

Хан Владимир Васильевич

**РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ СТРУКТУР
И ОРГАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЗЛОВ**

Специальность: 05.22.01 – 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

2017

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

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

Официальные оппоненты: Ефименко Юрий Иванович,
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Железнодорожные станции и узлы» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»

Рахмангулов Александр Нельевич,
доктор технических наук, доцент, профессор кафедры логистики и управления транспортными системами ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II»

Защита состоится « 22 » мая 2017 г. в 14.00 на заседании диссертационного совета Д 218.010.01 при ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» по адресу: 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. им. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО РГУПС по адресу: 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. им. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2 и на сайте <http://www.rgups.ru>

Автореферат разослан « ____ » _____ 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 218.010.01
доктор технических наук, профессор

В.А. Соломин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Железнодорожный транспорт является источником и предпосылкой успехов экономического развития страны. Известно, что его важнейшими звеньями в организации и пропуске поездопотоков являются железнодорожные станции и узлы – высшая ступень инфраструктурной и транспортной интеграции.

В отечественной транспортной науке принята классификация железнодорожных узлов по многим признакам: характеру эксплуатационной работы, географическому расположению, численности населения, характеру производительных сил, схеме размещения основных устройств (геометрическому очертанию) и системе управления.

Однако в настоящее время имеет место объединение в железнодорожных узлах специализированных по характеру работы станций, не наследующих признаков целостной системы и имеющих недостатки: малоэффективные технологические связи отдельных узловых станций, отсутствие обходов узлов для пропуска транзитных потоков. Принятое деление узлов по геометрическому размещению станций не в полной мере отражает особенности технологии работы: направление внутриузловых поездопотоков; интенсивность работы; соотношение грузовых и пассажирских перевозок; степень взаимодействия с другими видами транспорта; уровень обслуживания предприятий, производств и населения; возможность автоматизации систем управления; влияние на окружающую природную среду и т.п. Следует также отметить, что на современном этапе проектирования узловых элементов еще используются эмпирические подходы. Это вызвано рядом факторов: дефицитом времени или экстремальными условиями решения задачи; возможной социально-политической неопределенностью среды функционирования проектируемых транспортно-технологических систем узла; отсутствием достаточно достоверных статистических данных, характеризующих исследуемый объект; необходимостью долгосрочного прогнозирования размещения новых объектов отраслей промышленности, подверженных сильному влиянию научно-технического прогресса и открытиям в фундаментальных науках.

Набор столь важных факторов актуализирует необходимость расширения методологического инструментария оценки структур и уровней организации транспортно-технологических процессов железнодорожных узлов с уточнением классификационных признаков.

Степень разработанности проблемы. Российский опыт разработки генеральных схем железнодорожных узлов был накоплен в результате огромной работы, проделанной научно-исследовательскими и проектными институтами (АО «ИЭРТ», ФГБУ «НЦКТП Минтранса России» и другими проектными институтами 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.И. Апатцев, В.В. Багинова, А.С. Балалаев,

С.С. Берлянд, С.П. Бузанов, С.П. Вакуленко, А.А. Волнин, А.С. Гельман, А.С. Герасимов, В.Н. Дегтяренко, А.Т. Дерибас, П.Ф. Дубинский, Б.Б. Жардемов, С.В. Земблинов, В.Н. Зубков, Ю.И. Ефименко, В.П. Клепиков, К.П. Костенецкий, И.И. Костин, П.В. Куренков, П.А. Козлов, Б.А. Лёвин, А.Я. Локтев, Э.А. Мамаев, В.Н. Морозов, В.Д. Никитин, В.Н. Образцов, Ю.О. Пазойский, Н.В. Правдин, В.А. Персианов, Ф.С. Пехтерев, А.Н. Рахмангулов, К.Ю. Скалов, Н.С. Усков, О.Н. Числов, В.А. Шаров, Ф.И. Шаульский, М.И. Шмудевич и др.

Тем не менее, структуры и уровни организации транспортно-технологических процессов железнодорожных узлов исследованы недостаточно, разработанная еще в 50-60 годах прошлого века системная классификация узлов так и не претерпела изменений с развитием информационно-логистических и транспортных технологий и учетом их влияния на схемные решения узлов. Таким образом, требуется новый подход к оценке структур и уровней организации транспортно-технологических процессов железнодорожных узлов на основе модифицированных критериев оценки и новой системной классификации, что обусловило выбор темы, постановку цели и задач исследования.

Целью диссертационной работы является развитие методов определения рациональных структур, уровней организации узловых транспортно-технологических процессов и разработка новой классификации железнодорожных узлов.

Для достижения поставленной цели были поставлены и решены следующие **задачи**:

- Выполнить анализ отечественного и зарубежного опыта проектирования железнодорожных и транспортных узлов.
- Исследовать схемы и существующие показатели оценки уровней организации транспортной работы узловых структур.
- Разработать критерии оценки транспортной работы узлов.
- Исследовать устойчивость узловых структур.
- Разработать метод комплексной динамической оценки рейтинга структур и размеров транспортной работы железнодорожных узлов.
- Сформировать системную классификацию узлов и программный комплекс их оценки.

Объектом исследования являются схемы железнодорожных узлов и узловые транспортно-технологические процессы в рамках единой системы организации грузовых и пассажирских перевозок.

Предмет исследования – теоретико-методологические подходы к систематизации и оценке структур железнодорожных узлов и узловых транспортно-технологических процессов.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности 05.22.01 – «Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте»: п. 1. «Транспортные системы и сети страны, их структура, технологии работы. Оптимальная структура подвижного состава», п. 5. «Организация и технология

транспортного производства. Управление транспортным производством. Оптимизация размещения транспортных предприятий и производств».

Теоретико-методологической основой исследования явились научные работы ученых в области проектирования инфраструктуры железнодорожного транспорта, экономико-математического программирования, теории вероятностей и математической статистики, теории массового обслуживания, теории систем, теории графов, теории надежности, сетевого планирования, а также законодательные, нормативные и программные документы РФ по вопросам государственной транспортной политики, отчетные и статистические данные Министерства транспорта России, ОАО «РЖД», Северо-Кавказской железной дороги – филиала ОАО «РЖД», публикации ученых и специалистов железнодорожного транспорта, результаты авторских исследований.

Положения, выносимые на защиту:

- Параметры устойчивости узловых структур на основе энтропийного и графоаналитического подходов.
- Система критериев оценки организации транспортной работы узлов.
- Математическая модель оценки узловых структур на основе динамического коэффициента балльного рейтинга.
- Система классификации узловых структур на основе пяти классов: малые, средние, крупные (2-й тип), крупные (1-й тип), крупнейшие узлы.
- Метод оценки эффективности узловых структур.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке и развитии методов оценки структур и транспортно-технологических процессов железнодорожных узлов для повышения качества компоновочных решений и надежности работы узловой инфраструктуры в условиях неравномерности грузопотоков:

- Развита методика исследований в области оценки структур железнодорожных узлов, учитывающие транспортно-технологические процессы и потенциал инфраструктуры.
- Предложены модели и алгоритмы определения лимитирующих участков железнодорожных узлов, позволяющие принимать стратегические решения по развитию узловой инфраструктуры.
- Сформирован метод оценки структур железнодорожных узлов и разработана новая системная классификация узлов по уровням транспортной работы.
- Разработаны алгоритм и программный комплекс оценки уровня развития узловой инфраструктуры, транспортно-технологических процессов с учетом структурных и объемных изменений грузопотоков в условиях ограниченности инвестиционных ресурсов.

