

На правах рукописи



Чеботарева Евгения Андреевна

**ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ ОРГАНИЗАЦИИ
ТРАНСПОРТНОГО ПРОИЗВОДСТВА В ПРИПОРТОВЫХ
ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

Специальность 2.9.1 – Транспортные и транспортно-технологические системы
страны, ее регионов и городов, организация
производства на транспорте (технические науки)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Ростов-на-Дону
2025

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

Научный консультант:

Верескун Владимир Дмитриевич,
доктор технических наук, профессор,
ректор ФГБОУ ВО «Ростовский
государственный университет путей
сообщения», г. Ростов-на-Дону

Официальные оппоненты:

Бородин Андрей Федорович,
доктор технических наук, профессор,
начальник отдела технологического
обеспечения автоматизированных систем
АО «Институт экономики и развития
транспорта», г. Москва

Москвичев Олег Валерьевич,
доктор технических наук, доцент,
директор Института управления и экономики
ФГБОУ ВО «Приволжский государственный
университет путей сообщения», г. Самара

Тимухина Елена Николаевна,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Управление
эксплуатационной работой» ФГБОУ ВО
«Уральский государственный университет
путей сообщения», г. Екатеринбург

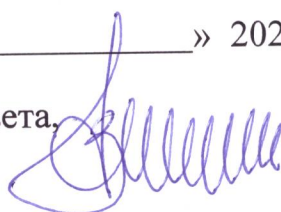
Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС), г. Санкт-Петербург.

Защита состоится «15» декабря 2025 года в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 44.2.005.03 на базе ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО РГУПС) по адресу: 344038, Ростовская область, г. о. город Ростов-на-Дону, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, зд. 2, конференц-зал.

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

Автореферат разослан «_____» «_____» 2025 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
д.т.н., профессор



В. А. Финоченко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью решения задач, поставленных перед транспортным комплексом на перспективу, в т. ч. развития внешней торговли, экспорта транспортных услуг, цифровизации грузовых перевозок, нашедших отражение в Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года (Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27.11.2021 № 3363-р).

Транспортная инфраструктура является стратегическим элементом развития экономики России, при этом в сфере железнодорожного транспорта сохраняются объективные проблемы и ключевые инфраструктурные вызовы. Изменения технико-технологического состояния транспортной инфраструктуры российских железных дорог и условий выполнения эксплуатационной работы на железнодорожных подходах к морским портам страны вызвали необходимость переосмысления парадигмы управления перевозочным процессом, пересмотра границ и механизмов управления перевозочной деятельностью. Так, с 1991 по 2023 г. отправление грузов в железнодорожном сообщении через морские порты увеличилось с 30,6 млн до 334,7 млн т. В условиях роста экспортных грузопотоков появилась необходимость изменения всей технологической схемы организации работы припортовых станций с перевалочными грузами. Наибольший прирост отмечен в адрес портов, обслуживаемых Октябрьской, Дальневосточной и Северо-Кавказской железными дорогами. Формирование крупных выгрузочных районов в районах расположения морских портов, получающих грузовые отправки из отдаленных районов сети, привело к концентрации грузопотоков и образованию высокозагруженных направлений, где резервы пропускной способности оказались практически исчерпаны.

Геополитические изменения потребовали перестройки традиционных схем доставки грузов, что изменило логистику перевозок, сказалось на эксплуатационных показателях работы железных дорог, в том числе на выполнении сроков доставки грузовых и порожних отправок. Удовлетворение потребностей роста экономики в перевозках грузов во внутреннем и международном сообщении, обеспечение конкурентоспособности транспортной системы Российской Федерации с учетом новых геополитических факторов выдвигают на первый план решение задач совершенствования взаимодействия видов транспорта при перевозках грузов в смешанном сообщении, поиска новых логистических схем доставки грузов. Однако в настоящее время сохраняются диспропорции в условиях работы отдельных видов транспорта и модернизации их транспортной инфраструктуры. Структура грузооборота и пассажирооборота железнодорожного транспорта (с учетом преимущественно смешанного грузопассажирского движения) обуславливает необходимость увеличения пропускных и провозных способностей железнодорожных участков и направлений, что требует развития новых технологий, технических решений и средств управления движением, поэтому важнейшей задачей при этом становится корректировка существующих технико-технологических моделей управления перевозочным процессом на полигонах, особенно в направлении морских портов.

Степень разработанности темы исследования

Вопросы комплексного развития транспортных систем и технологий организации транспортной работы, взаимодействия различных видов транспорта и повышения качества транспортно-логистического обслуживания отражены в работах В. В. Багиновой, М. В. Бакалова, А. С. Балалаева, Д. С. Безусова, И. П. Владимирской, Э. А. Гагарского, Е. В. Голубевой, В. В. Зубкова, В. В. Зырянова, С. Ю. Елисеева, М. В. Колесникова, С. Н. Корнилова, А. Ф. Котляренко, Р. Г. Короля, П. В. Куренкова, О. Н. Ларина, С. Б. Лёвина, О. Б. Маликова, Э. А. Мамаева, О. В. Москвичева, В. М. Миронюка, Л. Б. Миротина, В. Н. Морозова, В. М. Николашина, П. А. Новикова, А. В. Новичихина, В. А. Персианова, М. Б. Петрова, О. Д. Покровской, Н. В. Правдина, А. Н. Рахмангулова, С. М. Резера, Н. А. Тушина, Н. А. Филипповой, О. Н. Числова и др.

В развитие исследований в области управления перевозочным процессом и организации перевозок на железнодорожном транспорте, организации поездов и вагонопотоков, местной работы, транспортного производства, управления объектами железных дорог свой вклад внесли такие отечественные ученые, как А. А. Абрамов, В. М. Акулиничев, А. Э. Александров, В. И. Апатцев, А. Ф. Бородин, К. А. Бернгард, С. В. Бушуев, В. Д. Верескун, Р. В. Горин, Г. М. Грошев, П. С. Грунтов, Б. И. Давыдов, А. В. Дмитриенко, В. М. Задорожний, В. Н. Зубков, Ф. П. Кочнев, П. А. Козлов, В. С. Колокольников, Т. А. Каликина, А. Г. Котенко, В. А. Кудрявцев, Н. Н. Кулагин, Д. Ю. Левин, Н. Н. Мусиенко, А. Т. Осьминин, Ю. О. Пазойский, М. Б. Петров, А. Т. Попов, Е. Д. Псеровская, Ф. С. Пехтерев, Е. Н. Розенберг, В. М. Сай, Н. А. Сапунов, Н. Ф. Сирина, Н. К. Сологуб, А. А. Смехов, Е. А. Сотников, И. Б. Сотников, Е. Н. Тимухина, Е. М. Тишкин, А. К. Угрюмов, Р. Ю. Упырь, А. Г. Черняев, И. Н. Шапкин, В. А. Шаров, П. А. Шульженко и др.

Теория и методология рационального использования и развития технического оснащения сети железных дорог, станционной и портовой инфраструктуры получили развитие в исследованиях А. П. Батурина, А. Ф. Бородина, С. А. Бессоненко, А. К. Головича, Ю. И. Ефименко, Д. В. Железнова, А. А. Климова, Б. С. Козина, Д. С. Муравьева, В. Я. Негрея, В. Н. Образцова, П. К. Рыбина, К. Ю. Скалова, О. Н. Числова, В. П. Ярошевича и др.

Большой вклад в развитие теории и практики моделирования сложных систем, имитационного моделирования, когнитивного моделирования, информационного обеспечения перевозок грузов и автоматизации управления перевозочным процессом внесли А. Э. Александров, Г. И. Белявский, А. Ф. Бородин, Н. П. Бусленко, В. А. Буянов, Г. В. Горелова, И. А. Гильденгорн, А. Н. Гуда, И. Д. Долгий, С. Ю. Елисеев, А. А. Ерофеев, Е. Г. Жданова, В. Н. Иванченко, Н. Д. Иловайский, А. А. Козлов, В. С. Колокольников, В. А. Кудрявцев, Д. А. Ломаш, Н. Н. Лябах, Э. А. Мамаев, А. С. Мишарин, О. В. Осокин, А. Т. Осьминин, А. П. Петров, Ю. И. Рыжиков, Б. Я. Советов, В. Н. Томашевский, Л. П. Тулупов, Е. М. Ульяницкий, М. Н. Чепцов, С. А. Яковлев и другие ученые.

Среди зарубежных исследователей отметим Дж. Форрестера, Р. Шеннона, Б. Шмидта, Т. Дж. Шрайбера, Ли Бинчжана, Шукая Ли и др.

Цель диссертационного исследования – развитие теоретических основ, методологической базы и информационного инструментария процессов организации транспортного производства в припортовых транспортно-технологических системах страны (ПТТС) в условиях изменения структуры и объемов грузопотоков в железнодорожно-морском сообщении с учетом повышения уровня организационно-технологической надежности ПТТС, реализации полигонных принципов управления перевозочным процессом и интеллектуализации процессов управления.

В соответствии с поставленной целью в процессе исследования решаются следующие **теоретико-методологические и методические задачи**:

- исследование научного, методического и практического опыта организации транспортного производства в ПТТС;
- выявление основных параметров и дестабилизирующих факторов в организации работы ПТТС, а также разработка механизмов устойчивого функционирования ПТТС в условиях изменения внешних и внутренних факторов;
- исследование технологических форм обеспечения взаимодействия видов транспорта и участников транспортного рынка в ПТТС;
- развитие теории и методологии повышения уровня организационно-технологической надежности (ОТН) ПТТС с участием железнодорожного вида транспорта;
- развитие методологии организационно-технологического управления (ОТУ) перевозками в ПТТС в условиях интеллектуализации и цифровизации производственных процессов;
- разработка «цифрового двойника» железнодорожного участка припортовой железной дороги с элементами нейросетевого управления движением поездов;
- моделирование транспортных процессов на грузонапряженных направлениях припортовых железных дорог, в т. ч. с применением технологий искусственного интеллекта (ИИ).

В соответствии с поставленной целью в процессе исследования решаются следующие **прикладные задачи**:

- классификация факторов, влияющих на выполнение договорных сроков доставки в условиях увеличения размеров движения на отдельных участках и направлениях в адрес получателей припортовой железной дороги;
- определение зон напряженности в организации перевозочной работы ПТТС на основе систематизации причинно-следственных связей нарушений сроков доставки грузов, зависящих от организационно-технологической надежности (ОТН) работы железнодорожного транспорта, внешних и внутренних возмущающих воздействий на технологию перевозок;
- совершенствование методов усиления пропускной и перерабатывающей способности железнодорожных станций и перегонов ПТТС;
- развитие методов и алгоритмов оперативного управления экспортными перевозками на железнодорожном транспорте с учетом реализации полигонных технологий и развития информационной логистики;

– совершенствование технико-технологической модели управления перевозочным процессом на полигоне в направлении морских портов с учетом повышения уровня ОТН.

Объектом исследования являются организация транспортного производства в припортовых транспортно-технологических системах, система управления и процесс организации железнодорожных перевозок в адрес морских портов на укрупненных полигонах.

Предметом исследования являются методы выработки принятия эффективных решений по организации железнодорожных перевозок на укрупненных полигонах железных дорог в адрес морских портов с учетом развития информационного инструментария обеспечения внешнеторговых перевозок и принципов логистики.

Содержание диссертации соответствует предметной области научной специальности 2.9.1 «Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте» (технические науки): п. 1 – «Транспортные системы и сети страны, их структура, комплексное развитие», п. 7 – «Технологии перевозок различными видами транспорта, мультимодальные перевозки; международные и транзитные перевозки», п. 8 – «Организация и технологии транспортного производства. Цифровизация на транспорте», п. 11 – «Надежность и безопасность функционирования транспортных систем, управление рисками».

Теоретико-методологическую основу настоящего исследования составляют фундаментальные работы отечественных и зарубежных ученых в области исследования транспортных операций и процессов, занимающихся изучением транспортного производства припортовых железных дорог, проблемами взаимодействия видов транспорта, развития интеллектуальных систем и цифровых технологий.

Методической основой теоретических исследований являются системный подход и современный математический аппарат системных исследований. Используются методы когнитивного моделирования, динамического и нейросетевого программирования, инструментарий для структурного анализа, алгоритмизации и моделирования сложных систем управления.

Методика исследований основывается на:

- критическом анализе тенденций развития транспортных систем, а также отечественной и зарубежной практики оптимизации их структуры, организации транспортного производства и управления сложными объектами;
- системном анализе и исследовании работы припортовых железных дорог, при котором изучаемые явления и события рассматриваются с различных точек зрения (организации, управления, надежности и т. д.).

Информационно-эмпирическую и нормативно-правовую базу данной работы составляют результаты отечественных и зарубежных исследований, материалы международных научно-практических конференций, статистическая отчетность железнодорожного и других видов транспорта, государственных органов, ресурсы интернета, научные исследования, выполненные автором.

Положения, выносимые на защиту:

1 Уточнение и систематизация необходимого категориального аппарата исследования (понятия «припортовая транспортно-технологическая система», «когнитивный анализ транспортных систем», «организационно-технологическая надежность транспортных систем») требуют акцентированного внимания на основных направлениях повышения ОТН, в том числе за счет развития цифровых и интеллектуальных технологий.

2 Организация транспортного производства в ПТТС должна разрабатываться с учетом региональных особенностей транспортной системы, развития организационно-технологического управления (ОТУ) и повышения ОТН взаимодействующих видов транспорта.

3 Развитие теории ОТН транспортных систем, в т. ч. на основе интеллектуальных технологий обусловлено необходимостью повышения технико-технологической безопасности, финансово-производственной эффективности, качества предоставления транспортных услуг.

4 Концептуальная модель развития производственных процессов припортовых железных дорог с учетом приведения их структурных элементов в соответствие набору производственных и технологических параметров и заданных условий с целью повышения уровня организационно-технологической надежности ПТТС с использованием методов когнитивного моделирования реализует стратегические задачи развития ПТТС.

5 Детерминированные и стохастические модели управления перевозками и подводом грузо-, поезд- и вагонопотоков к припортовым железнодорожным станциям с учетом когнитивных моделей решают задачи эффективной организации работы взаимодействующих видов транспорта в условиях системных изменений в ПТТС.

6 Выработка организационно-технологических решений, направленных на эффективное использование пропускных способностей участков и направлений на подходах к морским портам и крупным потребителям, должна базироваться на использовании технологий «цифровых двойников» и искусственного интеллекта.

Научная новизна исследования состоит в:

1) уточнении категориального аппарата и классификации припортовых транспортно-технологических систем (ПТТС) в национальной транспортной системе, направленном на повышение организационно-технологического уровня взаимодействия;

2) развитии методологии организации транспортного производства в припортовых транспортно-технологических системах, основанной на региональных особенностях транспортной системы, развитии организационно-технологического управления (ОТУ) и повышении организационно-технологической надежности (ОТН) взаимодействующих видов транспорта (железнодорожного и морского);

3) развитии теоретических подходов к системному исследованию ПТТС на принципах организационно-технологической надежности (ОТН) в задачах развития припортовых железных дорог;

4) формировании методологии когнитивного моделирования устойчивого развития ПТТС при использовании инновационных сквозных когнитивных технологий в системах принятия решений и управлении в условиях качественных изменений и требований к транспортной системе страны;

5) развитии методологии организационно-технологического управления (ОТУ) ПТТС в условиях интеллектуализации и цифровизации производственных процессов при ограниченных пропускных способностях транспортной инфраструктуры и диверсификации транспортных услуг;

6) формировании стохастических и детерминированных математических задач и моделей взаимодействия видов транспорта, и управления транспортным производством в ПТТС в условиях интеллектуализации управляющих воздействий;

7) формализации и разработке моделей производственных процессов припортовых железных дорог в условиях волатильности перевозок и оценке резервов пропускных способностей железнодорожных направлений на подходах к морским портам;

8) формировании концепции применения «цифровых двойников» железнодорожных участков и технологий искусственного интеллекта (ИИ) в задачах управления перевозочным процессом в ПТТС.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в:

- уточнении и систематизации необходимого категориального аппарата исследования, обосновании необходимости повышения ОТН ПТТС на основе интеллектуальных и цифровых технологий, что обеспечит технико-технологическую безопасность, финансово-производственную эффективность, качество предоставления транспортных услуг;

- определении зон напряженности в организации перевозочной работы ПТТС на основе систематизации причинно-следственных связей нарушений сроков доставки грузов на полигонах припортовых железных дорог, зависящих от ОТН работы железнодорожного транспорта, внешних и внутренних возмущающих воздействий на технологию перевозок;

- совершенствовании технико-технологической модели управления перевозочным процессом на полигоне в направлении морских портов с учетом повышения уровня ОТН;

- развитии методологии ОТУ железнодорожно-морскими перевозками в ПТТС в условиях полигонных принципов управления и диверсификации транспортных услуг, совершенствовании системы управления подводом грузопотоков, поезд- и вагонопотоков к припортовым железнодорожным станциям на основе применения методов аналитического и имитационного моделирования, цифровых и интеллектуальных технологий управления транспортным производством в ПТТС;

- разработке подхода к выработке организационно-технологических решений, направленных на эффективное использование пропускных способностей участков и направлений на подходах к морским портам и крупным потребителям с использованием технологий «цифровых двойников» и искусственного интеллекта.

