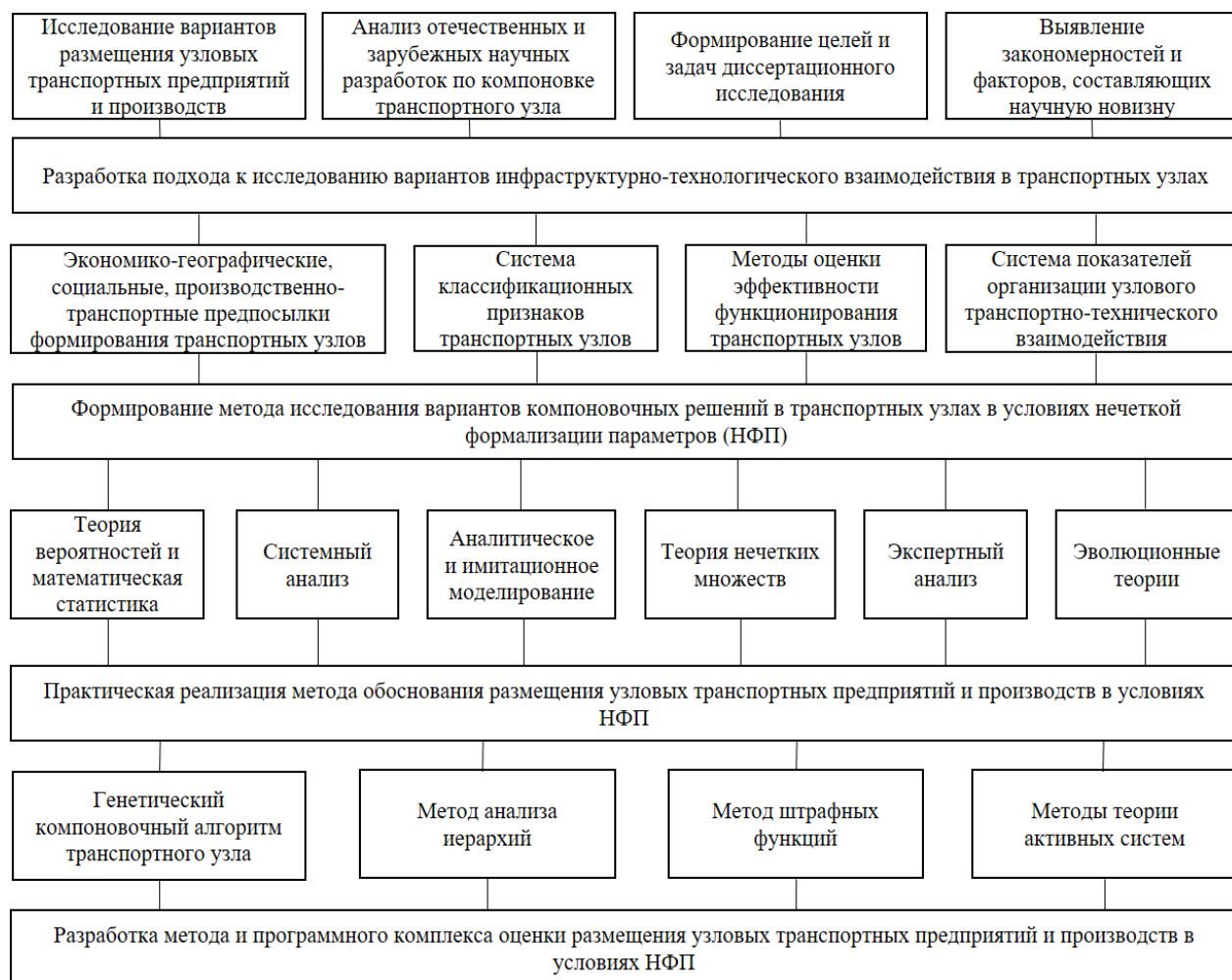


Рисунок 2 – Структура диссертационного исследования

Вторая глава «Теоретико-методологические основы проектирования и размещения инфраструктурных объектов транспортного узла» посвящена анализу существующих отечественных и зарубежных научных разработок по обоснованию компоновочных решений предприятий и производств в транспортном узле. Обзор методов и моделей показал наличие необходимости учета сложноформализуемых факторов в динамике развития транспортных узлов и нечеткости параметров взаимодействия различных компонентов.

Сформирована система показателей оценки размещения узловых объектов и предложено дополнительно оценивать компоновочные решения коэффициентом дивергенции CD (по аналогии метода кластерного анализа) согласно формуле

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

Коэффициент CD показывает, насколько далеко друг от друга находятся объекты (зоны) и являются ли они частью единой узловой системы. Чем меньше значение, тем однороднее система.

Систематизация задач и моделей узлового инфраструктурно-технологического взаимодействия представлена на рис. 3.

