

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

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)

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант
доктор технических наук,
профессор В. Д. Верескун

Ростов-на-Дону

2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	6
1 Припортовые транспортно-технологические системы в условиях интенсивных экономических изменений: теория и методология исследований	20
1.1 Транспортные системы в обеспечении внешнеторгового товарооборота страны	20
1.2 Организация и функционирование припортовых транспортно-технологических систем Российской Федерации в условиях изменения структуры и объемов грузопотоков	29
1.3 Теория и практика развития припортовых транспортно-технологических систем: зарубежный и отечественный опыт	44
1.4 Основные подходы к системному исследованию припортовых транспортно-технологических систем с участием железнодорожного вида транспорта	56
1.5 Научно-практические проблемы теории и практики развития припортовых транспортно-технологических систем	65
1.6 Выводы по первой главе	69
2 Железнодорожный транспорт в организации транспортного производства в припортовых транспортно-технологических системах	72
2.1 Системные изменения условий организации перевозочного процесса в припортовых транспортно-технологических системах и их региональные аспекты	72
2.2 Характеристика транспортных и производственно-технологических процессов в направлении портов в задачах повышения перевозочной мощности железнодорожных подходов (на примере Азово-Черноморского бассейна)	84

2.3	Современные концепции и технологии обеспечения взаимодействия видов транспорта и участников припортовых транспортно-технологических систем	103
2.4	Направления развития организационно-технологической надежности припортовых транспортно-технологических систем в условиях волатильности грузо- и пассажиропотоков на железнодорожных направлениях	119
2.5	Выводы по второй главе	135
3	Методологические направления повышения уровня организационно-технологической надежности припортовых транспортно-технологических систем во взаимодействии с железнодорожным видом транспорта	137
3.1	Методология применения положений организационно-технологической надежности в транспортном производстве припортовых транспортно-технологических систем	137
3.2	Развитие методов оценки и повышения организационно-технологической надежности элементов припортовой транспортно-технологической системы	148
3.3	Когнитивные модели в человеко-машинных комплексах принятия решений и управлении припортовыми транспортно-технологическими системами	158
3.4	Когнитивное моделирование развития припортовых транспортно-технологических систем	166
3.5	Выводы по третьей главе	183
4	Методология организационно-технологического управления (ОТУ) перевозками в припортовых транспортно-технологических системах	185
4.1	Реализация логистической парадигмы управления взаимодействием железнодорожного и морского видов транспорта в припортовых транспортно-технологических системах	185

4.2	Технологические и бизнес-процессы организации перевозок в железнодорожно-морском сообщении в условиях интеллектуализации процессов управления и диверсификации транспортных услуг.....	197
4.3	Развитие моделей логистического управления перевозками в условиях полигонной концепции управления железнодорожными перевозками	205
4.4	Концепция развития и интеграции информационных систем с целью повышения эффективности функционирования припортовых транспортно-технологических систем	213
4.5	Методы аналитического и имитационного моделирования управления экспортными перевозками в железнодорожно-морском сообщении	220
4.5.1	Детерминированные и стохастические модели взаимодействия видов транспорта	220
4.5.2	Теоретические и практические аспекты имитационного моделирования транспортных процессов при взаимодействии железнодорожного и морского видов транспорта	225
4.5.3	Теоретические и практические аспекты методов динамического программирования в решении задачи подвода судовой партии по прямому варианту «вагон – борт судна»	229
4.5.4	Теоретические и практические аспекты задач транспортного типа для формирования плана мультимодальных грузоперевозок в припортовых транспортно-технологических системах.....	235
4.5.5	Исследование и формализация задач многоуровневого управления транспортным производством припортовых транспортно-технологических систем	240
4.6	Выводы по четвертой главе	253

5 Цифровые и интеллектуальные технологии управления транспортным производством в припортовых транспортно-технологических системах: концептуальные и методические решения	255
5.1 Категорирование информационных систем оперативного управления перевозочным процессом в припортовых транспортно-технологических системах в развитии технологий интеллектуального управления	255
5.2 Методические подходы к формализации объектов и процессов железнодорожного транспорта для разработки и внедрения интеллектуальных технологий управления перевозочным процессом.....	267
5.3 Использование «цифровых двойников» железнодорожных участков и элементов управления движением поездов в припортовых транспортно-технологических системах на основе искусственных нейронных сетей	281
5.4 Научно-методический комплекс прикладных программ с применением технологий искусственного интеллекта для подготовки оперативно-диспетчерского персонала припортовых железных дорог	299
5.5 Выводы по пятой главе	305
Заключение	307
Список литературы	311
Приложение 1	373
Приложение 2	383
Приложение 3	404
Приложение 4	410
Приложение 5	488
Приложение 6	506
Приложение 7	515

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Актуальность исследуемых проблем в диссертационном исследовании обусловлена необходимостью решения задач, поставленных перед транспортным комплексом на перспективу до 2035 года и нашедших отражение в Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года (Распоряжение от 27.11.2021 № 3363-р) [1]. 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. Наиболее важными из таких изменений являются:

- дифференцирование функционала видов деятельности с выделением филиалов, дочерних обществ ОАО «РЖД», определением их технологических, правовых и экономико-финансовых взаимоотношений. Такие структурные преобразования позволили повысить конкурентоспособность холдинга и конкретно видов его деятельности, однако в целом не решили проблем опережающего развития инфраструктуры и обеспечения резервов пропускной способности ключевых железнодорожных направлений на подходах к крупным потребителям и морским портам;

- изменение дальности перевозок грузов в железнодорожном сообщении: так, дальность перевозок грузов с 1994 по 2023 г. возросла в 1,8 раза [2];

- развитие информационных технологий и информационных инструментов управления перевозочным процессом, в том числе в железнодорожно-морском сообщении;

- развитие новых сервисов и услуг в сфере обслуживания клиентуры с учетом клиентоориентированности перевозочного процесса;
- формирование крупных выгрузочных районов, особенно в районах расположения морских портов, получающих грузовые отправки из отдаленных районов сети, что привело к концентрации грузопотоков и образованию высокозагруженных направлений, проходящих по территории нескольких железных дорог и имеющих высокую транзитность поездопотоков, и потребовало единого управления эксплуатационной работой укрупненными полигонами сети и развития [3].

Так, с 1991 по 2023 г. отправление грузов на экспорт через морские порты увеличилось с 30,6 до 334,7 млн т. В ретроспективе основная нагрузка по переработке экспортных грузов России по морским бассейнам (Приложение 1, Раздел П1.1) приходилась на три дороги: Октябрьскую, Северо-Кавказскую и Дальневосточную [4]. Именно в адрес этих дорог, как припортовых, отмечен наибольший прирост грузопотоков. Изменения географии перевозок, структуры и направления следования грузопотоков привели к тому, что в настоящее время на важнейших направлениях железных дорог, обеспечивающих до 80 % грузовых перевозок, резервы пропускной способности оказались практически исчерпаны.

Требования к железнодорожному транспорту по выполнению социальных задач, удовлетворению потребностей экономики в перевозках во внутреннем и международном сообщениях, обеспечению конкурентоспособности транспортной системы Российской Федерации с учетом новых геополитических факторов выдвигают новые задачи совершенствования взаимодействия видов транспорта, поиска новых логистических схем доставки грузов. Как отмечено в [1], в настоящее время сохраняются диспропорции в условиях работы отдельных видов транспорта, а при организации транспортного производства возникает технологическая задача согласования объемов транспортной работы с оценкой возможностей инфраструктуры. Новые направления следования грузопотоков и структурные изменения грузооборота железнодорожного транспорта обуславливают необходимость развития пропускных и провозных способностей

железнодорожных участков и направлений, что определяет научно-методические задачи развития новых технологий, технических решений и средств управления движением, поэтому важнейшей задачей отрасли при этом становится корректировка существующих технико-технологических моделей управления перевозочным процессом на полигонах, особенно в направлении морских портов.

Проблема взаимодействия видов транспорта всегда оставалась актуальной. При единстве цели для всех видов транспорта каждый из них имеет свою специфику, вытекающую из физических законов движения, уровня и своеобразия технического оснащения, административно-организационной структуры, методов эксплуатации, системы обмена информацией и др. [5]. Несмотря на достаточно большой опыт развития системы управления смешанными железнодорожно-морскими перевозками, на протяжении многих лет основные проблемы взаимодействия видов транспорта остаются неизменными. Так, еще в начале 1980-х годов было отмечено, что «анализ обработки судов и вагонов в портах показывает, что одной из причин простоев вагонов по сети железных дорог, на подходах к припортовым станциям и в портах является то, что до сих пор не организовано четкое движение огромного количества вагонов и, во-вторых, что этот поток грузов и вагонов не согласован с пропускной и перерабатывающей способностью портов и станций» [6]. В настоящее время перечисленные в указанной работе сложности зачастую сохраняются, что приводит к завышению рабочего парка вагонов, снижению маневренности станций и появлению оставленных от движения поездов [7].

