

*На правах рукописи*

**Безусов Данил Сергеевич**

**РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ  
ИНФРАСТРУКТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
В РЕГИОНАЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ПРИПОРТОВОЙ  
ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ**

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  
2023

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 – **Пазойский Юрий Ошарович**,  
доктор технических наук, профессор, заведующий  
кафедрой «Железнодорожные станции  
и транспортные узлы» ФГАОУ ВО «Российский  
университет транспорта (РУТ) (МИИТ)»;

**Романова Полина Борисовна**,  
кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Управление эксплуатационной работой»  
ФГБОУ ВО «Самарский государственный  
университет путей сообщения».

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

Защита состоится 26 июня 2023 г. в 15.00 на заседании диссертационного совета 44.2.005.03 на базе ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» по адресу: 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2 (главный корпус, читальный зал).

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

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета 44.2.005.03  
доктор технических наук, профессор

В. А. Финоченко

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В XXI веке значительно возросла системообразующая роль транспорта и взаимосвязь задач его развития и приоритетов социально-экономических преобразований. Начиная с 2000 г., в докризисный период, среднегодовой прирост транспортных услуг составлял для пассажирских перевозок 6,7 %, для грузовых – 3,8 %, при ежегодном экономическом росте в среднем около 6,1 %. Погрузка экспортных грузов в направлении морских портов Азово-Черноморского бассейна (АЧБ) в 2021 г. составила около 92 млн т, увеличившись по сравнению с 2020 г. почти на 17 %. На полигоне СКЖД для выполнения грузовых операций с экспортно-импортным грузопотоком задействованы припортовые станции (ПрС): Азов, Новороссийск, Кизитеринка, Заречная, Таганрог, Темрюк, Туапсе, Кавказ, Усть-Донецкая, Вышестеблиевская, Ейск, Махачкала, Грушевая.

Несмотря на то, что железнодорожный транспорт РФ обладает достаточно сильными позициями на отечественном рынке перевозок, он испытывает ряд острых, требующих решения инфраструктурных проблем. Протяженность «узких мест» железнодорожной сети составляет свыше 6 тыс. км, что превышает 7 % эксплуатационной длины сети железных дорог. Резервы пропускных способностей, особенно на подходах к припортовым транспортно-технологическим системам (ТТС), практически исчерпаны, что при росте объемов экспорта является серьезным сдерживающим фактором его освоения.

Необходимость научно обоснованного выбора вариантов эффективной технологии транспортного производства припортовых станций в условиях ограниченности инвестиционных ресурсов и пропускных способностей железнодорожной инфраструктуры, возможной неравномерности грузоперевозок определяет актуальность выбранной темы диссертационного исследования.

**Степень разработанности темы исследования.** Большой вклад в разработку теории и практики эксплуатации железнодорожных и транспортных узлов, развития и оптимизации параметров станционных транспортно-технологических процессов внесли такие ученые, как 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 направлениях повышения эффективности работы региональных транспортных систем и поиска форм взаимодействия видов транспорта продолжены в трудах российских ученых: В. М. Акулиничева, В. И. Апатцева, В. В. Багиновой, А. С. Балалаева, А. П. Батурина, В. Д. Верескуна, В. Н. Дегтяренко, А. Т. Дерибаса, И. А. Елового, Ю. И. Ефименко, В. Н. Зубкова, П. А. Козлова, П. В. Куренкова, А. Ф. Котляренко, В. П. Клепикова, М. В. Колесникова, Б. А. Лёвина, Н. Н. Лябаха, Э. А. Мамаева, Б. Л. Миротина, В. Я. Негрея, В. М. Николашина, Ю. О. Пазойского, В. А. Персианова, Н. В. Правдина, Ф. С. Пехтерева, А. Н. Рахмангулова, П. Б. Романовой, С. М. Резера, П. К. Рыбина, А. А. Смехова, О. Н. Числова, В. А. Шарова и др.

Вопросы управления вагонными парками и обеспечения деятельности предприятий железнодорожного транспорта представлены в научных трудах

А. Ф. Бородина, А. С. Гершвальда, В. В. Доенина, С. Ю. Елисеева, Д. В. Железнова, А. Т. Осьминина, Ф. И. Хусаинова и др.

Для развития методологии решения задач транспорта используются результаты исследований в областях экономико-математического моделирования, теории вероятности и математической статистики, теории массового обслуживания, теории систем, теории графов, теории надежности, теории нечетких множеств, нейросетевого и информационного планирования, представленные в трудах зарубежных ученых: С. Ванга (X. Wang), Т. Б. Гулея (T. B. Gooley), А. Кофмана (A. Kaufmann), Х. Э. Крыньского, Б. Лалонда (B. LaLonde), Г. Поттхофа (G. Potthof), Е. Робинсона (A. E. Robinson), Х. А. Таха, Ф. Харари, Ф. Хейта и др.

Вместе с тем современные особенности транспортного взаимодействия при реализации мультимодальных перевозок требуют создания новых динамических моделей и методов обоснования выбора эффективных транспортных процессов в системе «железнодорожная станция – порт» на принципах нечеткого аналитического моделирования с применением нейросетевых моделей управления в соответствии с перспективами цифровой трансформации железнодорожной отрасли.

**Целью** диссертационной работы является развитие методов выбора и обоснования рациональных параметров организации транспортного производства на этапах развития инфраструктурно-технологического взаимодействия в системе «железнодорожная станция – порт».

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

1. Выполнить анализ отечественного и зарубежного опыта обоснования организации и эффективности управления транспортными процессами в припортовых железнодорожных транспортно-технологических системах.

2. Исследовать зависимость транспортно-технологических схем припортовых станций и показателей надежности, разработать критерии оценки уровней организации транспортных процессов в системе «железнодорожная станция – порт».

3. Сформировать аксиоматику транспортных процессов припортовых железнодорожных станций по видам инфраструктурных схем, условиям организации работы на принципах адаптации теории нечетких множеств к управленческим воздействиям в системе «железнодорожная станция – порт».

4. Разработать концепцию инфраструктурно-технологического взаимодействия в системе «железнодорожная станция – порт», аналитическую модель и программный комплекс оценки параметров организации транспортных процессов припортовых станций на основе теории нечетких множеств.

5. Исследовать варианты технологии распределения вагонопотоков в системе «железнодорожная станция – порт» и выполнить оценку их эффективности на основе авторских параметров организации транспортных процессов.

**Объектом исследования** являются региональные припортовые транспортно-технологические системы, технология организации транспортных процессов в системе «железнодорожная станция – порт» с учетом многовариантности управленческих решений.

**Предмет исследования** – теоретико-методологические подходы к параметризации технологии транспортного производства в системе «железнодоро-

рожная станция – порт», транспортно-технологические модели припортовых станций, управление транспортным производством и перевозками.

Диссертационная работа выполнена в следующих областях исследований 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. 8 «Организация и технологии транспортного производства. Цифровизация на транспорте»; п. 9 «Управление транспортным производством и перевозками в организационно-технических системах».

**Теоретико-методологической основой исследования** явились научные работы ученых в области организации и управления транспортно-технологическими процессами в системах организации железнодорожных мультимодальных перевозок грузов, методы экономико-математического моделирования, теории вероятностей и математической статистики, теории графов, теории надежности, теории нечетких множеств, а также законодательные, нормативные и программные документы РФ по вопросам государственной транспортной политики, отчетные и статистические данные Минтранса России, ОАО «РЖД», Северо-Кавказской железной дороги – филиала ОАО «РЖД», исследования ученых и специалистов железнодорожного транспорта.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Метод моделирования транспортных процессов системы «железнодорожная станция – порт» на основе аналитического и вероятностно-статистического подхода с применением теории нечетких множеств.

2. Принципы блочно-модульной формализации инфраструктурно-технологического взаимодействия в системе «железнодорожная станция – порт».

3. Метод аксиоматики станционных транспортно-технологических процессов с учетом логических условий управления и видов схем.

4. Расширенная система показателей организации транспортной работы в системе «железнодорожная станция – порт».

**Научная новизна** диссертационной работы:

1. Предложена методика моделирования инфраструктурно-технологического взаимодействия в системе «железнодорожная станция – порт» на основе модельных схем станций и аксиоматики транспортных процессов.

2. Развита методика оценки уровней организации транспортных процессов в системе «железнодорожная станция – порт».

3. Сформирована модель организации транспортного производства припортовых железнодорожных станций на основе аналитического и вероятностно-статистического подходов с применением теории нечетких множеств в управлении взаимодействием системных элементов.

4. Разработана методика интегральной оценки качества организации транспортно-технологического взаимодействия в системе «железнодорожная станция – порт».

**Теоретическая и практическая ценность** научных результатов состоит в разработке аналитической модели, методов и алгоритмов оценки параметров организации транспортных процессов в системе «железнодорожная станция –

порт» на основе аксиоматики и положений теории нечетких множеств, учитывающих вариативность управленческих решений. Разработанный в диссертации метод оценки транспортных процессов, учитывающий модельные схемы объектов и модифицированные показатели их оценки, может быть адаптирован для ТТС других видов транспорта.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационного исследования докладывались на международных научно-практических конференциях: «Транспорт-2013» – «Транспорт-2022» (Ростов-на-Дону, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 гг.); «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, 2017, 2019, 2021 гг.); «Наука и образование транспорту» (Самара, 2016 г.); «Транспортная инфраструктура Сибирского региона» (Иркутск, 2016 г.); «Современные тенденции развития науки и технологии» (Белгород, 2017 г.); «Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России» (Ростов-на-Дону, 2019 г.), а также на научно-практической конференции «В. Н. Образцов – основоположник транспортной науки», секция 1.1 «Тенденции развития железнодорожных станций и транспортных узлов. Взаимодействие видов транспорта» (ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ), г. Москва, 2021 г.), заседаниях кафедр «Станции и грузовая работа», «Управление эксплуатационной работой» и «Логистика и управление транспортными системами» ФГБОУ ВО РГУПС (г. Ростов-на-Дону), «Железнодорожные станции и узлы» ФГБОУ ВО ПГУПС Императора Александра I (г. Санкт-Петербург).