Практическая ценность научных результатов состоит в возможности использования методологического аппарата диссертационного исследования региональными органами власти в области транспорта, дирекциями управления движением и дирекциями инфраструктуры ОАО «РЖД» при подготовке, оценке, реализации инфраструктурных проектов развития железнодорожных

узлов и выборе рациональных форм организации узловых транспортно-технологических процессов.

Апробация работы. Основные положения диссертационного исследования докладывались на международных научно-практических конференциях: «Транспорт – 2013», «Транспорт – 2014», «Транспорт – 2015», «Транспорт – 2016» (Ростов-на-Дону, 2013, 2014, 2015, 2016 г.); «Наука и современность: вызовы XXI века» (Киев, 2014 г.); «Современные аспекты транспортной логистики» (Хабаровск, 2014 г.); «Перспективы развития и эффективность функционирования транспортного комплекса Юга России» (Ростов-на-Дону, 2014 г.); «Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах» (Санкт-Петербург, 2015 г.); «EurasiaScience» (Пенза, 2015 г.); «Транспортные системы: тенденции развития» (Москва, 2016), заседаниях кафедр «Станции и грузовая работа» ФГБОУ ВО РГУПС (г. Ростов-на-Дону), «Железнодорожные станции и узлы» ФГБОУ ВО МГУПС (г. Москва), «Железнодорожные станции и узлы» ФГБОУ ВО ПГУПС (г. Санкт-Петербург).

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 формы обучения. Также результаты исследования были использованы при подготовке научно-исследовательских отчетов для Северо-Кавказской Дирекции управления движением – филиала Центральной дирекции управления движением ОАО «РЖД». Имеются акты внедрения результатов исследования.

Публикации. Основное содержание диссертации и результаты исследования опубликованы в 14 научных работах общим объемом 17,79 п.л. (авторских - 7,18 п.л.), в том числе 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации, и 1 монография.

Структура и объем работы определены целью и задачами, поставленными и решенными в ходе исследования. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка из 135 наименований и 3 приложений. Работа изложена на 163 страницах основного текста, содержит 40 рисунков, 31 таблицу.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе «Железнодорожный узел – как основа регионального транспортного и социально-экономического развития» рассмотрены функции и структуры исследуемых железнодорожных узлов. Эмпирической базой иссле-

дований является железнодорожная инфраструктура Северо-Кавказского экономического региона (СКЭР) в рамках Северо-Кавказской железной дороги (СКЖД) – филиала ОАО «РЖД» (рис. 1).

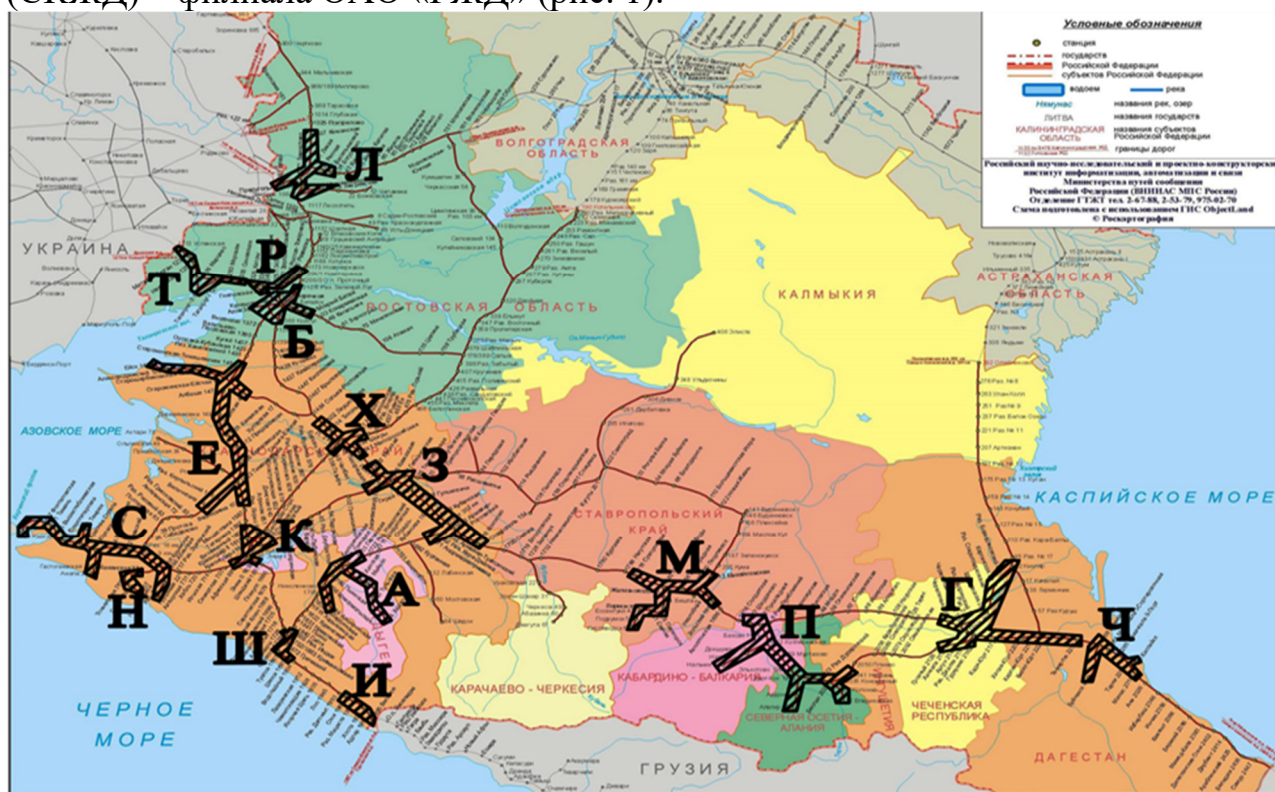


Рисунок 1 – Схема транспортных областей узлового железнодорожного обслуживания на полигоне СКЖД – филиал ОАО «РЖД»

Были исследованы схемы и классификационные признаки 17 железнодорожных узлов СКЖД, обслуживающих 9 субъектов Российской Федерации. В их состав входят более 200 станций, в том числе: 4 сортировочных (Батайск, Краснодар-Сортировочный, Лихая, Тихорецкая), 20 участковых, 53 грузовых, 116 промежуточных (табл. 1).

Таблица 1 – Инфраструктурные показатели узлов

Наименование узла	Количество станций	Протяженность перегонов узла, км	Количество приемо-отправочных путей	Количество сортировочных путей
1	2	3	4	5
Ростовский (Р)	10	62	64	59
Батайский (Б)	7	296	74	62
Таганрогский (Т)	8	104	33	25
Лиховской (Л)	9	99	98	34
Минераловодский (М)	10	151	57	20
Прохладнинский (П)	12	206	52	27
Гудермесский (Г)	13	225	65	19
Махачкалинский (Ч)	6	90	39	31

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
Краснодарский (К)	9	80	50	47
Кавказский (З)	12	142	97	33
Тихорецкий (Х)	7	64	64	31
Новороссийский (Н)	4	37	30	45
Крымский (С)	12	246	45	25
Туапсинский (Ш)	6	49	31	8
Белореченский (А)	10	133	50	12
Сочинский (И)	8	83	48	0
Тимашевский (Е)	10	251	50	18

Анализ геометрических очертаний узлов СКЖД показал, что схемы большинства узлов относятся к последовательному или комбинированному типу (для крупных узлов) с радиальными или Т-образными примыканиями. Следует отметить, что существующая классификация (рис. 2) не учитывает уникальные особенности конкретной узловой структуры, вызывающие ряд проблемных вопросов (рис. 3). Для решения поставленной задачи необходима разработка новой системы оценки параметров узловых структур.