Анализ теоретических положений и практики показывает, что взаимодействие различных видов транспорта основывается на ряде условий экономического, технологического, технического, организационно-управленческого характера. К условиям обеспечения ритмичной работы взаимодействующих видов транспорта относят:

- обеспечение идентичности планов перевозок грузов в смешанном сообщении;

- соответствие конструктивной и мощностной унификации транспортных звеньев различных видов транспорта, потребной пропускной и перерабатывающей способности элементов и устройств транспортной инфраструктуры;

- обеспечение потребной мощности перегрузочной техники и емкости складов, наличия соответствующих маневровых средств и т. п.;

- рациональную планировку транспортных узлов, поточность размещения в них отдельных элементов и «цехов»;

- обеспечение параметрического и геометрического соответствия пути, подвижного состава и перегрузочного оборудования и др.;

- вовлечение в контур информационного пространства всех участников перевозочного процесса.

В условиях роста экспортных грузопотоков появилась необходимость изменения всей технологической схемы организации работы припортовых станций и подходов к ним с перевалочными грузами. При этом техническое вооружение припортовых станций было ориентировано в основном на импорт, и пришлось реализовывать экспортные перевозки с диаметрально противоположными задачами [8].

На сегодняшний день дестабилизирующие факторы при взаимодействии видов транспорта в основном связаны с:

- высокой волатильностью грузо- и пассажиропотоков на смешанных грузопассажирских железнодорожных направлениях с исчерпанием резервов пропускной способности транспортной инфраструктуры;

- усложнением и увеличением транспортно-логистических цепей (средней дальности перевозок) в условиях санкций с одновременной неравномерной отгрузкой грузов грузоотправителями;

- наличием ошибок в планировании подвода поездов к транспортным узлам без учета состояния грузовых фронтов и востребованности номенклатур грузов и большим объемом данных для анализа, обработки и принятия решения;

- наличием технических и технологических нарушений со стороны взаимодействующих видов транспорта и агентов;

- зависимостью от погодных условий при организации погрузочно-выгрузочных работ и отсутствием прогнозных моделей по восстановлению нормального режима работы припортовых станций в период форс-мажорных обстоятельств.

Указанные факторы приводят к необходимости разработки компенсирующих мероприятий с целью повышения организационно-технологической надежности припортовых транспортно-технологических систем (ПТТС), в том числе за счет развития информационного инструментария поддержки принятия решений.

С учетом вышеуказанного и того, что на железнодорожных направлениях еще имеются инфраструктурные ограничения, требуется аналитический обзор существующей теории и методологии организации транспортного производства в ПТТС.

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 поездо- 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. Задорожный, 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 перевозочного процесса 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 Бинчжан, Шукай Ли и др.

Область настоящего исследования включает вопросы теории управления товародвижением и организации перевозок на железнодорожном транспорте в адрес морских портов, комплексных транспортных проблем, теории и практики моделирования сложных транспортных систем, взаимодействия различных видов транспорта, функционирования системы управления перевозками, повышения качества транспортного обслуживания, интеллектуализации и цифровизации процессов управления и транспортного производства.

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 является 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.

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 их устойчивого функционирования 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**:

- формирование оценки и классификации 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 технико-технологической модели управления перевозочным процессом на полигоне железных дорог в направлении морских портов с учетом повышения уровня ОТН;
- 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;
- развитие методов и алгоритмов оперативного управления перевозками в железнодорожно-морском сообщении с учетом реализации полигонных технологий и развития информационной логистики.

Теоретико-методологическую основу настоящего исследования представляют 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 является 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 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.

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:

– 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;

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

– 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;

– 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;

– 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;

– 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.

Достоверность полученных научных результатов подтверждается корректным применением научно признанных и апробированных теорий и методов исследования. Научные положения, теоретические выводы и практические рекомендации, включенные в диссертацию, обоснованы формально-логическими рассуждениями и математическими доказательствами, подтверждены результатами успешного внедрения разработанных механизмов при организации и управлении ПТТС.

Достоверность полученных теоретических выводов подтверждается результатами их внедрения на Северо-Кавказской железной дороге (СКЖД), проведением экспериментов на модельных объектах на транспорте.

Апробация и внедрение результатов исследования. Результаты выполненных исследований докладывались на ряде *международных научно-практических конференций*: «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.); 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» (2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024 гг.) (Ростов-на-Дону); «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 на заседаниях Объединенного ученого Совета ОАО «РЖД» в 2021, 2023, 2024, 2025 гг. и получили одобрение (протоколы заседаний № 122 от 28.01.2021, № 151 от 28.09.2023), заседании технико-технологического совета Северо-Кавказской железной дороги (протокол № 51 НЗ-1-47/пр от 25.04.2023).

Внедрение и апробация результатов исследования осуществлены на полигоне Северо-Кавказской железной дороги, в том числе в деятельности Северо-Кавказской дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД» Центральной дирекции управления движением, Северо-Кавказского территориального центра фирменного транспортного обслуживания – филиала ОАО «РЖД» Центра фирменного транспортного обслуживания, 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 индексации 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. Основное содержание диссертационного исследования изложено на 372 страницах. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 465 наименований и 7 приложений.

1 ПРИПОРТОВЫЕ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ: ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Транспортные системы в обеспечении внешнеторгового товарооборота страны

В современном мире транспорт, являясь сложной многофакторной системой, включающей постоянно взаимодействующие и взаимозависящие части, призван качественно удовлетворять потребности населения и экономики стран в транспортных услугах. Актуальность исследования закономерностей развития транспортных процессов обусловлены тем, что транспортные системы занимают важнейшее место в обеспечении практически всех сфер деятельности экономики и общества.

В классическом понимании, транспортная система включает транспортную инфраструктуру, транспортные предприятия и управление в совокупности [9]. В современной мировой экономике доля транспорта составляет около 6 %. В отрасли занято 3–9 % мировой рабочей силы [10].

Международный грузооборот реализуется в большей степени морским, железнодорожным, автомобильным, трубопроводным и воздушным видами транспорта, в то время как речной (внутренний водный) транспорт имеет главным образом внутригосударственное значение. В международной торговле нефтью и газом важную роль играют трубопроводные системы.

Железнодорожный транспорт является важным видом сухопутного транспорта. Железные дороги имеются в 140 странах, более половины их общей длины приходится на такие страны как США, Китай, Россию, Индию, Канаду, Германию, Австралию, Аргентину, ЮАР, Францию [11].

Морской транспорт является важнейшим видом транспорта при организации внешнеэкономической деятельности стран. С конца XX в. по настоящее время происходит изменение структуры международной торговли, что

ведет к коренной перестройке всех схем транспортного обеспечения. В основе этих изменений лежат принципиальные сдвиги в структуре грузовой базы, вызванные различными геополитическими и экономическими факторами. При этом морские порты исторически выполняют функцию глобальных провайдеров транспортно-логистического обеспечения грузопотоков. Основные межконтинентальные перевозки грузов мировой торговли осуществляются морским транспортом (81 %) через океанские и фидерные порты. От портов идут магистральные транспортные пути (железнодорожные, автомобильные, речные), соединяющие сырьевые и производственные регионы и обеспечивающие транзитные поставки. Закономерности геополитики разделяют регионы на сухопутные (производящие и прибрежные) и морские (торгующие) [12, 13].

Свыше половины объема всех грузов проходят через порты всего 10 стран, что объясняется высокой концентрацией в них морской торговли и морского судоходства. Наблюдаются общесистемные тенденции преобразования крупных портов мира в высокотехнологичные мультимодальные узлы или выбора узкой специализации для освоения возрастающих объемов морской торговли, несмотря на различные препятствия экономического характера, такие как рост фрахтовых ставок и цен на топливо. Все это также объясняется возрастающим влиянием на мировую торговлю стран Азии, ростом их экспорта, увеличением населения и, как следствие, его потребностей [14, 15].