**Внедрение результатов работы.** Результаты диссертационного исследования используются в работе Северо-Кавказской дирекции управления движением – структурного подразделения Центральной дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД», ООО «Ростовская стивидорная компания»; в учебном процессе при разработке практических заданий для студентов по дисциплинам «Пути сообщения», «Инновационные технологии в грузовой и коммерческой работе»; в научно-исследовательской работе ФГБОУ ВО РГУПС. Имеются акты внедрения результатов исследования.

**Публикации.** Основное содержание диссертации и результаты исследования опубликованы в 26 научных работах общим объемом 32,81 п.л. (авторских – 17,9 п.л.), из которых 4 статьи – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ, 2 статьи в наукометрических базах Scopus и WoS, 2 монографии и 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, списка литературы из 176 наименований и 5 приложений. Работа изложена на 190 страницах основного текста, содержит 25 рисунков, 37 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе «Принципы формирования и перспективы развития региональных транспортно-технологических систем организации железнодорожных мультимодальных грузоперевозок (на примере юга России)» проведен анализ транспортной системы юга России. Описаны принципы и основные этапы формирования в исторической ретроспективе припортовой транспортной системы юга России, анализ основных технологий транспортного производства в системе «железнодорожная станция – порт». Исследована динамика грузооборота портов Азово-Черноморского и Каспийского бассейнов (таблица 1).

Таблица 1 – Динамика грузооборота портов АЧБ и Каспийского бассейна

Порт	Грузооборот, млн т/год											
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Новороссийск	117,1	116,1	117,4	119,1	125,6	127,6	131,4	143,5	140,2	142,5	141,8	142,8
Туапсе	18,6	19,4	17,8	16,9	18,9	25,19	25,8	26,6	24,3	25,1	24,8	24,5
Ростов	7,7	10,4	11,1	11,6	12,0	13,62	15,3	16,9	17,5	17,8	17,3	17,1
Таганрог	2,9	3,5	3,4	2,8	2,8	2,93	2,36	1,59	1,24	1,1	2,9	2,8
Азов	4,3	4,8	5,1	7,7	7,9	8,05	7,2	10,1	12,9	10,1	10,8	10,9
Кавказ	10,1	8,3	9,4	10,1	12,3	13,7	15,4	20,4	23,3	20,9	21,9	20,2
Темрюк	1,9	2,4	2,3	3,7	4,5	4,7	5,1	5,9	5,4	5,2	5,5	5,6
Ейск	3,6	4,0	3,6	3,3	4,1	3,92	4,3	4,6	4,2	3,8	4,2	4,2
Махачкала	5,1	5,5	6,0	4,7	4,5	3,8	3,3	3,9	4,8	4,7	5,0	4,8

Для целей развития методов инфраструктурно-технологического взаимодействия в региональной железнодорожной припортовой транспортной системе сформулировано авторское решение проблем на основе:

1) выявления дестабилизирующих факторов в работе системы «железнодорожная станция – порт» (рисунок 1);

2) систематизации схем транспортного обслуживания в системе «железнодорожная станция – порт» АЧБ в виде четырех вариантов: 1) УСС – ПрС – РП – ПВФ (ПрС «Н»); 2) УСС – РП – ПВФ (ПрС «ТС» и «М»); 3) ПрС – РП – ПВФ (ПрС «КВ», «ТГ», «КЗ», «З», «А», «Е»); 4) ПрС – ПВФ (ПрС «ТМ» и «У»), где УСС – узловая сортировочная станция, ПрС – припортовая станция, РП – районный парк, ПВФ – погрузочно-выгрузочный фронт порта;

3) выполнения расширенной классификации и исследования технико-технологических параметров южнороссийских транспортных узлов, включающих порты, на примере SWOT-анализа;

4) исследования схемных решений припортовых железнодорожных станций и их нормативной документации (техническо-распорядительные акты, техпроцессы и т. п.). Проведен анализ зависимостей количества приемоотправочных путей  $\Delta m_{\text{по}}$  и пропускной способности  $\Delta N$  припортовых станций от времени занятия приемоотправочного пути  $t_{\text{зан}}^{\text{по}}$  грузовым поездом по прибытии и от-

правления. Получены регрессионные зависимости вида: для  $\Delta m_{\text{по}} - y = 0,5364x + 3,5373$ , для  $\Delta N - y = 5,8364x + 38,436$  при  $R^2 = 0,95$ .



Рисунок 1 – Анализ дестабилизирующих факторов в работе припортовых станций

Структура диссертационного исследования представлена рисунке 2.

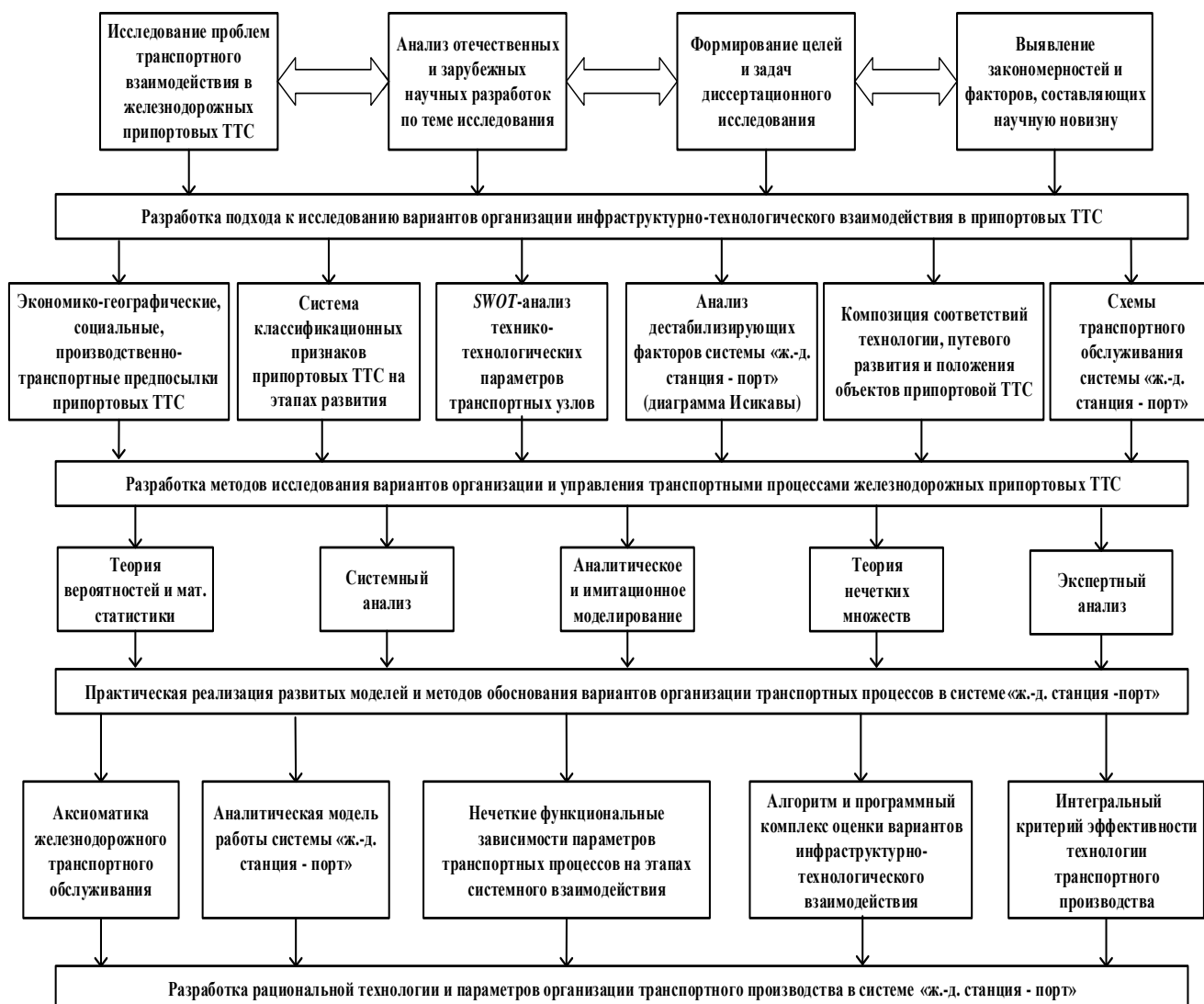


Рисунок 2 – Структура диссертационного исследования



**Во второй главе «Анализ существующих моделей и методов теоретического обоснования рациональных параметров транспортных процессов припортовых железнодорожных систем»** проведен анализ отечественного и зарубежного опыта обоснования рациональных параметров производственно-транспортных процессов в системе «железнодорожная станция – порт». Установлено, что в управлении транспортными объектами и грузопотоками традиционно используются методы, основанные на линейном и динамическом программировании, теории массового обслуживания, теории надежности, теории графов, теории вероятностей, имитационном моделировании; применяются программно-целевой и балансовый методы в экономико-математических моделях, а также внедряются новые интуитивные и логистические методы на основе нейросетевого подхода и нечеткой логики на основе новой парадигмы – цифровизации управления.