Апробация и внедрение результатов исследования

Результаты выполненных исследований докладывались на *международных научно-практических конференциях*: «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития» (Одесса, 2013 г.); «Механика и трибология транспортных систем: МехТрибоТранс-2016», (Ростов-на-Дону); «Инновационные взгляды научной молодежи `2016» (Одесса); «Инновационные взгляды в будущее» (Одесса, 2019 г.); «Наука и образование – транспорту» (Самара, 2019 г.); «Высокие научные цели» (Минск, 2019 г.); TRANSCOM 2021 (Словакия); «Логистика – евразийский мост» (Красноярск, Енисейск, 2021 г.); «Логистика: современные тенденции развития» (Санкт-Петербург, 2021 г.); на XII Международной научно-практической конференции, посвященной 160-летию Белорусской железной дороги, «Проблемы безопасности на транспорте» (Гомель, 2022 г.); I Международной научно-практической конференции «Управление эксплуатационной работой на транспорте (УЭРТ-2022)» (Санкт-Петербург); Международной научно-практической конференции «Транспортные системы, технологии и инфраструктура для пространственного развития территорий: инновации, экологичность и устойчивость», MiTR 2022 (Барнаул, 2022 г.); XV Международной научно-практической конференции «Наука и образование транспорту» (Самара, 2022 г.); Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию БИИЖТа – БелГУТа, «Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов» (Гомель, 2023 г.); XVI Международной научно-практической конференции «Наука и образование транспорту» (Самара, 2023 г.); II Международной научно-практической конференции «Кочневские чтения – 2023: Современная теория и практика эксплуатационной работы железных дорог» (Москва); III Международной научно-практической конференции «Цифровая трансформация транспорта: проблемы и перспективы» (Москва, 2023 г.); «Транспорт: наука, образование, производство» (Транспорт-2014, Транспорт-2015, Транспорт-2016, Транспорт-2017, Транспорт-2018, Транспорт-2021, Транспорт-2022, Транспорт-2023, Транспорт-2024, Транспорт-2025), «Транспорт и логистика» (Ростов-на-Дону, 2018–2024 гг.); «Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России» (ТрансПромЭк-2019, ТрансПромЭк-2020, ТрансПромЭк-2024) (Ростов-на-Дону);

– на *всероссийских научно-практических конференциях* «Транспорт-2011», «Транспорт-2012», «Транспорт-2013» (Ростов-на-Дону), всероссийской национальной научно-практической конференции «Современное развитие науки и техники» (Наука-2017, Наука-2020) (Ростов-на-Дону) и других конференциях.

Материалы и положения диссертационной работы докладывались и получили одобрение на заседаниях Объединенного ученого Совета ОАО «РЖД» в 2021, 2023 гг. (протоколы № 122 от 28.01.2021, № 151 от 28.09.2023), 2024, 2025 гг., на заседании технико-технологического совета Северо-Кавказской железной дороги (протокол № 51 НЗ-1-47/пр от 25.04.2023).

Апробация и внедрение результатов исследования были осуществлены на полигоне Северо-Кавказской железной дороги, в том числе в деятельности

Северо-Кавказской дирекции управления движением – структурного подразделения Центральной дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД», Северо-Кавказского территориального центра фирменного транспортного обслуживания – структурного подразделения Центра фирменного транспортного обслуживания – филиала ОАО «РЖД», компании АО «Новая перевозочная компания», в образовательном процессе по направлению 23.05.04 «Эксплуатация железных дорог» и научно-исследовательской деятельности ФГБОУ ВО РГУПС. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025617556 ИНС_ПОДВОД ПОЕЗДОВ_ПОРТ v.1 Программа автоматизированного создания массива данных для обучения искусственной нейронной сети (ИНС) и управления подводом поездов на припортовые станции с учетом параметров теории надежности работы железнодорожных объектов (26.03.2025).

Публикации. Основное содержание диссертации отражено в 155 печатных работах, в том числе 33 – в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, входящих в перечень ВАК Минобрнауки РФ и 15 – в международных научных изданиях, индексируемых в научных базах данных Scopus и Web of Science, опубликовано 4 монографии, общим объемом 97,99 п.л., в том числе доля соискателя составила 48,23 п.л.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 465 наименований и 7 приложений. Основное содержание диссертационного исследования изложено на 372 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования и степень ее разработанности, сформулированы цель, задачи исследования, объект и предмет исследования, изложены элементы научной новизны, методология и методы исследования, выносимые на защиту научные положения и результаты.

В первой главе «Припортовые транспортно-технологические системы в условиях интенсивных экономических изменений: теория и методология исследований» выполнен анализ функционирования припортовых транспортно-технологических систем (ПТТС) в условиях изменения объема экспортных перевозок и развития международных транспортных коридоров (МТК). Дан обзор зарубежной и отечественной теории и практики развития ПТТС, проведен анализ научных работ по областям и уровням решаемых задач в ПТТС (стратегическому, тактическому и оперативному).

Актуальность исследования закономерностей развития транспортных процессов в ПТТС обусловлена тем, что они играют важнейшую роль в обеспечении экономики стран и в мировом транспортном пространстве. Однако свыше половины объема всех грузов в мире проходит через порты всего 10 стран, что объясняется высокой концентрацией морской торговли и морского судоходства. Некоторые из морских портов имеют «узкую» специализацию, другие становятся мультимодальными узлами и задают вектор развития в морской торговле. Российские морские порты совокупно располагают мощностями в объеме более 1350 млн т, которого удалось достичь в том числе за счет реализации инвестпроектов

нацпроекта «Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры до 2024 г.». Однако дисбаланс в развитии железнодорожной и припортовой инфраструктуры сохраняется.

Необходимость управления подводом грузов в адрес морских портов различными видами транспорта с учетом загруженности транспортной сети, ситуации на выгрузочных фронтах, «полезности» подводимых номенклатур грузов, учета изменения дальности перевозок грузов и других условий требует развития теории и методологии организации транспортного производства припортовых железных дорог. При этом нужно отметить сложность решения данных многофакторных задач с точки зрения формализации процессов, что обуславливает при изучении проблем организации транспортного производства железнодорожных дорог, обслуживающих морские порты, выделение подсистемы «*Припортовая транспортно-технологическая система*» (ПТТС) для эффективного решения организационно-управленческих задач управления смешанными перевозками. Припортовая транспортно-технологическая система – это совокупность субъектов морского, железнодорожного (других видов транспорта), включая порты, транспортные узлы, припортовые и накопительные станции, объединенных едиными информационными и технологическими формами взаимодействия. Смысл выделения ПТТС заключается в создании механизмов их развития, обеспечении управляемости и эффективности транспортных потоков на полигонах припортовых железных дорог.

В условиях быстрых изменений транспортно-логистических потоков работа ПТТС становится еще более стохастической, что затрудняет исследование их сущности, формирование и реализацию прогнозирующей функции. Проблематика современных международных отношений вносит в транспортную отрасль определенные экономические и торговые импульсы, заставляя транспортную инфраструктуру адаптироваться к новым экономическим условиям. В связи с вышеуказанным определены особенности организации и функционирования отечественных ПТТС в условиях изменения структуры и объемов грузопотоков. По результатам проведенных исследований сформулированы факторы развития отечественной транспортной системы, припортовых регионов и их транспортного обеспечения.

Дополнительным импульсом развития стран является наличие МТК, проходящих по их территориям. Из приведенного в исследовании оценочного материала очевидно, что развитие МТК как системы транспортных коммуникаций различных видов транспорта с соответствующей инфраструктурой, характеризующейся высокой потоковой активностью в условиях геополитических изменений, требует комплексного подхода к обеспечению надежности функционирования объектов транспортной системы Российской Федерации, включая ПТТС.

Несмотря на сложные обстоятельства организации работы ПТТС в условиях пандемии коронавирусной инфекции, постковидного периода, геополитических изменений отмечен рост перевозок в железнодорожно-морском сообщении и в целом грузооборота морских портов России в период до 2024 года (рис. 1).



Рис. 1. Грузооборот морских портов России

Анализ данных по работе морских портов показывает, что наибольшая доля грузов в порты Российской Федерации доставляется железнодорожным транспортом (рис. 2).

На фоне геополитических факторов и санкций отмечено радикальное изменение направлений, содержания и конфигурации внешнеторговых потоков, внутренней транспортно-экономической логистики, схем и проектов инфраструктурного развития. Основной грузопоток, поступающий в адрес морских портов железнодорожным транспортом, переориентирован на Дальний Восток, ведутся работы по усилению железнодорожной инфраструктуры Дальневосточной, Октябрьской и Северо-Кавказской железных дорог (СКЖД).

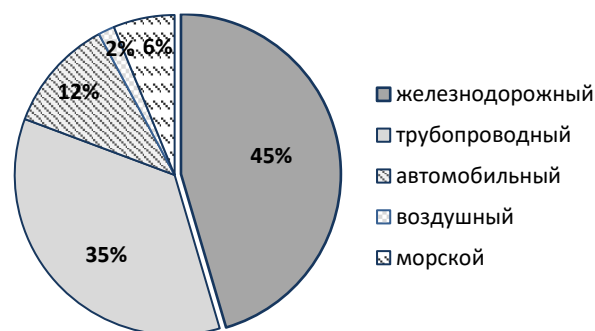


Рис. 2. Доставка грузов в морские порты России в 2023 году разными видами транспорта, %

Значительная доля протяженности участков сети железных дорог, на которых имеются ограничения пропускной и провозной способности, остается одним из сдерживающих факторов увеличения грузопотоков в экспортно-импортном и транзитном сообщении через территорию России, что влияет на эффективность межрегиональных и внутрирегиональных перевозок грузов, снижает конкурентоспособность морских портов. Дисбаланс между пропускной способностью железнодорожных направлений и размером потока при нарушении ритмичности и согласованности взаимодействия элементов логистической цепи повышает роль мощностей, ориентированных на перерабатывающие способности сети (путевое развитие станций и подходов к ним), которые выполняют демпфирующие функции при приеме поездо- и вагонопотоков припортовыми станциями и портовыми терминалами.

В условиях изменения объемов и направлений грузопотоков, наличия факторов, осложняющих выполнение технологических процессов (например, неблагоприятная для погрузки-выгрузки погода) от устойчивости работы ПТТС, способности организационных, технологических и управленческих решений сохра-

нять в заданных пределах свои запроектированные качества, несмотря на воздействие возмущающих факторов, зависит и функциональная устойчивость всей транспортной системы страны.

Поэтому развитие ПТТС должно иметь соответствующее теоретическое, методологическое и инструментальное сопровождение, которое и стало предметом настоящего исследования. Важно учитывать отнесение ПТТС к многомерным, сильно зашумленным (характеризуемым высокой степенью неопределенности) транспортным объектам. Поэтому, несмотря на то, что методологическая основа исследований транспортных систем в современный период довольна разнообразна, системный подход, включающий в себя системный анализ, системный синтез, управление, является обязательным для таких исследований.

В качестве технологий системного подхода к исследованию ПТТС рассмотрены PEST- и SWOT-анализ и синтез, когнитивный анализ и синтез. На рис. 3 предложена упрощенная когнитивная карта, раскрывающая роль и место ПТТС в развитии региона, межгосударственных связей (транспортных коридоров), транспортной отрасли в целом. С помощью специальной программной системы когнитивного моделирования можно симитировать возможные сценарии развития ПТТС, выявить

совокупности положительных и отрицательных обратных связей в системе, а следовательно, определить возможности стабилизации и роста показателей транспортных процессов. Учитывая то, что многие объекты



Рис. 3. Когнитивная карта роли ПТТС

ПТТС находятся на грани технологических и технических возможностей в условиях изменений логистики грузовых перевозок, требуется определение зон напряженности в обеспечении транспортного производства при организации железнодорожно-морских перевозок. С учетом вышеуказанного в первой главе раскрываются основные подходы к системному исследованию ПТТС с участием железнодорожного транспорта, определяются научно-практические проблемы теории и практики, а также направления развития ПТТС в задачах организации железнодорожно-морских перевозок (рис. 4).

Недостаточное развитие теории взаимодействия и регулирования транспортных процессов, надежности организационных и технологических решений для ПТТС в условиях интеллектуализации процессов управления может привести к недооценке резервов транспортных мощностей и снижению конкурентоспособности транспортного комплекса Российской Федерации.

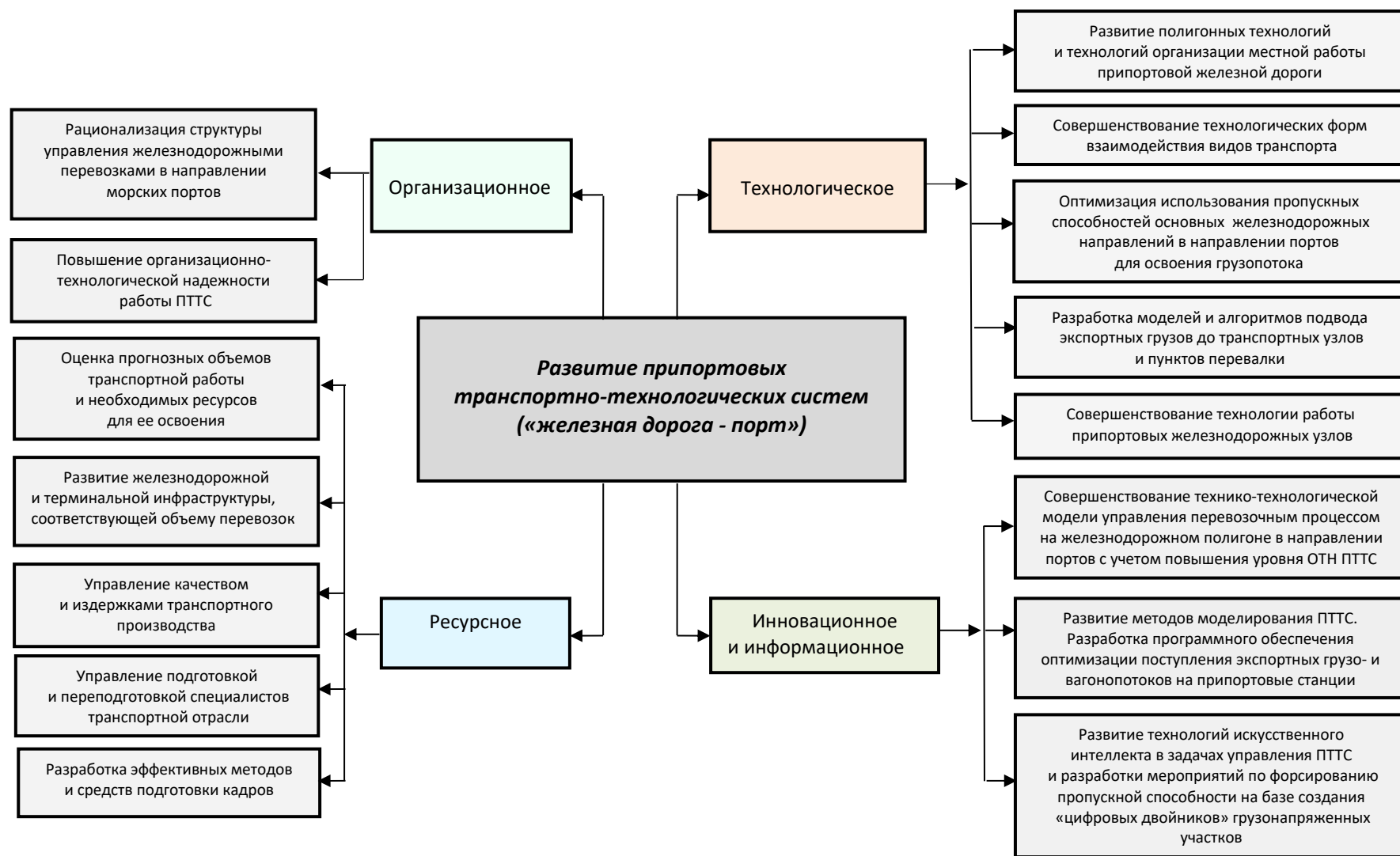


Рис. 4. Направления развития припортовых транспортно-технологических систем (ПТТС) в задачах организации железнодорожно-морских перевозок

Во второй главе «Железнодорожный транспорт в организации транспортного производства в припортовых транспортно-технологических системах» выявлены системные изменения условий организации перевозочного процесса в ПТТС с учетом их региональных аспектов. ПТТС призваны решать сложнейшую задачу координации огромного числа участников перевозок, структурных подразделений транспорта, образующих транспортный конвейер. Пять приморских регионов, на территории которых расположены порты Арктического, Азово-Черноморского, Балтийского, Дальневосточного и Каспийского бассейнов имеют свои особенности, как в части своего расположения и размещения по отношению к основным грузообразующим центрам, так и в зависимости от климатических, топографических и гидрологических условий.