В мировой транспортной портовой инфраструктуре в последние годы наметились процессы расслоения портов на глобальные (магистральные и порты транshipmenta – порты по перевалке различных грузов), региональные и фидерные [16]. В мире существует более 2000 морских портов, однако основные грузопотоки сосредоточены в портах-гигантах, перерабатывающих до 50 млн т грузов ежегодно. Доля российских портов в мировом портовом грузообороте составляет 2 %. Рейтинг крупнейших портов мира приведен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Характеристика крупнейших портов мира (по данным [17])

Порты	Страна	TEU's, млн (2022)	TEU's, млн	Грузооборот, млн т (2021)	Технические характеристики
Шанхай	Китай	43,5	51,5	769,7	19 терминалов, 125 причалов, более 2000 контейнеровозов ежемесячно
Сингапур	Сингапур	37	41,0	599,6	Транзитный порт, 6 основных терминалов, 22 контейнерных ряда
Нинбо-Чжоушань	Китай	31,1	39,3	1224,1	191 причалов, из них 39 глубоководные
Шэньчжэнь	Китай	28,8	33,0	278,4	140 причалов, 18 контейнерных причалов
Гавань Гуанчжоу	Китай	24	24,2	623,7	4600 причалов
Пусан	Южная Корея	22	22,7	442,5	10 контейнерных терминалов
Циндао	Китай	23,71	20,0	630,3	4 основных терминала, 96 действующих причалов
Гонконг	Китай	17,8	13,69	213,7	24 причала, 8 км береговой линии
Тяньцзинь	Китай	21,8	15,97	529,5	170 грузовых причалов, 9 контейнерных терминалов
Роттердам	Нидерланды	15,3	13,8	468,7	Пять отдельных портовых зон и три распределительных парка

Дополнительным импульсом развития транспортной системы любого государства является наличие международных транспортных коридоров (МТК). Значимые задачи развития транспортной инфраструктуры ставятся для направлений, входящих в сеть МТК [18]. Развитие МТК как системы транспортных коммуникаций различных видов транспорта с соответствующей инфраструктурой, характеризуемой высокой потоковой активностью, требует комплексного подхода к надежности функционирования объектов транспортной системы, включая и железнодорожный транспорт, являющийся неотъемлемой частью транспортного обеспечения многих стран (рисунок 1.1).

В условиях санкционного давления произошло перераспределение грузопотоков, и особое внимание сосредоточилось на МТК «Север – Юг» и Северный морской транзитный коридор (СМТК), поскольку логистические цепочки сместились в сторону стран Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР) и Ближнего Востока [19].



Рисунок 1.1 – Объекты транспортной системы с детализацией
для железнодорожного транспорта

Характеристика МТК, проходящих через территорию России, приведена в Разделе П1.2 Приложения 1. Развитие железнодорожного транспорта в системе МТК для России приобретает важнейшее значение, а исследование проблем функционирования припортовых транспортных систем затрагивает методические вопросы стратегического планирования и организации работы транспортных коридоров. Так, для Восточного полигона, который образован Транссибирской железнодорожной магистралью (Транссиб) и Байкало-Амурской магистралью (БАМ), реализуется план модернизации инфраструктуры, направленный на увеличение пропускной способности железнодорожной сети.

Выгодность транспортного коридора «Север – Юг» заключается в возможности реализации альтернативного, более короткого пути через Суэцкий

канал из России, через страны восточной части Балтийского моря, СНГ до Индии, Ирана, стран Персидского залива. Указанные перспективы способствовали бы развитию его транспортной инфраструктуры и потребовали проведения новых исследований в части оценки его грузовой базы, технических и технологических возможностей обеспечения перевозок, а также пропускной способности инфраструктуры [20–28]. Например, в рамках исследования [29] оцениваются мероприятия по развитию пропускной способности инфраструктуры железнодорожного транспорта на направлении от станции Верхний Баскунчак до портов Оля, Астрахань. Общая характеристика коридора «Север – Юг» [30] приведена в Разделе П1.2 Приложения 1.

СМТК – один из кратчайших путей между странами Северной Европы и странами АТР, с учетом длины маршрута от Шанхая до портов Северного моря по СМТК – 13–14 тыс. км, через Суэцкий канал – 20–21 тыс. км [31, 32]. Для полноценного использования СМТК и Северного морского пути (СМП) важен анализ программ развития инфраструктуры портов Владивосток, Мурманск, Находка, Восточный, как важнейших морских портов Дальнего Востока, а также портов Анадырь и Певек при использовании их в качестве перевалочных баз и строительства другой портовой инфраструктуры [32,33]. Анализ панъевропейских транспортных коридоров подробно приведен в [18].

Необходимо учитывать и другие варианты транспортировки, которые могут изменить прогнозные значения перевозок через рассмотренные транспортные коридоры, проходящие через территорию Российской Федерации, в том числе транспортные схемы через транзитные хабы – Казахстан, Турцию, ОАЭ. Тем не менее рост прогнозных значений объемов перевозок грузов через МТК «Север – Юг», Восточный полигон, СМП дает основание для выстраивания дополнительных логистических схем доставки грузов (рисунок 1.2).

В условиях усиления санкционного давления со стороны стран Запада у России возрастает необходимость активизации торговых связей в рамках стран БРИКС и ЕАЭС. Оценка экспорта высокотехнологичной продукции Российской Федерации в страны БРИКС (англ. BRICS – Brazil, Russian Federation, India, China,

South Africa – Бразилия, Российская Федерация, Индия, Китайская Народная Республика, Южно-Африканская Республика) и ЕАЭС выполнена в работе [34], где отмечено, что ЮАР и Индия становятся основными странами – членами БРИКС, куда экспортируется российская высокотехнологичная продукция. Для Китая российский рынок является одним из источников энергетических ресурсов и альтернативой морским поставкам из стран – членов ОПЭК (Ближнего Востока). Общий объем экспортно-импортной деятельности БРИКС в мировой экономике занимает значительную долю, а взаимная торговля между странами-участницами носит стратегически важный характер [35].

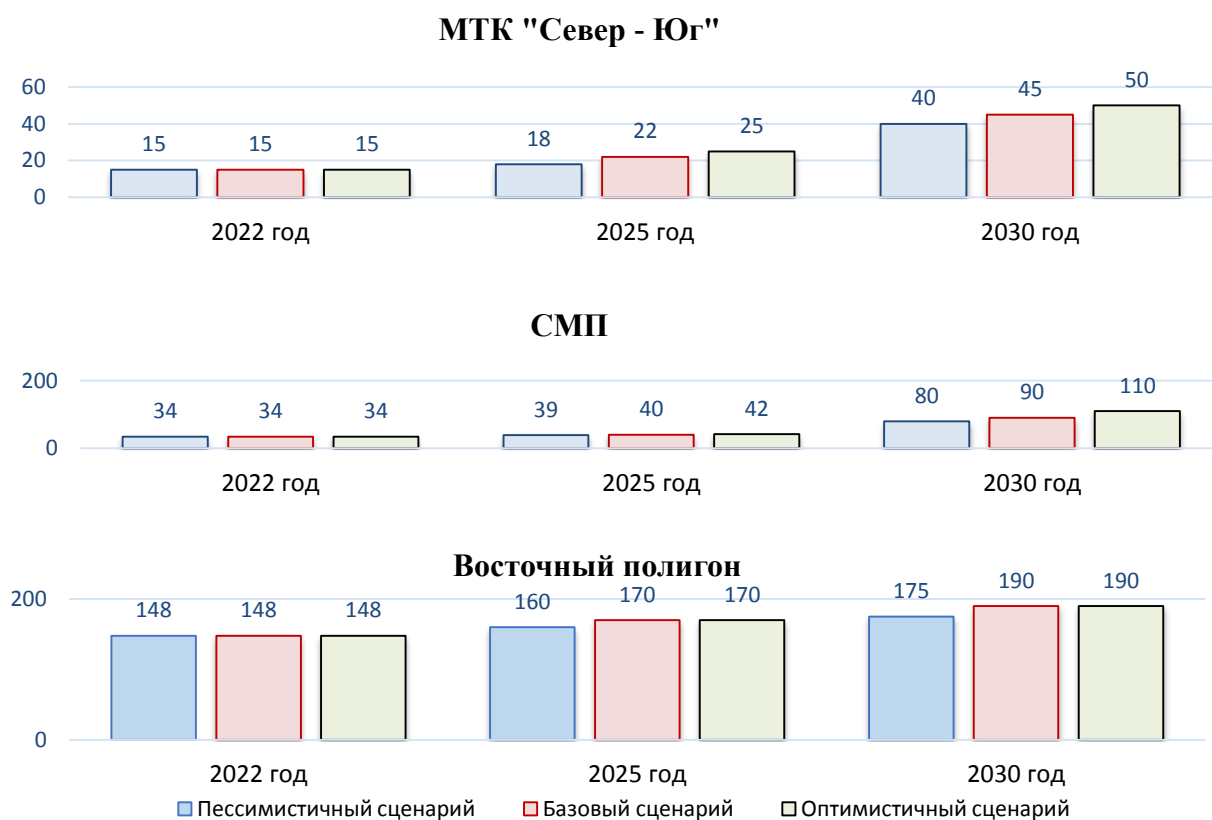


Рисунок 1.2 – Прогнозируемый объем перевезенных грузов по МТК и приоритетным направлениям к 2025 и 2030 гг., млн т [31]