Классификационные признаки железнодорожных узлов	
По системе управления	Объединенные
	Раздельные
По размеру населенного пункта	С малыми и средними городами
	С большими городами
	С крупными городами
	Со сверхкрупными городами
По географическому признаку расположения	Сухопутные
	На берегах морей
	На берегах судоходных рек
	На озерах и искусственных водоемах
По характеру эксплуатационной работы	Транзитные с небольшим объемом сортировочной работы без тягового обслуживания (проходные)
	Транзитные с небольшим объемом сортировочной работы с большой местной работой и транзитными перевозками (конечные)
	Перевалочные
	Перегрузочные
	Промышленные
По характеру производительных сил	В районах с местной промышленностью
	В районах с крупной добывающей промышленностью
	В районах с обрабатывающей промышленностью
По геометрическому очертанию	С одной станцией
	Крестообразные
	Треугольные
	С параллельным расположением станций
	С последовательным расположением станций
	Радиальные
	Тупиковые
	Кольцевые
	Радиально-полукольцевые
	Комбинированные

Рисунок 2 – Классификационные признаки железнодорожных узлов

Проблемные вопросы в организации транспортно-технологических процессов и классификации железнодорожных узлов	
Многовариантность схем и неоднозначность классификационных признаков	Множество вариантов схем узлов
	Уникальность схемы узла
	«Размытость» классификационных признаков
Сложность структур управления	Разнородность объектов управления
	«Форс-мажорный» и человеческий фактор
	Многоуровневые структуры
	Неявное проявление взаимосвязей
Трудоемкость математического описания	Множество параметров и ограничений
	Неявное задание функций
	Слабо оптимизируемые решения
	Ошибки в прогнозах развития
Особенность транспортной работы	Многообразие транспортных процессов
	Рыночная конкуренция
	Взаимодействие с другими транспортными системами
	Операторский парк подвижного состава
	Многовариантность показателей работы
	Вероятностный характер процессов
Инфраструктурно-технологические нарушения	Недостаточная пропускная способность
	Недостаточная перерабатывающая способность
	Инфраструктурные нарушения (короткая длина приемо-отправочных путей, недостаточное путевое развитие, устаревшие системы управления перевозками и т.п.)
Отдаленность результатов перспективного технологического развития	Линии ВСМ
	Мультимодальные перевозки
	Информационно-логистическое сопровождение
	Терминальное распределение грузов
	Новые системы управления и организации перевозок

Рисунок 3 – Проблемные вопросы в классификации железнодорожных узлов

Во второй главе «Методы исследования структур и организации транспортных процессов железнодорожных узлов» представлены результаты отечественного и зарубежного опыта проектирования схем узлов, описаны существующие методы исследования путевого развития и транспортных процессов железнодорожных узлов.

Было установлено, что создание методов оценки узловых структур и степени организации транспортно-технологических процессов возможно на принципах рациональности схемных решений, требующих создания новых критериев оценки на основе энтропийного и графоаналитического подходов, статистических методов, теории вероятностей, массового обслуживания и системного анализа.

Энтропийный подход описывает вероятностные показатели происходящих в железнодорожных узлах процессов, для характеристики которых использовано понятие «относительная организация» R . Уровень организации железнодорожной системы определяется, как:

$$R = 1 - \frac{H}{H_{max}}, \quad (1)$$

где R – уровень относительной организации системы или «избыточность»,
 H – текущее значение неопределенности системы,
 H_{max} – максимально возможная неопределенность системы.

Изменение уровня организации системы характеризуется изменением ее неопределенности, мерой степени которой может быть принята энтропия, определяемая по формуле:

$$H = -\sum_{i=1}^n P(A_i) \log_2 P(A_i), \quad (2)$$

где A_i – состояние системы,
 $P(A_i)$ – вероятностный показатель состояния системы ($i = 1, 2, \dots, n$),
 n – количество возможных состояний системы.

Каждую подсистему можно характеризовать энтропией двух случаев: вероятностью безотказной работы p и вероятностью отказа (задержек) $q=1-p$:

$$H = -(p \cdot \log_2 p + q \cdot \log_2 q). \quad (3)$$

При последовательном соединении надежности $p_1, p_2, \dots, p_n$ блоков приводят к следующей надежности P системы: $P = p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_n$. В случае параллельного соединения надежности $p_1, p_2, \dots, p_n$ блоков надежность P' системы равна: $P' = 1 - (1 - p_1) \cdot (1 - p_2) \cdot \dots \cdot (1 - p_n)$.

Максимальная неопределенность (энтропия) системы равна:

$$H_{max} = \log_2 n. \quad (4)$$

Были изучены труды отечественных ученых в области проектирования транспортно-технологических систем узлов, а также история и опыт развития крупных зарубежных железнодорожных узлов (Парижский, Берлинский, Нью-Йоркский, Брюссельский и др.). Анализ показал, что существующая методология классификации узловых структур требует развития на основе методов теории принятия решений.

Методы теории принятия решений позволяют находить эффективные решения при качественном сравнении узловых структур, которое необходимо для формирования классов узлов. В диссертационной работе были использованы следующие критерии принятия решений: критерий Гурвица, критерий произведений и модифицированный критерий Гермейера.

Критерий Гурвица (*HW*-критерий):

$$K_i = c \cdot \min_j \{a_{ij}\} + (1 - c) \cdot \max_j \{a_{ij}\}, \quad (5)$$

где K_i – значение критерия для узла i ,
 a_{ij} – значения параметра j для узла i ,
 c – оценка («вес»), определяющий уровень пессимизма лица, принимающего решение, $c \in [0; 1]$.

Критерий произведений (*P*-критерий):

$$K_i = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m a_{ij}}, \quad (6)$$

где m – количество учитываемых показателей.

Модифицированный *G(mod)*-критерий Гермейера имеет вид:

$$K_i = \min_i \left\{ a_{ij} \cdot \frac{1}{q_{ij}} \right\}, \quad (7)$$

$$0 < q_{ij} < 1; \sum_j q_{ij} = 1.$$

где q_{ij} – субъективная оценка значимости параметра j для узла i .

В третьей главе «Разработка метода оценки структур и уровней организации узловых транспортно-технологических процессов» предложен метод оценки структур и уровней организации узловых транспортно-технологических процессов на основе энтропийного и графоаналитического подходов с применением авторских модифицированных показателей организации транспортного производства. На базе схем узлов были разработаны графы и вероятностные модели узлов (рис. 4).

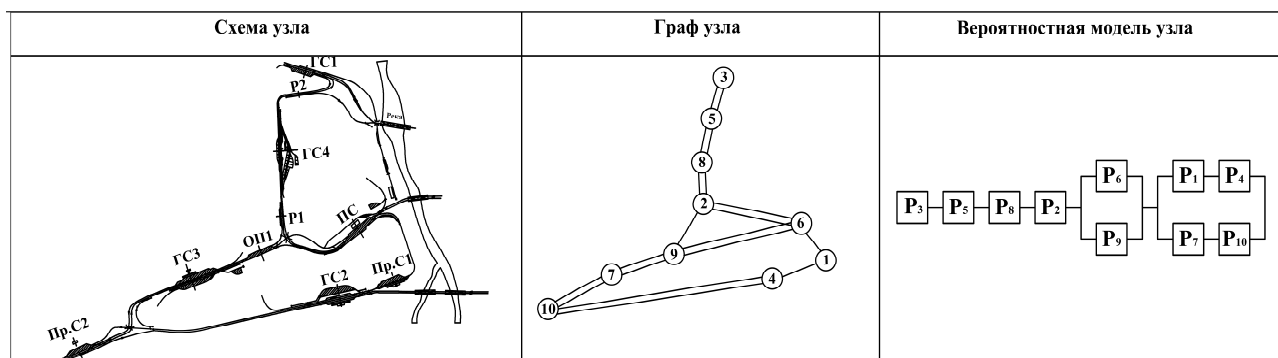


Рисунок 4 – Схема, граф и вероятностная модель железнодорожного узла «Р»

Для характеристики графа узла были рассчитаны коэффициенты связности и достижимости.