Каждая припортовая железная дорога также имеет свои специфические особенности (протяженность, виды тягового обслуживания, географическое расположение морских портов, расположение сортировочных станций, объемы местной и пассажирской работы и др.), которые определяют особенности технологии и организации транспортного производства припортовых железных дорог. Необходимость расширения группы признаков ПТТС в их классификации (рис. 5) обусловлена выявленными системными изменениями условий организации перевозочного процесса. Унаследованные от советского периода особенности экономики, ориентированной преимущественно на внутренний рынок, уменьшили темпы развития припортовых регионов, в отдельных случаях повлияли на особенности размещения, проектирования и технологии работы припортовых транспортных узлов, работающих, например, на импорт (для портов юга России), что в дальнейшем потребовало не только реконструкции железнодорожных узлов, развития железнодорожных подходов, но и развития системы управления и технологий перевозочного процесса.

Анализ показал, что методологическое и практическое решение проблем организации транспортного производства в ПТТС в условиях роста объемов перевозок осуществляется по разным направлениям (рис. 6), в т. ч. за счет увеличения мощности инфраструктуры припортовой дороги, развития форм взаимодействия (Единых технологических процессов полигонов (ЕТПП), Единых комплексных технологических процессов (ЕКТП)). И аналогично, при снижении объемов перевозок появляются задачи эффективного использования малодетальных линий, распределения ресурсов и др. Поэтому важнейшей задачей для организации эффективной работы ПТТС во взаимодействии с железнодорожным транспортом является корректировка технико-технологической модели управления перевозочным процессом на полигоне в направлении портов, которая включает в себя достаточно много элементов.

Для определения задач развития ПТТС во взаимодействии с железнодорожным транспортом в исследовании раскрывается характеристика транспортных и производственно-технологических процессов в направлении морских портов (на примере Азово-Черноморского бассейна), на основании которой дается оценка работы припортовой Северо-Кавказской железной дороги и транспортного комплекса Южного региона.

Выявление характерных признаков ПТТС



Рис. 5. Характерные признаки ПТТС



Рис. 6. Решение проблем организации транспортного производства в ППТС при увеличении объемов перевозок в железнодорожно-морском сообщении

Показано, что отсутствие резервов пропускной способности на подходах к морским портам при росте грузопотоков может приводить к переходу работы элементов в ППТС в утяжеленное состояние, когда эксплуатационные показатели ухудшаются. Указанный переход может быть обусловлен рядом факторов (табл. 1), однако на сегодняшний день характерными проявлениями его являются завышение нормы рабочего парка вагонов для припортовых железных дорог, нарушение сроков доставки, увеличение издержек на организацию эксплуатационной работы. Общая схема возможных режимов работы эксплуатационной работы ППТС и ее структурных элементов представлена на рис. 7. Такой подход отличается переносом различных режимов поездной работы, предложенных д.т.н. Левиным Д.Ю., применительно к более крупным объектам (припортовой дороге и полигону).

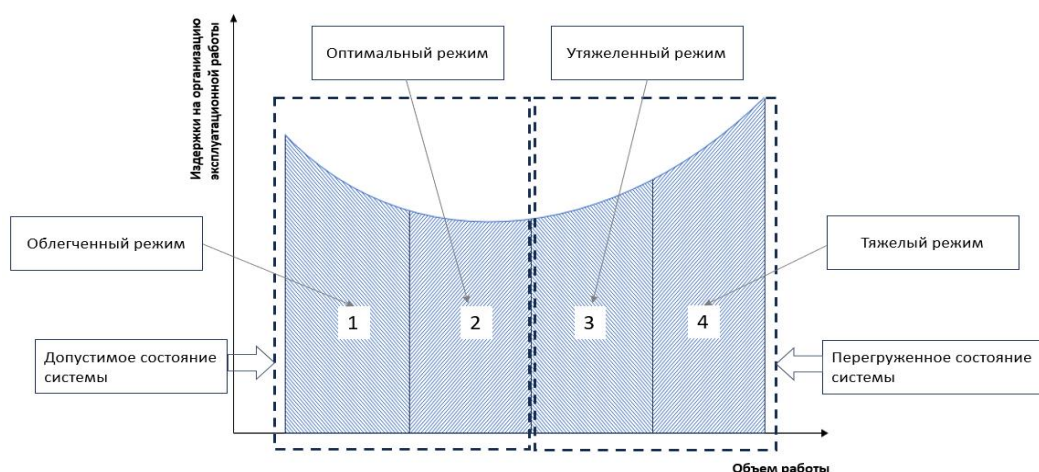


Рис. 7. Режимы работы элементов припортовой железной дороги

С учетом того факта, что наибольшие суммы финансового риска отмечены именно для припортовых железных дорог на примере СКЖД проведено исследование резервов пропускных способностей для грузонапряженных железнодорожных участков в условиях высокой волатильности грузо- и пассажиропотоков

с выделением зон «напряженности» в организации перевозочной работы. Выявлены причинно-следственные связи нарушений договорных обязательств железной дороги с состоянием объектов транспортной инфраструктуры, надежностью выполнения обязательств контрагентами, внешними критическими факторами, влияющими на организацию перевозочного процесса. Первичную группу факторов, приводящих к нарушениям сроков доставки, предложено разделить на три группы (см. табл. 1):

1) внешние факторы, которые не могут быть урегулированы деятельностью перевозчика ОАО «РЖД»;

2) факторы, которые зависят от организации транспортно-технологических процессов ОАО «РЖД» и влияют на перевозочный процесс;

3) факторы, которые зависят от технологии взаимодействия участников перевозочного процесса (контрагентов ОАО «РЖД»).

Как следствие, появляется вторичная группа факторов, влияющих на режимы работы припортовой железной дороги.

Таблица 1 – Факторы и характер их влияния на режимы работы припортовой железной дороги

Обозначение	Характеристика	Группа	Обозначение	Характеристика	Группа
1	2	3	4	5	6
<i>Первичная группа факторов</i> $P = < P_{инфр}, P_v, P_{пор}, P_{контр}, P_{внутр\ техн}, P_{пасс., мест}, P_{рес}, P_{огр\ эксп/имп}, P_{пог}, P_{стп, тех пр} >$					
$P_{инфр}$	факторы, связанные с недостатком развития инфраструктуры, отсутствием резервов пропускной способности	(2)	$P_{пасс., мест}$	связанные с изменением объемов пассажирской и местной работы припортовой железной дороги, выполняемой на одной совмещенной инфраструктуре	(1)
P_v	связанные с волатильностью грузо- и поездопотоков	(1)	$P_{рес}$	связанные с несоответствием ресурсов и их параметров (локомотивный парк, кадровое обеспечение и др.) объемам транспортной работы	(2)
$P_{пор}$	связанные с дисбалансом порожнего и груженого вагонопотоков по направлениям продвижения экспортного и импортного грузопотоков	(2,3)	$P_{огр\ эксп/имп}$	связанные с вводом временных или постоянных ограничений, санкций в отношении грузов перерабатываемых в морских портах Российской Федерации	(1)
$P_{контр}$	связанные с нарушением технологии работы контрагентов	(3)	$P_{пог}$	связанные с разрывами в непрерывных технологических процессах в связи с влиянием погодных и климатических факторов	(1)
$P_{внутр\ техн}$	связанные с технологическими процессами и их нарушениями в местном сообщении и на дорогах погрузки, транзитных дорогах	(2)	$P_{стп, тех пр}$	связанные с отсутствием скорректированных технологических форм взаимодействия, системы организации продвижения поездо- и вагонопотоков	(2,3)
<i>Вторичная группа факторов $P_{вт} = < P_{отст}, P_{маневр}, P_{ср.дост.}>$</i>					
$P_{отст}$	связанные с отставленными от движения поездами	(1-3)	$P_{маневр}$	связанные с ухудшением маневренности станций в результате превышения нормы рабочего парка	(1-3)
$P_{ср. дост.}$	связанные с невыполнением договорных обязательств по срокам доставки	(1-3)			

Анализ показал, что существенными в организации и управлении транспортно-технологическими и перевозочными процессами на железнодорожном

транспорте являются факторы внешней среды, на которые компания ОАО «РЖД» имеет наименьшее влияние. Особенно проявляется эта проблема на СКЖД в связи с появлением нового рода факторов, которые определяют среду функционирования компании, определяя требования гибкости и адаптивности железнодорожного транспорта в организации операционной деятельности, например, при увеличении на дороге специальных перевозок.

Широкий круг проблем организации транспортного производства ПТТС в условиях волатильности перевозок и гетерогенности субъектов транспортно-логистического рынка, усложнение когнитивных связей в управлении потребовало исследования вопросов организационно-технологической надежности (ОТН) ПТТС. Управление резервами транспортных мощностей целесообразно осуществлять базе изменений в производственных моделях за счет дальнейшей цифровизации и интеллектуализации управляющих воздействий. Такие критически важные траектории развития железнодорожного транспорта требуют решения ряда научно-методологических и научно-практических задач, включая разработку методологической основы исследования организационно-технологической надежности, в том числе за счет интеллектуального управления ПТТС.

Третья глава – «Методологические направления повышения уровня организационно-технологической надежности припортовых транспортно-технологических систем во взаимодействии с железнодорожным видом транспорта» посвящена развитию методологии применения положений организационно-технологической надежности в транспортном производстве ПТТС. В условиях недостаточных резервов пропускной способности в направлении портов, возникновения рисков неосвоения объемов перевозок в направлении морских портов, активной интеллектуализации процессов управления и перехода к цифровому управлению теория ОТН становится важным инструментом исследования ПТТС. Теория надежности транспортных систем развивается в части систематизации различных направлений исследования надежности ПТТС: технической, функциональной, эксплуатационной, организационно-технологической надежности, применительно к разным объектам ПТТС и процессам транспортного производства с оценкой определенных показателей надежности и математическим аппаратом (табл. 2).

Сложные системы, к которым относятся и ПТТС, состоят из многих элементов, связанных между собой: структурно (т. е. организационно) и функционально (с помощью единой технологии функционирования). Поэтому категория «надежность» и в научных исследованиях, и на практике трактуется по-разному и, соответственно, требует различного инструментария для своей оценки. Общепризнанно понимать, что $ОТН = \text{организационная надежность (ОН)} + \text{технологическая надежность (ТН)}$, т. е. это может быть записано следующим образом:

$$ОТН = ОН \vee ТН. \quad (1)$$

В исследовании рассмотрены основные мероприятия, обеспечивающие повышение показателей ОН для ПТТС. Развитие методов оценки и повышения ОТН элементов ПТТС выполнено в части предложения новых инструментов оценки ОТН, в т. ч. энтропийной, ценологической, фрактальной и когнитивной.

Таблица 2 – Виды надежности в исследовании транспортных систем «железная дорога – морской порт»

Вид надежности	Объекты	Примеры	Методы расчета надежности	Повышение надежности
Техническая надежность	Технические объекты	Технические системы: технические устройства, агрегаты	Численные показатели надежности, теория вероятностей, математическая статистика, теория случайных процессов	Совершенствование технологии производства устройства, проведение профилактических мероприятий и ремонтов
ОТН	Технологические, экономические процессы, организационные формы, интеллектуальные системы управления	Системы организации транспортного производства и управления, человеко-машинные комплексы принятия решений	Теория массового обслуживания, анализ сетевых моделей, математическая логика, теория оптимизации, имитационное моделирование; логические определения вероятности, отражающие опыт и интуицию специалиста-эксперта; энтропийная оценка, когнитивный анализ, теория нечетких множеств, теория распознавания образов, теория перколяции, теория игр, нейро-нечеткие модели, сети Байеса	ОН: Уменьшение плеча управления, определение границ управления, уровней управления, управление потоками. ТН: Анализ сетевых моделей, повышение адаптивности
Функциональная надежность	Технологические операции, процессы, функции системы, комплексы алгоритмов и программ	Системы автоматики и телемеханики; транспортные системы, управляемые с помощью АСУ	Численные показатели надежности, теория вероятностей, математическая статистика, теория случайных процессов; имитационное моделирование, например, при использовании системы ИСТРА.	Моделирование работы «узких» мест, адаптивность за счет вариативности (изменение приоритета операции, изменение приоритетов процессов, перераспределение средств)
Эксплуатационная надежность	Железнодорожный участок, полигон, транспортно-логистические цепи в перевозках грузов и пассажиров	Перевозочный процесс в задачах размещения восстановительных средств железных дорог, бимодальная транспортная система	Моделирование работы станций и перегонов	Увеличение допустимого времени следования, уменьшение разброса суммарного времени следования, оценка резервов надежности подсистем

По итогам анализа результатов работ отечественных и зарубежных исследований, в качестве одного из методов исследования ПТТС выбрано когнитивное моделирование. Согласно п. 7 («Транспортные и космические системы») и 8 («Нано-, био-, информационные, когнитивные технологии») Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации когнитивные технологии входят в перечень критических технологий Российской Федерации. В основе когнитивного анализа лежит когнитивная карта, отражающая взаимосвязь критериев и факторов развития ПТТС, сущность организационного и технологического процессов в ПТТС. Когнитивная карта позволяет выявить наличие организационных и технологических обратных связей в системе. Этапы исследования ПТТС на базе когнитивного моделирования приведены на рис. 8.

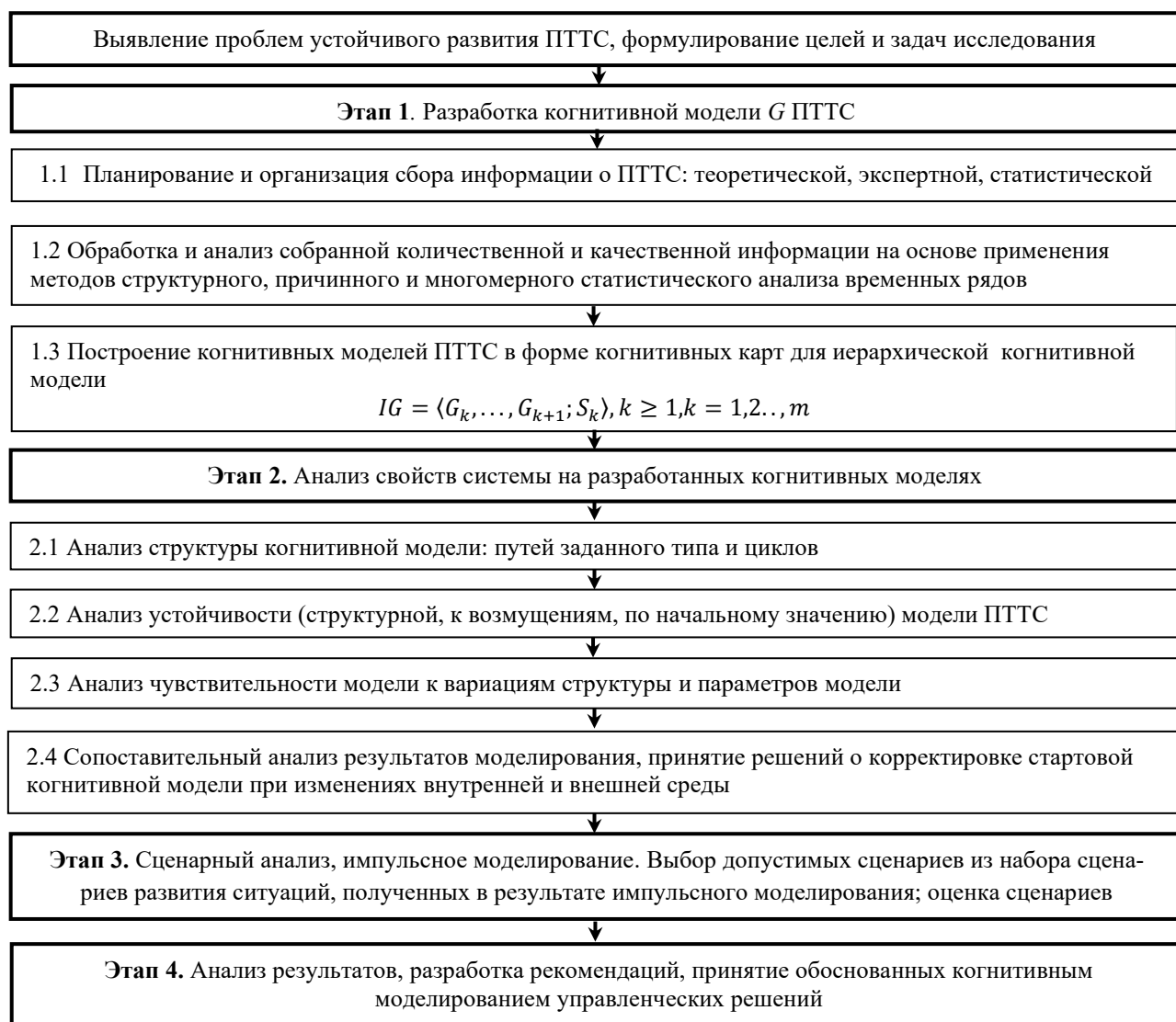


Рис. 8. Этапы исследования ПТТС на базе когнитивного моделирования

В общем виде управление на базе когнитивных процедур включает имитацию различных вариантов развития среды и объекта погружения, реализованную с помощью импульсного моделирования управляющих воздействий и случайных воздействий среды погружения. При импульсном моделировании формируются сценарии, в которых определяется, в какие вершины (их совокупности) будут

вносятся изменения, например, в развитие инфраструктуры припортовых станций или подходов, в технологии или в кадровую политику отрасли; дается прогноз развития путем экстраполяции этих модельных конструкций; осуществляется выбор наиболее приемлемого варианта по заданным критериям.