Таким образом, в последнее десятилетие мировое экономическое и политическое пространство подвергается трансформации. Начиная с 1970-х гг. быстрыми темпами шел процесс глобализации, но после экономического кризиса 2008–2009 гг. был запущен новый процесс, который можно охарактеризовать, с одной стороны, замедлением темпов мирового экономического развития

(рецессией) и деглобализацией с усилением санкционных режимов с различными рестрикциями, в целом обострением политических, экономических, технологических, информационных и связанных с ними аксиологических противоречий [36], а с другой – быстрым изменением транспортно-логистических потоков. В этом контексте работа припортовых транспортных систем и видов транспорта становится еще более стохастической, нестабильной, что, конечно, затрудняет исследование их сущности и формирование прогнозной функции как важной составляющей научной деятельности. Проблематика современных международных отношений вносит в транспортную отрасль определенные экономические и торговые импульсы, заставляя транспортную инфраструктуру адаптироваться к новым экономическим условиям. Так, например, еще 10 лет назад, основная ориентация работы железнодорожного транспорта была направлена на отправку и пропуск грузов, проходящих по территории Российской Федерации (РФ) из Китая в Европу. Теперь же, в условиях поиска обходных путей и альтернативных маршрутов, актуальными становятся новые международные проекты со странами Ближнего Востока.

В данных условиях ведущие мировые транспортные компании ведут активную работу по изменению логистики перевозок, развитию транспортной инфраструктуры и поиску дополнительных рынков работы. ОАО «РЖД» в течение последних десятилетий сохраняет за собой лидирующие позиции на рынке грузовых перевозок в России, развиваясь согласно положениям реформы железнодорожного транспорта и новым инновационным направлениям, а также определяемым задачам стратегического сотрудничества между различными странами. Так, в результате саммита «Россия – Африка» были определены основные задачи технологического развития с учетом усиления внешнеполитической координации, увеличения торговых и инвестиционных потоков между Россией и странами Африканского континента [37].

С учетом актуальности проблемы продовольственной безопасности экспорт российских зерновых и удобрений в Африку будет носить стратегический характер, что определяет новые транспортные направления и задачи

сотрудничества со странами Африки. В проведенном исследовании [38], с опорой на историко-экономические исследования и применением методики системного и ситуационного анализа формирования международных транспортных коридоров на территории Российской Федерации, предложено поэтапное решение задач по развитию сотрудничества компании ОАО «РЖД» и железнодорожных компаний Африканского континента. Исследование включало обзор работ зарубежных исследователей вопроса (Р. Баллок, Х. Бофингер, С. Брисеньо-Гармендиа, К. Гвиллиам, Дж. Л. Гуасч, Р. Джедваб, Р. Каррузерс, А. Кумар, М. Мунди, А. Ногалес, Ж. Пен, К. Сетхи, А. Сторегард, А. Эскрибано, В. Фостер и др.), оценку уровня технологической интеграции и услуг транспорта на Африканском континенте, анализ основных проблем устойчивого развития африканских железных дорог и характеристику портовой инфраструктуры (порты Кейптаун, Моссел-Бэй, Элизабет, Дурбан).

Особую роль в развитии транспортных связей со странами Африки играют проекты России на Каспии. За 9 месяцев 2023 года порты Каспийского бассейна переработали 5,8 млн т грузов, что на 35 % больше, чем за тот же период 2022 года. Причем грузооборот двух Волжско-Каспийских портов Астраханской области – портов Астрахань и Оля, вырос на 53 % (по данным Минтранса РФ). Такие темпы вызваны прежде всего динамичным использованием транзитных, в том числе железнодорожных, маршрутов на юге России между Ираном, странами Южной, Центральной Азии и Закавказья. Для стыковки МТК со странами Африки и запуска регулярных грузовых линий от портов Астрахань, Оля, Каспийск, Махачкала к иранским портам, а также через Азербайджан, Туркмению и территорию Ирана (автомобильный и железнодорожный транспорт) необходимо развитие транспортно-логистических центров в одном из портов на побережье Восточной Африки, как важнейших элементов транспортно-логистической инфраструктуры. Кроме того, в Египте, в районе Суэцкого канала, уже в ближайшее время должно начаться строительство российской индустриальной зоны.

При формировании стратегических целей развития транспортной системы страны необходимо учитывать прирост объемов перевозок как для местного

сообщения, так и для перевозок транзитных грузов по рассматриваемым МТК. Основными угрозами для открытия дополнительных маршрутов являются внешнеполитические факторы взаимодействия стран, в пределах которых будут проходить транспортные коридоры. В исследовании [39] на примере Зангезурского коридора и его альтернатив изучены проблемы развития сухопутного наземного сообщения и влияния внешней политики стран на транспортное сообщение. Интересы государств Южного Кавказа и соседних с ним стран крайне разнообразны и разнонаправленны, что приводит к блокировке транспортных коридоров.

Другие факторы, влияющие на объемы транспортной работы, связаны с вовлечением новых экспортеров во внешнеэкономическую деятельность и повышением их конкурентоспособности, концентрацией усилий и средств на наиболее перспективных, растущих экспортных возможностях и нишах для России, модернизацией транспортной инфраструктуры. Ведь, как показали события начала 2020 года, даже эпидемиологическая обстановка может стать фактором сдерживания перевозок.

Таким образом, изменения в геополитике привели к пересмотру стратегий развития международного транспортного сообщения. В настоящее время прослеживается ориентация отечественной железнодорожной транспортной системы на экспортные перевозки грузов с их перевалкой в морских портах. Однако в целом российское морское побережье имеет невысокий уровень освоения. Припортовые транспортные системы при этом становятся предметом изучения, так как от их устойчивого развития будет зависеть эффективность работы всей транспортной системы. Необходим анализ существующих теоретико-методологических подходов в изучении закономерностей их развития, оценка инструментария их исследования.

1.2 Организация и функционирование припортовых транспортно-технологических систем Российской Федерации в условиях изменения структуры и объемов грузопотоков

Российская транспортная система по протяженности железных дорог занимает лидирующие позиции в мире после США и Китая, автомобильных – 5-е место. В структуре ВВП России на транспортировку и хранение приходится около 6 % (рисунок 1.3).

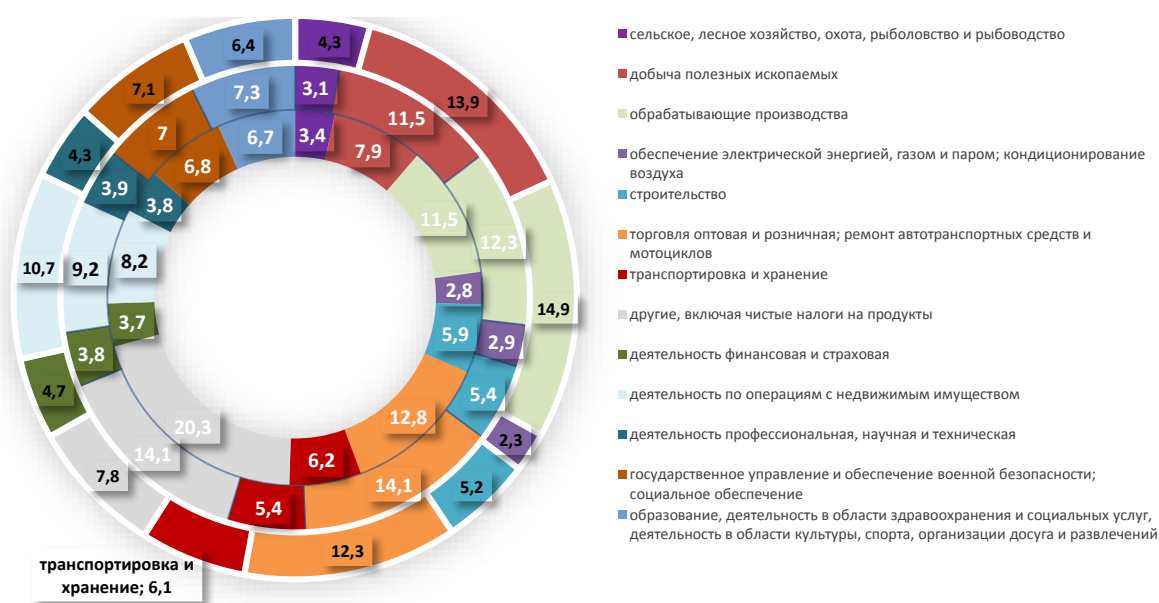


Рисунок 1.3 – Структура ВВП России по счету производства в 2014, 2018, 2022 гг.:
внутренний круг – 2014 г., средний круг – 2018 г., внешний круг – 2022 г.
(составлено автором по данным [40])

В структуре грузооборота России за последние десятилетие доминируют трубопроводный и железнодорожный виды транспорта (таблица 1.2), а по объемам перевозок – автомобильный транспорт (рисунок 1.4).