Коэффициент связности K_s узла характеризует насыщенность узла связями, его «прочность» по отношению к возможным внешним воздействиям:

$$K_s = \frac{\sum_{i=1}^n \deg x_i}{n}, \quad (8)$$

где $\sum_{i=1}^n \deg x_i$ – сумма степеней (связей) всех станций в узле,

n – количество станций узла.

Коэффициент достижимости K_d – важная характеристика устройства железнодорожного узла, отражающая «скорость» взаимодействия между станциями:

$$K_d = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n dx_{ij}}{n \cdot (n - 1)}, \quad (9)$$

где dx_{ij} – количество транзитных перегонов на маршруте от пункта i до пункта j .

Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Ведомость расчета коэффициентов связности и достижимости узлов

Узел	m	n	K_s	K_d
Р	11	10	2,2	2,69
Б	8	7	2,29	1,62
Т	8	8	2	2,57
Л	9	9	2	2,53
М	9	10	1,8	3,16
П	11	12	1,83	3,06
Г	12	13	1,85	3,59
Ч	5	6	1,67	2,33
К	12	9	2,67	2,03
З	11	11	2	3,31
Х	6	7	1,71	2,10
Н	3	4	1,5	1,67
С	12	12	2	3,45
Ш	5	6	1,67	2,13
А	9	10	1,8	3,13
И	8	8	2	2,43
Е	9	10	1,8	3,24
В	2	3	1,33	1,00
Ц	3	4	1,5	1,67

В таблице 2 m – количество перегонов (связей) в железнодорожных узлах.

При проектировании и эксплуатации любых узловых структур важнейшим критерием является их надежность. В качестве способа измерения надежности предлагается использовать коэффициент устойчивости узла – вероятность сохранения связности и технологичности при внешнем и внутреннем негативных воздействиях:

$$K_{уст} = \min \{ K_{внутр}; K_{внеш} \}. \quad (10)$$

В качестве коэффициента внутренней устойчивости узла $K_{внутр}$ принят уровень организации узловой железнодорожной структуры (энтропийный подход). Для оценки внешней устойчивости (графоаналитический подход) узла $K_{внеш}$ была определена вероятность сохранения связности при внешнем воздействии на узел (авария, стихийное бедствие, форс-мажор), заключающемся в закрытии на ремонт или разрушении внутриузловых связей (перегонов). Коэффициент внешней устойчивости был рассчитан на основе метода направленного перебора с разбивкой графа узлов на подграфы.

Для исследуемых узлов итоговые значения коэффициентов устойчивости составили от 0,733 до 0,98 (табл. 3).

Таблица 3 – Ведомость расчета коэффициента устойчивости железнодорожных узлов

Узел	$K_{внутр}$	$K_{внеш}$	$K_{уст}$
Р	0,963	0,969	0,963
Б	0,982	0,970	0,970
Т	0,851	0,951	0,851
Л	0,975	0,941	0,941
М	0,970	0,914	0,914
П	0,974	0,895	0,895
Г	0,980	0,886	0,886
Ч	0,946	0,951	0,946
К	0,733	0,989	0,733
З	0,977	0,922	0,922
Х	0,971	0,941	0,941
Н	0,945	0,970	0,945
С	0,927	0,913	0,913
Ш	0,805	0,951	0,805
А	0,941	0,914	0,914
И	0,852	0,951	0,852
Е	0,954	0,914	0,914
В	0,992	0,980	0,980
Ц	0,972	0,970	0,970

Сравнительный анализ внутренней и внешней устойчивости железнодорожных узлов поможет определить рациональную степень насыщения узла параллельными соединительными линиями. Оценка численных значений коэффициентов внутренней и внешней устойчивости позволит оценить необходимость строительства новых или реконструкции существующих железнодорожных линий.

В качестве показателей узловых структур использованы L – протяженность перегонов узла, км; N – размер суточного поездопотока, поездов/сут; $n_{пут}$ – количество приемо-отправочных путей; K_s – коэффициент связности схемы узла; K_d – коэффициент достижимости схемы узла. Также для характеристики транспортной работы предложена система показателей оценки степени организации узлового транспортного производства, включающая:

– транспортную производительность, определяемую произведением величины поездопотока и протяженности перегонов узла (км), отнесенным к единице времени (сутки):

$$R(t) = \frac{N \cdot L}{T}, \frac{\text{поездо} \cdot \text{км}}{\text{сут}}, \quad (11)$$

– размер транспортного действия (применяется для учета величины поездопотока, длины перегонов и участковой скорости), определяемый как произведение транспортной производительности и скорости:

$$R^*(t) = N \cdot L \cdot V = \frac{N \cdot L^2}{T}, \frac{\text{поездо} \cdot \text{км}^2}{\text{сут} \cdot \text{ч}}, \quad (12)$$

где V – участковая скорость, км/ч;

– временной размер движения, получаемый делением транспортной производительности на скорость:

$$M(t) = \frac{N \cdot L}{V}, \frac{\text{поездо} \cdot \text{ч}}{\text{сут}}, \quad (13)$$

– линейную плотность поездопотока, характеризующую количество поездов на определенном участке в текущий момент времени:

$$P(L) = \frac{N}{L}, \frac{\text{поезд}}{\text{сут} \cdot \text{км}}, \quad (14)$$

– грузонапряженность, определяющую нагрузку в тоннах, приходящуюся на 1 км пути:

$$P(Q) = \frac{N \cdot Q}{L}, \frac{\text{т}}{\text{сут} \cdot \text{км}}, \quad (15)$$

где Q – средний вес поезда, т;

– степень использования узловой инфраструктуры:

$$k(n_{\text{пут}}) = \frac{N}{n_{\text{пут}}}, \frac{\text{поезд}}{\text{сут} \cdot \text{путь}}, \quad (16)$$

где $n_{\text{пут}}$ – количество приемо-отправочных путей;

– средневзвешенное значение класса узловых станций, рассчитываемое по формуле:

$$S_K = \sqrt[n]{i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot \dots \cdot i_n}, \quad (17)$$

где n – количество станций в узле,

i – класс каждого раздельного пункта узла.

Применение предложенных оценочных критериев позволяет не только учесть различие параметров узловых схем и транспортной работы, но и сократить временные затраты процесса классификации на основе методов теории принятия решений. Для решения указанной классификационной задачи разработана блок-схема алгоритма (рис. 5).



Рисунок 5 – Блок-схема последовательности исследования узловых структур

В четвертой главе «Формирование перспективной системной классификации железнодорожных узлов» разработана классификация железнодорожных узлов на основе модифицированных показателей уровней организации транспортной работы. Предлагаемая системная классификация включает пять рангов: малые ж.-д. узлы, средние ж.-д. узлы, крупные ж.-д. узлы (2-й тип), крупные ж.-д. узлы (1-й тип), крупнейшие ж.-д. узлы.

Необходимый объем выборки для оценивания по пяти классам был определен по методу интервального группирования Г. Стерджесса и выборочному методу Г. Шварца.