Для целей исследования технологические линии обслуживания грузо- и поездопотоков ( $T_i$ ) в системе «железнодорожная станция – порт» совмещены с соответствующим уровнем технического оснащения станционных структур ( $I_j$ ) и пространственным расположением объектов ТТС ( $S_k$ ). Таким образом, определены отношения между множествами (композициями соответствий), сводящие технологические операции, мощность путевого развития и пространственное положение объектов системы к видам объединений:

$$\left. \begin{aligned} q &= (\{T_1, T_2, \dots, T_i\}, \{I_1, I_2, \dots, I_j\}, Q), Q \subseteq T \times I \\ r &= (\{I_1, I_2, \dots, I_j\}, \{S_1, S_2, \dots, S_k\}, R), R \subseteq I \times S \\ z &= (\{T_1, T_2, \dots, T_i\}, \{S_1, S_2, \dots, S_k\}, Z), Z \subseteq T \times S \end{aligned} \right\}$$

где  $\{T_1, T_2, \dots, T_i\}$  – подмножество технологических операций;  $\{I_1, I_2, \dots, I_j\}$  – подмножество параметров станционных структур (объектов порта);  $\{S_1, S_2, \dots, S_k\}$  – подмножество пространственных положений системных элементов припортовой ТТС;  $Q, R, Z$  – композиции соответствий подмножеств.

Композиция соответствий подмножеств  $q = \{\text{технологические операции, вариант станционной структуры}\}$  и  $r = \{\text{вариант станционной структуры, пространственное положение}\}$  запишется в виде:  $q(r) = (T, S, Q \circ R)$ . Аналогично определяются другие композиции соответствий по вариантам подмножеств, характеризующих состояние объектов и их положение в припортовой ТТС.

Проекции компонентов векторов композиций соответствий подмножеств  $Q, R, Z$  имеют вид:  $\text{Pr}_{12}(Z_1, R_2, Q_3) = (Z_1, R_2)$ ,  $\text{Pr}_{23}(Z_1, R_2, Q_3) = (R_2, Q_3)$ ,  $\text{Pr}_{13}(Z_1, R_2, Q_3) = (Z_1, Q_3)$ ,

Рассмотрены связи технологии работы и инфраструктурного оснащения системы «железнодорожная станция – порт» с использованием элементов теории вероятностей, особенностей схем, ТРА и техпроцессов припортовых станций АЧБ. Значение вероятности  $P_{ij} = 1$ , которая регламентирует наличие постоянной связи между узлами  $i$  и  $j$ , а при условии наличия связи с определенной степенью вероятности  $0 < P_{ij} < 1$ . Отсутствие связи определяется  $P_{ij} = 0$ .

На основе комбинирования методов теории вероятностей, имитационного моделирования и теории надежности разработаны транспортно-технологические

схемы припортовых станций в виде блоков – объектов управления (парков, устройств), имеющих свои инфраструктурно-технологические параметры и параметры надежности при последовательно-параллельных связях. На рисунке 3 приведен пример для станции «ТГ».

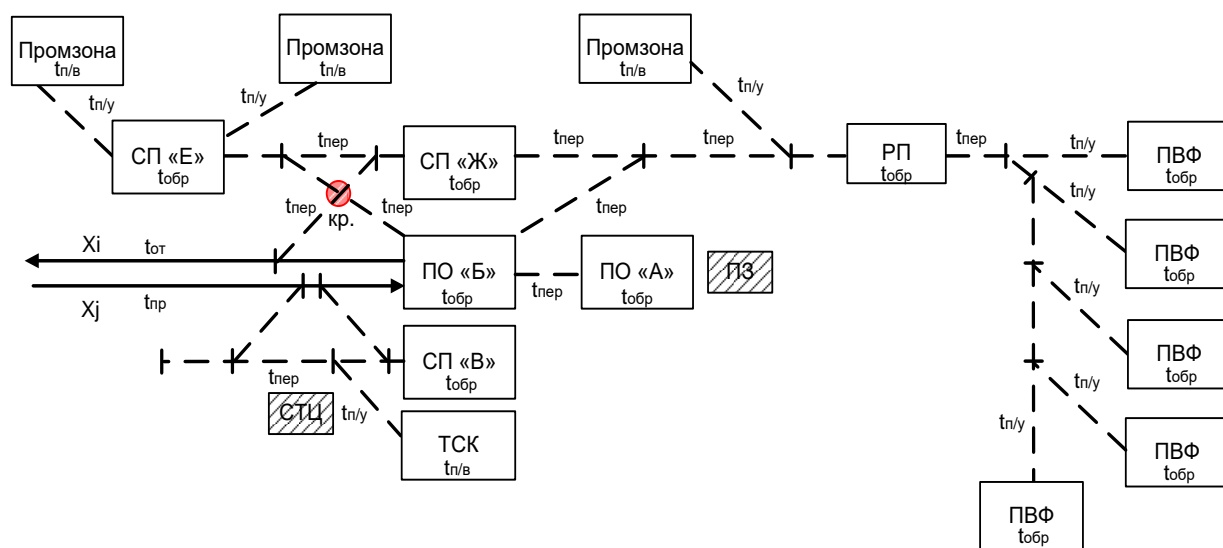


Рисунок 3 – Транспортно-технологическая схема припортовой станции «ТГ»

Надежность функционирования ТТС станции «ТГ» равна:  $R_{ТГ} = p_{по1} \cdot p_{по2} \cdot [1 - (1 - p_{сп2})] \times [1 - (1 - p_{сп1})(1 - p_{тск})] \cdot p_{сп3} \cdot [1 - (1 - p_{п1})(1 - p_{п2})] \cdot p_{рп} \cdot [1 - (1 - p_{п3})] \cdot p_{пвф1} \times [1 - (1 - p_{пвф2})(1 - p_{пвф3})(1 - p_{пвф4})(1 - p_{пвф5})] \cdot P_{кр}$ , где для критического соединения  $P_{кр} = [1 - (1 - p_{по1} \cdot p_{сп3} \cdot p_{п2})(1 - p_{п1})] \cdot [1 - (1 - p_{сп2})]$ .

Модель системы «железнодорожная станция – порт» при различных параметрах эксплуатации может интерпретироваться и восприниматься по-разному, заключающаяся в вариативности управленческих решений, которые являются по сути нечеткими, учитывающими возможные сопутствующие события как параллельного, так и последовательного действия. Это позволяет говорить о развитии методов аналитического моделирования транспортно-технологических процессов припортовых станций на принципах теории нечетких множеств.

**В третьей главе «Развитие методов инфраструктурно-технологического взаимодействия в региональной железнодорожной припортовой системе на принципах нечеткого аналитического моделирования»** рассматриваются методы инфраструктурно-технологического взаимодействия в системе «железнодорожная станция – порт» на принципах нечеткого аналитического моделирования и аксиоматики станционных транспортно-технологических процессов (АСТТП). АСТТП представляет собой логическую спецификацию транспортных процессов и структур в логическом языке в исчислении предикатов первого порядка. Исполнение этой спецификации дает логическую модель процесса или структуры станции. Модель предназначена для анализа состоятельности проектных решений и оценки последствий предпринимаемых действий и ситуаций.

Определение логической структуры систем и процессов задается формулами вида:  $\forall \bar{x}(\varphi(\bar{x}) \rightarrow \psi(\bar{x}))$ , где  $\bar{x}$  – вектор переменных,  $\varphi(\bar{x})$  – конъюнкция отношений (предикатов), равенств термов или их отрицаний,  $\psi(\bar{x})$  – конъюнк-

ция предикатов и термов, рассматриваемых как определение отношения или функции в логической модели.

Последовательность процедуры моделирования (на примере ПрС «ТГ»):

- 1 – сбор и обработка исходной информации (схема припортовой станции, ТРА, технологический процесс, показатели работы и т. п.);
- 2 – формирование транспортно-технологической схемы станции (рисунок 3);
- 3 – формирование модельной схемы станции МСС (рисунок 4);
- 4 – формирование  $(0,1)$  – матрицы связей технологических операций и парковых элементов припортовой станции, вероятностной матрицы связи станционных процессов и модулей путевого развития на основе выборки из сводной матрицы;
- 5 – формирование аксиомат транспортных процессов припортовой станции (рисунок 5) и определение их продолжительности (таблица 5);
- 6 – проведение экспериментов на модели ПрС согласно установленным логическим группам АСТТП;
- 7 – анализ полученных результатов.

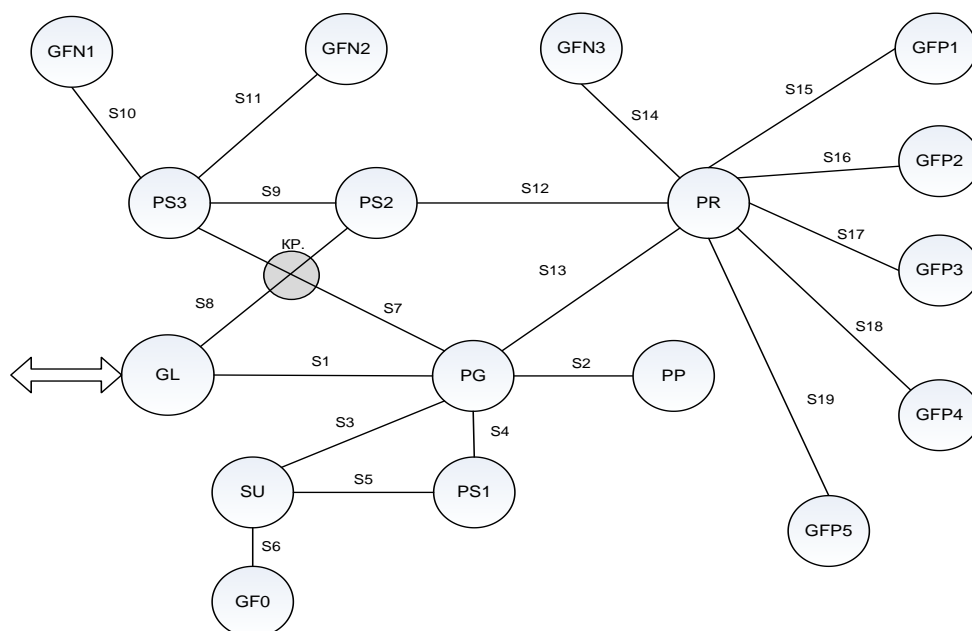


Рисунок 4 – Модельная схема припортовой станции «ТГ»

На примере модельной схемы станции «ТГ» (рисунок 4) показаны: один подход главных путей GL, два приемоотправочных парка (PP – пассажирский, PG – грузовой), три сортировочных парка (PS), один районный парк порта (PR), одно сортировочное устройство (SU), один грузовой фронт мест общего пользования (GF0) станции, три грузовых фронта мест необщего пользования (GFN) предприятий, пять грузовых фронтов порта (GFP), KP – критическое одноуровневое пересечение маршрутов (учитывается при совместном выполнении нескольких станционных процессов в дальнейших расчетах). Из модельной схемы станции (МСС) выбраны последовательности АСТТП.