Для когнитивного моделирования сложных систем используются модели (2), которые подходят и для моделирования работы ПТТС:

$$IG = \langle G_k, G_{k+1}, S_k \rangle, k = 1, 2, \dots, m, \quad (2)$$

где IG – иерархическая когнитивная карта, в которой

$$G_k = \langle V, S \rangle_k, V = \{V_i\}, i = 1, 2, \dots, n; S = \{s_{i,j}\}, i, j = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

где G_k – когнитивная карта k -уровня;

V, S – множества вершин и дуг когнитивной карты (отражают причинно-следственные связи сложной системы).

В основу когнитивной модели ПТТС (рис. 9) были положены проведенные исследования, связанные с анализом работы транспортной системы юга России и СКЖД, обслуживающей морские порты Азово-Черноморского бассейна и Таманского полуострова.

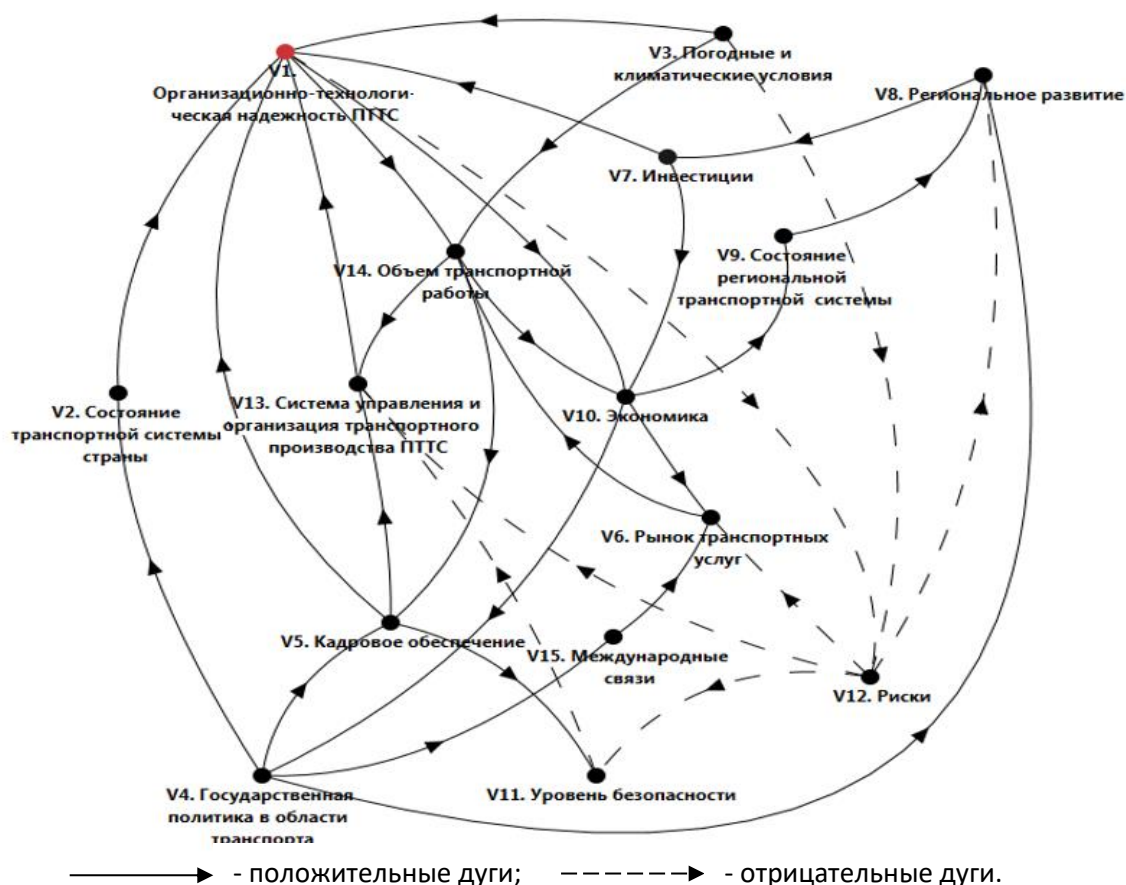
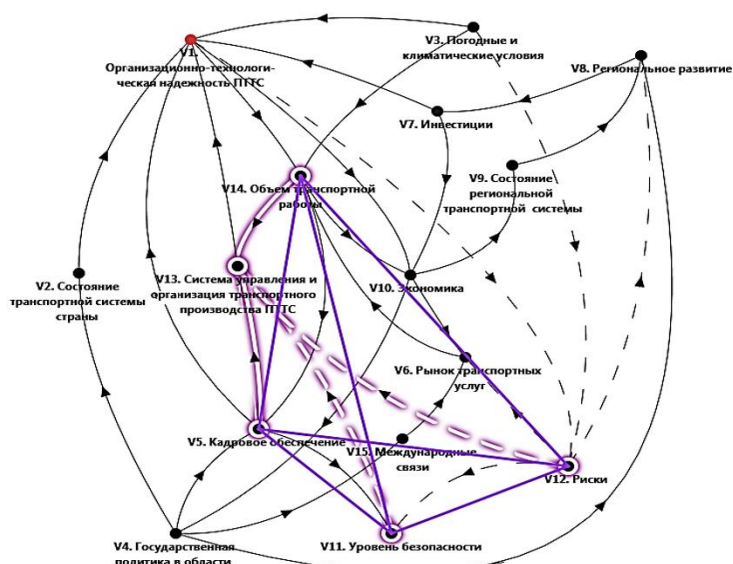


Рис. 9. Когнитивная карта верхнего уровня $G1$

Сложным системам присуща важная особенность – наличие в них контуров обратной связи, которые должны отображаться в когнитивных моделях. Выделение циклов (контуров) когнитивной карты и их анализ дают возможность,

рассматривая и интерпретируя замкнутые причинно-следственные циклы, проверять, не противоречит ли они и когнитивная модель в целом знаниям и представлениям о реальной системе, что позволяет сделать заключение о структурной устойчивости или неустойчивости модели. Для этого определяются циклы положительной и отрицательной обратной связи и их количественное соотношение в модели. Наличие в системе многих циклов, усиливающих отклонения, предполагает ее неустойчивость, но в то же время наличие многих циклов, противодействующих отклонению, также может приводить к неустойчивости, но другого вида – в форме колебаний с увеличивающейся амплитудой. Если колебания показателей затухают и система приходит в определенное состояние, то можно говорить об устойчивости системы.

На следующем этапе проведен симплициальный анализ связности системы. Представление системы в виде графа позволяет изучать ситуации, когда i -я компонента (элемент, подсистема) влияет на j -ю и другие компоненты по цепочкам связи. Можно учесть силу связности, сопоставив каждой дуге некоторое число – вес ω_{ij} . Рис. 10 иллюстрирует пример результата симплициального анализа когнитивной карты уровня $G1$.



а) когнитивная карта $G1$ с выделением одного из симплексов

Симплициальный анализ															
Завис...	V1	V13	V6	V8	V14	V10	V5	V12	V11	V9	V15	V4	V2	p=k-1	
Вход															
V4	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	3	
V12	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	
V5	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	
V3	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	
V14	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	
V1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	2	
V10	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	
V7	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
p=k-1	4	3	2	2	2	2	1	1	1	0	0	0	0		
q = 3, Q3 = 2, {V4}, {V12} q = 2, Q2 = 7, {V1}, {V5}, {V3}, {V10}, {V4}, {V14}, {V12} q = 1, Q1 = 6, {V1}, {V3}, {V5}, {V12}, {V10}, {V4}, {V14}, {V7} q = 0, Q0 = 1, {V5}, {V6}, {V3}, {V8}, {V14}, {V9}, {V1}, {V15}, {V10}, {V4}, {V13}, {V12}, {V2}, {V7}, {V11}															
q = 4, Q4 = 1, {V1} q = 3, Q3 = 2, {V1}, {V13} q = 2, Q2 = 6, {V1}, {V6}, {V10}, {V8}, {V13}, {V14} q = 1, Q1 = 7, {V1}, {V5}, {V6}, {V10}, {V8}, {V13}, {V11}, {V12}, {V14} q = 0, Q0 = 1, {V5}, {V6}, {V8}, {V14}, {V9}, {V1}, {V15}, {V4}, {V10}, {V13}, {V12}, {V2}, {V11}, {V7}															
Qx = (2 7 6 1) Qy = (1 2 6 7 1)															
☒ Показать версию															Заккрыть

б) симплициальный анализ связности системы

Рис. 10. Симплициальный анализ связности когнитивной карты $G1$ с выделением одного из симплексов

Сценарное моделирование реализуется внесением импульсных возмущений в вершины модели. Перед началом моделирования сценариев разрабатывается план вычислительного эксперимента. Возмущения в одну, две и более вершины вносятся в ходе выполнения плана эксперимента (табл. 3) в программной системе. Результаты моделирования процессов в данном исследовании представлены по тактам (шагам) моделирования. Пусть, например, по результатам приведенного сценария в системе растут геополитические риски, этому противо-

стоят рост инвестиций (импульс $q_7 = +1$), действия системы управления и организации транспортного производства ПТТС (импульс $q_{13} = +1$) и другие воздействия в различные вершины. Как показывает результат импульсного моделирования, сценарий можно считать удачным, т. к. система сможет противостоять возмущающим воздействиям. По графикам импульсных процессов (см. рис. 11) видно, что этому противостоят успешные действия по ряду направлений, при этом все показатели, учтенные в когнитивной карте и характеризующие ее состояние, имеют устойчивую тенденцию нарастания, а риски падают. Таких сценариев может быть значительное количество в зависимости от поставленных в исследовании задач.

Таблица 3 – Разработка плана эксперимента

Вектор возмущающих воздействий $Q=\{q_i\}$	Вершины графа								
	1	2	...	7	...	12	13	...	15
Возмущающее воздействие (для одной вершины)									
Сценарий № 1: $q_7 = +1$; $Q_1 = \{q_1 = 0; \dots q_7 = +1; \dots q_{15} = 0\}$	0	0	0	1	0	0	0	...	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Возмущающее воздействие (для двух вершин)									
Сценарий № N: $q_{12} = +1$; $q_{13} = +1$; $Q_4 = \{q_1 = 0; \dots q_{12} = +1; q_{13} = +1; \dots$ $\dots q_{15} = 0\}$	0	0	0	0	0	1	1	..	0
...	..	...	...	...	...	...	...	...	...

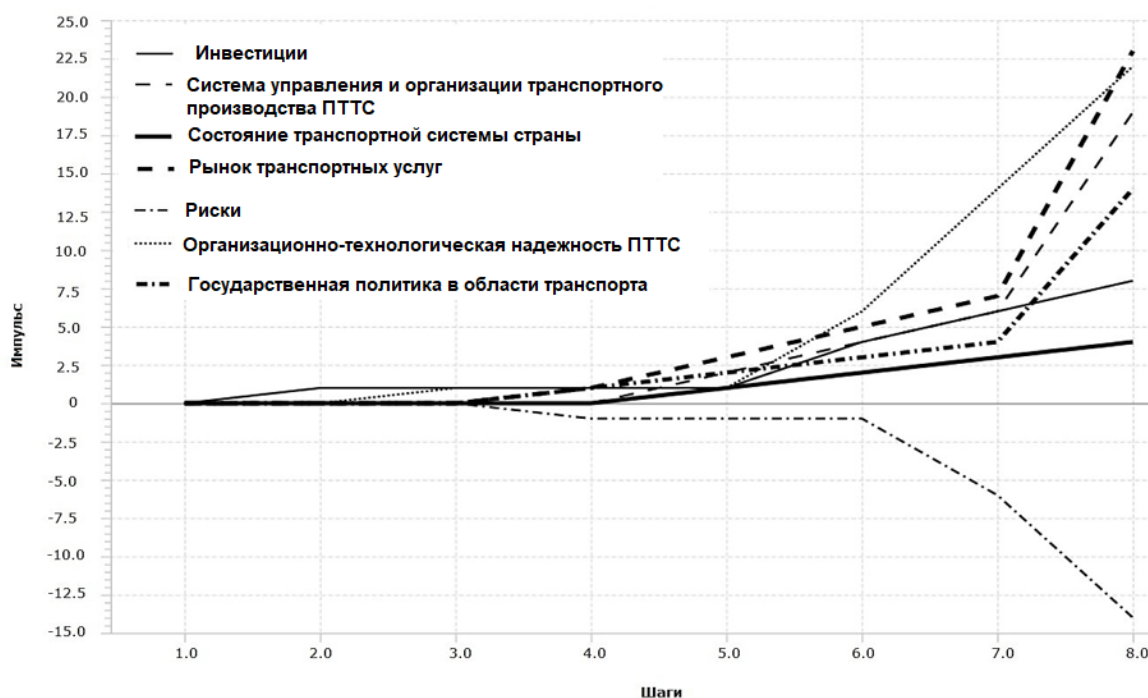


Рис. 11. Результаты импульсного моделирования

В исследовании выполнено когнитивное моделирование развития ПТТС с учетом повышения ОТН перевозочного процесса на припортовых железных дорогах на основании предвидения возможного будущего развития системы, изменения структуры и поведения объекта по различным сценариям. Получена

доказательная база возможности применения аппарата когнитивного моделирования для сложных транспортных систем и ПТТС в частности.

В четвертой главе «Методология организационно-технологического управления (ОТУ) перевозками в ПТТС» рассмотрен опыт развития организационной структуры управления и логистикоориентированных технологий перевозок грузов в смешанном железнодорожно-морском сообщении в условиях логистической парадигмы взаимодействия видов транспорта.

Проблему совершенствования транспортного производства в ПТТС, объединяющих разные виды транспорта, грузовладельцев, экспедиторов, стивидорные и другие компании, следует рассматривать в совокупности технологических, экономических и правовых аспектов. Качественное функционирование систем управления производственно-технологическими процессами работы железнодорожного транспорта зависит от многих факторов, оказывающих прямое влияние на надежность транспортных процессов. При управлении технологическими процессами в ПТТС используются различные инструменты, в том числе интеллектуальные, которые задействованы во многих бизнес-процессах организации грузоперевозок, осуществляемых железнодорожным и морским транспортом (рис. 12).



Рис. 12. Технологические и бизнес-процессы в организации железнодорожно-морских перевозок

Реализация логистической парадигмы управления взаимодействием железнодорожного и морского видов транспорта, принятой с начала 2000-х годов, представлена в таблице 4 по периодам эволюционного развития.

Таблица 4 – Эволюция развития ОТУ припортовой железной дороги (на примере СКЖД) на базе информационных и логистических принципов

Пе-риод	Изменения в системе и инструментарии управления	Изменения в технологиях, результаты решений	Изменения в информационной логистике
1999–2005	2003 г. – появление первого Дорожного логистического центра (ДЛЦ) на сети железных дорог в г. Ростов-на-Дону	Признание необходимости рыночного подхода в планировании и регулировании перевозочного процесса	Развитие информационных систем управления (ГИД УРАЛ ВНИИЖТ и др.)
2011–2012	Развитие комплексной интегрированной технологии управления движением грузовых поездов по расписанию	Развитие логистических принципов управления перевозками	Расширение транспортных услуг (движение поездов по расписанию и пр.)
2013–2014	Разработка ЕКТП транспортного узла Новороссийск и портов Таманского полуострова	Развитие технологических форм взаимодействия видов транспорта и участников ПТТС	Создание единого интерфейса планирования подвода поездов, внедрение единых критериев оценки качества планирования
2015–2016	Разработка новых ЕТП работы железнодорожных путей необщего пользования операторов морских терминалов и станций примыкания	Корректировка форм взаимодействия видов транспорта в железнодорожных узлах	Развитие АС ДИЛС: внедрены специальные отчетные формы для контроля перевозки и перевалки различных видов грузов, реализовано взаимодействие с другими системами
2017–2018	Разработка комплекса задач по управлению подводом поездов, следующих в адрес припортовых станций, подключение новых портовых операторов по Новороссийску и другим станциям	Расширение числа пользователей, повышение качества информации, получаемой от морских портов. Диверсификация услуг для припортовых железных дорог	Реализация алгоритма автоматизированного расчета плана подвода на основе многокритериальной оценки востребованности грузов, разработка комплекса задач по работе с судовыми партиями
2019–2023	Развитие полигонной модели управления, оценка загрузки инфраструктуры в интеллектуальных системах управления	Развитие полигонных технологий. Формирование клиентского плана погрузки	Развитие и опытная эксплуатация ДМ ЗИ, учет возможностей припортовых дорог и припортовых станций по переработке вагонопотоков
2023–2024	Вывод ДЛЦ из Дирекций управления движением. Создание Северо-Кавказского отдела логистики перевозок и информационного анализа (СКАВ ЛП)	Расширение функций ЛЦ, появление на смежных дорогах Центра управления транспортными процессами и логистики	Развитие структурированного подвода поездов по стыкам к припортовой железной дороге, учет режимов эксплуатационной работы

В настоящее время изменения в части ОТУ происходят с учетом внедрения полигонной модели управления железнодорожными перевозками. Преобразования, проводимые в железнодорожной отрасли, изменяют устройство управ-

ления ПТТС. Для таких изменений важны новые цели и стратегии функционирования, ключевые показатели эффективности (KPI), методологические подходы (рис. 13).