Метод интервального группирования Г. Стерджесса:

$$I_{gp} = 1 + 3,322 \lg n; d = \frac{X_{max} - X_{min}}{I_{gp}}, \quad (18)$$

где X_{max} , X_{min} – размах вариации (наибольшее и наименьшее значение случайной величины); n – количество статистических наблюдений; I_{gp} – количество интервалов группирования наблюдений. В качестве размаха вариации использована балльная система $X_{max}=100$, $X_{min}=0$, размер интервала класса $d = 20$, количество интервалов группирования (классов) $I_{gp}=5$. При заданных параметрах получим, что объем выборки должен быть не менее $n = 10^{1,204} = 16$ вариантов схем узлов.

Согласно выборочному методу Г. Шварца, объем выборки n внутри каждого интервала класса узла при распределении интересующих нас признаков, близком к нормальному, определяется по формуле:

$$n = \frac{s^2}{s_{\bar{x}}^2 + \frac{s^2}{N}}, \quad (19)$$

где N – общий объем совокупности выборки,
 s – среднее квадратичное отклонение равномерного распределения,
 R – интервал класса узла,
 $s_{\bar{x}}$ – значение заданной ошибки.

Среднее квадратичное отклонение s равномерного распределения при $R = 20$ равно $s = 0,194 \cdot 20 = 3,88$.

Если нет данных об общем объеме совокупности выборки N , то предельное значение выборки определяется по формуле:

$$n = \left(\frac{s^2}{s_{\bar{x}}^2} \right)^2. \quad (20)$$

Тогда значение выборки внутри класса равно:

$$n = \left(\frac{3,88}{2} \right)^2 = 3,76.$$

Для пяти классов узлов $n_{\text{общ}} = 3,76 \cdot 5 = 18,8 \approx 19$ схем узлов.

В результате было определено, что для ранжирования необходимо 19 узлов. В диссертационной работе при формировании классификации было исследовано 19 узлов: 17 узлов СКЖД, Череповецкий (Ц) и Вологодский (В) узлы.

Так как показатели (табл. 4), сводимые к комплексному оценочному критерию, имеют разные единицы измерения, то их необходимо привести к безразмерному виду. Нормированием осуществляется перевод интервала показателей $[\theta_{\min}; \theta_{\max}]$ в интервал $[1; 100]$.

Таблица 4 – Сводная ведомость показателей узловых структур

Узел	L	N	$n_{\text{нум}}$	$R(t)$	$R^*(t)$	$M(t)$	$P(L)$	$P(Q)$	$k(n_{\text{нум}})$	K_s	K_d	S_K
Р	62	152	64	9424,00	317589	279,64	2,45	8477,68	2,38	2,2	2,69	2,92
Б	296	177	74	52392,00	1765610	1554,66	0,60	2067,79	2,39	2,29	1,62	2,57
Т	104	73	33	7592,00	255850	225,28	0,70	2427,25	2,21	2	2,57	2,65
Л	99	275	98	27225,00	917483	807,86	2,78	9605,56	2,81	2	2,53	2,86
М	151	119	57	17969,00	605555	533,20	0,79	2725,18	2,09	1,8	3,16	2,32
П	206	43	52	8858,00	298515	262,85	0,21	721,82	0,83	1,83	3,06	2,56
Г	225	45	65	10125,00	341213	300,45	0,20	691,60	0,69	1,85	3,59	3,40
Ч	90	38	39	3420,00	115254	101,48	0,42	1460,04	0,97	1,67	2,33	3,55
К	80	187	50	14960,00	504152	443,92	2,34	8083,08	3,74	2,67	2,03	2,93
З	142	184	97	26128,00	880514	775,31	1,30	4480,79	1,90	2	3,31	2,34
Х	64	190	64	12160,00	409792	360,83	2,97	10265,94	2,97	1,71	2,10	3,85
Н	37	50	30	1850,00	62345	54,90	1,35	4672,97	1,67	1,5	1,67	2,94
С	246	111	45	27306,00	920212	810,27	0,45	1560,32	2,47	2	3,45	2,92
Ш	49	124	31	6076,00	204761	180,30	2,53	8750,86	4,00	1,67	2,13	3,68
А	133	74	50	9842,00	331675	292,05	0,56	1924,00	1,48	1,8	3,13	3,55
И	83	62	48	5146,00	173420	152,70	0,75	2583,08	1,29	2	2,43	2,74
Е	251	103	50	25853,00	871246	767,15	0,41	1419,02	2,06	1,8	3,24	2,30
В	11	209	66	2299,00	78396	67,42	19,00	67602,00	3,17	1,33	1,00	1,26
Ц	15	54	42	810,00	27621	23,75	3,60	12808,80	1,29	1,5	1,67	1,41

По разработанному комплексному критерию оценки была определена балльная оценка узла (табл. 5). Критерий оценки рейтинга (класса) железнодорожного узла имеет следующий вид:

$$K_{oc} = HW_{oc}^{n_1} \cdot P_{oc}^{n_2} \cdot Gmod_{oc}^{n_3}; \sum_{i=1}^3 n_i = 1, \quad (21)$$

где $HW_{oc}, P_{oc}, Gmod_{oc}$ – оценочные значения по критерию Гурвица, критерию произведений и модифицированному критерию Гермейера соответственно;

n_1, n_2, n_3 – коэффициенты, отражающие степень значимости того или иного критерия принятия решения, $n_1=0,33, n_2=0,33, n_3=0,34$.

Таблица 5 – Значения критерия оценки исследуемых узлов

Узел	$G(mod)$ критерий	HW критерий	P критерий	Баллы
Л	100	61	44	64
Б	59	56	44	53
К	63	60	35	51
З	62	57	33	49
В	72	55	19	42
Х	64	38	23	38
Р	49	42	27	38
С	31	46	23	32
Ш	37	56	16	32
Е	28	47	25	32
М	35	34	25	31
Т	16	29	17	20
А	16	25	16	18
И	11	29	15	17
Ц	8	52	9	15
Н	6	41	8	13
П	3	38	12	11
Г	4	42	8	11
Ч	1	27	8	6

В результате расчетов балльного рейтинга определено, что узел Л относится к II классу, узлы Б, К, З, В относятся к III классу, узлы Х, Р, С, Ш, Е, М – к IV классу, узлы Т, А, И, Ц, Н, П, Г, Ч – V класса (табл. 6), крупнейшие кольцевые узлы (например, Московский) относятся к I классу.

Разработанный метод оценки и его критерии имеют динамический характер, т.е. не зависят от категории исследуемых транспортных объектов и могут применяться как для ранжирования подклассов и классов узловых структур от микроуровня (микроузел с одной станцией) до макроуровня (крупнейшие транспортные узлы).

Таблица 6 – Характеристика классов в перспективной классификации железнодорожных узлов

Класс	Наименование	Узлы	Назначение	Признаки размещения	Баллы
I	Крупнейшие ж.-д. узлы	Моск	Ж.-д. узлы сетевого, исключительно важного федерального значения, в т. ч. в международном транспортном процессе	В крупнейших городских и промышленно-транспортных агломерациях. Одна и более сортировочных станций сетевого значения	$81 \leq R_1 \leq 100$
II	Крупные ж.-д. узлы (1-й тип)	Л	Ж.-д. узлы сетевого значения на линиях общего пользования, региональные	Одна сетевая или региональная сортировочная станция	$61 \leq R_2 \leq 80$
III	Крупные ж.-д. узлы (2-й тип)	Б, К, З, В	Ж.-д. узлы сетевого значения промышленно-транспортных центров	Региональная сортировочная станция	$41 \leq R_3 \leq 60$
IV	Средние ж.-д. узлы	Х, Р, С, Ш, Е, М	Ж.-д. узлы административных районов, добывающей и обрабатывающей промышленности	Распределительная станция или промышленная сортировочная станция	$21 \leq R_4 \leq 40$
V	Малые ж.-д. узлы	Т, А, И, Ц, Н, П, Г, Ч	Ж.-д. узлы малодетальных линий, узлы с одной станцией	Распределительная станция	$1 \leq R_5 \leq 20$

Для исследования вопросов классификации железнодорожных узлов была сформирована электронная база данных схем узлов и их показателей с созданием автоматизированного научно-методического комплекса оценки структур железнодорожных узлов на базе программных продуктов *MS Excel*, *AutoCad*, стандартов языка гипертекстовой разметки текста *HTML* (рис. 6).