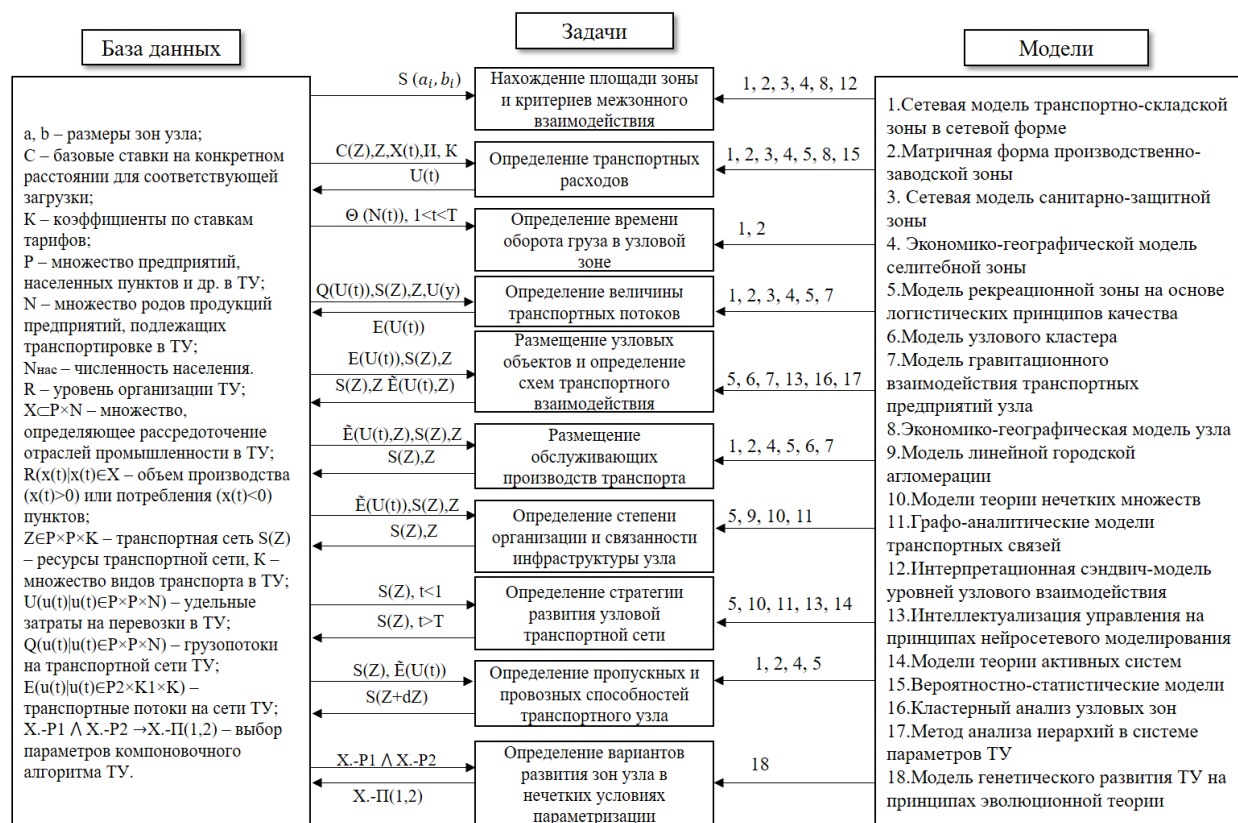


Рисунок 3 – Задачи и модели выбора форм узлового инфраструктурно-технологического взаимодействия

В результате проведенных исследований показателей ТУ в программной среде *MS Excel* рассчитан динамический балльный рейтинг структуры транспортного узла, основанный на критериях теории принятия решений. В результате предложена балльная система ТУ, включающая I класс (крупнейшие ТУ, $R = 81-100$ баллов), II класс (крупные, $R = 61-80$ баллов), III класс (большие, $R = 41-60$ баллов), IV класс (средние, $R = 21-40$ баллов) и V класс (малые, $R = 1-20$ баллов). Расчет балльных рейтингов исследуемых ТУ сведен в табл. 2.

Таблица 2 – Балльные значения рейтинга ТУ

ТУ	Критерий Лапласа	Критерий Вальда	Критерий Сэвиджа	Критерий Гурвица	Критерий Ходжа – Лемана	Баллы
«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
«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	

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 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. Расчет СГП выполняется на основе интегральной суммы параметров с учетом удельного «веса» критерия. Для окончательной обработки множества вариантов СГП использован метод анализа иерархий (МАИ).

Сформирована стратегия вариантов компоновочных решений узловых объектов согласно принципу блочно-модульного зонирования территории в условиях нечетких принципов параметризации (рис. 4).