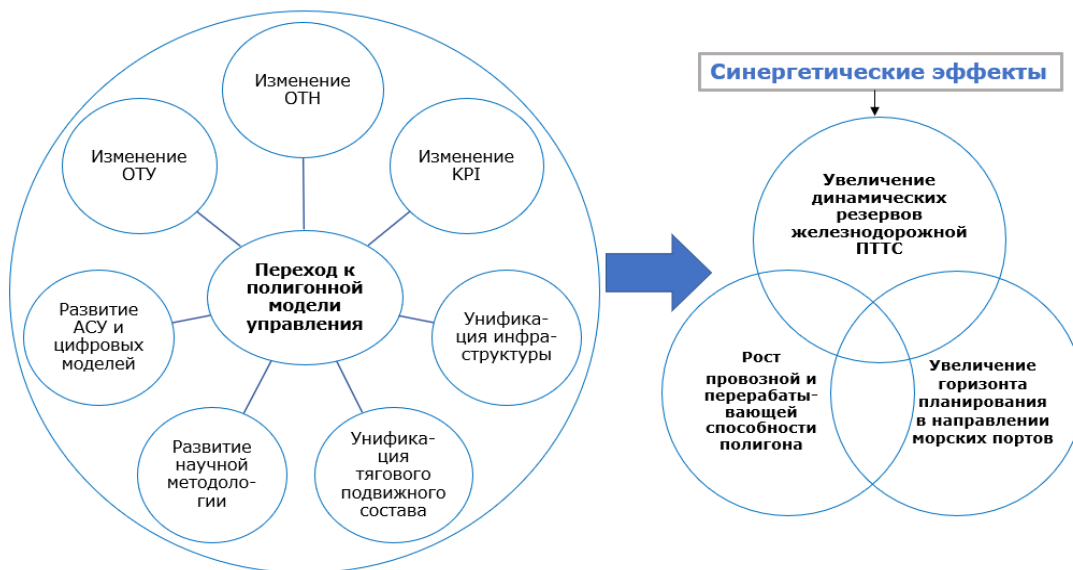


Рис. 13. Синергетические эффекты перехода к полигонной модели управления

Анализ показывает, что многофакторность воздействий на перевозочный процесс в многоагентной логистической системе организации внешнеторговых перевозок формирует определенную несогласованность решений и энтропию данных в управлении перевозками. Поэтому на современном этапе эффективным и доступным в организации логистики подвода грузопотоков к портам остается совершенствование ОТУ на базе развития математического, информационного инструментария и дополнительной аналитики транспортных процессов в ПТТС, учитывающих волатильность, гетерогенность, многоагентность перевозок, необходимость диверсификации услуг, изменения ОТУ и ОТН (рис. 14, 15).

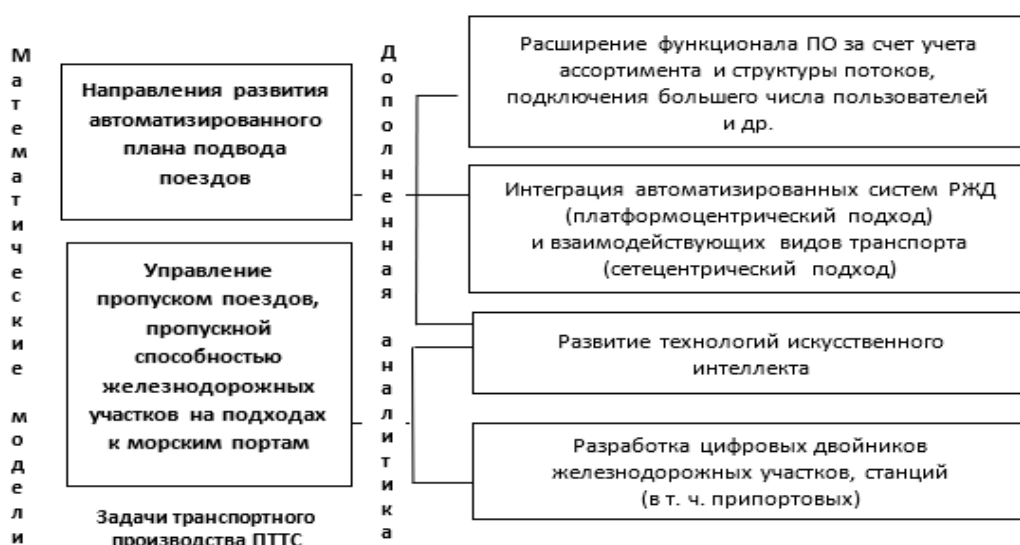


Рис. 14. Выделенные направления развития информационного обеспечения в задачах управления грузовыми железнодорожными перевозками в адрес морских портов

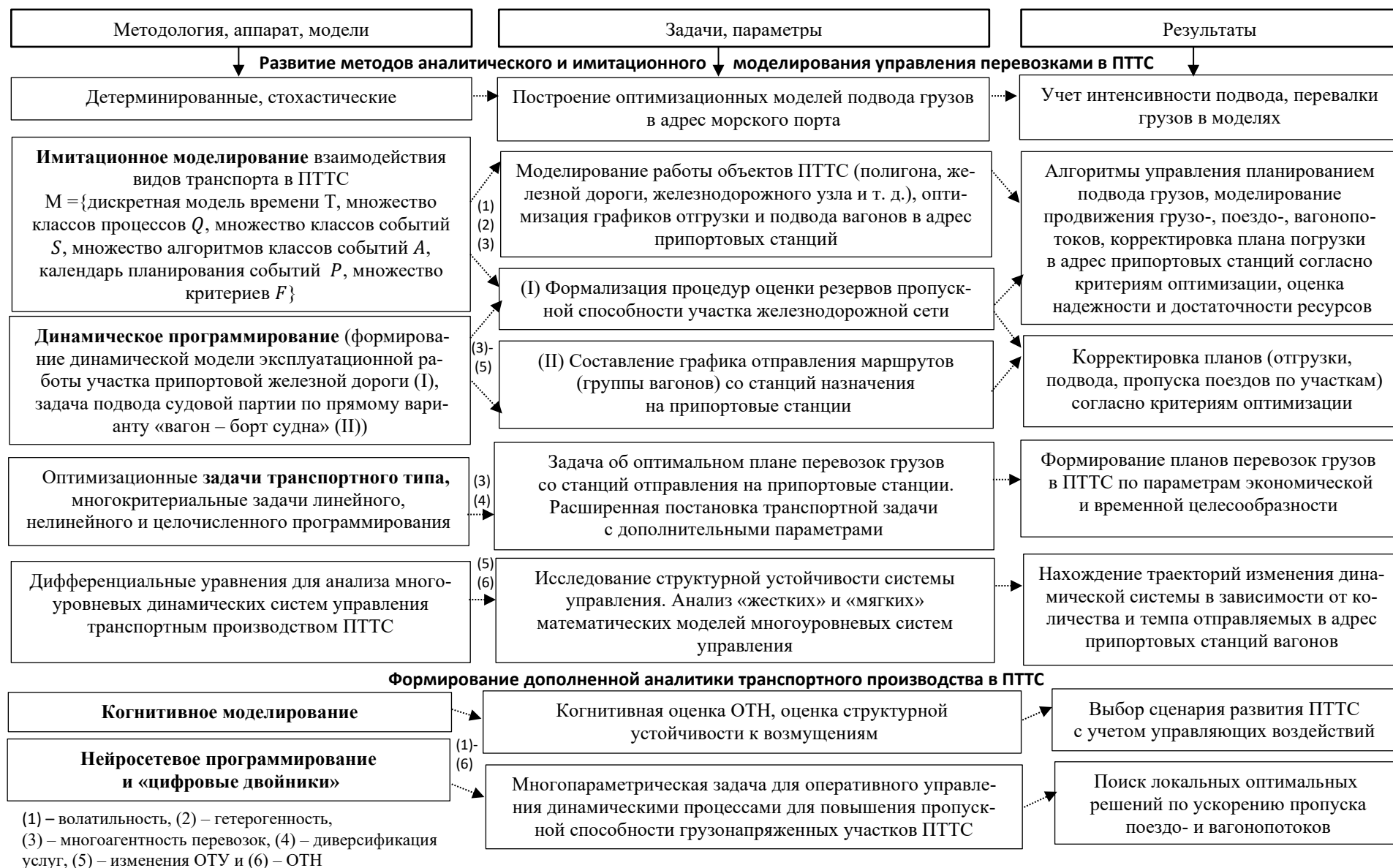


Рис. 15. Развитие математических моделей и дополненной аналитики в задачах исследования ПТТС в условиях интеллектуализации и цифровизации производственно-транспортных процессов

Решения транспортных задач в диссертационном исследовании приведены в зависимости от подхода в виде стохастических и детерминированных математических задач и моделей взаимодействия видов транспорта в ПТТС в условиях интеллектуализации управляющих воздействий.

В работе раскрыты теоретические и практические аспекты:

- *исследования транспортно-технологических параметров припортовых железнодорожных станций* (в т. ч. в системе МТК) в условиях увеличения объемов экспортных перевозок на базе математического моделирования. На основании исходных данных производится оценка неравномерности поступления и обслуживания поездов на припортовой станции, устанавливается теоретический закон распределения случайных величин для технологических операций. При моделировании работы станции определяется загрузка всех технологических линий, делается вывод о способности станции освоить весь поездопоток и необходимости дополнительных мер по совершенствованию технологии работы станции;

- *имитационного моделирования* транспортных процессов при взаимодействии железнодорожного и морского видов транспорта (задача обеспечения равномерной загрузки терминалов за счет корректировки дат и объемов погрузки). Для решения поставленной задачи в программном решении используется эвристический метод оптимизации на основе метода мультиагентной оптимизации Ant Colony System (ACS). В результате имитационного моделирования определяется группа станций, которые образуют «всплеск», превышающий верхний предел нормы выгрузки на припортовой станции, и осуществляется корректировка. Подобные программные решения позволяют регулировать погрузку на длинных маршрутах, не снижая объемы заявленных к перевозке грузов;

- *методов динамического программирования* в решении задачи подвода судовой партии по прямому варианту «вагон – борт судна». Процесс организации подвода судовой партии можно описать операциями, которые носят многоэтапный характер. При организации перевозки необходимо применять свои (индивидуальные) регулировочные воздействия на темп погрузки, при этом критериями могут быть минимальные суммарные вагоно-часы простоя вагонов, погрузочно-разгрузочных механизмов, судов.

Оптимизационная задача планирования отгрузки и подвода конкретных грузов к припортовой станции для погрузки на отдельно взятое судно заключается в определении времени отправления маршрута (группы вагонов) со станций назначения на припортовую станцию, так чтобы суммарное время ожидания составов (в вагоно-часах) грузовых операций на этой станции было минимальным и процесс выгрузки был непрерывным. Т. е. определяется $T = \{T_l^{ki} | T_l^{ki} \in \|\|t_{\text{пр}}^{ki}\|\| \}$ множество времен назначения маршрутов i прибытием на припортовую станцию и их порядковый номер обработки l , $1 \leq l \leq |M|$, так чтобы суммарное время ожидания составов переработки на припортовой станции было минимальным,

$$Z(T) = \sum_{i=1}^{|M|} (T_l^{ki} - t_{l-1}^{\text{ок}}) u_i(m_i) \rightarrow \min_T, \quad (4)$$

$$t_{l-1}^{\text{ок}} = T_0 + \sum_{k=1}^{l-1} t_{\text{выгр}}^k, \quad (5)$$

где M – множество станций, производящих накопление на указанное судно, $m_i \in M, i = 1, 2, \dots, |M|$;

t_{l-1}^{OK} – время завершения переработки предшествующего l -му по порядку обрабатываемого маршрута;

T_0 – время начала технологических операций по переработке вагонопотока на припортовой станции (готовность судна к грузовым операциям);

$u_i(m_i)$ – мощность маршрута (число вагонов в маршруте) или число вагонов указанного груза в составе поездов других категорий;

$t_{выгр}^k$ – время, затрачиваемое на операции k при переработке маршрута (группы вагонов) на припортовой станции;

T_l^{ki} – возможные моменты прибытия поезда на припортовую станцию за одни сутки согласно графику движения поездов;

– *задача транспортного типа для формирования плана мультимодальных грузоперевозок*, которые находят применение, в частности, в аналитике работы контрагентов в ПТТС. Организация мультимодальных грузоперевозок подразумевает кооперирование (в той или иной форме) участников перевозочного процесса (клиента, перевозчика, владельца инфраструктуры, операторских компаний, владельцев тягового подвижного состава, логистических компаний), каждый из которых осуществляет свои функции в соответствующем экономическом пространстве. Парадигма кооперативного принятия решений представлена в форме оптимизационных задач с использованием эгалитарного подхода. Исследования проведены в рамках стоимостных и временных наборов показателей плана перевозок для различных номенклатур грузов для двух типов задач. Если рассматривается m станций погрузки и n припортовых станций выгрузки и на каждой i -й станции погрузки ($i = 1, 2, \dots, m$) организуются отправительские маршруты (отправки) с некоторым грузом, то для каждой j -й станции выгрузки ($j = 1, 2, \dots, n$) могут быть сформированы судовые партии, вмещающие заданное количество таких маршрутов.

Постановка первого типа задачи связана с нахождением плана перевозок, когда экспортеру не важно, с какой станции будет организована отгрузка железнодорожным транспортом и через какой порт. Однако при этом важны значения стоимостных параметров по цене груза (p_i) и стоимости перевозки до порта (c_{ij}).

Постановка второго типа задачи связана с определением плана перевозок, когда экспортеру наряду со стоимостными параметрами важны и значения временных показателей. Временные показатели выражаем целевыми функциями вида:

$$\tau_1^{(j)} = \max_{i=1, \dots, m} \{t_{ij} \operatorname{sgn} x_{ij}\} \quad (j = 1, 2, \dots, n), \quad (6)$$

где t_{ij} – среднее статистическое время следования маршрута на участке между i -й станцией погрузки ($i = 1, 2, \dots, m$) и j -й станцией выгрузки ($j = 1, 2, \dots, n$). Показатель $\tau_1^{(j)}$ является общим временем плана перевозок (x_{ij}) в направлении j -й станции выгрузки. Для каждого плана перевозок (x_{ij}) этот показатель представляет собой время наибольшей по длительности перевозки среди всех перевозок, осуществляемых в направлении указанной станции выгрузки. Также рассмотрена

«интегральная» (в рамках рассматриваемой части полигона) временная характеристика перевозочного процесса, которая выражается целевой функцией вида:

$$T = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{ij} x_{ij}. \quad (7)$$

Показатель T представляет собой качественно иную временную характеристику. Этим показателем выражается суммарное время нахождения на полигоне всех вагонов, участвующих в реализации плана перевозок (x_{ij}).

Разработанные алгоритмы и численный метод решения указанных задач реализованы в среде системы компьютерной математики Maxima (Free Ware). Результаты вычислительных процедур сводятся в табличную форму с указанием наборов значений показателей. В примере (табл. 5) для первого типа задачи в результате выполненной оптимизации плана перевозок в адрес одной из рассматриваемых припортовых станций ($j = 3$) значение стоимостного показателя перевозки (C_3) уменьшилось на 8,09 млн руб., т. е. более чем на 17,5 %, а значение показателя по цене закупки продукции P увеличилось лишь на 3,52 млн руб., т. е. на 0,3 % (ср. с результатами, полученными ранее). Полученные при этом в последних строках этих таблиц значения показателей C_3 и P предоставляют агентам выбор с точки зрения их интересов.

Таблица 5 – Распределение числа маршрутов и значения показателей C_3 и P

№ итерации	Число формируемых на станциях погрузки отправительских маршрутов								C_3 , млн руб.	P , млн руб.
	Морозовская	Ремонтная	Белогинская	Ипатьово	Тимашевская	Изобильная	Благодарное	Аполлонская		
1	0	0	0	0	0	5	10	10	46,05	1145,60
2	0	0	0	0	1	4	10	10	45,64	1144,00
3	0	0	0	0	2	3	10	10	45,23	1142,40
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
51	0	0	10	0	6	0	5	4	38,38	1149,76
52	0	0	10	0	7	0	0	8	37,96	1149,12

Высокий темп преобразований в организации транспортного производства ПТТС, происходящих каждый раз при смене парадигмы управления, актуализирует задачи, связанные с исследованием структурной устойчивости системы управления. При этом особый интерес для исследования представляет вопрос делегирования части функций планирования и управления от диспетчерского аппарата в функционал новых информационных инструментов и систем.

Структура оперативного управления железнодорожными перевозками по-прежнему остается многоуровневой. Однако эта структура трансформируется по мере развития новых информационных инструментов, что, в частности, ведет к сокращению числа уровней управления. В то же время эти инструменты должны гарантировать гибкость в отношении предлагаемых решений, что было показано в части развития когнитивных моделей в человеко-машинных комплексах принятия решений в управлении ПТТС («вопрос интуиции в оперативном решении»). Например, оценить темп продвижения вагонов на уровне интуиции могут опытные диспетчеры и логисты, однако такую «гибкость» решения необходимо предусмотреть при создании интеллектуальных систем управления.