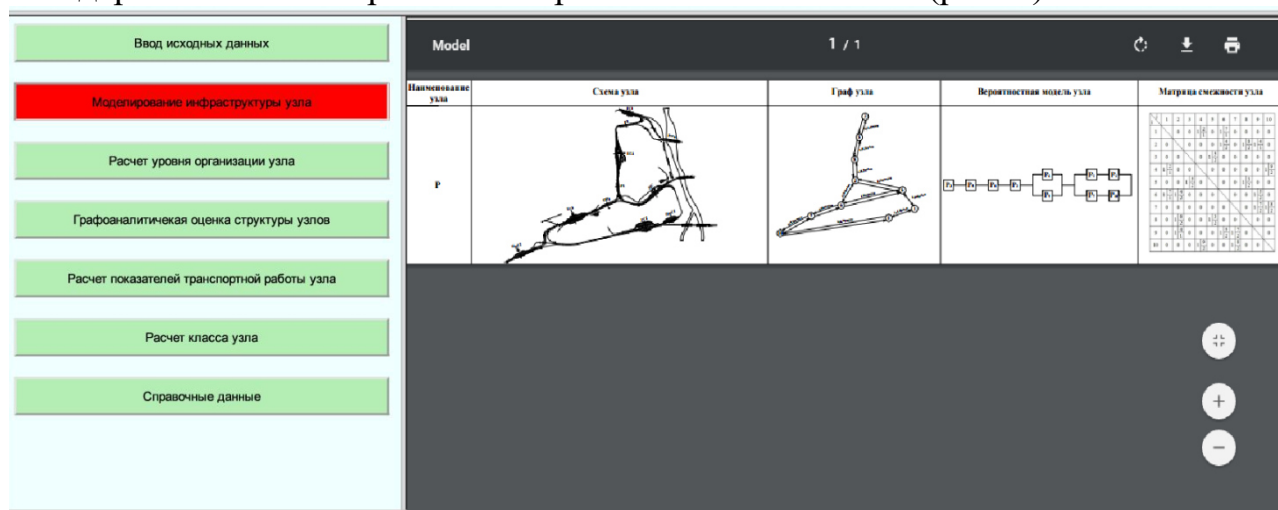


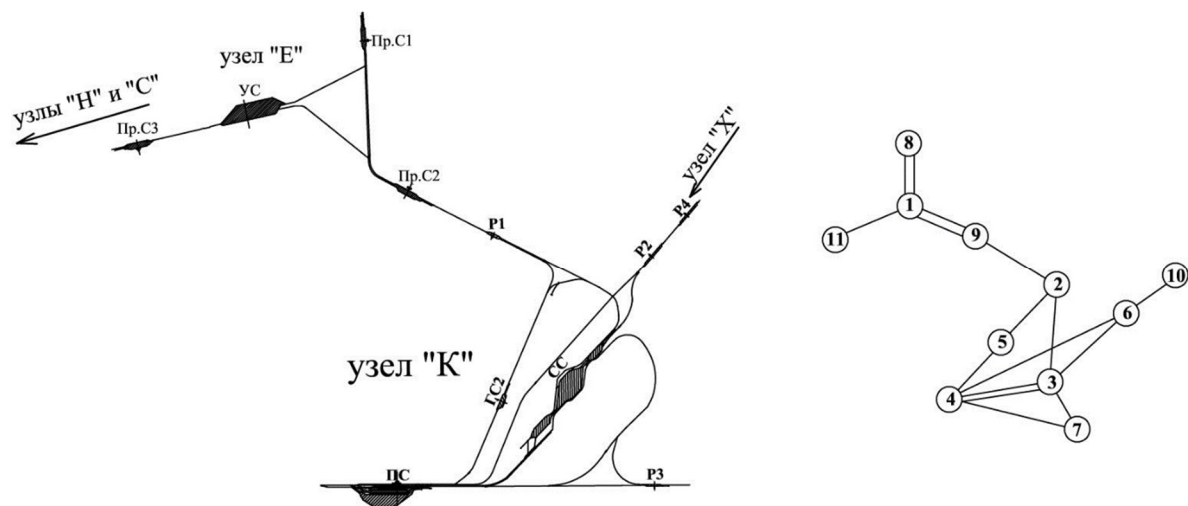
Рисунок 6 – Научно-методический комплекс (НМК) оценки структуры и уровней организации узловых транспортно-технологических процессов

Апробация программного комплекса выполнена на основе автоматизированных расчетов класса кольцевого узла (Московский) и оценки строительства обхода узла (обход Краснодарского узла). В сравнении с узлами СКЖД балльная оценка Московского узла составила 97.

Основными результатами строительства обхода Краснодарского узла будут увеличение грузопотока в порты Азово-Черноморского побережья и Крым, оптимизация работы Краснодарского узла за счет переключения грузового движения в обход на участок Тимашевская – Крымская, а также вынос железнодорожных путей из центра Краснодара. Для оценки изменения устойчивости структуры в связи со строительством обхода был произведен расчет уровня организации и графоаналитическая оценка структуры объединенных Краснодарского (К) и Тимашевского (Е) узлов (рис.7). Грузопоток с Тихорецкого (Х) узла будет направлен в порты Новороссийского (Н) и Крымского (С) узлов в обход Краснодара через Тимашевский узел.

По результатам расчетов после строительства обхода Краснодарского узла и станции Гречаная устойчивость объединенных Краснодарского и Тимашевского узлов увеличится с 0,909 до 0,932.

а)



б)

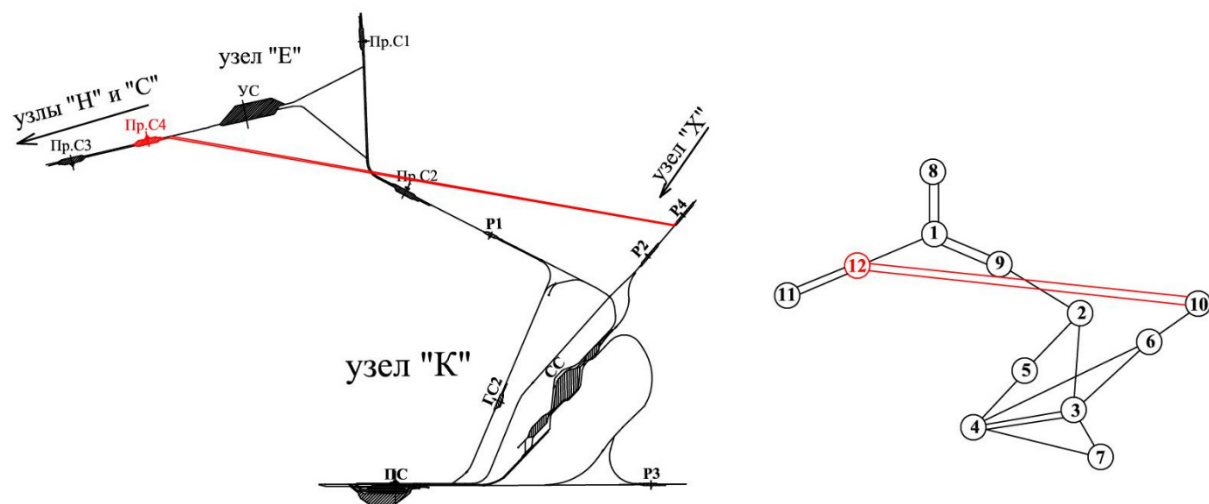


Рисунок 7 – Схема и граф объединенных железнодорожных узлов «К» и «Е»:
а) – до строительства обхода, б) – после строительства обхода

В пятой главе «Экономическая эффективность выбора рациональных структур и уровней организации транспортно-технологических процессов железнодорожных узлов» для выбора направлений развития южнороссийских узлов произведен прогноз объемов региональных перевозок в установлении тенденций изменения показателей прибытия и отправления грузов. В работе были рассмотрены следующие методы определения тренда на основе сглаживания временных рядов: метод гармонических весов, эвристический метод, метод экспоненциального сглаживания, метод экстраполяции по степенной зависимости, метод экстраполяции по логистической кривой.