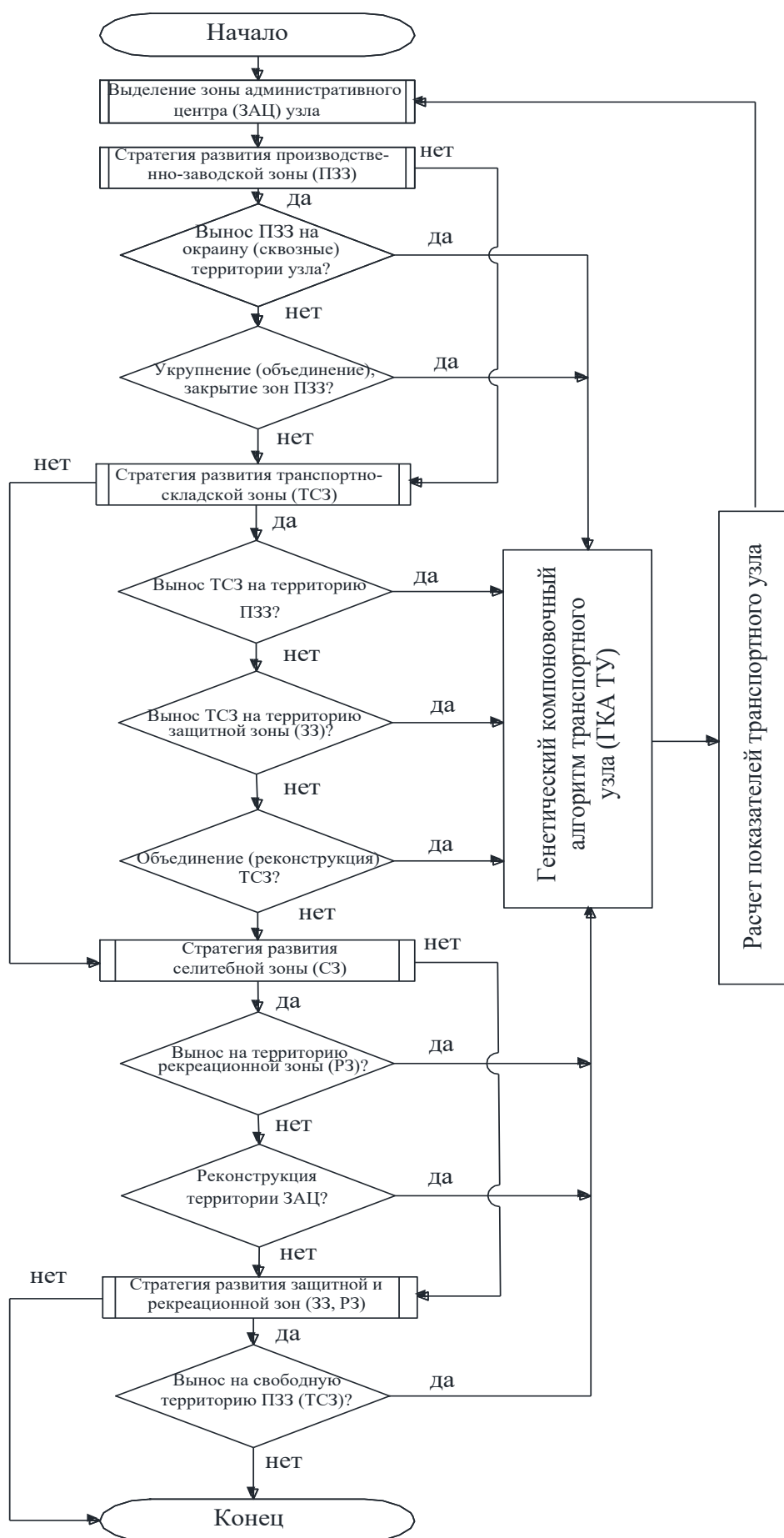


Рисунок 4 – Стратегия вариантов узловых компоновочных решений согласно блочно-модульному принципу зонирования

В третьей главе «Разработка метода размещения узловых зон и объектов в условиях нечеткой параметризации транспортных процессов» выполнена разработка авторского метода размещения узловых зон и объектов в условиях нечеткой параметризации транспортных процессов.

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 параметров и направлений 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 узла.

Функция имеет вид:

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

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 -зоны узла, пасс.; $A^T \{ \mu(L_{(CD)}^*) \}$ – матрица модифицированных расстояний перевозки грузов и пассажиров видов транспорта с учетом коэффициента дивергенции зоны узла; 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 транспортная задача по критериям:

1 – на заданной территории рационально разместить зоны (объекты, предприятия и производства) ТУ (применяются методы теории графов, экономико-математический метод, статистический и морфологический анализ);

2 – обеспечить рациональные показатели компоновочного решения при максимальных пропускных способностях транспортной инфраструктуры (методы теории принятия решений, теории систем и кластерного анализа);