Для различных моделей управления вагонопотоками в адрес припортовых станций предложен математически обоснованный механизм проверки указанной «гибкости». Основу механизма составляют положения качественной теории дифференциальных уравнений (динамических систем), изложенные для многоуровневых систем управления академиком В. И. Арнольдом. Методологическая основа разработанного математического подхода исследования устойчивости многоуровневых систем управления заключается в том, что сначала строится исходная «жесткая» математическая модель рассматриваемой системы управления, в нашем случае – системы управления процессом подвода вагонов в адрес морских портов. В «жесткой» модели не предусмотрена возможность корректировки темпа подводимых вагонов, которая должна осуществляться в первую очередь в зависимости от эксплуатационного режима работы элементов ПТТС. Затем, в том или ином виде, выполняется «смягчение» первоначально построенной «жесткой» модели. То есть строится математическая модель системы управления, в которой решение, принимаемое на одном из уровней управления (или, например, автоматизированное решение), может быть подвергнуто корректировке на других уровнях, в зависимости от эксплуатационного режима и оперативной ситуации.

Предполагается, что в адрес припортовой станции направляются вагоны с определенной номенклатурой грузов, количество u которых изменяется со временем t (сут.). Приведем пример для двухуровневой системы управления переменной величиной $u = u(t)$. Функции первого (верхнего) уровня реализуются субъектом управления A , который, пользуясь административным ресурсом, стремится увеличивать количество u вагонов, отправляемых на станции. Деятельность субъекта A (уровень Центральной дирекции управления движением и СКАВ ЛП) будем выражать переменной $v = v(t)$, которую зададим равенством

$$v = \dot{u}. \quad (8)$$

Здесь $\dot{u}(t)$ – производная по времени t функции $u = u(t)$, рассматриваемой как неизвестная.

Функции второго (нижнего) уровня (*уровень припортовой станции*) в системе реализуются субъектом управления B . Деятельность субъекта B будем выражать переменной $\dot{v}$, которая задается равенством

$$\dot{v} = -K(u - U). \quad (9)$$

Здесь K – некоторое положительное число, U – оптимальное количество вагонов, которое следует отправлять в адрес данной станции (набора станций) и которое предполагается известным субъекту B . В общем случае коэффициент K отражает возможности субъекта B в регулировании величины $\dot{v}$ ускорения изменения количества u вагонов, направляемых в адрес данной станции (набора станций). Для того чтобы пояснить структуру правой части равенства (9), которая выступает как аналитический механизм реализации обратной связи между субъектами управления B и A , обратимся к дифференциальному исчислению. Когда значения u отличаются от оптимального значения U , правая часть равенства (9) задает знак скорости $\dot{v}$ изменения переменной v (которая, в свою очередь, является скоростью изменения количества u вагонов). Если $u < U$, то из равенства

(9) получаем, что $\dot{v} > 0$ (напомним, что $K > 0$). Следовательно, возрастает функция $v(t)$. Отсюда в силу равенства (8) следует, что возрастает скорость $\dot{u}(t)$ изменения функции $u(t)$. Таким образом, в случае когда $u < U$, получается, что субъект B активизирует деятельность субъекта A . Если же оказывается, что $u > U$, то аналогичным образом получаем, что $\dot{v} < 0$. Таким образом, функция $\dot{u}(t) = v(t)$ убывает. Т. е. убывает скорость возрастания функции $u(t)$. Таким образом, если $u > U$, то субъект B сдерживает чрезмерную активность субъекта A . «Мягкую» модель запишем в виде следующей автономной системы обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{u} = v, \\ \dot{v} = -K(u - U) - \varepsilon v. \end{cases} \quad (10)$$

Для изучения поведения системы (10) можно использовать различные подходы и методы теории дифференциальных уравнений. Предложены формы представления результатов в виде графиков и фазовых портретов. Так, на рис. 16 приведен график функции $u = u(t)$, которой описывается изменение со временем t (сут.) количества вагонов u , направляемых в адрес данной станции (набора станций) выгрузки. В полученном решении показано, что независимо от выбираемых начальных значений количество вагонов, подводимых в адрес припортовой станции при $t \rightarrow +\infty$, удовлетворяет заданному условию $u(t) \rightarrow 1200$ ваг. (рис. 16). На рис. 17 представлен фазовый портрет, описывающий поведение решений системы (10). Таким образом, предоставлены возможности для выявления устойчивости равновесия системы управления вагонопотоками не только в качественном, но и в количественном отношении. На каждой траектории выделены точки, которые по времени t соответствуют 1-м, 2-м, ..., 6-м суткам с начала функционирования системы управления. Фазовый портрет системы дифференциальных уравнений (10) на рис. 17 показывает, как «мягкая» модель системы управления обеспечивает «вхождение» в положение равновесия траекторий, отвечающих возмущенным решениям этой системы.

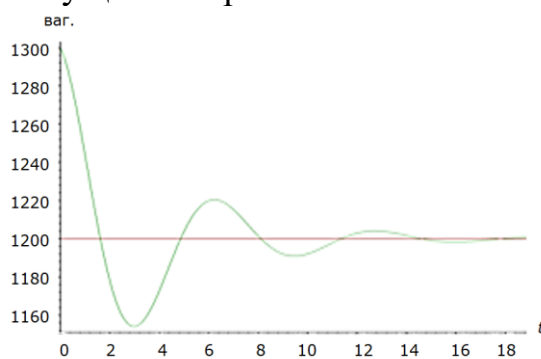


Рис. 16. График зависимости количества u вагонов для «мягкой» модели

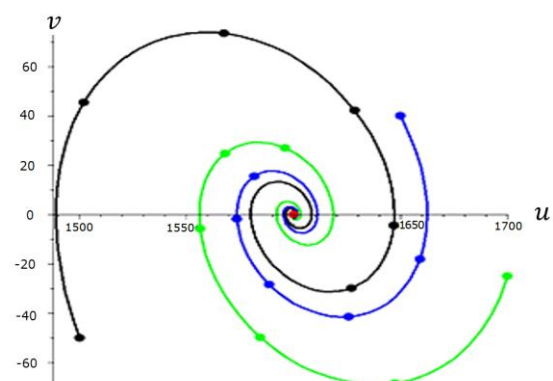


Рис. 17. Траектории, отвечающие решениям системы

Рассмотренные модели и сравнительный анализ поведения траекторий динамической системы в зависимости от количества и темпа отправляемых в адрес припортовых станции вагонов реализованы в среде системы компьютерной математики Maxima (Free Ware).

В пятой главе «Цифровые и интеллектуальные технологии управления транспортным производством в припортовых транспортно-технологических системах: концептуальные и методические решения» дополняется методология развития цифровых и интеллектуальных технологий управления транспортным производством в ПТТС. Анализ причинно-следственных связей организации перевозок в направлении морских портов показывает возрастание роли инфраструктурных ограничений на перевозочный процесс, в числе которых высокая сезонность и гетерогенность в структуре потоков. Имитационное моделирование, а также использование технологий ИИ в практической реализации потенциала пропускных способностей грузонапряженных участков являются достаточно приоритетными концептами в силу сильной зависимости пропускных способностей от состояния железнодорожной инфраструктуры, с одной стороны, и ОТУ в зависимости от типологии потока поездов и технологических решений по планированию и управлению ими – с другой. С учетом вышесказанного в исследовании предложена концепция применения «цифровых двойников» железнодорожных участков и технологий ИИ для управления перевозочным процессом в ПТТС.

Задачи формирования «цифровых двойников» объектов железнодорожной инфраструктуры и нейросетевых алгоритмов управления перевозочным процессом представляют большую сложность, связанную с процессами формализации состояния объектов, перехода их из одного состояния в другое, оценки эффективности состояния и (или) решения, их результативности и др. факторами. В исследовании представлена формализация иерархии идентификационных параметров участка железнодорожной сети и объектов, находящихся на ней для формирования «цифрового двойника» и нейросетевых процедур управления (рис. 18).



Рис. 18. Иерархия параметров для оценки пропускной способности железнодорожного участка

Формирование многопараметрической задачи оптимального управления динамическими процессами для оперативного повышения пропускной способности грузонапряженных участков в направлении морских портов сводится к поиску локальных оптимальных решений по ускорению пропуска поездопотока по участку за счет управляющего воздействия на параметры пропуска поездопотока, который соответствует принципу оптимальности динамического программирования: оптимальное решение (траектория движения) включает только оптимальные решения каждого этапа или интервала принятия решения (оптимальные траектории между любыми двумя «точками»). Математическая модель организации движения на железнодорожном участке представлена блоками (элементарными участками), которые могут находиться в состоянии готовности и загрузки – занятости, поездными группами, находящимися в состоянии движения или ожидания, а также управляющими действиями со стороны диспетчера или систем автоматизации (рис. 19, табл. 6).



Рис. 19. Модель организации перевозочного процесса железнодорожного участка

Таблица 6 – Параметры модели организации перевозочного процесса железнодорожного участка

Представление	Состояния	Описание состояния	Множество состояний
Железнодорожная инфраструктура (ЖИ)			
Последовательные блоки (участки) $l = 1, 2, \dots, L$,	$S_l^{-1}(t)$	Находится в процессе восстановления в результате отказа технических устройств или иной причины;	$S(t) = \{S_l^{-1}(t), S_l^0(t), S_l^1(t)\}$
	$S_l^0(t)$	Находится в состоянии готовности к работе (ожидания);	
	$S_l^1(t)$	Находится в состоянии активной загрузки (пропуска «поездной группы»).	
«Поездная группа» (ПГ)			
Поезд, локомотив с совокупностью признаков (вес, длина, и др.)	$P_{l_1 l_2}^1(t, l)$	Находится в состоянии движения (изменения состояния) на блоке l ;	$P(t) = \{P_{l_1 l_2}^1(t, l), P_{l_1 l_2}^0(t, l)\}$
	$P_{l_1 l_2}^0(t, l)$	Находится в состоянии ожидания команды и (или) изменения состояния на участке.	
«Поездной диспетчер» (ДНЦ)			
ДНЦ данного или смежного участка	$D_l(t)$	Ввод состояния «инфраструктуры» в режим включено/выключено	$D(t) = \{D_l(t), D_{l_1 l_2}(t), d_{l_1 l_2}(t)\}$
	$D_{l_1 l_2}(t)$	Ввод состояния «поездной группы» в режим остановка/движение	
	$d_{l_1 l_2}(t)$	Корректировка «скорости» изменения состояния «поездной группы» в соответствии с принятым регулирующим мероприятием ($R_1, \dots, R_r$)	

В исследовании сгруппировано несколько задач по созданию «цифрового двойника» и выбору элемента для нейросетевого управления, укрупненные блоки приведены на рис. 20.

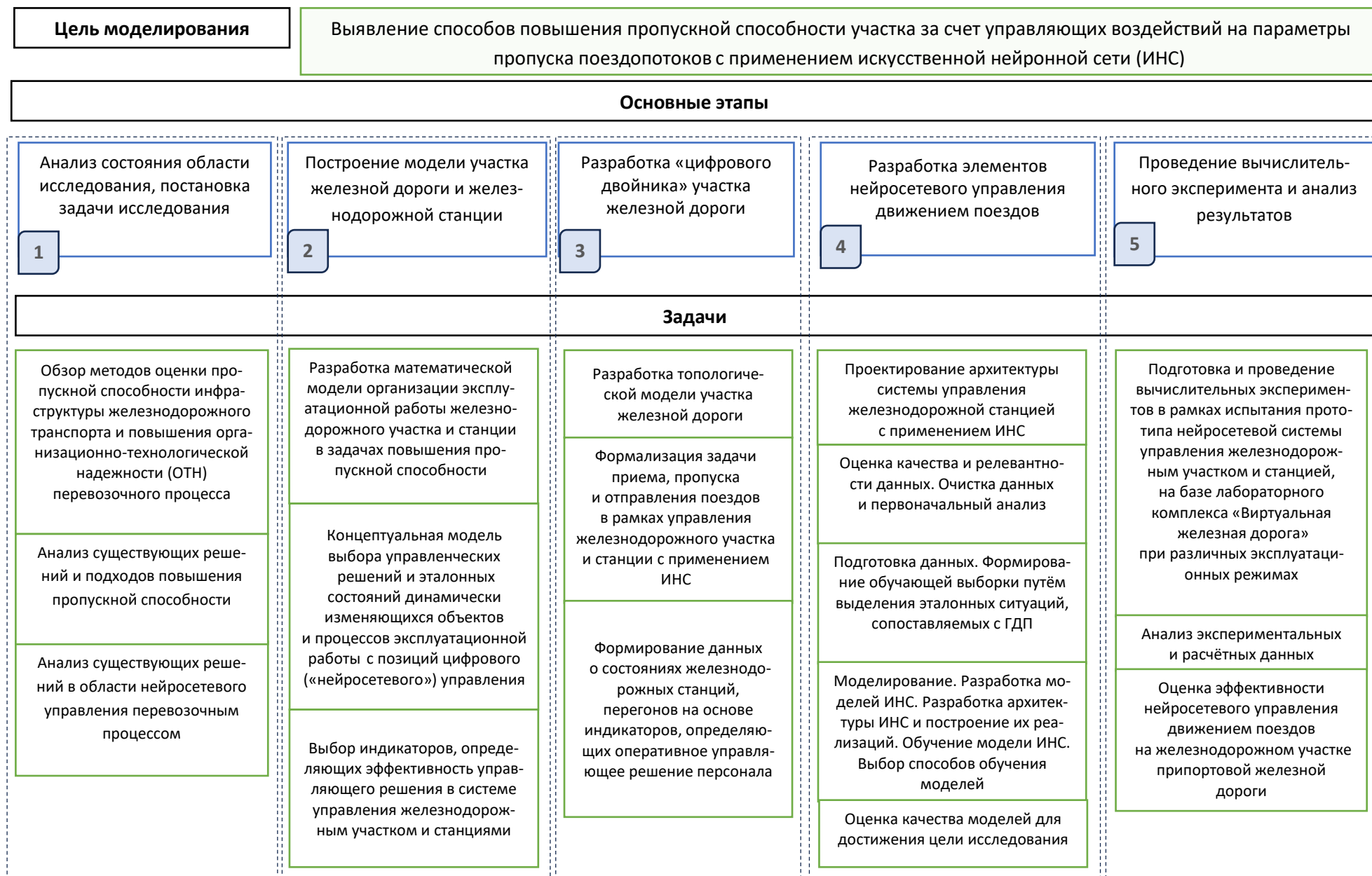


Рис. 20. Цель и задачи исследования при нейросетевом управлении движением поездов

Подход к анализу и решению проблемы внедрения технологии ИИ в задачах развития ОТУ базируется на использовании учебно-лабораторного комплекса «Виртуальная железная дорога» (УЛК «ВЖД»), на котором отрабатываются технические и программные решения. Структура комплекса включает практически все элементы сети и участников организации и управления перевозками, которые в онлайн-режиме выполняют операции по пропуску поездов на участке и организации работы станций (рис. 21).



Рис. 21. Структура УЛК «Виртуальная железная дорога»

В качестве экспериментального участка выбран грузонапряженный участок железнодорожного полигона в направлении портов Азово-Черноморского бассейна и Таманского полуострова. Генерация базы данных по пропуску поездов в УЛК «ВЖД» происходит с активным участием диспетчеров и машинистов с заданными параметрами технического состояния устройств и объектов. Формируемая база данных определяет для участка «цифрового двойника» для целей моделирования и управления, апробации новых технологий. Решения, принимаемые диспетчерским аппаратом по ускорению и регулированию поездных групп, являются базой данных для формирования ИИ организации перевозочного процесса (рис. 22). Архитектура для ИИ управления перевозками строится по модульному принципу «полигон» – «железная дорога» – «железнодорожный участок» – «железнодорожная станция», «припортовая станция» (и др.), каждый из которых имеет внутреннюю логику организации и технологию управления. Такой подход к построению систем управления позволяет определить параметры и задачи каждого элемента – объекта в системе управления и упростить процедуры сборки более сложных и неоднородных участков в задачах интеллектуализации управления перевозками.

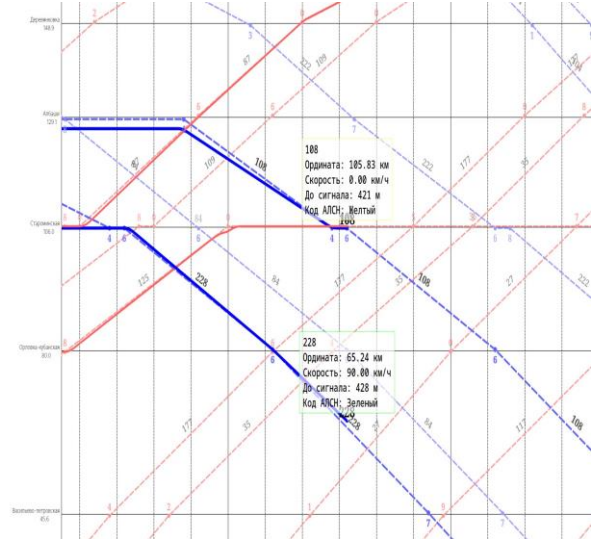


Рис. 22. Использование УЛК «ВЖД» в задачах развития «цифровых двойников», ИИ и нейросетей в планировании и управлении железнодорожными перевозками

Разработка модели нейронной сети для управления пропуском поездов на участке. Представим дискретные пространства состояний и действий в виде:

$$A = \{0, 1, \dots, n\}, S = \{S^0, S^1, \dots, S^m\}, s^i \in S^i, s^i = \{0, 1, \dots, k\},$$

где n – число действий (команд) диспетчера;

m – число выбранных признаков для оценки состояния;

k – число состояний признака.