Для выбора варианта прогнозирования перевозок грузов по представленным выше пяти методам осуществляется прогноз на последний отчетный год. Далее прогнозное значение сравнивается с фактическим объемом перевозок за отчетный год и определяется ошибка прогноза. Наилучшим методом для прогнозирования объемов прибытия-отправления является метод с наименьшей ошибкой. По результатам расчетов для прогнозирования объемов прибытия-отправления грузов железнодорожным транспортом был выбран эвристический метод.

Согласно прогнозу по эвристическому методу, в 2020 году прибытие грузов составит 150138 тыс. т. (+12% по отношению к 2015 г.), отправление грузов составит 86582,5 тыс. т. (+28% к 2015 г.).

Была произведена оценка привлекательности субъектов СКЭР $C_1, C_2, \dots, C_n$ для транспортного развития методом линейных оценочных форм:

$$K(C_i) = \alpha_1 \cdot \theta_1 + \alpha_2 \cdot \theta_2 + \dots + \alpha_n \cdot \theta_n, \quad (22)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ – весовые нормировочные коэффициенты, причем $\alpha_i \geq 0$ для всех $i = 1, \dots, n$; $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ – переменные.

В роли оценочных факторов по оценке экономической привлекательности субъектов предлагается шесть основных показателей железнодорожного транспорта: θ_1 – эксплуатационная длина путей, км.; θ_2 – плотность путей, км/га; θ_3 – отправление грузов, тыс. т.; θ_4 – прибытие грузов, тыс. т.; θ_5 – отправление пассажиров железнодорожным транспортом общего пользования, тыс. чел; θ_6 – отправление пассажиров железнодорожным транспортом общего пользования в пригородном сообщении, тыс. чел.

Коэффициенты $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ линейной оценочной формы были определены на основании максимального (наилучшего) значения заданного показателя среди всех субъектов $C_1, C_2, \dots, C_n$:

$$\alpha_i = w_i \cdot \frac{1}{\max\{\theta_i\}}. \quad (23)$$

Каждому из нормировочных коэффициентов можно задавать соответствующий вес w_i в зависимости от важности того или иного показателя. В работе $w_i = 1$. Слагаемое $\alpha_i \cdot \theta_i$ у субъекта с наилучшим значением показателя θ_i окажется равным 1, а у остальных регионов, с меньшим значением показателя θ_i , оно будет положительным, но меньше 1. Для наглядности при оценке экономической привлекательности был использован $C+$ – «идеальный» регион с наилучшими значениями по всем 6 показателям $\alpha_i \cdot \theta_i = 1$, $K(C+) = 6$.

В процентном соотношении к «идеальному» региону привлекательность оцениваемых регионов определяется следующим образом:

$$k_{\text{привлек}}^i = \frac{K(C_i)}{K(C+)} \cdot 100\%. \quad (24)$$

По результатам расчета наилучшими показателями экономической привлекательности обладает Краснодарский край с 99,92% привлекательностью, на втором месте Ростовская область с 67,38 % привлекательности, наихудшим регионом с точки зрения экономики стала Республика Калмыкия с привлекательностью всего в 2,65%.

С применением кафедрального научного комплекса «НК–станция» определена экономическая эффективность строительства обхода Краснодарского узла на основе изменения стоимости внутриузловых грузоперевозок: расходы составили до строительства обхода узла - 3795 млн руб./год, после строительства – 2558,6 млн руб./год (рис. 8). Экономия составит 1236,4 млн руб./год.

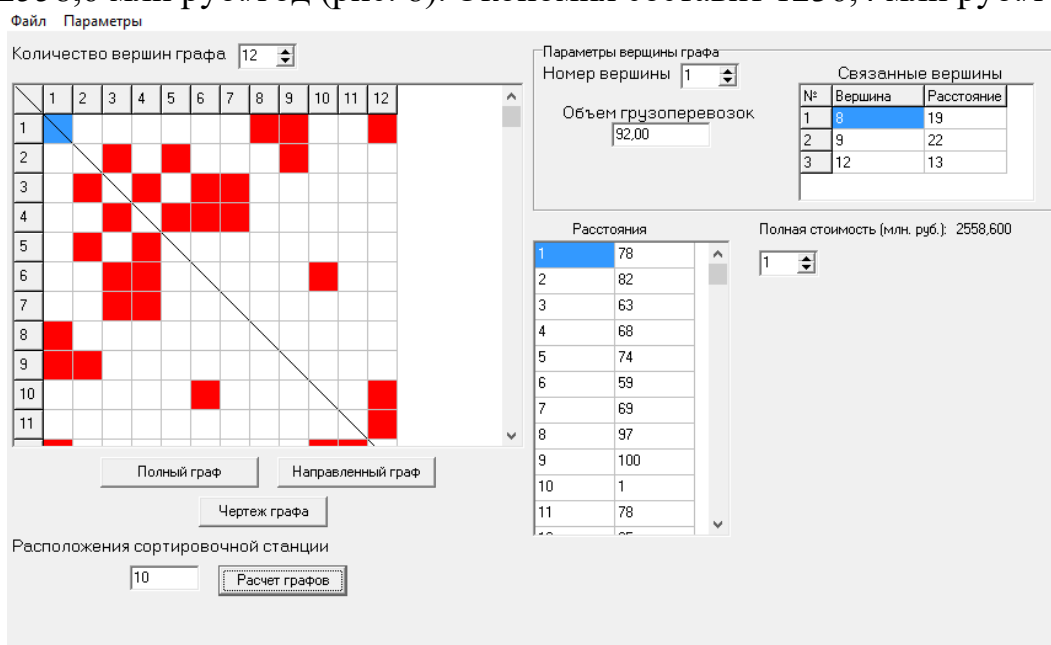


Рисунок 8 – Окно программы расчета стоимости пропуска поездопотоков после строительства обхода Краснодарского узла

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

В результате выполненных исследований получены научно обоснованные предложения по оценке структур и уровней организации узловых транспортно-технологических процессов:

1 Исследованы история развития и практический опыт формирования основных железнодорожных узлов РФ. Рассмотрены схемы и классификационные признаки основных железнодорожных узлов СКЖД, обслуживающих 9 субъектов СКЭР и узлов ряда других регионов.

2 Установлено, что схемы большинства узлов СКЖД относятся к последовательному или комбинированному типу (для крупных узлов) с радиальными или Т-образными примыканиями. Определены проблемные вопросы в организации транспортно-технологических процессов и классификации узлов.