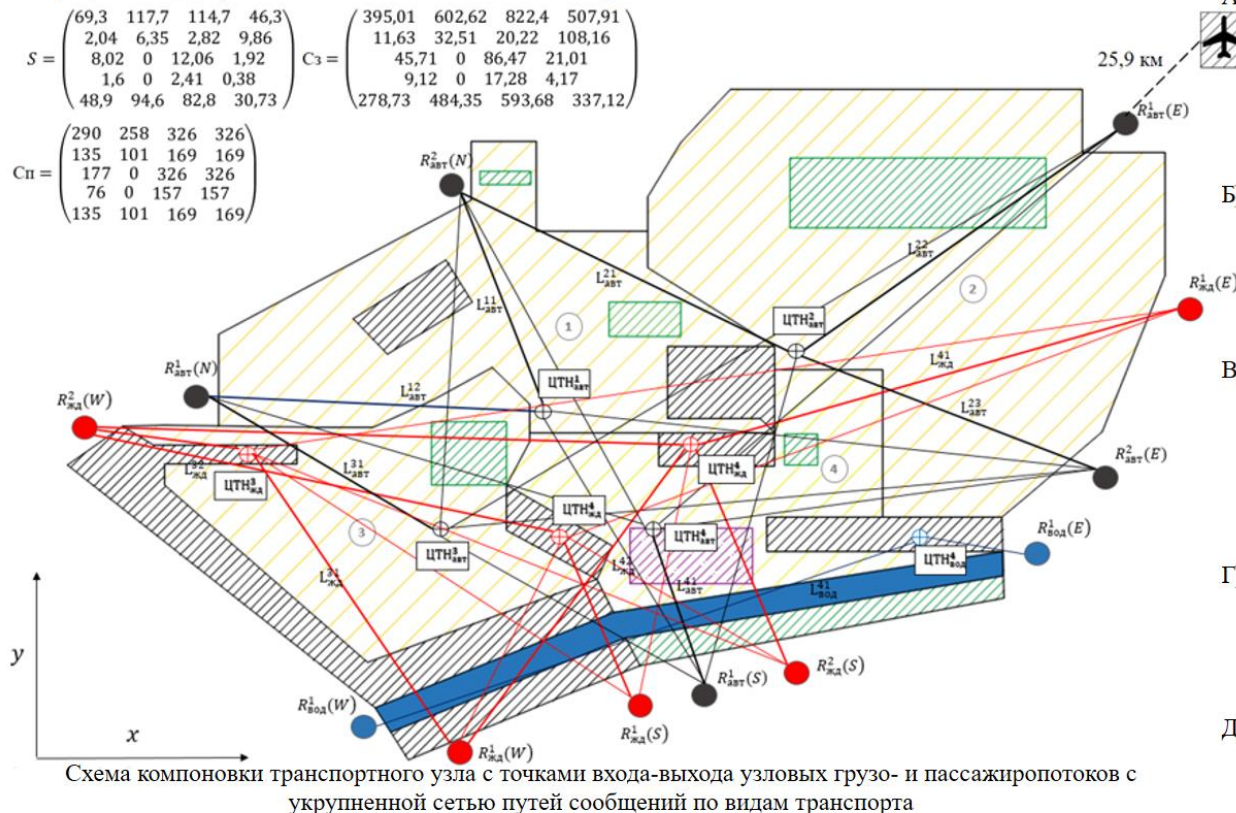
3 – учесть стратегии перспективного развития узловых зон и объектов, а также узла в целом (метод анализа иерархий, эволюционная теория, теория активных систем и нечетких множеств).

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 правильной (неправильной) геометрической формы, существующие количественные и качественные показатели зон (объектов), класс узла и др. (согласно статистическим данным Минтранса РФ, ЮФО, регионов и городов). 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 (рис. 5, поз. I).

Матрицы площадей, стоимостей земли и стоимостей перевозок

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

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



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 ² _{жд} (E)	13,7	2,2	11,8
R ¹ _{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

$$R_{\text{водн}}^2(W) \leftrightarrow \text{ЦТН}_{\text{водн}}^4 = 11,7 \text{ км,}$$

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

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

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

Рисунок 5 – Формирование массива данных инфраструктурных и транспортно-технологических параметров зон транспортного узла (на примере узла «Р»)

Примеры условных координатных матриц представлены на рис. 5, поз. 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).

В главе 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.

Выполнена модификация положений ГА для разрабатываемого ГКА ТУ: «популяция» – множество объектов транспортных зон с параметрами, соответствующими условиям проектирования и «размножения»; «размножение» – процесс получения новой транспортной зоны («потомка») на основе наследуемых параметров исходных двух зон («родитель1», «родитель2», «потомок1,2») при попарном комбинировании (сравнении) параметров; «мутация» – особый случай «размножения», связанный с принципиальной модификацией параметров зоны и перехода в новое качество в соответствии с заранее определенными критериями (стратегиями развития ТУ); «отбор» – выбор из «популяции» тех зон, которые соответствуют установленным критериям рациональности проектирования; «хромосома размещения» зон – (ХРЗ) представляет собой связанный список пар координат центров тяжести транспортных зон, участвующих в размещении; «хромосома модификации» зон – (ХМЗ) представляет собой связанный список параметров транспортных зон, участвующих в модификации; «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) новые (ОМП); «оператор рекомбинации» – вариант кроссинговера; «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 исследуются стратегии перестановок и стратегии «размножения» на основе сочетаний параметров зон «родителей» и зон «потомков» согласно алгоритму на рис. 6.

Например, согласно рис. 7 получены варианты – (1, 2), (1, 3), (2, 3), (3, 5), (3, 4), (4, 5), (1, 5), возможные нечеткие «мутации» – $\mu(1, 4)$, $\mu(3, 6)$, $\mu(5, 6)$, $\mu(4, 6)$, $\mu(2, 4)$. 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.

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) – 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» – « | ».

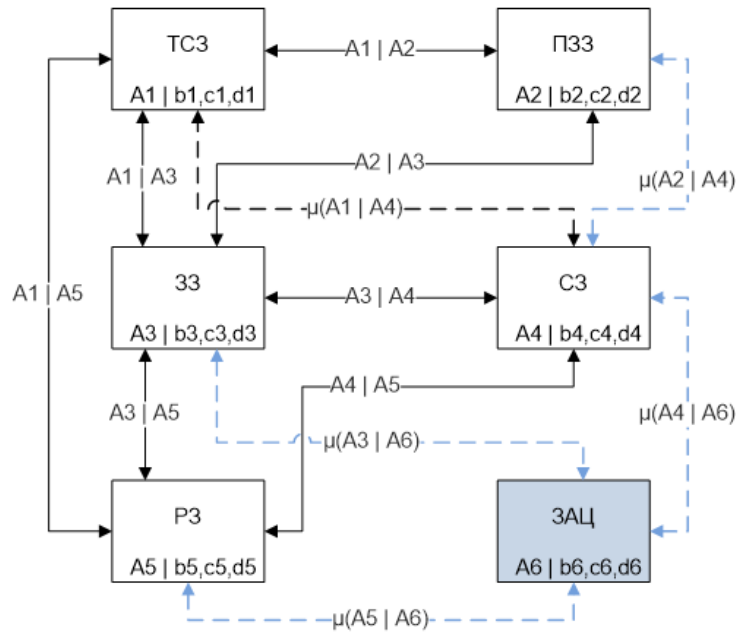


Рисунок 6 – Алгоритм «размножения» – объединения/перемещения зон ГКА ТУ (ЗАЦ – постоянная величина зоны административного центра узла)