В качестве признаков состояния участка приняты приведенные к номинальным типам множества: например, S^0 – имя занимаемого/освобождаемого пути; S^1 – занятость блок-участка; S^2 – номер поезда; S^3 – положение на станции; S^4 – скорость поезда на участке; S^5 – положение поезда на участке; S^6 – опоздание по прибытию; S^7 – опоздание по отправлению и т. д.

Управление пропуском поездов представлено в понятиях обучения с подкреплением. Пространством состояний S являются состояния участка, пространством действий A – действия диспетчера, а именно его команды, а также введем функцию вознаграждения

$$R: S \times A \rightarrow \mathbb{R},$$

где $\mathbb{R}$ – область вещественных чисел, определяющая количественное выражение результата принятого решения. Тогда имеем следующую стратегию $\pi: S \rightarrow A$, которая максимизирует интегральную дисконтированную выгоду в заданном периоде управления.

В исследовании выбраны две архитектуры искусственной нейронной сети (ИНС) и выполнено сравнение результатов их работы. В Модели 1 использовалась полносвязная искусственная нейронная сеть (FCNN) с одинаковым количеством слоев для Actor и Critic. При этом конфигурация блока A представляется в два слоя по 64 нейрона. В Модели 2 использовались сверточные слои для извлечения признаков, данные с которых поступали в блок A аналогичный Модели 1. В работе для Модели 2 рассматривались конфигурации [64, 64] и [128, 64].

Пример процесса обучения моделей (эпизод G с количеством пропущенных поездов N_h), представлен на рис. 23.

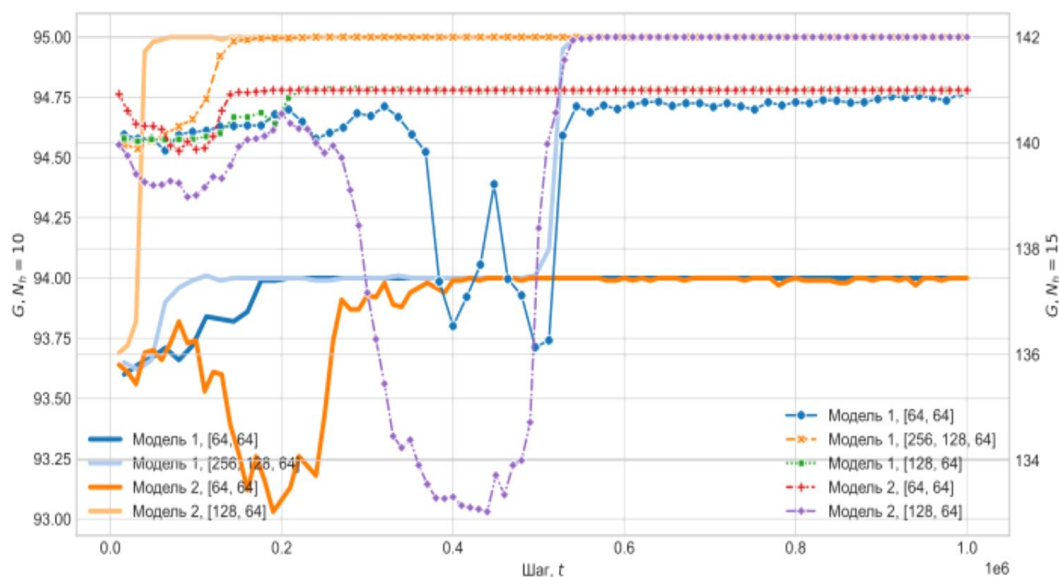


Рис. 23. Процесс обучения моделей

В исследовании произведен сбор и анализ 1070 графиков выполненного движения с применением нейросетевого управления пропуском поездов с учетом данных «цифрового двойника» железнодорожного участка. Анализ графиков выполненного движения при нейросетевом управлении показал, что модель нуждается в доработках и обучении принятия решений по пропуску поездов с подбором необходимых параметров настройки и программ самообучения и приоритетов решения задач на детализированных технологических цепочках процессной модели. Причины возникновения программных неточностей в обучении нейросети требуют дополнительных исследований, однако, учитывая сторонний опыт создания подобных сетей, данная разработка на сегодняшний день показывает достаточно хорошие результаты в рамках предложенной концепции использования «цифровых двойников» и ИИ в задачах управления перевозками в ПТТС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.

Выполненное диссертационное исследование направлено на разработку новых научно обоснованных решений устойчивого развития ПТТС в условиях изменения следования грузопотоков, появления зон «напряженности» в пропуске поездо- и вагонопотоков в направлении морских портов. В диссертационном исследовании решены теоретико-методологические и прикладные задачи, получены следующие научные результаты:

1 Исследован научный, методический и практический опыт организации функционирования ПТТС; уточнены категориальный аппарат и классификация ПТТС в национальной транспортной системе, направленные на повышение организационно-технологического уровня взаимодействия. Обоснована роль системного подхода в исследовании ПТТС и сформулированы базовые признаки такого подхода.

2 Обоснована методология организации транспортного производства в припортовых транспортно-технологических системах, основанная на региональных особенностях транспортной системы, развитии организационно-технологического управления (ОТУ) и повышении организационно-технологической надежности (ОТН) взаимодействующих видов транспорта (железнодорожного и морского). Методология основывается на исследовании новых технологических форм обеспечения взаимодействия видов транспорта и участников транспортного рынка в ПТТС; формировании оценки и классификации факторов, влияющих на выполнение договорных сроков доставки в условиях увеличения размеров движения, и определении зон напряженности в организации перевозочной работы ПТТС; совершенствовании технико-технологической модели управления перевозочным процессом на полигоне в направлении портов с учетом повышения уровня ОТН. Обобщение результатов аналитических и статистических исследований в части причин нарушения сроков доставки для припортовой железной дороги позволило обеспечить улучшение экономических показателей работы компании в части выплачиваемых компенсаций за нарушение сроков доставки (снижение размеров выплат неустойки ОАО «РЖД» до 5 %).

3 Развита теоретическая методология к системному исследованию ПТТС на принципах ОТН в задачах развития припортовых железных дорог, в т. ч. за счет интеллектуализации и цифровизации производственных процессов. Рассмотрены основные виды надежности применительно к исследованию транспортных систем и дополнены методы, инструменты оценки и повышения ОТН элементов ПТТС. Исследование ОТН выполнено на базе когнитивного моделирования.

4 Сформирована методология когнитивного моделирования устойчивого развития ПТТС при использовании инновационных сквозных когнитивных технологий в системах принятия решений и управлении в условиях качественных изменений и требований к транспортной системе страны. Выполнено сценарное моделирование развития ПТТС с учетом повышения ОТН перевозочного процесса на припортовых железных дорогах, позволяющее оценить риски на основании предвидения возможного будущего развития системы, изменения структуры и поведения объекта (сценариев возможного развития). Результаты моделирования позволили выделить сценарии с устойчивым развитием ПТТС. Дальнейшие направления в области развития методологии исследования ПТТС с использованием когнитивного моделирования видятся в составлении более подробных когнитивных карт, совершенствовании интеллектуальных систем для транспорта, база знаний которых включает когнитивное моделирование.

5 В рамках логистической парадигмы управления взаимодействием видов транспорта и организации транспортного производства ПТТС определены требования к сквозным бизнес-процессам организации доставки грузов в системе «железная дорога – морской порт». Существующая «связка» «АСУ порт» – «АСУ «РЖД» не всегда справляется с задачей полного обеспечения «запроса» экономики в перевозках, но принцип спроса на транспортные услуги – «здесь и сейчас» – требует развития инновационных, ресурсосберегающих технологий для совершенствования взаимодействия участников перевозочного процесса.

К их числу относятся детерминированные и стохастические модели управления перевозками и подводом грузо-, поезд- и вагонопотоков к припортовым железнодорожным станциям, которые получили свое развитие в данном исследовании. Данные модели с учетом когнитивных моделей решают задачи эффективной организации работы взаимодействующих видов транспорта в условиях системных изменений в ПТТС.

6 Исследованы принципы нейросетевого управления движением поездов с применением математических моделей деятельности железнодорожных участков припортовой железной дороги, построенных на базе «цифровых двойников». Формализованы и разработаны модели функционирования производственных процессов припортовых железных дорог в условиях волатильности перевозок на принципах интеллектуализации и цифровизации управляющих воздействий.

7 Разработана концепция применения «цифровых двойников» железнодорожных участков и технологий ИИ в задачах управления перевозочным процессом в ПТТС. Моделирование нейросетевого управления движением поездов проведено на основе УЛК «Виртуальная железная дорога». Концепция использования «цифрового двойника» железнодорожного участка для изучения проблем развития технологий искусственного интеллекта показала свою эффективность, а в части анализа параметров пропуска поездов по железнодорожному участку – создана экспериментальная площадка, позволяющая для каждого поезда отслеживать скоростные характеристики пропуска по участку при ручном и нейросетевом управлении.

8 Предложена трехкомпонентная модель обучения оперативно-диспетчерского персонала припортовых железных дорог при использовании тренажерных комплексов в условиях развития концепции «Цифровая железная дорога». Технические и алгоритмические решения создания элементов технологии ИИ управления железнодорожными перевозками на базе УЛК «ВЖД» могут быть распространены на практико-ориентированные технологии без ущерба качества реализуемого управления.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, входящих в перечень ВАК Минобрнауки РФ

1 Зубков, В. Н. Местная работа на припортовых железных дорогах: проблемы и концепции / В. Н. Зубков, **Е. А. Чеботарева**, А. Г. Черняев // Железнодорожный транспорт. – 2010. – № 9. – С. 17–20.

2 **Чеботарева, Е. А.** Планирование, организация и управление экспортными перевозками в железнодорожно-морском сообщении / Е. А. Чеботарева, А. Г. Черняев // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2012. – № 3(47). – С. 117–123.

3 Чеботарев, В. В. Совершенствование системы диспетчерского управления грузопотоками в адрес крупных потребителей Северо-Кавказской железной дороги / В. В. Чеботарев, **Е. А. Чеботарева** // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2014. – № 3. – С. 82–88.

4 Зубков, В. Н. Полигонные технологии как новый подход к совершенствованию системы управления грузопотоками в направлении портов и крупных предприятий / В. Н. Зубков, **Е. А. Чеботарева**, В. В. Чеботарев // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2015. – № 3. – С. 64–72.

- 5 Боцвин, Д. В. Повышение надежности перевозочного процесса на грузонапряженных направлениях Северо-Кавказской железной дороги / Д. В. Боцвин, **Е. А. Чеботарева**, В. В. Чеботарев // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 1. – С. 79–87.
- 6 Кравец, А. С. Развитие логистики перевозки зерна в железнодорожно-морском сообщении (на примере южного региона) / А. С. Кравец, **Е. А. Чеботарева** // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 3. – С. 102–112.
- 7 Зубков, В. Н. Скорость движения поездов – индикатор качества перевозок пассажиров и грузов / В. Н. Зубков, Е. В. Рязанова, **Е. А. Чеботарева** // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 3. – С. 45–51.
- 8 Черняев, А. Г. Развитие полигонных технологий перевозок на основе совершенствования логистического управления вагонопотоками в границах нескольких дорог / А. Г. Черняев, В. Н. Зубков, **Е. А. Чеботарева** // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 2 (66). – С. 75–82.
- 9 На основе логистической модели управления / А. Г. Черняев, В. Н. Зубков, Э. А. Мамаев, **Е. А. Чеботарева** // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 11. – С. 9–16.
- 10 Совершенствование местной работы на участках Северо-Кавказской железной дороги в условиях увеличения объемов перевозок / Е. А. Чеботарева, В. В. Чеботарев, И. А. Солоп, Ю. И. Жарков // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2018. – № 4 (72). – С. 109–115.
- 11 Перевозки грузов в железнодорожно-морском сообщении на юге России / К. В. Кудряшов, В. Н. Зубков, Э. А. Мамаев, **Е. А. Чеботарева**. // Железнодорожный транспорт. – 2019. – № 4. – С. 4–10.
- 12 Развитие транспортно-логистических услуг на припортовых железных дорогах в условиях цифровой трансформации отрасли / Э. А. Мамаев, В. Н. Зубков, **Е. А. Чеботарева** // Наука и техника транспорта. – 2021. – № 4. – С. 43–49.
- 13 Инновационные элементы инфраструктуры железнодорожного комплекса: оценка технологий и показателей эксплуатационной работы / В. А. Воронин, С. А. Филиппченко, П. В. Куренков, **Е. А. Чеботарева** [и др.]. // Транспорт: наука, техника, управление. – 2021. – № 3. – С. 18–22.
- 14 Снижение дефицита пропускных способностей железнодорожных направлений за счет внедрения интервального регулирования движения поездов / П. В. Куренков, И. А. Солоп, **Е. А. Чеботарева**, Е. А. Герасимова, Н. В. Курганова // Мир транспорта. – 2022. – № 5. – С. 46–53.
- 15 **Чеботарева, Е. А.** Логистика организации пассажирского и грузового движения на направлениях Северо-Кавказской железной дороги / Е. А. Чеботарева, В. Д. Верескун, И. Д. Долгий // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 1 (85). – С. 108–116.
- 16 Вычислительный эксперимент в оптимизационном моделировании процесса мультимодальных грузоперевозок на основе эгалитарных принципов / В. А. Богачев, П. В. Куренков, **Е. А. Чеботарева** [и др.] // Бюллетень результатов научных исследований. – 2022. – № 3. – С. 151–162.
- 17 **Чеботарева, Е. А.** Анализ мероприятий по повышению пропускной способности участков Северо-Кавказской железной дороги / Е. А. Чеботарева // Транспорт: наука, техника, управление. – 2022. – № 1. – С. 29–34.
- 18 Меры по согласованному развитию инфраструктуры на подходах к порту Оля в условиях прогнозируемого роста грузопотоков по транспортному коридору «Север-Юг» / В. Н. Зубков, Е. В. Рязанова, С. М. Наурузбаев, **Е. А. Чеботарева**, И. В. Меркулов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 1 (89). – С. 63–75.
- 19 Меры по согласованному продвижению вагонопотоков к портам Азово-Черноморского бассейна в условиях развития элементов технико-технологической модели управления перевозочным процессом / В. Н. Зубков, А. Г. Черняев, **Е. А. Чеботарева**, И. Н. Егорова, И. Д.

Долгий // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 3 (91). – С. 35–44.

20 Формирование поездов повышенной длины на грузонапряженных направлениях припортовой железной дороги / **Е. А. Чеботарева**, А. Г. Черняев, Е. В. Рязанова, В. В. Буровцев // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 4 (92). – С. 121–130.

21 Культура безопасности движения в системе управления эксплуатационной работой / П. В. Куренков, И. А. Солоп, **Е. А. Чеботарева**, О. Д. Покровская, А. А. Воробьев // Транспортное дело России. – 2023. – № 6. – С. 179–184.

22 Развитие сотрудничества компании ОАО «РЖД» и железнодорожных компаний африканского континента: прогнозы, направления, задачи / **Е. А. Чеботарева**, И. А. Солоп, И. В. Меркулов, С. М. Наурузбаев // Транспортное дело России. – 2023. – № 6. – С. 52–56.

23 **Чеботарева, Е. А.** Исследование организационно-технологической устойчивости системы управления вагонопотоками с использованием теории дифференциальных уравнений / Е. А. Чеботарева, В. А. Богачев. // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 4 (60). – С. 4–12.

24 **Чеботарева, Е. А.** Моделирование элементов профессиональной интуиции в человеко-машинных системах для решения задач оперативного управления железнодорожным транспортом / Е. А. Чеботарева // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 3-4 (82). – С. 61–69.

25 **Чеботарева, Е. А.** Зангезурский коридор: основные положения, проблемы и перспективы развития сухопутного наземного сообщения / Е. А. Чеботарева, И. А. Солоп, И. В. Меркулов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2023. – № 4 (75). – С. 86–92.

26 **Чеботарева, Е. А.** Снижение рисков железнодорожной отрасли за счет цифровой трансформации / Е. А. Чеботарева, И. А. Солоп, Л. В. Маколова // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – 2023. – № 4 (37). – С. 109–117.

27 **Чеботарева, Е. А.** Исследование многоуровневых моделей управления вагонопотоками в адрес припортовых станций с применением теории дифференциальных уравнений / Е. А. Чеботарева // Бюллетень результатов научных исследований. – 2024. – № 3. – С. 60–72.

28 **Чеботарева, Е. А.** Развитие инструментов оценки резервов пропускной способности железнодорожных участков на базе создания цифрового двойника и применения искусственной нейронной сети / Е. А. Чеботарева // Мир транспорта и технологических машин. – 2024 – № 3-2 (86). – С. 126–131.