3 Исследованы отечественный и зарубежный научный опыт, практические результаты проектирования схем узлов и уровней организации транспортной работы в них. Установлено, что существующая отечественная методология классификации узловых структур требует развития на основе методов теории принятия решений.

4 Разработаны методы оценки структур и уровней организации узловых транспортно-технологических процессов на основе энтропийного и графоаналитического подходов с применением модифицированных показателей оценки схем узлов и организации транспортного производства. На основе схем узлов получены графы, вероятностные модели и матрицы связей узлов. Определены коэффициенты связности и достижимости графов узлов.

5 Для характеристики надежности структур узлов предложено использовать коэффициент устойчивости узла – вероятность сохранения связности и технологичности при внешнем и внутреннем негативных воздействиях.

6 Для оценки степени организации узлового транспортного производства сформирована система модифицированных показателей, включающая показатели транспортной производительности, размера транспортного действия, временного размера движения, линейной плотности поездопотока, грузонапряженности, степени использования узловой инфраструктуры, средневзвешенного значения класса узловых станций.

7 Разработана перспективная системная классификация железнодорожных узлов, включающая пять рангов: малые железнодорожные узлы, средние железнодорожные узлы, крупные железнодорожные узлы (2-й тип), крупные железнодорожные узлы (1-й тип), крупнейшие железнодорожные узлы.

8 Сформирована электронная база данных схем основных узлов СКЖД и их показателей с созданием автоматизированного научно-методического комплекса оценки структур железнодорожных узлов.

9 Для выбора направлений развития южнороссийских узлов произведен прогноз объемов региональных перевозок в установлении тенденций изменения показателей прибытия и отправления грузов. Выполнена оценка привлекательности субъектов СКЭР методом линейных оценочных форм. С помощью кафедрального научного комплекса «НК–станция» определена экономическая эффективность строительства обхода Краснодарского узла на основе изменения стоимости внутриузловых грузоперевозок.

В качестве рекомендаций по результатам исследования следует указать:

1 При разработке проектов развития железнодорожных узлов необходимо учитывать весь спектр методологического инструментария оценки структур и уровней организации транспортно-технологических процессов железнодорожных узлов с уточнением классификационных признаков.

2 Для характеристики качества структур узлов (при решении задач по определению рационального количества внутриузловых связей) целесообразно использовать коэффициент устойчивости узла – вероятность сохранения связности и технологичности при внешнем и внутреннем негативных воздействиях.

3 Методы оценки инфраструктур и показателей транспортной работы требуют комплексного исследования с использованием большого объема дан-

ных. Для сети железных дорог Российской Федерации следует сформировать электронную базу данных схем основных узлов и их показателей для создания автоматизированного научно-методического комплекса оценки структур железнодорожных узлов.

4 Разработанный в диссертации метод оценки структур узлов и его критерии имеют динамический характер и могут быть адаптированы для узлов других видов транспорта.

Перспективы дальнейшей разработки темы диссертационной работы связаны с развитием методологии оценки узловых структур с учетом изменений в сфере информационно-логистических и транспортных технологий и формированием электронной базы данных схем всех узлов страны и их показателей.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

1 Числов, О.Н. Метод оценки уровня организации и пропускной способности инфраструктуры железнодорожных узлов / О.Н. Числов, В.В. Хан // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2013. – №4 (37). – С. 68–78.

2 Числов, О.Н. Научно-методический комплекс классификации железнодорожных узлов (на примере Северо-Кавказской железной дороги – филиала ОАО «РЖД») [Электронный ресурс] / О.Н. Числов, В.В. Хан // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №6. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/120-16956>.

3 Хан, В.В. Графоаналитическая оценка схем и транспортно-технологических процессов железнодорожных узлов / В.В. Хан // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2015 – №4 (60). – С. 84–91.

Коллективные монографии:

4 Железнодорожные узлы: схемные решения, транспортная работа и их оценка : монография // О.Н. Числов, В.В. Хан, В.М. Задорожний, Н.М. Магомедова ; Рост. гос. ун-т путей сообщения. – Ростов н/Д, 2016. – 229 с. – ISBN 978-5-88814-461-9.

Публикации в других изданиях:

5 Хан, В.В. Методы исследования транспортно-технологических структур основных железнодорожных узлов Северо-Кавказской железной дороги. / В.В. Хан // Труды международной научно-практической конференции «Транспорт-2013». Часть 1. Технические и экономические науки. – Ростов н/Д : Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2013. – С. 238–240.

6 Хан, В.В. Критерии оценки транспортной работы железнодорожных узлов / В.В. Хан // Сборник научных трудов международной конференции «Наука и современность: вызовы XXI века». Часть II. Технические и исторические науки. – Киев : Центр научных публикаций, 2014. – С. 128–132.

7 Хан, В.В. Методы исследования этапности развития железнодорожных узлов (на примере Северо-Кавказского экономического регио-

на) / В.В. Хан // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – Ростов н/Д : Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2014. – №2 (27). – С. 126–135.

8 Хан, В.В. Разработка комплексного критерия оценки структурных схем железнодорожных узлов / В.В. Хан // Труды международной научно-практической конференции «Транспорт-2014». Часть 1. Технические и экономические науки. – Ростов н/Д : Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2014. – С. 336–338.

9 Хан, В.В. Интегральная оценка показателей транспортной инфраструктуры железнодорожных узлов / В.В. Хан // Сборник трудов международной научно-практической конференции «Современные аспекты транспортной логистики», посвященной 70-летию кафедры «Технология транспортных процессов и логистика». – Хабаровск : ДВГУПС, 2014. – С. 92–97.

10 Числов, О.Н. Формирование научно-методического комплекса классификации железнодорожных узлов / О.Н. Числов, В.В. Хан // Труды международной научно-практической конференции «Перспективы развития и эффективность функционирования транспортного комплекса Юга России», посвященной 85-летию РГУПС. Часть 3. Гуманитарные, экономические и юридические науки. – Ростов н/Д : Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2015. – С. 77–79.

11 Хан, В.В. Разработка программного научного комплекса оценки схем железнодорожных узлов / В.В. Хан // Труды международной научно-практической конференции «Транспорт-2015». Часть 1. Экономические и технические науки. – Ростов н/Д : Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2015. – С. 35–37.

12 Хан, В.В. Формирование методов исследования инфраструктуры железнодорожных узлов / В.В. Хан // Международная научно-практическая конференция «Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах»: сборник трудов. – СПб. : ПГУПС, 2016. – С. 244–256.

13 Хан, В.В. Оценка экономической привлекательности железнодорожного транспорта субъектов Российской Федерации (на примере Южного федерального округа) / В.В. Хан // Actualscience. Том 1 – №3 (3). – Пенза : Научно-издательский центр «Актуальность.РФ», 2015. – С. 73–74.

14 Числов, О.Н. Разработка программного научно-методического комплекса оценки инфраструктуры и классификации железнодорожных узлов / О.Н. Числов, В.В. Хан // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – Ростов н/Д : Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2015. – №4 (33). – С. 143–151.

Личный вклад соискателя. Основные положения и результаты исследований самостоятельно получены автором. Статьи подготовлены [3, 5–9, 11–13] единолично. Личный вклад автора в работах, опубликованных в соавторстве: [1, 2, 4, 10, 14] – разработка моделей и алгоритмов реализации, проведение расчетов и обобщение полученных результатов.

Хан Владимир Васильевич

**РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ СТРУКТУР
И ОРГАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЗЛОВ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано к печати 13.03.2017
Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Ризография. Усл.-печ. л. _____
Тираж 100 экз. Заказ № _____

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВО РГУПС

Адрес университета: 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка
Народного Ополчения, 2.