Особая роль транспортного комплекса в экономике России определяется удаленностью сырьевых источников от мест переработки и потребления материальных ресурсов, а для экспортируемых ресурсов – от портов и пограничных переходов.

Таблица 1.2 – Показатели работы видов транспорта в Российской Федерации
(по данным [41, 42])

Вид транспорта	2010	2015	2019	2020	2021	2022	2023
<i>Перевезено грузов, млн т</i>							
Транспорт всего, в т. ч.	7750,4	7897,9	8425,8	7959,6	8262,5	8779,4	9059,2
железнодорожный	1312,0	1329,0	1398,6	1358,5	1403,9	1351,3	1365,2
автомобильный	5236,4	5356,7	5735,3	5404,7	5581,7	6210,6	6491,2
трубопроводный	1061,5	1071,0	1159,2	1061,4	1141,4	1072,8	1059,7
морской	37,0	18,8	23,2	24,7	23,4	27,6	33,2
внутренний водный	102,4	121,4	108,2	109,0	110,5	116,4	109,3
воздушный	1,1	1,0	1,3	1,3	1,6	0,7	0,6
<i>Грузооборот, млрд ткм</i>							
Транспорт всего, в т. ч.	4751,7	5108,1	5678,2	5401,1	5712,8	5582,0	5551,0
железнодорожный	2011,3	2305,9	2602,5	2545,3	2639,4	2637,8	2638,3
автомобильный	199,3	247,1	275,4	271,8	296,7	313,9	362,2
трубопроводный	2382,1	2444,2	2686,2	2470,1	2653,0	2514,8	2423,0
морской	100,3	41,7	40,8	42,5	43,9	44,7	69,2
внутренний водный	54,0	63,6	65,9	64,3	70,6	68,0	56,6
воздушный	4,7	5,6	7,4	7,1	9,2	2,8	1,7

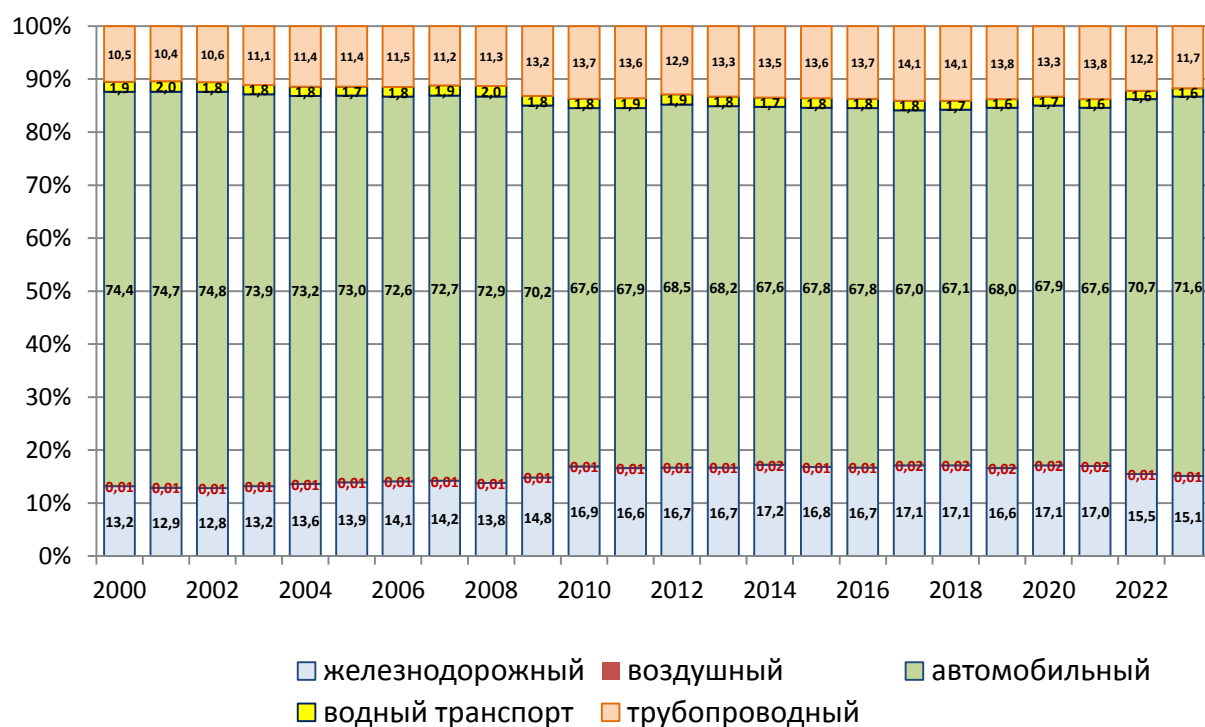


Рисунок 1.4 – Структура перевозок грузов по видам транспорта
по Российской Федерации, % [42]

Одна из главных причин преобладающего развития железных дорог заключается в повышении спроса на доставки на дальние расстояния основных сырьевых номенклатур. Однако начиная с 2008 года наблюдается переключение

части грузопотока на автомагистрали как на коротком, так и на длинном плече. Структура грузовых перевозок на сети РЖД по поясам дальности за указанный период приведена в Разделе П1.3 Приложения 1. Развитие автомобильного грузового и трубопроводного видов транспорта определило условия конкуренции и привело к перераспределению части грузопотока с железнодорожного на смежные виды транспорта. Такая межвидовая конкуренция определила в номенклатурном ряду компании ОАО «РЖД» приоритетность ряда видов груза, в том числе имеющих экспортную ориентацию. Указанное повлияло на направления и дислокацию вагонного парка, технологические циклы работы железнодорожного транспорта в припортовых регионах.

Предприятия автотранспорта, по данным Минэкономразвития, вели агрессивную политику на рынке, привлекая грузы, которые ранее перевозились по железной дороге. Тем не менее по ряду позиций автотранспорт по-прежнему уступает железнодорожному [43]. Среди негативных факторов можно отметить заторы, неудовлетворительное состояние дорожного покрытия и искусственных сооружений на ряде направлений, временные ограничения. По своей внутриотраслевой структуре рынок автомобильных перевозок сильно фрагментирован. По экспертным оценкам, общее количество игроков превышает 700 тыс., а объем выручки пяти крупнейших компаний составляет всего около 9 % от общего размера сегмента. При этом малые игроки зачастую эксплуатируют изношенный парк и не соблюдают в полной мере нормы охраны труда и стандарты содержания техники.

Речной транспорт предназначен для перевозок грузов на средние расстояния, имеет сезонный характер. Рынок грузоперевозок водным транспортом как сегмент имеет ряд ценовых конкурентных преимуществ перед наземными видами транспорта, в частности низкий уровень инфраструктурных издержек. Так, удельная себестоимость содержания инфраструктуры водного транспорта в 50 раз меньше, чем содержания автомобильных дорог. Более 60 % объема грузоперевозок внутреннего речного транспорта составляют низкодоходные первичные строительные материалы – речной песок и гравийный

щебень (55 %), а также лесные и сельскохозяйственные грузы, которые транспортируются от мест добычи/заготовки к местам перевалки на другие виды транспорта. По своей внутриотраслевой структуре данный сегмент сильно фрагментирован и характеризуется средней рентабельностью продаж. Деятельность на рынке осуществляют около 2 тысяч компаний, и ни один из крупнейших перевозчиков не занимает более 10 % доли рынка.