При модификации объектов узла согласно ГКА ТУ «хромосома» зоны 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, общий вид вариантов выбора параметров для зон и их «потомка» – новой зоны «X.-P1 $\wedge$ X.-P2 $\rightarrow$ X.-П(1,2)» показан на рис. 7.

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

Рисунок 7 – Варианты выбора параметров для X.-P1 $\wedge$ X.-P2 $\rightarrow$ X.-П(1,2)

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).

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

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

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).

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»).

Аналитическая последовательность алгоритма ГКА ТУ подразумевает формирование и использование массивов данных ЛДУ зон (объектов) в несколько этапов: 1-й этап – решение ЛДУ; 2-й этап – поиск количества решений ЛДУ (параметры у коэффициентов принимают значения от 0 до $R_{\text{ТУ } i}$ и сводятся в табличную форму (табл. 3)); 3-й этап – отбор рациональных решений на основе комплексной оценки в последовательности (правило Парето → минимизация нулевых решений → метод центров тяжести); 4-й этап – выполнение операций с «потомками» зон согласно этапам (1–3).

Таблица 3 – 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
...	...	...	...	...	...	...
$R_{\text{ТУ } i-n}$	$N_a^{R_{\text{ТУ } i-n}}$	$N_b^{R_{\text{ТУ } i-n}}$	$N_c^{R_{\text{ТУ } i-n}}$	$N_d^{R_{\text{ТУ } i-n}}$	$N_d^{R_{\text{ТУ } i-n}}$	$N_f^{R_{\text{ТУ } i-n}}$
$R_{\text{ТУ } i}$	$N_a^{R_{\text{ТУ } i}}$	$N_b^{R_{\text{ТУ } i}}$	$N_c^{R_{\text{ТУ } i}}$	$N_d^{R_{\text{ТУ } i}}$	$N_d^{R_{\text{ТУ } i}}$	$N_f^{R_{\text{ТУ } i}}$

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.

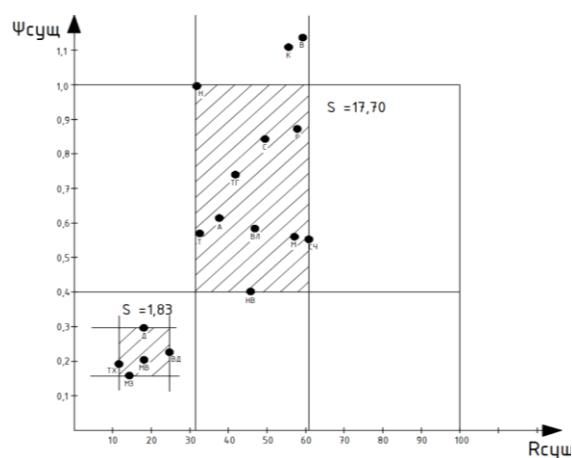
Для сортировки решений ЛДУ зон ТУ разработана авторская программная оболочка в среде *Python*. Определяются коэффициенты «выживаемости» (эффективности) зон-«потомков» на основе результатов решений ЛДУ и отклонений значений от исходных. Результаты с максимальными отклонениями результатов отбрасываются, и выполняется следующий цикл формирования массивов данных для новой зоны (зон).

Исходя из установленных принципов, в соответствии с которыми при «идеальных» условиях компоновки инфраструктуры рейтинг узла $R \rightarrow \max$, а коэффициент дивергенции $CD \rightarrow \min$, 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.

На рис. 8, *а* в табличной форме представлены параметры оценки ТУ по существующим вариантам размещения основных зон, на рис. 8, *б* – двумерное пространство выходных параметров. Из рис. 8 следует, что получено две области эффективности, площади которых составили: для малых узлов – $S_{\text{м}}^{\text{сущ}} = 1,83 \text{ ед.}^2$, для средних и больших узлов – $S_{\text{б}}^{\text{сущ}} = 17,70 \text{ ед.}^2$. При этом ТУ «К» и ТУ «В» выходят за общую область, т. е. имеют расположение объектов инфраструктуры в соответствии со степенью их развитости, $\psi_{\text{сущ}}(K, B) \rightarrow \max$.

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

а



б

Рисунок 8 – Оценка вариантов компоновки зон ТУ (существующий вариант):

а – ведомость параметров; *б* – области эффективности существующих вариантов размещения объектов инфраструктуры

«Плотность» 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 составила – $\rho_{\text{м}}^{\text{сущ}} = \frac{1,83}{5} = 0,366 \frac{\text{ед.}^2}{\text{ТУ}}$, $\rho_{\text{б}}^{\text{сущ}} = \frac{17,70}{10} = 1,77 \frac{\text{ед.}^2}{\text{ТУ}}$.