Например,  $МАРШРУТ1 = \{главный\ путь, соединительный\ ход, парк\ грузовой, соединительный\ ход, сортировочное\ устройство, соединительный\ ход, сортировочный\ парк\ 1-й, соединительный\ ход, парк\ грузовой, соединительный\ ход, парк\ районный\ порта, соединительный\ ход, грузовой\ фронт\ порта\}$ .

Схема АСТТП:  $GL \leftrightarrow PG \leftrightarrow SU \leftrightarrow PS1 \leftrightarrow PG \leftrightarrow PR \leftrightarrow (GFP)_i$ .

*Краткое описание транспортного процесса:* грузовые вагоны в составе поездов по  $m$  вагонов прибывают с перегона  $GL$  и по соединительным путям горловины станции принимаются в грузовой парк приема  $PG$ . В парке  $PG$  поезд обрабатывают, поездной локомотив отцепляют, прицепляют маневровый локомотив и переставляют по двум частям (половина состава –  $m/2$  вагонов) на сортировочное устройство  $SU$  для расформирования с вероятностью  $P(x_{ij})$  (с вероятностью 0,5 состав может делиться на две группы на путях парка  $PG$  и подаваться на пути парка припортового  $PR$  по  $m/2$  вагонов, минуя операции сортировки  $SU$  и первый сортировочный парк –  $PS1$ ).

С сортировочного устройства  $SU$  вагоны в количестве  $m/2$  переставляются на пути сортировочного парка 1-го –  $PS1$  (затем вторая половина –  $m/2$  вагонов). С путей парка  $PS1$  через соединительные пути и парк  $PG$  (в нем уже операции не выполняются) вагоны подаются в количестве до  $m/2$  вагонов на пути районного парка  $PR$ .

Известно, что вместимость грузовых фронтов порта до  $m/4$  вагонов. Таким образом, если подача осуществляется в количестве до  $m/4$  вагонов, то они могут с вероятностью равной 0,5 подаваться на грузовые фронты порта  $GFP$ , минуя парк  $PR$ , или с вероятностью равной 0,5 подаваться на пути парка  $PR$ .

Если подача имеет количество  $m/2$  вагонов, то вагоны вероятностью равной 1 подаются на пути парка  $PR$ , а потом по группам до  $m/4$  вагонов подаются на грузовые фронты порта  $GFP$ , где находятся в течение заданного времени выгрузки-погрузки. Затем все повторяется в обратном порядке. Варианты АСТТП для примера МСС станции «ТГ» представлены на рисунке 5, а–б.

Для определения необходимого объема выборки исследуемых временных параметров АСТТП припортовых станций (при уровне доверительной вероятности  $1 - \alpha = 0,99$ ) рассмотрено среднее квадратичное отклонение значений времен при условии, что распределение признака близко к нормальному закону распределения. Тогда  $s = R/5,15$ , где  $R$  – ширина интервала, в котором содержится 99 % значений исследуемого признака (максимальное значение  $R$  принято до 10 час согласно данным техпроцессов станций). Количество  $N$  исследуемых параметров времен каждой АСТТП принято до 100 значений.

Тогда среднее квадратичное отклонение  $s$  нормального распределения при  $R \approx 10,0$  ч равно  $s = 10/5,15 \approx 1,94$  ч. Объем выборки  $n$  внутри каждой АСТТП припортовой станции при заданной ошибке  $s_x$  не более 2 % определяется по формуле:  $n = \frac{s^2}{s_x^2 + \frac{s^2}{N}}$ . Тогда максимальное количество выборки временных параметров АСТТП при  $s_x = 2$  % равно не менее  $n = \frac{1,94^2}{0,02^2 + \frac{1,94^2}{100}} \approx 99$  значений.

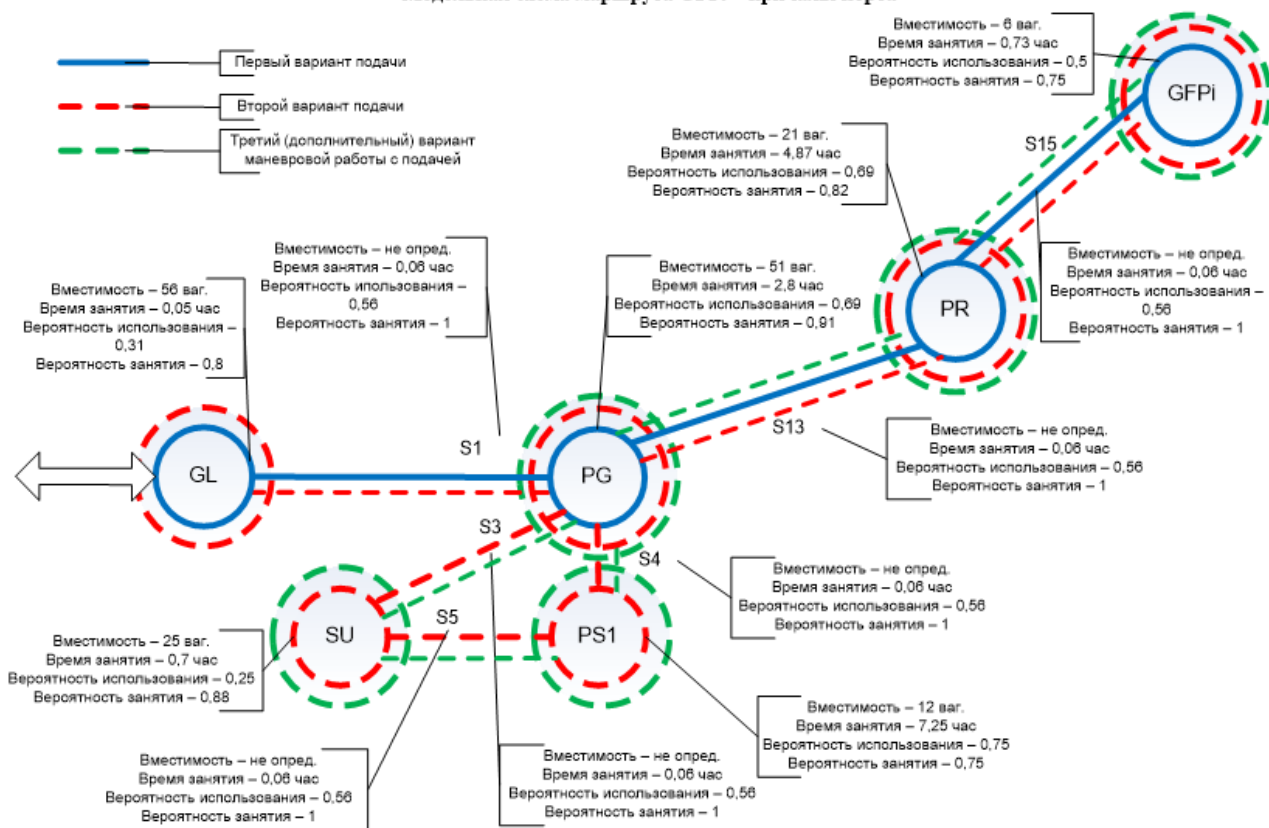
метров АСТТП при  $s_x = 2$  % равно не менее  $n = \frac{1,94^2}{0,02^2 + \frac{1,94^2}{100}} \approx 99$  значений.

*Постановка задачи:* в региональной транспортно-технологической системе «железнодорожная станция – порт» при известных величинах грузо- и поездопотоков, пространственно-географических, производственно-складских параметрах станционной и портовой инфраструктуры необходимо таким обра-

зом организовать технологическое взаимодействие, чтобы параметры транспортных процессов были наиболее *рациональными*.