Трубопроводный и авиационный транспорт пока остаются узкоспециализированными видами транспорта. Поэтому грузовой железнодорожный транспорт составляет значительную часть рынка грузовых перевозок, что объясняется особенностью географии, сырьевым укладом экономики и низкими темпами развития инфраструктуры для других видов транспорта. Компания ОАО «РЖД» занимает одну из лидирующих позиций в рейтинге «400 крупнейших компаний России», а именно 8-е место по итогам 2022 года и 5-е место по итогам 2021 года с объемом реализации услуг 2 242 700 млн руб. и темпами прироста выручки 14,2 % [44], а также лидирующие позиции по показателям «грузооборот», «грузонапряженность» (рисунки 1.5, 1.6).

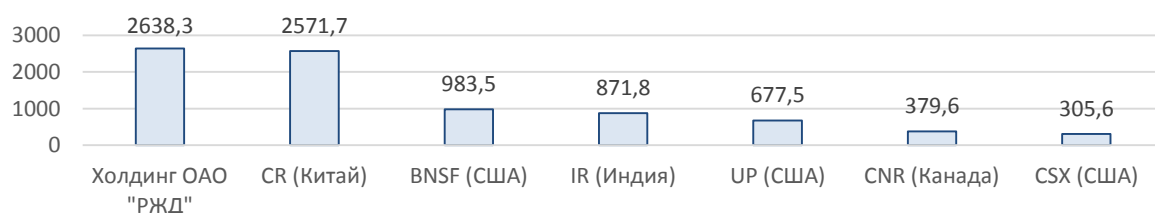


Рисунок 1.5 – Рейтинг железнодородных компаний по показателю «грузооборот, млрд ткм» [44]

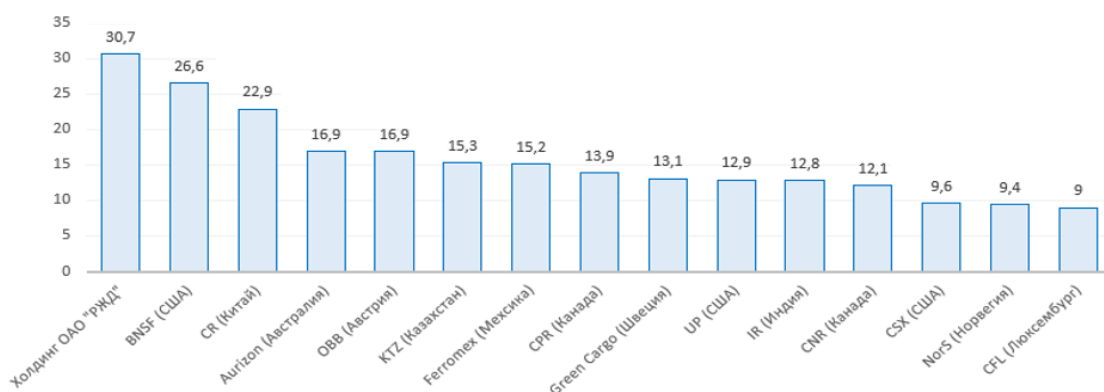


Рисунок 1.6 – Рейтинг железнодородных компаний по показателю «грузонапряженность, млн ткм/км» [46]

Показатели объема железнодорожных перевозок в России фактически имеют значение точного индикатора экономической активности [45]. Формирование грузовой базы железнодорожного транспорта, номенклатурной структуры грузопотоков и направлений следования происходит с учетом сложившейся специфики экономики и промышленности, существующих и перспективных тенденций ее изменения.

Динамика основных видов грузов, перевозимых железнодорожным транспортом, представлена в Разделе П1.3 Приложения 1. В географическом разрезе международное сообщение, как и внутреннее сообщение, имеет весомое значение в общей структуре железнодорожных перевозок. Это обуславливает важность задач организации местной работы железных дорог. Транзит пока составляет минимальную долю (рисунок 1.7, таблица 1.3).

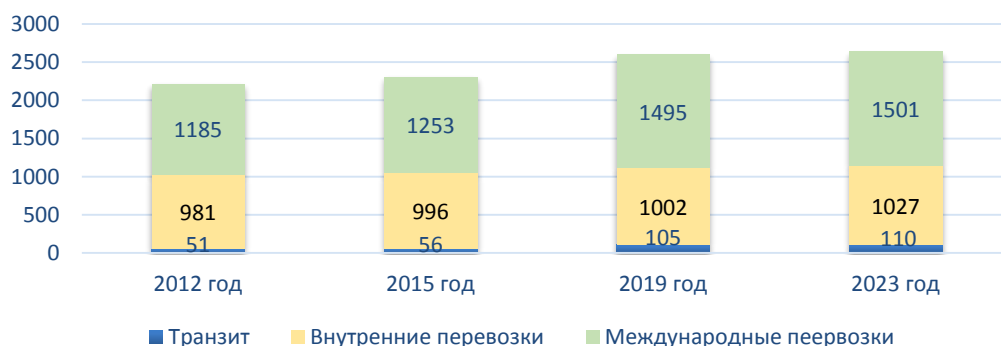


Рисунок 1.7 – Структура грузооборота на железной дороге по видам сообщения, млрд ткм [44]

Таблица 1.3 – Погрузка грузов по сети РЖД за 2023 год

в сравнении с предыдущими периодами, тыс. т [47]

Объем погрузки	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Всего	1 282 814,5	1 234 289,2	1 232 239,5
в т. ч.			
по России	792 759,0	805 042,6	800 573,0
на экспорт	490 055,5	429 246,6	431 665,5
Доля экспорта	38,2 %	34,8 %	35,0 %

Современная специализация России в международном разделении труда на поставках энергоносителей, топливных грузов еще отражает исторически сложившуюся производственную структуру отечественной экономики с преобладанием базисных сырьевых производств, однако в то же время страной взят курс на увеличение экспорта высокотехнологичных товаров. В целом объем экспорта и импорта услуг железнодорожного, автомобильного и других видов транспорта формирует объем услуг экспорта и импорта транспортного комплекса Российской Федерации. На прирост значения этого важнейшего показателя будет влиять успешность решения задач по эффективному обслуживанию внешней торговли [1], среди которых создание системы комплексного планирования и управления МТК с развитием соответствующей научной и методологической базы, сбалансированное развитие транспортной инфраструктуры, в т. ч. на подходах к морским портам, развитие транспортных технологий, в т. ч. повышение доходов от экспорта российских транспортных технологий.

Проведенный анализ показал, что в период с начала 2000-х годов развитие российского экспорта и импорта товаров характеризовалось устойчивым и существенным ростом до 2012–2013 гг. и последующей тенденцией снижения до 2016 г. (рисунок 1.8).

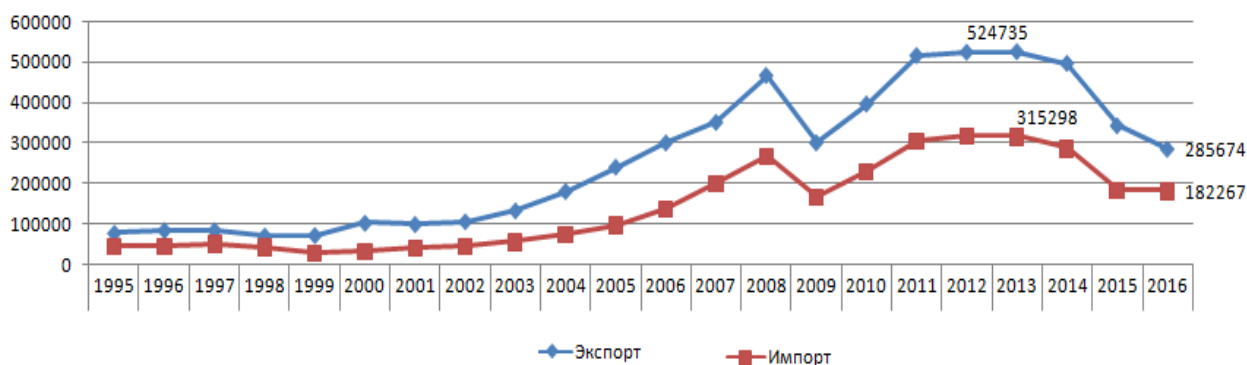


Рисунок 1.8 – Экспорт и импорт РФ (по данным таможенной статистики),
млн долл. США, с 1995–2016 гг. [5]

Динамика экспорта в последующие годы (до 2023 г.) была изменчива. Стоимостные объемы вывоза значительно сжимались в период пандемии (относительно базового 2019 г.), после чего перешли к устойчивому росту

вследствие восстановления мирового спроса (рисунок 1.9). Внешнюю торговлю Российской Федерации со странами-партнерами принято анализировать по группам стран, представленным в Разделе П1.4 Приложения 1.