В четвертой главе «Апробация выбора рациональных компоновочных решений узловых зон и объектов (на примере узлов юга России)» представлены примеры расчета рациональных компоновочных решений узловых зон и объектов в условиях нечетких данных проектирования для семнадцати ТУ юга России согласно разработанному методу, алгоритму ГКА ТУ и программному комплексу ОП_ГКА_1.0. Пример матрицы ТУ «Р» с вариантами перемещения (объединения) зон «С-П» и «Р-Т», «Р-Г» и «Р-З» представлен на рис. 9. Получено уравнение поиска рациональных решений ЛДУ зоны «С-П»: $1 \cdot a(i) + 6 \cdot b(i) + 4 \cdot c(i) + 10 \times d(i) + 1 \cdot e(i) + 8 \cdot f(i) = 58$ (всего 8701 решение).

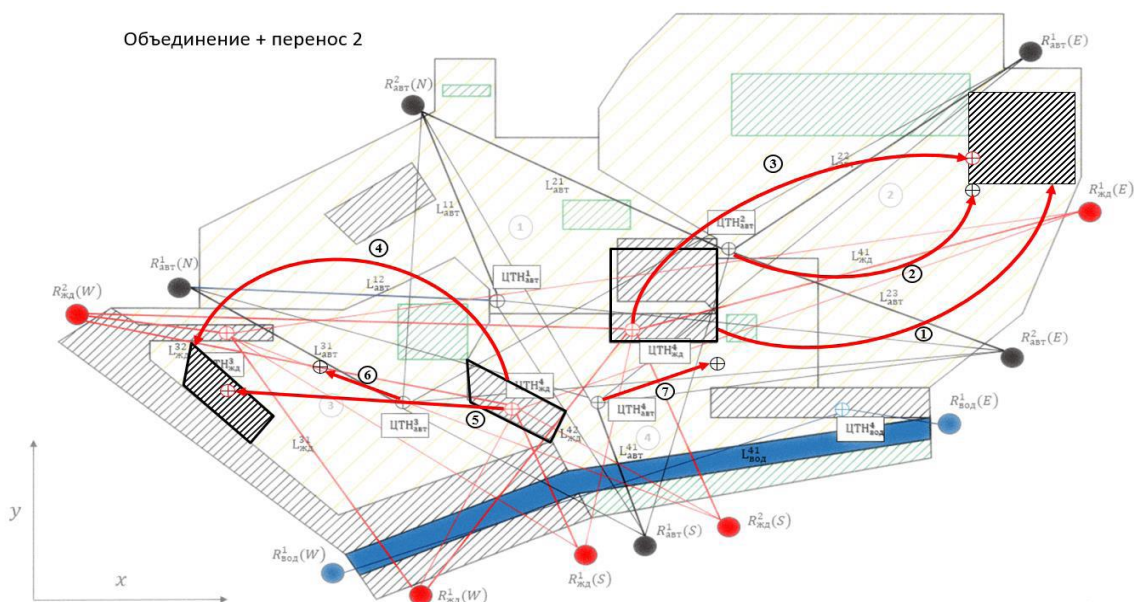


Рисунок 9 – Матрица ТУ «Р» с вариантами перемещения (объединения) зон «С-П» и «Р-Т», «Р-Г» и «Р-З»

В результате выполненных компоновок объектов семнадцати ТУ юга России выявлено 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. Наибольший рост баллов рейтинга у ТУ «Р» – увеличение баллов на +1,75 (+3,04 %), у ТУ «В» – увеличение баллов на +1,07 (+1,81 %), у ТУ «А» – увеличение 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 %). Составлена ведомость изменения показателей размещения объектов инфраструктуры ТУ (табл. 4).

Таблица 4 – Ведомость изменения показателей инфраструктур транспортных узлов

ТУ	$R_{\text{сущ}}$	$R_{\text{проект}}$	ΔR	% изме- нения R	$CD_{\text{сущ}}$	$CD_{\text{проект}}$	ΔCD	% изме- нения CD	$\Psi_{\text{сущ}}$	$\Psi_{\text{проект}}$
«СЧ»	60,88	60,07	–0,81	–1,33	0,11064	0,10243	–0,0082	–7,42	0,550	0,586
«В»	59,18	60,08	+1,07	+1,81	0,05219	0,05115	–0,0010	–2,00	1,134	1,151
«Р»	57,58	59,33	+1,75	+3,04	0,06603	0,06289	–0,0031	–4,76	0,872	0,943
«М»	57,1	57,11	+0,01	+0,02	0,10186	0,08963	–0,0122	–12,00	0,561	0,637
«К»	55,36	55,69	+0,33	+0,60	0,04996	0,04880	–0,0012	–2,32	1,108	1,141
«С»	49,52	48,77	–0,75	–1,51	0,05871	0,05778	–0,0009	–1,59	0,843	0,844
«ВЛ»	46,82	46,50	–0,32	–0,68	0,08042	0,09209	+0,0117	+14,52	0,582	0,505
«НВ»	45,76	45,62	–0,14	–0,31	0,11447	0,11301	–0,0015	–1,28	0,400	0,404
«ТГ»	41,62	40,75	–0,87	–2,09	0,05662	0,05618	–0,0004	–0,79	0,735	0,725
«А»	37,98	39,04	+1,06	+2,79	0,06186	0,06186	–0,0001	–0,003	0,614	0,631
«Т»	32,62	32,72	+0,1	+0,31	0,05721	0,05438	–0,0028	–4,91	0,570	0,602
«Н»	31,46	31,39	–0,07	–0,22	0,03152	0,02895	–0,0026	–8,14	0,998	1,084
«ВД»	24,74	24,89	+0,15	+0,61	0,11062	0,09973	–0,0109	–9,85	0,224	0,249
«МВ»	18,18	18,40	+0,22	+1,21	0,08972	0,08630	–0,0034	–3,82	0,203	0,213
«Д»	18,1	17,60	–0,5	–2,76	0,06108	0,06096	–0,0001	–0,20	0,296	0,289
«МЗ»	14,38	14,43	+0,05	+0,34	0,09127	0,08581	–0,0055	–5,98	0,157	0,168
«ТХ»	11,6	11,58	–0,02	–0,17	0,06044	0,05810	–0,0023	–3,88	0,192	0,199