а

Модельная схема маршрута GFPi – причалы порта



б

Модельная схема маршрута GF0 - грузовой двор

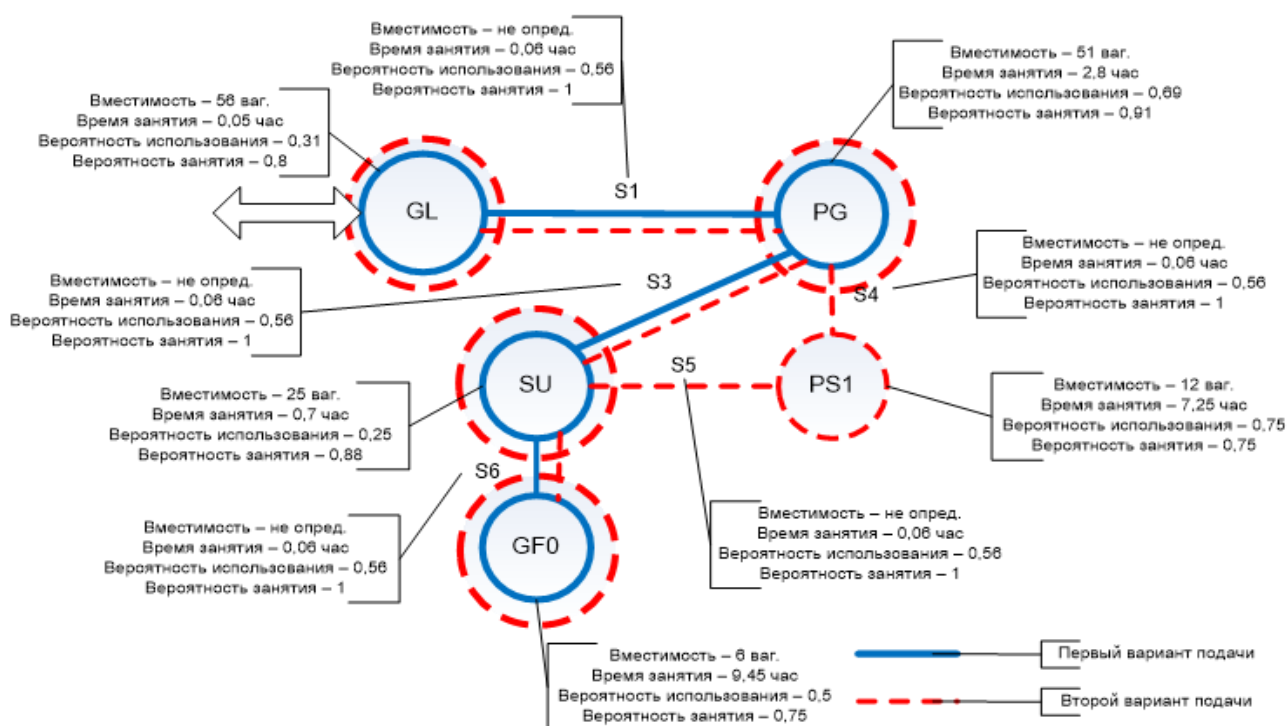


Рисунок 5 – Примеры аксиомат транспортных процессов ПрС «ТГ»

Критерии рациональности: 1 – минимальное время простоя подвижного состава в системе «железнодорожная станция – порт»; 2 – минимальное количество транспортных процессов при выполнении максимальных объемов работы; 3 – максимальная скорость транспортных процессов при значениях рациональной загрузки инфраструктурных объектов системы.

Решение транспортной задачи рассмотрены в открытой (I) и закрытой (II) постановках.

I – весь прибывающий вагонопоток может быть переработан на станции без отставленных от движения поездов. Формируется конечное множество вариантов взаимодействия  $Z(S)$  технологических блоков МСС станции –  $s_k$ , обеспечивающих рациональный вариант организации транспортных процессов в системе «железнодорожная станция – порт»  $z_{ij}: Z(S) \cup (z_{ij} \forall s_k)$  при минимуме времени простоя местного вагона  $t_{ij}$ . Целевая функция имеет вид:  $Z(S) = \min_{i,j,k} \{t_{ij}, z_{ij}, \text{sgn } s_k\}$ , где  $\text{sgn } s_k$  принимает значения (0,1), причем  $\text{sgn } s_k = 1$ , если реализуем маршрут  $s_k$ .

II – если не предусмотрено выполнение условия баланса, то есть:

$$\sum_{i=1}^m a_i < \sum_{j=1}^n b_j \text{ или } \sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j,$$

где  $a_i$  ( $b_j$ ) объем входящего потока вагонов на станцию  $i$  (перерабатывающая способность грузовых фронтов  $j$ ).

Пусть  $x_{ij} \geq 0$  – это количество грузовых поездов (маршрутов, передач вагонов) по варианту организации АСТТП, которые могут быть направлены с  $i$ -го модуля МСС станции на  $j$ -й модуль грузового фронта (причала) в множестве  $A$  допустимых вариантов АСТТП ( $x_{ij}$ ).

Первая целевая функция времени простоя имеет вид:  $T_1 = \max_{i,j} \{t_{ij} \text{sgn } x_{ij}\}$ .

Вторая целевая функция времени занятия модулей и количества модулей МСС по вариантам аксиомат АСТТП транспортных процессов при выполнении максимальных объемов работы имеет вид:

$$T_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^v t_{ij} s_k \rightarrow \min.$$

Рациональным является вариант организации транспортной работы  $\forall (x_{ij} \cup s_k) \in A$ , при котором суммарное время занятия всех модулей МСС по вариантам аксиомат АСТТП, посредством которых реализуется конкретный план транспортной работы, не превышает времени всех возможных вариантов аксиомат АСТТП, посредством которых реализуется данная работа.

*Исходные данные постановки задачи с позиций нечеткой временной параметризации:*  $s_k$  – количество технологических блоков МСС транспортного объекта ( $k = 1, 2, \dots, v$ );  $h_r$  – количество технологических операций по варианту обслуживания ( $r = 1, 2, \dots, z$ );  $\tilde{A}_{kr} = \{(t_{kr} | \mu_{\tilde{A}}(t_{kr}))\}$  – технология работы блоков объекта и его продолжительность (аксиомата  $\tilde{A}_{kr}$  в нечетком функциональном представлении,  $\mu_{\tilde{A}}(t_{kr})$  – степень (доля) принадлежности  $t_{kr}$  в  $\tilde{A}_{kr}$ );  $a_i$  – количество транспортных средств (грузовых поездов, передач вагонов, автомобилей), прибывающих в транспортную систему за расчетный период времени ( $i = 1, 2, \dots, n$ );  $b_j$  – количество

транспортных средств, которые могут быть переработаны припортовой системой ( $j = 1, 2, \dots, m$ ), при условии максимального обеспечения всех грузовых фронтов и минимального времени простоя подвижного состава.

Тогда для (I) – конечное множество вариантов взаимодействия  $\tilde{A}(\tilde{S})$  технологических блоков  $\tilde{s}_k$  МСС транспортного объекта (железнодорожной станции, порта), обеспечивающих рациональный вариант организации транспортных процессов, примет вид:

$$\tilde{A}_{1r}(\tilde{S}) = \{(t_{1r}|0), (t_{2r}|0,2), (t_{3r}|0,5), (t_{4r}|1), \dots, (t_{kr}|\theta_{kr})\} \rightarrow \min,$$

включает набор последовательности блоков МСС для варианта организации АСТП и времени их занятия с учетом логического решения по использованию при общем минимуме времени простоя транспортного средства в системе.

Тогда выражение имеет вид:  $\tilde{A}(\tilde{S}) = \min_{i,j,k,r} \{t_{ij}, \tilde{A}_{kr} \mid \mu_{\tilde{A}}(\tilde{s}_k)\}$ , где  $\mu_{\tilde{A}}(\tilde{s}_k)$  – доля использования технологического блока  $\tilde{s}_k$  МСС в последовательности блоков управления АСТП нечеткого подмножества  $\tilde{A}_{ij}$ , принимает значения от 0 до 1. При расчете времени обработки транспортных единиц учтено, что выполняется равенство  $\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$ .

Для варианта (II)  $x_{ij}$  – это количество транспортных средств (поездов, судов, автомобилей) по варианту организации транспортных процессов, которые могут быть направлены с модуля объекта (станции, порта) на модуль грузового фронта (причал порта) в множестве  $\tilde{A}(\tilde{S})$  допустимых вариантов организации АСТП транспортных процессов.

Технологические ограничения, отражающие интересы участников транспортировки грузов в нечеткой формулировке:

- приоритет вагонов (автомобилей) при подаче под погрузку-выгрузку на грузовой фронт (причал) порта может определяться согласованным решением перевозчика и грузополучателя (порта);

- интересы грузополучателей могут влиять на конечную последовательность операций (грузовые фронты, причалы порта) в АСТП;

- приоритет АСТП может быть изменен в рамках вариантов организации мультимодальной транспортировки грузов.

Целевые функции времени простоя имеют вид:

1 – для транспортной единицы  $T_1 = \max_{i,j} \{t_{ij} \mid \mu_{\tilde{A}}(\tilde{x}_{ij})\}$ . Значения  $x_{ij}$  представляют собой количество транспортных единиц, направляемых в систему «железнодорожная станция – порт».  $T_1$  – время последней максимальной по времени аксиоматы транспортного процесса для всего объема работы в рассматриваемом варианте нечеткого множества вариантов управления перевозками  $\mu_{\tilde{A}}(\tilde{x}_{ij})$ , т. е. общее время простоя подвижной единицы в системе;

2 – для аксиоматы транспортного процесса времени занятия модуля, логическое количество модулей МСС и технологических операций, формализуемые нечеткими функциональными представлениями при выполнении максимальных объемов работы, имеют вид:

$$T_2 = \sum_{k=1}^v \sum_{r=1}^z \{ \tilde{A}_{kr} \mid \mu_{\tilde{A}}(t_{kr}), \tilde{A}_{kr} \mid \mu_{\tilde{A}}(\tilde{s}_k), \tilde{A}_{kr} \mid \mu_{\tilde{A}}(\tilde{h}_r) \} \rightarrow \min,$$

где  $s_k$  – количество технологических блоков модельной схемы транспортного объекта системы ( $k = 1, 2, \dots, v$ );  $h_r$  – количество технологических операций по варианту обслуживания ( $r = 1, 2, \dots, z$ );  $\tilde{A}_{kr} = \{(t_{kr} | \mu_{\tilde{A}}(t_{kr}))\}$  – технология работы блоков объекта и его продолжительность. Величина  $T_2$  представляет собой суммарное время занятия всех модулей транспортной системы по логическим вариантам реализации плана поступления вагонов на причалы порта.

Рассмотрим упорядоченные наборы времен АСТТП из  $k$  по  $r$  значений:

$$\text{АСТТП}_1 = (t_1^1, t_2^1, t_3^1, \dots, t_k^1) \wedge \dots \wedge \text{АСТТП}_r = (t_1^r, t_2^r, t_3^r, \dots, t_k^r).$$

Для примера станции «ТГ» представлен перечень АСТТП (таблица 2, маршруты «туда» + «выгрузка/погрузка» + «обратно»). В результате формируется сводная ведомость АСТТП припортовых станций АЧБ.