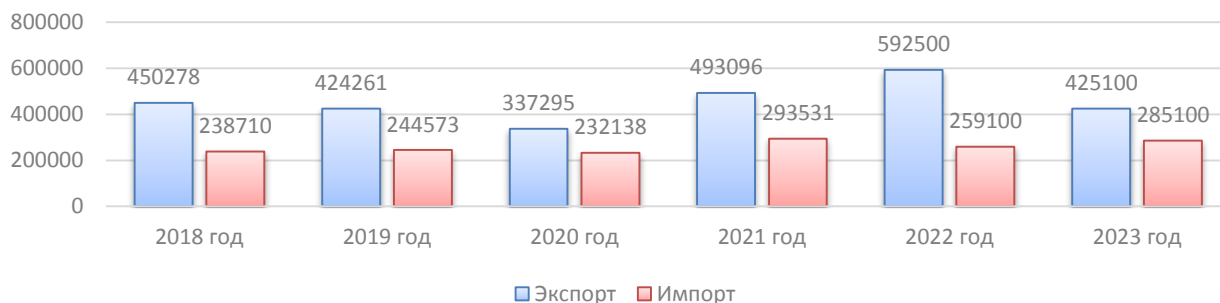


Рисунок 1.9 – Экспорт и импорт РФ (по данным таможенной статистики), млн долл. США, с 2018–2023 гг. [48]

Существенное падение экспорта в 2023 году по сравнению с 2022 годом объясняется изменением объемов поставок в страны Европы в связи с расширением санкций в отношении РФ. Так, с 5 декабря 2022 г. ЕС ввел эмбарго на импорт российской нефти, а с 5 февраля 2023-го – и нефтепродуктов [49]. Падение объемов экспорта по европейским странам и рост объемов с азиатскими странами представлены на рисунке 1.10.

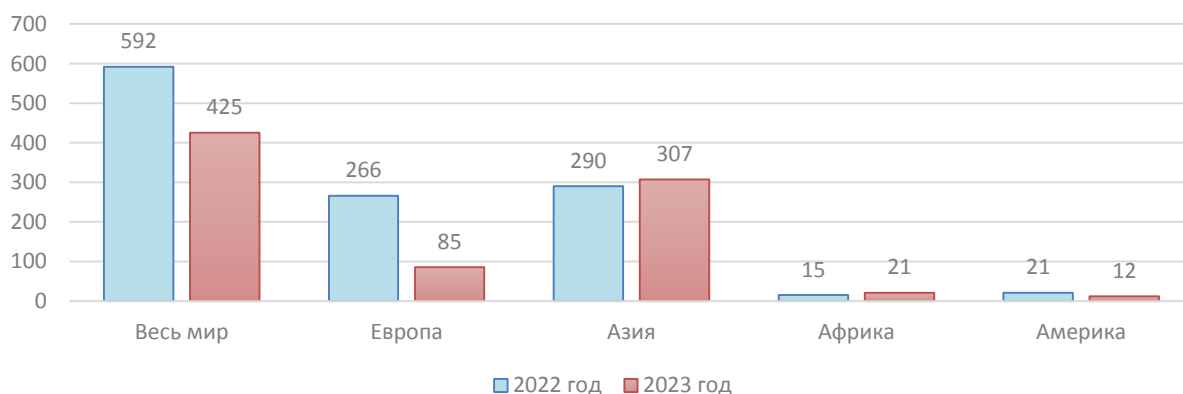


Рисунок 1.10 – Экспорт товаров из РФ в 2022–2023 гг., млн долл. США [48]

Анализ географической структуры экспорта показывает, что главным контрагентом России по экспорту с середины 2017 года является Китай, в тройке лидеров – также Нидерланды и Германия. Экспорт РФ в страны Азии после

переориентации поставок на другие рынки по итогам 2023 года вырос, но пока еще несопоставимо с общим падением на европейском направлении.

Если раньше объемы экспорта РФ в Азию и Европу были сопоставимы, то сейчас доля стран Азии в общем объеме российского экспорта по итогам 2023 года составила 72 %, Европы – только 20 %. Также отмечено снижение цен на российскую нефть (по данным таможи КНР, физические поставки нефти в Китай в 2023 году выросли на 24 % (до 107 млн т), но лишь на 3,5 % больше по стоимости, чем годом ранее (\$60,7 млрд).

Товарная структура экспорта из РФ за исследуемый период имеет монокультурный характер, так как его динамика определяется возможностями и условиями сбыта таких массовых товаров, как уголь, нефть и нефтепродукты, природный газ [5]. Россия остается одним из ведущих мировых экспортеров топлива, черных и цветных металлов, ряда сырьевых товаров (см. Раздел П1.4 Приложения 1). В формировании этих видов экспортной продукции участвуют различные районы: Восточно-Сибирский (лес, лесоматериалы, алюминий, никель, медь и др. цветные металлы), Дальневосточный (лес, целлюлоза, алмазы), Западно-Сибирский (природный газ, нефть, уголь, черные и цветные металлы), Северный (природный газ, апатиты, лес и др.), Поволжский (нефть и нефтепродукты, природный газ и др.) и Уральский (природный газ, нефть и нефтепродукты, черные и цветные металлы и др.), тем самым формируя разнообразную грузообразующую карту для транспортной отрасли.

Сегодня экспортный и импортный потенциал страны является неотъемлемой частью экономического потенциала, который также включает в себя научно-технические, производственные, технологические, трудовые, инвестиционные, информационные, транспортные возможности. Безусловно, ключевым звеном функционирования транспортной системы страны и в задачах развития внешнеторгового оборота являются морские порты, т. к. морской транспорт выполняет в основном внешние, экспортно-импортные перевозки.

Морское портовое хозяйство России сегодня – это 64 морских порта, 16 из которых – замерзающие. Если в 1992 г. грузооборот морских портов РФ составлял

110 млн т, то через 29 лет, по итогам 2021 года, грузооборот отечественных морских портов вырос почти в 8 раз и достиг 835,5 млн т [51]. Динамика грузооборота морских портов России приведена на рисунке 1.11 и в Разделе П1.1 Приложения 1.



Рисунок 1.11 – Грузооборот морских портов России [52]

Объемы перевалки грузов в российских морских портах, прирост производственной мощности российских портов являлись целевыми индикаторами Подпрограммы «Морской транспорт» Федеральной целевой программы «Развитие транспортной системы России (2010–2021 годы)» [53].

Несмотря на сложные обстоятельства организации работ в морских портах в условиях пандемии новой коронавирусной инфекции, постковидного периода, изменений геополитических условий, отмечается рост перевозок по ряду направлений и в целом грузооборота морских портов России. Анализ данных по работе портов показал прирост грузооборота с 2010 года по Азово-Черноморскому, Арктическому, Балтийскому, Дальневосточному бассейнам (таблица 1.4).

Таблица 1.4 – Грузооборот морских портов России по бассейнам, млн т
(по данным Ассоциации морских торговых портов)

Бассейн	2010 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Азово-Черноморский	169,4	256,8	263,65	291,4	275,7
Арктического	51,1	94,3	98,5	97,9	92,9
Балтийского	177,2	252,8	245,55	248,6	273,0
Каспийского бассейна	10,9	7,0	6,0	7,8	8,1
Дальневосточного	117,5	224,3	227,82	238,1	236,5
Всего	526,1	835,2	841,52	883,8	886,2

Российские морские порты совокупно располагают мощностями в объеме более 1350 млн т (рисунок 1.12), данного показателя удалось достичь в том числе за счет реализации инвестпроектов транспортной части нацпроекта «Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры до 2024 г.» [54].