Увеличение балльных рейтингов транспортных узлов подтверждает целесообразность выполненных перестановок инфраструктурных объектов. Хотя и снижение баллов у некоторых ТУ после компоновок не всегда свидетельствует об их значительном инфраструктурном ухудшении. Поскольку балльный рейтинг имеет динамический характер и зависит от всех исследуемых параметров ТУ, то на примере полученных улучшений параметров некоторых крупных ТУ незначительное улучшение для других ТУ может выглядеть как слабоэффективное в общей стратегии регионального развития. Это требует дальнейшего отдельного исследования таких ТУ в программе ОП ГКА v. 1.0 (свидетельство о регистрации программы ОП ГКА v. 1.0 № 2025663676 от 29.05.2025).

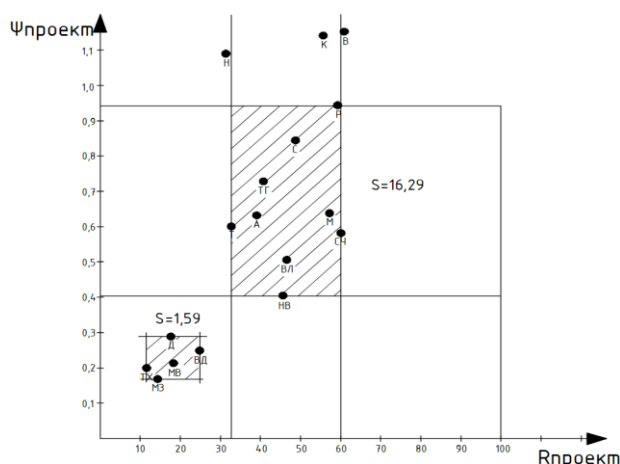


Рисунок 10 – Область эффективности проектных вариантов размещения объектов инфраструктуры ТУ

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 за км. Следует отметить, что данные результаты ожидаемы, так как перенос инфраструктурных зон (объектов) выполнялся в основном на окраины узла с приближением к входам магистральных транспортных коммуникаций.

Таблица 5 – Сводная ведомость показателей инфраструктур ТУ после выполненных перестановок объектов (зон)

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований позволяют сделать основные выводы:

1 Исследованы история развития и практический опыт формирования схем транспортных узлов на примере юга России. Предложено определять транспортный узел как «мультимодальный центр многокомпонентной системы логистически взаимодействующих видов транспорта, расположенной в пределах крупных городских агломераций и центров промышленного производства».

2 Расширена существующая классификация ТУ за счет новых признаков – уровня логистического сервиса, агломерационной роли, степени развития промышленного производства, типа центра скрещения транспорта, степени цифровизации, степени вовлеченности в международное транспортное производство.

3 Обзор отечественных и зарубежных научных разработок показал, что существующие методы компоновки узловой инфраструктуры недостаточно учитывают многовариантность 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 эволюционных подходах с учетом теорий системного анализа, активных систем, нечетких множеств, метода анализа иерархий.

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

5 Рассмотрено применение специального градостроительного показателя Р (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 транспортных связей, коэффициента связности узла и коэффициента эффективности системы, соответствия экологическим нормам.

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 зон и объектов, модифицирован понятийный аппарат ГКА ТУ, впервые решены линейные диофантовы уравнения (ЛДУ) применительно к оценке параметров узловых зон, разработан программный комплекс размещения инфраструктурных объектов.

7 Предложено использовать расширенную систему показателей узловых компоновочных решений на основе балльного рейтинга, коэффициента Энгеля, коэффициента дивергенции, площадей и «плотности» областей эффективности вариантов размещения объектов инфраструктуры (по Парето).

8 В результате компоновочных решений для семнадцати ТУ юга России получено, что 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; 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); динамика уменьшения коэффициентов дивергенции узлов говорит о повышении однородности расположения объектов, что является признаком сбалансированного развития; 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; 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 тыс. руб/т-км до 613,9 тыс. руб/т-км, а для средних и больших ТУ – от 800,9 тыс. руб/т-км до 5717,25 тыс. руб/т-км.

Рекомендации и перспективы дальнейших исследований по теме:

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 балльный рейтинг.

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 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.

Основное содержание диссертационного исследования отражено в публикациях

Научные работы, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. 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

2 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, № 1. – С. 32–46. – DOI 10.20295/1815-588X-2025-1-32-46.