Таблица 2 – Ведомость аксиомат АСТТП припортовой станции «ТГ»

Аксиомата АСТТП	Модельная схема АСТТП	Общее время АСТТП, ч	
		min	max
АСТТП1	{GL ↔ PG ↔ PS1 ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (SU) ↔ GFO}	30,07	31,47
АСТТП2	{GL ↔ PG ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (SU) ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (PS1) ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (SU) ↔ GFO}	15,75	24,40
АСТТП3	{GL ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (PG) ↔ PP ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (BO)}	4,57	5,38
АСТТП4	{GL $\overleftarrow{\text{кр}}$ . PS2 ↔ PS3 ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (GFN) <sub>k</sub> }	25,71	29,09
АСТТП5	{GL ↔ PG ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (SU) ↔ PS1 ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (PG) $\overleftarrow{\text{кр}}$ . PS3 ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (GFN) <sub>k</sub> }	24,41	31,29
АСТТП6	{GL ↔ PG ↔ PR ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (GFP) <sub>k</sub> }	12,56	15,86
АСТТП7	{GL ↔ PG ↔ SU ↔ PS1 ↔ PG ↔ PR ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (GFP) <sub>k</sub> }	34,30	37,90
АСТТП8	{GL ↔ PG ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (SU) ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (PS1) ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (PG) ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (PR) ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (GFP) <sub>k</sub> }	7,12	24,10
АСТТП9	{GL $\overleftarrow{\text{кр}}$ . PS2 ↔ PR ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (GFP) <sub>k</sub> }	12,76	16,06
АСТТП10	{ $\mu_{\tilde{A}}$ (GFN) <sub>k</sub> ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (PS3) ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (PS2) ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (PR) ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (GFP) <sub>k</sub> }	0,24	27,40
АСТТП11	{ $\mu_{\tilde{A}}$ (GFO) <sub>k</sub> ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (SU) ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (PS1) ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (PG) ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (PR) ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (GFP) <sub>k</sub> }	0,30	27,40
АСТТП12	{ $\mu_{\tilde{A}}$ (GFO) <sub>k</sub> ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (SU) ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (PS1) ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (PG) $\overleftarrow{\text{кр}}$ . PS3 ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (GFN) <sub>k</sub> }	0,30	37,83
АСТТП13	{ $\mu_{\tilde{A}}$ (PG) ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (SU) ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (PS1) ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (PG) $\overleftarrow{\text{кр}}$ . PS3 ↔ PS2 ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (PR) ↔ $\mu_{\tilde{A}}$ (PG)}	0,42	28,08

Примечание: кр. – ограничивающее пропускную способность пересечение путей

Разработаны показатели оценки эффективности транспортных процессов в системе «железнодорожная станция – порт» (результат расчета значений приведен в таблице 3):

– средняя скорость транспортных процессов  $W_{\text{МСС}} = \frac{n_{\text{ТП}} \cdot R \cdot m_{\text{мест}}}{24 \cdot n_{\text{МСС}}}$ , вагоно-оп./ч;

– интенсивность загрузки станционной инфраструктуры  $R(L) = \frac{m_{\text{мест}} \cdot L}{24}, \frac{\text{ваг} \cdot \text{км}}{\text{ч}}$ ;

– размер транспортного действия по времени  $R(t) = \frac{m_{\text{мест}} \cdot L}{W_{\text{МСС}}}, \frac{\text{ваг} \cdot \text{км}}{\text{ваг} \cdot \text{оп.}}$ ;

– плотность местного вагонопотока  $P(L) = \frac{m_{\text{мест}}}{L}, \frac{\text{ваг}}{\text{км}}$ ;

– грузовое давление на железнодорожную инфраструктуру  $P(Q) = \frac{Q_{\text{пр}} + Q_{\text{от}}}{L}$ , т/км;



– количество модулей МСС, приходящихся на один переработанный местный вагон с учетом совмещения транспортно-технологических операций ( $k_{\text{совм}} = 0,85 - 0,95$ ) –  $n_{\text{МСС}}^{\text{1ваг}} = \frac{n_{\text{МСС}}}{m_{\text{мест}} \cdot k_{\text{совм}}}$ .

Таблица 3 – Ведомость параметров стационарных транспортных процессов ПрС

Наименование припортовой станции	Количество операций	Количество АС ТТП	Количество блоков МСС	Энтропия, $H$	Относительная организация модуля МСС, $R$	$n_{\text{МСС}}^{\text{1ваг}}$	$R(L)$	$R(t)$	$P(Q)$	$W_{\text{МСС макс.}}$
«А»	17	14	14	0,151	0,849	0,068	7,843	356,2	439	5,155
«Г»	13	4	7	0,164	0,836	0,009	52,941	131,4	3280	29,111
«Е»	20	12	14	0,178	0,822	0,082	10,683	191,0	638	4,893
«З»	16	30	17	0,155	0,845	0,063	23,529	205,3	1224	5,302
«КВ»	20	16	12	0,189	0,811	0,054	13,904	166,1	862	7,321
«КЗ»	15	15	15	0,141	0,859	0,294	1,307	625,9	76	1,074
«М»	17	19	10	0,161	0,839	0,098	0,861	1161,7	50	3,566
«Н» <sub>сущ.</sub>	21	38	41	0,174	0,826	0,012	25,401	4242,4	1473	33,493
«Н» <sub>проект</sub>	21	45	43	0,177	0,823	0,013	23,283	4872,4	1350	31,819
«ТГ»	16	13	17	0,197	0,803	0,100	3,565	890,5	214	3,149
«ТМ»	17	12	14	0,182	0,818	0,055	17,647	205,6	953	6,208
«ТС»	20	20	20	0,189	0,811	0,013	25,210	1056,6	1462	30,413
«У»	19	9	12	0,228	0,772	0,353	2,632	76	126,3	0,509

В четвертой главе «Оценка эффективности параметризации транспортных процессов припортовых железнодорожных станций на принципах нечеткого аналитического моделирования» представлены авторские алгоритмы и программные комплексы в среде *Maple* по аналитическому расчету параметров АСТТП для припортовых станций АЧБ. Выполнено объединение АСТТП в логические группы (ЛГ) управления и определены продолжительности ЛГ АСТТП «глубиной» до 100 вариантов по каждой ЛГ (более 25 тыс. значений времен). Для оценки временных параметров АСТТП с позиций нечеткой временной параметризации построены диаграммы принадлежности набора времен вариантов АСТТП (диаграммы Вьенна – Эйлера).

Для отражения управляющих воздействий в системе «железнодорожная станция – порт» рассмотрена возможность применения нейронных сетей прямого распространения в контроле параметров АСТТП. В качестве входных переменных нейросетевой модели «железнодорожная станция – порт» приняты следующие: размеры грузо- и вагонопотока в системе ( $R_{\text{гр}}$ ); параметры блоков модельной схемы транспортного объекта (станции, порта) ( $R_{\text{мсс}}$ ); последовательности вариантов организации транспортной работы – аксиоматы стационарных транспортно-технологических процессов (АСТТП) ( $R_{\text{АСТТП}}$ ); временные параметры АСТТП по вариантам распределения местных вагонов в системе ( $R_t$ ). Модель имеет вид:  $R^* = \{R_{\text{гр}}, R_{\text{мсс}}, R_{\text{АСТТП}}, R_t, \dots\} \rightarrow \text{opt}$ .

Логические группы (ЛГ) АСТТП формируются согласно последовательности:

1 – группировка аксиомат АСТТП, идентичных в модельных блоках на 85 % и более, с проверкой параметров блоков, параметров времен, параметров последовательности событий;

2 – оценка значений времен АСТТП по вариантам распределения местных вагонов с построением графиков средних значений с ошибками, гистограмм нормального распределения, анализ временных рядов и их пригодности по степени интенсивности процессов, прогнозирование времен на основе экспоненциального сглаживания;

3 – проверка сочетаемости событий ЛГ с учетом наличия критических пересечений в последовательности транспортной работы, расчет и оценка времен ЛГ АСТТП.

В результате компьютерного аналитического моделирования вариантов АСТТП и расчета их времен получено: ПрС «А» – среднее отклонение максимального значения АСТТП от фактического находится в интервале от –12 % (–3,1 ч) до +7 % (+1,5 ч); ПрС «Г» – среднее отклонение максимального значения АСТТП от фактического расчетного находится в интервале от –4 % (–0,5 ч) до 0 %; ПрС «Е» – от 0 % до +8 % (+1,0 ч); ПрС «З» – от –12 % (–2,5 ч) до +3 % (+0,6 ч); ПрС «КВ» – от –11 % (–2,5 ч) до +6 % (+1,3 ч); ПрС «КЗ» – от –10 % (–1,9 ч) до +1 % (+0,1 ч); ПрС «М» – от –11 % (–1,5 ч) до +8 % (+1,1 ч); ПрС «ТГ» – от –14 % (–1,0 ч) до +7 % (+0,5 ч); ПрС «ТМ» – от –8 % (–1,7 ч) до 0 %; ПрС «У» – от –13 % до +11 % ( $\pm 1,5$  ч); ПрС «ТС» – от –10 % до +9 % ( $\pm 1,1$  ч); ПрС «Н» (существующий вариант) и ПрС «Н» (проектный вариант) – от –10 % до +9 % ( $\pm 2,5$  ч). АСТТП с отклонениями значений времен 15 % и более требуют увеличенного количества исследований за счет изменения вероятностного соотношения степени логического участия блоков МСС и количества используемых в транспортном процессе местных вагонов. Для целей исследования принадлежности набора времен вариантов примера АСТТП (1–13) для станции «ТГ» построена диаграмма по Вьенну–Эйлеру, где заштрихованы нечеткие подмножества  $\tilde{A}_{kr}$  (рисунок 6). По оси ординат откладываются значения долей отклонения времен (вероятностей) выполнения транспортного процесса  $\mu_{\tilde{A}}(t)$ , а на оси абсцисс располагаются значения соответствующих времен АСТТП  $r - t_k^r$ . Графики имеют линейную зависимость.