29 **Чеботарева, Е. А.** Устойчивость решений автономных систем дифференциальных уравнений в изучении систем управления вагонопотоками в адрес припортовых железнодорожных станций / Е. А. Чеботарева, В. А. Богачев, Т. В. Богачев // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 5 (72). – С. 35–44.

30 **Чеботарева, Е. А.** Когнитивное моделирование развития припортовых транспортно-технологических систем (ПТТС) / Е. А. Чеботарева // Транспортное дело России. – 2024. – № 5. – С. 184–189.

31 Перспективы развития мультимодальных пассажирских перевозок на юге России в условиях изменения пассажиропотоков / **Е. А. Чеботарева**, И. А. Солоп, И. Н. Егорова, Е. П. Плахотнюк // Транспортное дело России. – 2024. – № 3. – С. 50–55.

32 **Чеботарева, Е. А.** Системный подход к исследованию сложных объектов (на примере припортовых транспортно-технологических систем) / Е. А. Чеботарева // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 1 (93). – С. 113–121.

33 Мамаев, Э. А. Математическая модель организации эксплуатационной работы в задачах повышения пропускной способности железнодорожного участка / Э. А. Мамаев, **Е. А. Чеботарева** / Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2025. – Т. 22, № 1. – С. 60–74.

Публикации в изданиях, индексируемых в международных базах Scopus и Web of Science:

34 Methodological Bases of Modeling and Optimization of Transport Processes in the Interaction of Railways and Maritime Transport / O. N. Chislov, V. Zadorozhnyi, D. Lomash, **E. Chebotareva** [et al.]. // Modern Traffic Engineering in the System Approach to the Development of Traffic Networks : 16th Scientific and Technical Conference on Transport Systems – Theory and Practice (TSTP), Sep 16–18, 2019, Katowice, Poland. – 2020. – Vol. 1083. – P. 79–89. – (Advances in Intelligent Systems and Computing). – DOI 10.1007/978-3-030-34069-8_7.

35 Capacity and Traffic Management on a Heavy-Traffic Railway Line / V. N. Zubkov, E. Ryazanova, **E. Chebotareva** [et al.]. // Advances in Intelligent Systems and Computing : TransSiberia: VIII International Scientific Siberian Transport Forum, May 22–27, 2019, Novosibirsk, Russia. – 2020. – Vol. 1116. – P. 934–949. – DOI 10.1007/978-3-030-37919-3_92.

36 Influence of innovative elements of railway infrastructure complex on the technology of the transport process / S. P. Vakulenko, P. V. Kurenkov, **E. A. Chebotareva** [et al.] // Transportation Research Procedia : 14th International Scientific Conference on Sustainable, Modern and Safe Transport, TRANSCOM 2021, Virtual, 26–28 May 2021. – 2021. – Vol. 55. – P. 342–347. – DOI 10.1016/j.trpro.2021.06.040.

37 Update criteria for selecting service providers for railway transportation enterprises / S. P. Vakulenko, V. L. Belozarov, P. V. Kurenkov, **E. A. Chebotareva** [et al.]. // Transportation Research Procedia : 14th International Scientific Conference on Sustainable, Modern and Safe Transport, TRANSCOM 2021, Virtual, 26–28 May 2021. – 2021. – Vol. 55. – P. 362–369. – DOI 10.1016/j.trpro.2021.06.042.

38 The history of oil transportation logistics: the experience of interaction between water and rail transport / G. Deruzhinskiy, P. Kurenkov, **E. Chebotareva**, I. Solop, E. Gerasimova // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 326. – Article no. 00019. – DOI 10.1051/e3sconf/202132600019 IPDME 2021.

39 Development of Logistics Models for Oil Cargo Transportation to Reduce Logistics Costs and Improve Wagon Mileage / P. V. Kurenkov, A. V. Astafyev, L. E. Kolos, **E. A. Chebotareva** [et al.]. // Springer Proceedings in Mathematics and Statistics : 15th International Conference on Dynamical Systems: Theory and Applications, 02–05 December 2021. – 2022. – Vol. 364. – P. 219–235. – DOI 10.1007/978-3-030-92604-5_20.

40 Improving Safety of Shunting Operations at Railway Stations on the Basis of the Development of Information Tools and Automation of Technological Processes / **E. Chebotareva**, V. Bogachev, S. Vakulenko [et al.]. // AIP Conference Proceedings: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment 2021, ICMTMTE 2021, Sevastopol, 06–10 September 2021. – 2022. – Vol. 2503. – Article no. 080020. – DOI 10.1063/5.0099524. – <https://doi.org/10.1063/5.0099524>.

41 Development of the container transportation segment on the network Russian railway / **E. Chebotareva**, I. Solop, P. Kurenkov, A. Astafyev // Transportation Research Procedia : 10th International Scientific Siberian Transport Forum, TransSiberia 2022, Novosibirsk, 02–05 March 2022. – 2022. – Vol. 63. – P. 1708–1716. – DOI 10.1016/j.trpro.2022.06.185.

42 **Chebotareva, E. A.** Increasing the capacity of the stressed sections of the north Caucasus railway in the south of Russia / V. N. Zubkov, E. V. Ryazanova, E. A. Chebotareva // Transportation Research Procedia: 10th International Scientific Siberian Transport Forum, TransSiberia 2022, Novosibirsk, 02–05 March 2022. – 2022. – Vol. 63. – P. 1717–1726. – DOI 10.1016/j.trpro.2022.06.186.

43 Mathematical modeling of oil freight transportation in multi-agent transport systems / E. Chebotareva, V. Bogachev, A. Kravets, T. Bogachev // AIP Conference Proceedings. – 2023. – Vol. 2624(1). – Article no. 040082. – DOI 10.1063/5.0132345.

44 **Chebotareva, E.** Optimization of the length of dispatching polygon sections railways / E. Chebotareva, V. Chebotnicov, V. Chebotarev // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 383. – DOI 10.1051/e3sconf/202338301024.

45 Mathematical modelling of the railway station's technological parameters in transport corridor system of export traffic increasing volumes / E. V. Ryazanova, **E. A. Chebotareva**, S. M.

Nauruzbaev, I. V. Merkulov // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 431. – Article no. 08014. – DOI 10.1051/e3sconf/202343108014.

46 Vereskun, V. Modeling of Intuition in Human-Machine Decision-Making Complexes in the Management of Transport Systems / V. Vereskun, N. Lyabakh, **E. Chebotareva** // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2023. – Vol. 777. – P. 237–246. – DOI 10.1007/978-3-031-43792-2_23.

47 Neural Network Control of the Transportation Process in Railway Transport: Problems and Future Tasks / E. A. Mamaev, O. V. Ignatieva, Yu. P. Bulavin, **E. A. Chebotareva** [et al.]. // Lecture Notes in Networks and Systems, LNNS. – 2024. – Vol. 1209. – P. 91–107. – DOI 10.1007/978-3-031-77688-5_10.

48 **Chebotareva, E.** Use of Heavy Traffic and Reduction of Intertrain Interval to Form a Network of Alternative Railway Routes along the North-South Transport Corridor / E. Chebotareva, E. Ryazanova, S. Nauruzbaev // AIP Conference Proceeding. – 2024. – Vol. 3243 (1). – Article no. 020039. – DOI 10.1063/5.0247337.

Монографии:

49 Зубков, В. Н. Теория и методология организации местной работы в условиях концентрации управления перевозками на базе информационных технологий : монография / В. Н. Зубков, **Е. А. Чеботарева**, И. Н. Филатов. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2008. – 262 с.

50 Черняев, А. Г. Развитие системы управления экспортными перевозками в железнодорожно-морском сообщении на базе логистических и информационных технологий : монография / А. Г. Черняев, **Е. А. Чеботарева**, Д. А. Ломаш. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2013. – 187 с.

51 **Чеботарева, Е. А.** Современные технологии подготовки специалистов в области эксплуатации железнодорожного транспорта. Новый уровень образования : коллективная монография / Е. А. Чеботарева, М. В. Бакалов, И. А. Солоп // Современные технологии подготовки специалистов в области эксплуатации железнодорожного транспорта. Глава 6. – Одесса, 2018. – С. 70–88. – ISBN 978-617-7414-43-7

52 **Чеботарева, Е. А.** Теория и методология организации транспортного производства в припортовых транспортно-технологических системах: монография / Е. А. Чеботарева. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2020. – 213 с. – ISBN 978-5-907295-22-3.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ:

53 **Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025617556.** ИНС_ПОДВОД ПОЕЗДОВ_ПОРТ V.1 Программа автоматизированного создания массива данных для обучения искусственной нейронной сети (ИНС) и управления подводом поездов на припортовые станции с учетом параметров теории надежности работы железнодорожных объектов / Е. А. Чеботарева, А. В. Назаров, С. М. Наурузбаев. – № 2025614093 ; заявл. 25.02.2025 ; опублик. 26.03.2025.

Публикации в других изданиях:

54 **Чеботарева, Е. А.** К вопросу эффективного управления погрузкой экспортных грузов / Е. А. Чеботарева, А. Г. Черняев // Транспорт-2012 : труды Всероссийской научно-практической конференции, апрель 2012 г. В 3 ч. Ч. 1 : Естественные и технические науки. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2012. – С. 310–312.

55 **Чеботарева, Е. А.** К вопросу развития экспортных перевозок в адрес портов Таманского полуострова / Е. А. Чеботарева // Транспорт-2013 : труды Международной научно-практической конференции. Ч. 1: Технические и экономические науки. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2013. – С. 244–246.

56 **Чеботарева, Е. А.** Развитие транспортной инфраструктуры на подходах к портам Таманского полуострова / Е. А. Чеботарева // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2014. – № 2. – С. 142–147.

57 **Чеботарева, Е. А.** Развитие полигонных принципов управления перевозочным процессом на железнодорожных направлениях / Е. А. Чеботарева // Транспорт: наука, образование, производство (Транспорт-201) : сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. Т. 3 : Экономические и технические науки. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2016. – С. 291–294.

58 **Чеботарева, Е. А.** Развитие логистических технологий организации подвода поездов на припортовые станции с учетом норм наличия грузов по номенклатурам / Е. А. Чеботарева, В. В. Чеботарев, И. А. Солоп // Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России (ТрансПромЭк-2019, 90-летию РГУПС посвящается) : сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. Т. 2 : Технические, экономические, естественные и гуманитарные науки. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2019. – С. 101–105.

59 **Чеботарева, Е. А.** Повышение эффективности использования транспортных мощностей юго-западного полигона железных дорог в условиях перехода к полигонным технологиям / Е. А. Чеботарева // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. – 2020. – № 1 (2). – С. 175–184.

60 **Чеботарева, Е. А.** Технологические и экономические проблемы организации смешанных перевозок в железнодорожно-морском сообщении / Е. А. Чеботарева, И. А. Солоп // Транспорт и логистика: тренды и барьеры развития в условиях пространственно-технологических ограничений и неопределенности : сборник научных трудов V Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2021. – С. 187–191.

61 Современные технологические и инновационные решения, направленные на увеличение пропускных и провозных способностей железнодорожных направлений / В. А. Воронин, П. В. Куренков, И. А. Солоп, **Е. А. Чеботарева** // Транспортные системы и технологии. 2021. – Т. 7, № 2. – С. 16–29.

62 Зубков, В. Н. Совершенствование технико-технологической модели управления перевозочным процессом / В. Н. Зубков, А. Г. Черняев, **Е. А. Чеботарева** // Железнодорожный транспорт. – 2023. – № 12. – С. 10–14.

63 **Чеботарева, Е. А.** Факторный анализ выполнения скорости и сроков доставки грузов по Северо-Кавказской железной дороге / Е. А. Чеботарева, И. А. Солоп, К. В. Аношкин // Транспорт: наука, техника, управление. – 2023. – № 7. – С. 10–17. – DOI 10.36535/0236-1914-2023-07-3.

64 **Чеботарева, Е. А.** Современные задачи оптимизации режимов управления грузами и вагонопотоками на полигонах припортовых железных дорог / Е. А. Чеботарева, В. А. Богачев // В сборнике : Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию БелИИЖТа – БелГУТа. В 2 ч. – Гомель, 2023. – С. 188–189.

65 **Чеботарева, Е. А.** Модели управления припортовыми железнодорожными транспортно-технологическими системами / Е. А. Чеботарева, В. А. Богачев // Наука и образование транспорту. – 2023. – № 1. – С. 124–127.

66 **Чеботарева, Е. А.** Варианты удлиненных плеч обслуживания локомотивных бригад в направлении портов Азово-Черноморского бассейна / Е. А. Чеботарева, А. Г. Черняев, И. Ф. Кравченко / Наука и образование транспорту. – 2023. – № 1. – С. 128–130.

67 **Чеботарева, Е. А.** Анализ влияния факторов на сроки и выполнение надежности доставки грузов на юге России с учетом увеличения объемов транспортной работы / Е. А. Чеботарева, И. А. Солоп // Логистика. – 2024. – № 8 (213). – С. 10–15.

68 **Чеботарева, Е. А.** Возможность применения искусственной нейронной сети для оценки резервов пропускной способности железнодорожных участков / Е. А. Чеботарева, И. А. Солоп // Управление эксплуатационной работой на транспорте (УЭРТ-2024) : сборник трудов II Международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург, 2024. – С. 107–111.

69 **Чеботарева, Е. А.** Моделирование работы железнодорожного участка с использованием концепции цифровых «двойников» / Е. А. Чеботарева, Э. А. Мамаев // В сборнике :

Управление эксплуатационной работой на транспорте (УЭРТ-2024). – Санкт-Петербург, 2024. – С. 111–114.

70 **Чеботарева, Е. А.** Организация и функционирование припортовых транспортно-технологических систем в условиях изменения структуры и объемов перевозок / Е. А. Чеботарева // II Международная научная конференция «Железная дорога: путь в будущее»: сборник материалов аспирантов и молодых ученых к 80-летию аспирантуры и научного центра «Экономика комплексных проектов и тарифообразования АО «ВНИИЖТ»». – Москва, 2024. – С. 333–337.

71 **Чеботарева, Е. А.** Перспективы применения искусственного интеллекта для реализации технологий подвода грузопотоков к припортовым станциям (на примере юга России) / Е. А. Чеботарева, Э. А. Мамаев, И. А. Солоп // Наука и образование транспорту. – 2024. – № 2. – С. 75–79.

72 Черняев, А. Г. Повышение эффективности работы припортовой железнодорожной станции / А. Г. Черняев, О. И. Колобов, **Е. А. Чеботарева** // Железнодорожный транспорт. – 2025. – № 5. – С. 18–23.

Личный вклад соискателя. Автору принадлежат следующие результаты:

– [1, 4, 8, 9, 15, 49, 62, 66, 72] – теоретически обоснованы направления развития транспортного производства в ПТТС, включая научно-технологические предложения по совершенствованию технико-технологической модели управления перевозочным процессом на полигоне в направлении морских портов;

– [2, 3, 5, 7, 11, 21, 38, 39, 40, 51, 54, 55, 58] – развитие методологии организации транспортного производства в ПТТС, основанной на региональных особенностях транспортной системы, развитии ОТУ и повышении ОТН взаимодействующих видов транспорта (железнодорожного и морского);

– [46] – предложено развитие методологии когнитивного моделирования устойчивого развития ПТТС, постановка эксперимента, обработка результатов экспериментов;

– [6, 12, 19, 37, 41, 44, 50] – развитие методологии организационно-технологического управления ПТТС в условиях интеллектуализации и цифровизации производственных процессов, в т. ч. в условиях ограниченных пропускных способностей транспортной инфраструктуры и диверсификации транспортных услуг;

– [16, 23, 29, 43, 45, 65] – определение методов решения стохастических и детерминированных математических задач и моделей взаимодействия видов транспорта и управления транспортным производством в ПТТС, проведение вычислительных экспериментов;

– [10, 22, 25, 31, 34, 48, 64] – выявлены системные изменения в транспортных системах и формализованы модели функционирования производственных процессов припортовых железных дорог в условиях волатильности перевозок;

– [26, 33, 47, 53, 68, 69, 71] – сформирована концепция применения «цифровых двойников» железнодорожных участков и технологий искусственного интеллекта (ИИ) в задачах управления перевозочным процессом в ПТТС, выполнен анализ существующих решений в области нейросетевого управления перевозочным процессом, подготовлены вычислительные эксперименты в рамках испытания прототипа нейросетевой системы управления, участие в проведении экспериментов, анализ и обработка результатов исследований;

– [60, 63, 67] – определены зоны напряженности в организации перевозочной работы ПТТС, внешние и внутренние возмущающие воздействия на технологию перевозок;

– [13, 14, 18, 20, 35, 36, 42, 61] – разработаны подходы к выработке организационно-технологических и технических решений, направленных на эффективное использование пропускных способностей участков и направлений на подходах к морским портам и крупным потребителям.

Чеботарева Евгения Андреевна

**ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ ОРГАНИЗАЦИИ
ТРАНСПОРТНОГО ПРОИЗВОДСТВА
В ПРИПОРТОВЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени доктора технических наук

Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 2,79. Тираж 100 экз. Заказ № _____.

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВО РГУПС.

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