3 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.

4 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.

5 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.

Публикации в журналах и научных сборниках:

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

7 Мизгирева, Е. Е. Вариант оценки инфраструктурно-технологических показателей железнодорожных узлов / Е. Е. Мизгирева // Современное развитие науки и техники : сборник трудов Всероссийской национальной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону, 2020. – С. 241–244.

8 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.

9 Мизгирева, Е. Е. Автоматизация технологических процессов Ростовского транспортного узла на основе метода морфологического ящика / Е. Е. Мизгирева, А. О. Полунина // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 3 (56). – С. 23–27. – ISSN 1818-5509.

10 Мизгирева, Е. Е. Метод графоаналитического моделирования узловой транспортной инфраструктуры / Е. Е. Мизгирева // Транспорт и логистика: актуальные проблемы стратегического развития и оперативного управления сборник трудов VI Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону, 2022. – С. 127–131.

11 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 конференции. – Ростов-на-Дону, 2022. – С. 85–89.

12 Мизгирева, Е. Е. Варианты оценки возможности цифровой трансформации технологических процессов транспортных узлов / Е. Е. Мизгирева, Н. М. Луганченко, С. А. Колошин // Цифровые технологии транспорта и логистики : сборник трудов Международной научно-практической конференции. – Москва, 2022. – С. 28–34.

13 Мизгирева, Е. Е. Исследование параметров транспортных узлов / Е. Е. Мизгирева // Транспорт: наука, образование, производство (Транспорт-2022) : сборник трудов Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону, 2022. – С. 253–257.

14 Мизгирева, Е. Е. Исследование многовариативности понятия «транспортный узел» / Е. Е. Мизгирева // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 3 (60). – С. 59–63. – ISSN 1818-5509.

15 Общие принципы аксиоматики узловых транспортных процессов / Н. М. Луганченко, Е. Е. Мизгирева, А. О. Полунина, Е. В. Дараселия // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 3 (60). – С. 53–58. – ISSN 1818-5509.

16 Мизгирева, Е. Е. Анализ влияния внедрения высокоскоростных магистралей в Ростовскую городскую агломерацию / Е. Е. Мизгирева // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. – 2022. – С. 159–164. – ISSN 2664-5025.

17 Числов, О. Н. Классификационные признаки транспортных узлов на этапах развития и их параметризация / О. Н. Числов, Е. Е. Мизгирева // Транспорт и логистика: развитие в условиях глобальных изменений потоков : сборник трудов VII Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону, 2023. – С. 400–403.

18 Мизгирева, Е. Е. К вопросу оценки пространственно-планировочных и инфраструктурно-технологических показателей транспортных узлов / Е. Е. Мизгирева, Т. В. Никонова // Транспорт: наука, образование, производство (Транспорт-2023) : сборник трудов Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону, 2023. – С. 267–271.

19 Числов, О. Н. Компонентные решения мультимодальных транспортных узлов для обеспечения заданных пропускных способностей инфраструктуры / О. Н. Числов, Е. Е. Мизги-

рева // Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах» (РИ-ЛТТРАНС-2023) : сборник трудов V Международной научно-практической конференции. В 2 ч. Ч. 1. – Санкт-Петербург, 2023. – С. 215–225.

20 Мизгирева, Е. Е. Параметризация транспортных узлов / Е. Е. Мизгирева, О. Н. Числов // Транспорт и логистика: развитие в условиях глобальных изменений потоков : : сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону, 2024. – С. 200–203.

21 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 трудов Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону, 2024. – С. 194–198.

22 Числов, О. Н. Принципы интеллектуализации в прикладных задачах моделирования железнодорожных транспортно-технологических процессов / О. Н. Числов, Н. М. Луганченко, Е. Е. Мизгирева // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте : сборник статей Международной научно-практической конференции. – Липецк, 2024. – С. 399–404.

23 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.

Учебно-методические пособия:

24. Расчет соединений путей и проектирование промежуточных станций : учебное пособие / О. Н. Числов, В. М. Задорожный, В. В. Хан, Т. В. Никонова, Е. Е. Мизгирева ; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2025. – 85 с.

25. Техничко-экономическое обоснование проектных решений развития железнодорожной инфраструктуры: учебно-методическое пособие к курсовому и дипломному проектированию / О. Н. Числов, М. Г. Украинцев, А. Ф. Котляренко, В. М. Задорожный, Е. Е. Мизгирева ; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов-на-Дону: [б. и.], 2021. – 78 с.

26. Железнодорожные станции и узлы: системы автоматизированного проектирования и расчета : учебное пособие / О. Н. Числов, В. В. Хан, В. М. Задорожный, Е. Е. Мизгирева ; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов-на-Дону : [б. и.], 2019. – 73 с.

Личный вклад соискателя. Основные положения и результаты исследований самостоятельно получены автором. Статьи [1, 6–8, 10, 11, 13, 14, 16] подготовлены единолично. Личный вклад автора в работах, опубликованных в соавторстве: [2–5, 9, 12, 15, 17–26] – постановка задач исследований, проведение расчетов, обработка и обобщение полученных результатов.

Мизгирева Екатерина Евгеньевна

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

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

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

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

Адрес университета: 344038, Ростовская область, г. о. город Ростов-на-Дону,
г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, зд. 2,
www.rgups.ru