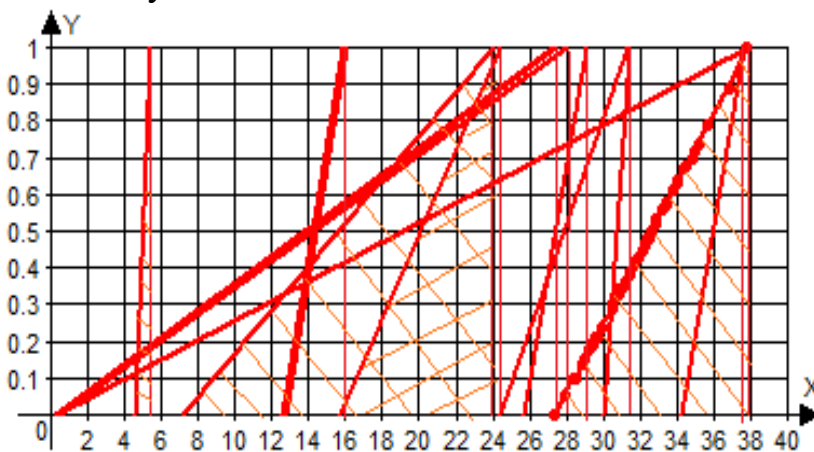


Рисунок 6 – Диаграмма принадлежности набора времен АСТТП нечетким подмножествам  $\tilde{A}_{kr}$

Для оценки степени нечеткости подмножеств величин использования модулей (отклонений времен АСТТП) определено линейное расстояние (обобщенное расстояние Хемминга) по формуле  $d(\tilde{A}_{11}, \tilde{A}_{k1}) = \sum_{k=1}^v |\mu_{\tilde{A}_{11}}(\tilde{t}_1) - \mu_{\tilde{A}_{k1}}(\tilde{t}_k)|$  и линейный индекс нечеткости подмножеств времен АСТТП.

Получено, что линейный индекс нечеткости подмножеств АСТТП выше у тех ЛГ, которые имеют два-три мало отличающихся значения времени по варианту. Если вариантов значений времен ЛГ АСТТП более трех, то линейный индекс нечеткости снижается. Если есть только одно значение временного параметра АСТТП, то нечеткость отсутствует. На основе применения метода экспертных оценок рассчитаны интегральные показатели критериев эффективности транспортной работы припортовых станций. На примере припортовой станции «ТГ» результаты сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Оценка аксиоматики организации транспортной работы в системе «железнодорожная станция ”ТГ” – порт»

Наименование показателя	Параметры расчета интегрального критерия эффективности транспортной работы					
	$F_{ij}$ , балл или ед. изм.	$F_{opt}$ , балл или ед.изм.	$\Delta F_{ij}$ , балл или ед.изм	$P_{nij}$ , доля ед.	$P_{kij}$ , доля ед.	$M_{nij}$ , %
Продолжительность АСТТП, ч	37,90	34,42	3,48	0,101	0,899	13,48
Стоимость простоя местного вагона, млн руб.	1,42	1,29	0,13	0,100	0,900	13,50
Скорость транспортного процесса, вагоноп. / ч	2,86	3,15	0,29	0,092	0,908	9,08
Количество модулей управления системы на один местный вагон, ед.	0,110	0,100	0,010	0,100	0,900	4,5
Регулярность / ритмичность транспортных процессов, балл	65	72	7	0,097	0,903	4,51
Линейная плотность вагонопотока / грузозав. давление, т/км	214	214	0	0	1	5
Экологичность транспортной работы, балл	75	75	0	0	1	5
Логичность управленческих решений, балл	70	77	7	0,091	0,909	9,09
Клиентоориентированность транспортной работы, балл	75	80	5	0,063	0,937	9,37
Уровень цифровизации трансп. работы, балл	70	75	5	0,067	0,933	4,66
Производительность местного вагона, балл	80	88	8	0,091	0,909	13,64
Интегральный показатель эффективности транспортной работы, $E_j$	91,83					

Сравнительные результаты моделирования транспортной работы в системе «железнодорожная станция – порт» представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Сводная ведомость сравнения результатов вариантов организации транспортной работы припортовых станций

Показатели	Значения по станциям												
	Станция «А»	Станция «Г»	Станция «Е»	Станция «З»	Станция «КВ»	Станция «КЗ»	Станция «М»	Станция «П»	Станция «ТМ»	Станция «ТС»	Станция «У»	Станция «Н» <sub>суд.</sub>	Станция «Н» <sub>пр</sub>
$E_j, \%$	83,01	97,94	94,71	92,95	91,17	93,25	93,37	91,83	92,55	96,34	88,61	90,51	91,38
Разница ( $\Delta$ ) между фактическим вариантом организации транспортной работы припортовой станции и проектным вариантом при логической аксиоматике транспортных процессов													
Продолжительность АСТП, ч	0,94	0,48	0,96*	1,94	2,63	1,75	1,75	3,48	1,76	0,72	1,5	3,69	3,38
Стоимость простоя местного вагона, млн руб.	0,07	0,06	0,04	0,19	0,95	0,02	0,05	0,13	0,14	0,29	0,01	3,5	3,0
Скорость транспортного процесса, вагоно-оп./ч	0,25	0,79	0,4	0,53	0,84	0,09	0,29	0,29	0,51	1,29	0,07	3,48	3,02
Количество модулей управления на один переработанный местный вагон, ед.	0,004	0	0	0,006	0,007	0,026	0,008	0,01	0,005	0	0,052	0,001	0,001

Примечание: \* – при освоении планируемого вагонопотока необходимо совершенствование путевого развития.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований позволяют сделать основные следующие выводы:

1. Исследованы экономико-географические, социальные, производственно-транспортные предпосылки формирования региональных припортовых грузовых накопительно-распределительных систем АЧБ и выполнена их классификация. Произведен анализ дестабилизирующих факторов в работе припортовых железнодорожных станций и представлены мероприятия по повышению эффективности взаимодействия в системе «железнодорожная станция – порт».

2. Исследован отечественный и зарубежный научный опыт в области рациональной организации транспортно-технологических процессов припортовых железнодорожных систем и уровней управления в них. Их использование обосновано значительной сложностью данных транспортных систем, необходимостью учета совместного влияния противоречивых внешних и внутренних факторов.

3. Выполнена параметризация технологических связей в системе «припортовая железнодорожная станция – порт», при которой технологические линии

обслуживания грузо- и поездопотоков в припортовой ТТС могут быть совмещены с соответствующим уровнем технического оснащения станционных структур и пространственным расположением объектов ТТС. Разработана вероятностная матрица связи технологических операций и объектов станционной инфраструктуры припортовой станции (порта) при выполнении конкретных операций по передаче подвижного состава в системе «железнодорожная станция–порт», в соответствии с которой наибольшая плотность вероятностей приходится на количество парковых элементов станций от 4 до 5 при значении вероятности использования от 0,75 до 0,9. Рассчитаны энтропии случаев занятия свободности элементов инфраструктуры припортовой станции.

4. Разработаны транспортно-технологические схемы, модельные схемы и вероятностные матрицы связей парковых элементов и видов операций припортовых железнодорожных станций, позволяющие аналитически моделировать технологию транспортного производства и управленческие решения в системе «железнодорожная станция – порт». Разработан авторский метод формирования МСС и АСТТП, которые представляют собой логическую спецификацию транспортных процессов и станционных структур в исполнимом логическом языке в исчислении предикатов первого порядка с равенством. Исполнение этой спецификации дает логическую модель транспортного процесса и структуры железнодорожной станции.

5. Сформированы варианты объединения АСТТП в логические группы (ЛГ) управления для всех припортовых станций и аналитически определены продолжительности ЛГ АСТТП. Составлены авторские программные модули аналитического моделирования и расчета продолжительности времен всех транспортных процессов и определены их прогнозируемые значения (не менее 100 вариантов по каждой ЛГ, всего более 25 тыс. значений времен АСТТП).

6. Для оценки степени эффективности транспортной работы в системе «железнодорожная станция – порт» в условиях нечеткости временных параметров и многовариантности управления предложено использовать модифицированные показатели: среднюю скорость транспортных процессов (получены значения от 33,49 до 29,11 вагоно-оп./ч для крупных припортовых станций; от 3,15 до 7,32 вагоно-оп./ч для малых припортовых станций), размер транспортного действия по времени ( $1057-4242 \frac{\text{ваг}\cdot\text{км}}{\text{час}}$  для крупных припортовых станций;  $191-890 \frac{\text{ваг}\cdot\text{км}}{\text{час}}$  для малых припортовых станций), плотность местного вагонопотока ( $25,4-52,9 \frac{\text{ваг}}{\text{км}}$  для крупных припортовых станций;  $1,3-17,6 \frac{\text{ваг}}{\text{км}}$  для малых припортовых станций), количество модулей МСС, приходящихся на один переработанный местный вагон (0,012–0,294 в зависимости от схемы станции).

7. Получено сокращение продолжительности АСТТП по наиболее продолжительным логическим схемам управления на 3–5 % (от 0,5 до 2,6 ч), повышена скорость транспортных процессов на 2,6–3,5 вагоно-оп./ч. Интегральный показатель критерия эффективности транспортной работы припортовых станций составил от 83,01 до 97,94 % (причем для припортовой станции «Н» до реконструкции – 90,51 %, а после реконструкции – 91,38 %, что подтверждает целесообразность проекта).

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

1. При разработке вариантов управленческих решений в транспортных системах необходимо задействовать новые методы нечеткого аналитического моделирования и перспективного нейросетевого подхода из-за учета совместного влияния противоречивых внешних и внутренних факторов.

2. Для характеристики качества транспортной работы возможно использовать логическое моделирование посредством АСТТП и их сочетания в группы для дальнейшего формирования цифровой модели управления.

3. Методы выбора управленческих решений в системе «железнодорожная станция – порт» требуют исследования и оценки очень большого объема данных. Для этого следует рассмотреть возможность формирования корпоративной унифицированной электронной базы параметров данных припортовых станций.

4. Разработанный в диссертации метод аналитического моделирования транспортной работы и оценки временных параметров с позиций нечеткой формализации имеет динамический характер и может быть адаптирован к процессам транспортного производства других видов транспорта.

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

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

1. **Безусов, Д. С.** Интегральная оценка показателя эффективности транспортной работы припортовых железнодорожных станций / Д. С. Безусов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 3. – С. 105–115. – DOI 10.46973/0201-727X\_2022\_3\_105.

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

3. Числов, О. Н. Транспортно-технологические модели припортовых железнодорожных станций / О. Н. Числов, **Д. С. Безусов** // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 4. – С. 101–110. – ISSN 0201-727X.

4. Числов, О. Н. Аксиоматика транспортных процессов припортовых грузовых станций / О. Н. Числов, В. В. Ильичева, **Д. С. Безусов** // Вестник транспорта Поволжья. – 2017. – № 4. – С. 68–76. – ISSN 1997-0722.

5. Clustering Methods and Time Parameterization in the Management of Port Cargo Flows / O. Chislov, N. Magomedova, A. Kravets, **D. Bezusov**, V. Zadorozhniy // In: Technological Advancements in Construction. Lecture Notes in Civil Engineering / A. Mottaeva (eds). – Springer, Cham., 2021. – Vol. 180. – P. 265–278. – DOI 10.1007/978-3-030-83917-8\_25.

6. Fuzzy modelling of the transportation logistics processes / O. Chislov, N. Lyabakh, M. Kolesnikov, M. Bakalov and **D. Bezusov** // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 2131. – No. 032007. – DOI 10.1088/1742-6596/2131/3/032007.

*Публикации в журналах и научных сборниках:*

7. **Безусов, Д. С.** Развитие методов управления транспортно-логистическими процессами припортовых железнодорожных станций на принципах нечеткого аналитического моделирования / Д. С. Безусов // Труды Международной научно-практической конференции, посвященной 125-летию университета «Академик Владимир Николаевич Образцов – основоположник транспортной науки». – Москва : РУТ (МИИТ), 2021. – С. 71–80. – ISBN 978-5-907586-31-4.

8. Числов, О. Н. Особенности применения морфологического анализа в принятии решений по организации транспортных процессов припортовых станций / О. Н. Числов,

**Д. С. Безусов**, Е. Е. Мизгирева // Труды Международной научно-практической конференции «Транспорт-2021». Т. 4 : Экономические и технические науки. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2021. – С. 312–316. – ISBN 978-5-907295-43-8.

9. **Безусов, Д. С.** О постановке задачи формальной верификации временных рядов транспортных процессов припортовых железнодорожных станций / Д. С. Безусов, О. Н. Числов // Труды Международной научно-практической конференции «Транспорт-2020». Ч. 1 : Экономические и технические науки. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2020. – С. 38–42. – ISBN 978-5-907295-14-8.

10. Числов, О. Н. Направления повышения эффективности транспортных процессов припортовых железнодорожных станций на принципах аналитического моделирования / О. Н. Числов, **Д. С. Безусов** // Международный сборник научных статей «Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов». – Гомель : БелГУТ, 2020. – С. 185–194. – ISSN 2664-5025.

11. Числов, О. Н. Формирование программного комплекса нормирования параметров технологических процессов припортовых грузовых станций / О. Н. Числов, **Д. С. Безусов** // Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России (ТРАНСПРОМЭК-2019)». Т. 2. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2019. – С. 138–147. – ISBN 978-5-88814-995-9.

12. Числов, О. Н. Аналитический подход к моделированию транспортно-технологических процессов припортовых грузовых станций / О. Н. Числов, **Д. С. Безусов** // III Международная научно-практическая конференция «Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах» (РИЛТТРАНС-2019). – Санкт-Петербург : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2020. – С. 64–73.

13. **Безусов, Д. С.** Параметризация транспортных процессов припортовых грузовых станций / Д. С. Безусов // Международная научно-практическая конференция «Транспорт-2018». Ч. 1 : Экономические и технические науки. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2018. – С. 16–19. – ISBN 978-5-88814-810-5.

14. Числов, О. Н. Новороссийский железнодорожный узел – ключевой фактор обеспечения стабильности грузоперевозок в адрес морских портов региона / О. Н. Числов, **Д. С. Безусов** // II Международная научно-практическая конференция «Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах» (РИЛТТРАНС-2017). – Санкт-Петербург : ООО «АРТ-ЛАЙН», 2018. – С. 64–73.

15. **Безусов, Д. С.** Организация современной работы южно-российских припортовых грузовых станций / Д. С. Безусов // Сборник трудов Седьмой Международной научно-практической конференции «Транспортная инфраструктура Сибирского региона». – Иркутск : ИрГУПС, 2016. – С. 50–54.

16. **Безусов, Д. С.** Актуальные вопросы государственно-частного партнерства в развитии припортовых транспортно-технологических систем / Д. С. Безусов, О. Н. Числов // XI Международная научно-практическая конференция «Наука и образование транспорту». – Самара : СамГУПС, 2016. – С. 90–91.

17. **Безусов, Д. С.** Инфраструктурно-технологическое взаимодействие в системе организации мультимодальных грузоперевозок / Д. С. Безусов // XXI Международная научно-практическая конференция «Современные тенденции развития науки и технологий». – Белгород : 2016. – С. 11–22. – ISSN 2413-0869.

18. **Безусов, Д. С.** Исторические аспекты в развитии инфраструктуры припортовых грузовых станций юга России / Д. С. Безусов // Труды Международной научно-практической конференции «Транспорт-2015». Ч. 1 : Экономические и технические науки. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2015. – С. 24–26. – ISBN 978-5-88814-411-4.

19. **Безусов, Д. С.** Системы организации переработки вагонопотоков припортовых грузовых станций при различных схемах инфраструктурного развития / Д. С. Безусов // Труды Международной научно-практической конференции «Перспективы развития и эффективность функционирования транспортного комплекса юга России», посвященной 85-летию РГУПС. Ч. 3 : Гуманитарные, экономические и юридические науки. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2015. – С. 27–29. – ISBN: 978-5-88814-399-5.

20. **Безусов, Д. С.** Припортовая грузовая станция в системе мультимодальных перевозок / Д. С. Безусов // Сборник трудов международной научно-практической конференции «Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах» (РИЛТТРАНС-2015). – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2015. – С. 211–223. – ISBN 978-5-7641-0892-6.

21. **Безусов, Д. С.** Транспортно-технологическое моделирование инфраструктуры и организации работы припортовых грузовых станций России / Д. С. Безусов // Труды Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию кафедры «Технология транспортных процессов и логистика». – Хабаровск : ДВГУПС, 2014. – С. 104–109. – ISBN 978-5-262-00729-5.

*Монографии:*

22. Методы управления параметрами грузо- и вагонопотоков припортовых транспортно-технологических систем: модели и алгоритмы : монография / О. Н. Числов, В. М. Задорожний, А. С. Кравец, **Д. С. Безусов** ; под редакцией О. Н. Числова ; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов-на-Дону, 2020. – 250 с. – ISBN 978-5-907295-27-8.

23. Методы цифровизации и интеллектуализации параметров логистического взаимодействия в системе «железнодорожная станция – порт» в условиях мультиагентности транспортно-технологических процессов : монография / О. Н. Числов, М. В. Колесников, В. М. Задорожний, М. В. Бакалов, **Д. С. Безусов** ; ФГБОУ ВО РГУПС ; АНО ВО НТУ «Сириус». – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2022. – 396 с. – ISBN 978-5-907295-74-2.

*Учебно-методические пособия:*

24. Числов, О. Н. Инновационные технологии в грузовой и коммерческой работе : учебно-методическое пособие / О. Н. Числов, В. М. Задорожний, **Д. С. Безусов** ; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов-на-Дону : [б. и.], 2019. – 39 с.

25. **Безусов, Д. С.** Пути сообщения : учебно-методическое пособие для практических работ / Д. С. Безусов, О. Н. Числов ; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов н/Д : [б. и.], 2017. – 32 с.

26. Взаимодействие видов транспорта : учебно-методическое пособие для обучающихся по направлению подготовки 23.05.04 (190401) – Эксплуатация железных дорог (для практических занятий и выполнения расчетно-графической работы) / О. Н. Числов, Н. Н. Коренькина, **Д. С. Безусов** [и др.] ; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов-на-Дону : [б. и.], 2017. – 43 с.

**Личный вклад соискателя.** Основные положения и результаты исследований самостоятельно получены автором. Статьи [1, 7, 13, 15, 17–21] подготовлены единолично. Личный вклад автора в работах, опубликованных в соавторстве: [2–6, 8–12, 14, 16, 22–26] – постановка задач исследований, проведение расчетов, обработка и обобщение полученных результатов.

**Безусов Данил Сергеевич**

**РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ИНФРАСТРУКТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В РЕГИОНАЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ  
ПРИПОРТОВОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано в печать 23.04.2023. 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, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка  
Народного Ополчения, д. 2, www.rgups.ru