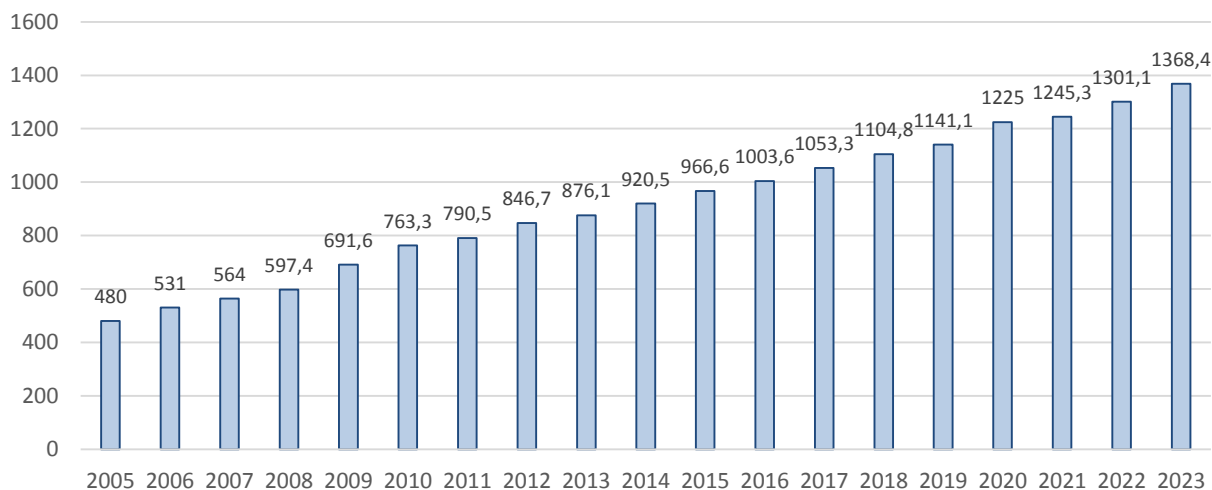


Рисунок 1.12 – Мощность морских портов России, млн т [55]

Реализованы инвестпроекты в портах Балтийского, Азово-Черноморского, Дальневосточного бассейнов. Среди них Таманский терминал навалочных грузов, морской терминал в районе компрессорной станции (КС) «Портовая» в морском порту Высоцк, универсальный торговый терминал «Усть-Луга», морской перегрузочный комплекс сжиженного природного газа в Камчатском крае (1-й этап), специализированный угольный терминал в районе м. Открытый, Приморский край.

Анализ данных по работе морских портов показывает, что наибольшая доля грузов в порты Российской Федерации доставляется железнодорожным транспортом (рисунок 1.13). В связи с этим основные вопросы проводимого исследования будут связаны с организацией транспортного производства железнодорожного транспорта и изучением форм технологического взаимодействия с морским транспортом.

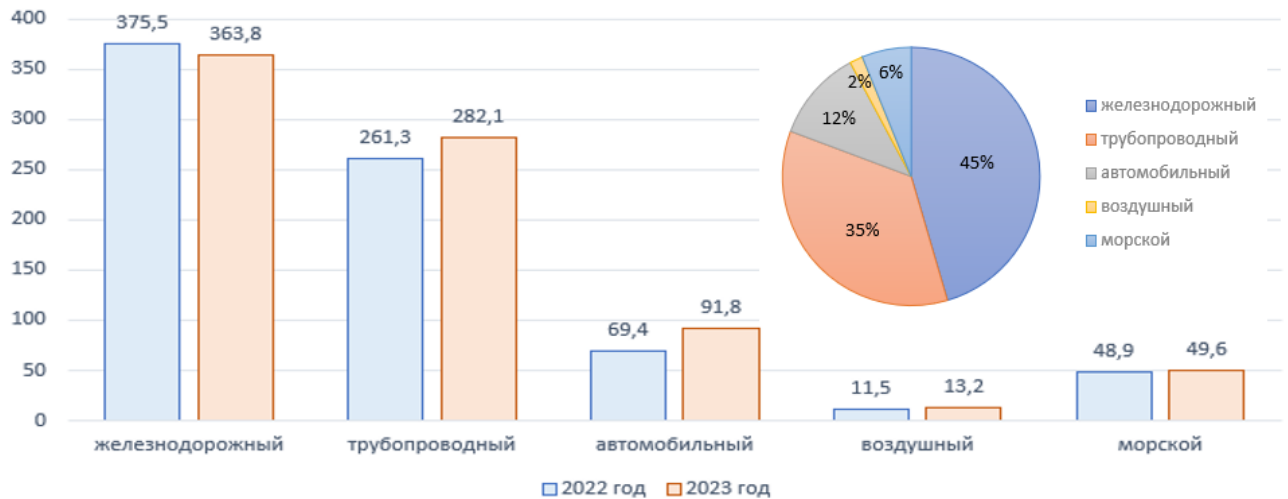


Рисунок 1.13 – Доставка грузов в морские порты России разными видами транспорта, млн т (составлено автором по данным [50])

В настоящее время на фоне геополитических изменений и санкций происходит радикальное изменение направлений, содержания и конфигурации внешнеторговых потоков РФ, внутренней транспортно-экономической логистики, схем и проектов инфраструктурного развития. Серьезные изменения в этой связи затрагивают и федеральные проекты модернизации транспортной инфраструктуры. Основной грузопоток, поступающий в адрес портов железнодорожным транспортом, переориентирован на Дальний Восток, ведутся работы по усилению железнодорожной инфраструктуры Дальневосточной, Октябрьской и Северо-Кавказской железных дорог (СКЖД) [56,57].

В прогнозах Института экономики развития транспорта с учетом динамики грузовой базы отмечен запрос на увеличение мощности по портам Азово-Черноморского, Северо-Западного бассейнов и Восточного полигона (рисунок 1.14). Несмотря на реализацию мероприятий, предусмотренных ФЦП «Развитие транспортной системы России (2010–2021 годы)», имеется существенное отставание развития инфраструктуры на подходах к портам с мощностями терминалов морских портов, что отмечено как в самой Программе, так и в проводимых исследованиях. В Разделах П1.5, П1.6 Приложения 1 приведены основные мероприятия, реализованные до 2024 года, по усилению портовых мощностей и пропускных способностей транспортных подходов к ним.

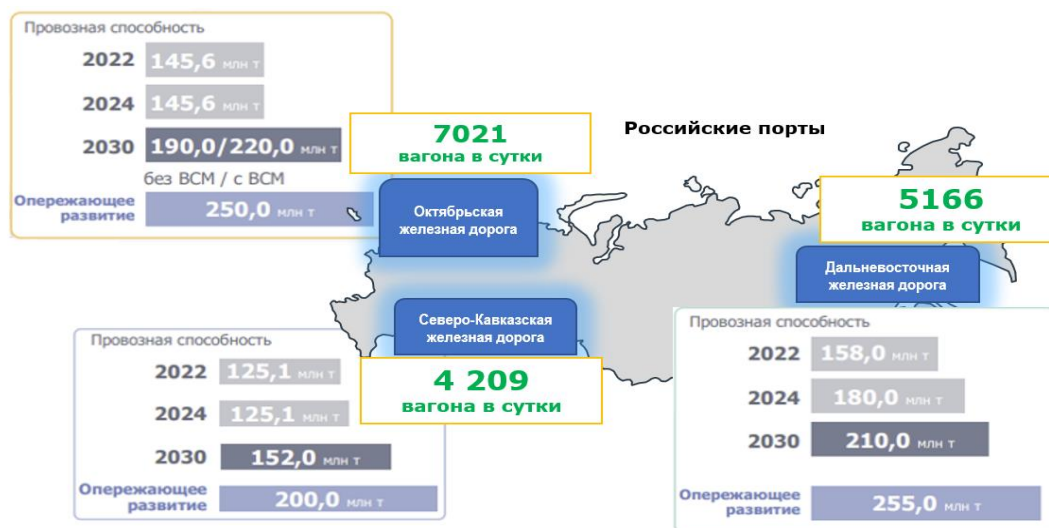


Рисунок 1.14 – Прогнозные грузопотоки с учетом развития подходов к портам (по данным ИЭРТ)

Развитие железнодорожной инфраструктуры предусматривается прежде всего на экспортных направлениях, в частности увеличение провозной способности Восточного полигона до 305 млн т (в консервативном сценарии – 240 млн т), участков на подходах к портам Азово-Черноморского бассейна (АЧБ) – до 161 млн т (в консервативном – 131 млн т), участков на подходах к портам Северо-Западного бассейна – до 230 млн т (в консервативном – 195 млн т); пунктов пропуска – в увязке с проектами по расширению портовых и железнодорожных мощностей в экспортных направлениях [1].

Значительная доля протяженности участков сети железных дорог, на которых имеются ограничения пропускной и провозной способности (таблица 1.5), остается одним из сдерживающих факторов увеличения грузопотоков в экспортно-импортном и транзитном сообщении через территорию России, влияет на эффективность межрегиональных и внутрирегиональных перевозок грузов, снижает конкурентоспособность морских портов. Дисбаланс между пропускной способностью железнодорожных направлений и размером потока является известной проблемой в железнодорожном секторе, рассматриваемой и в зарубежных исследованиях [58].

Таблица 1.5 – Ряд целевых и фактических индикаторов Подпрограммы

«Железнодорожный транспорт» до 2020 года (по данным [54])

Ед. изм.	Ожидаемый результат	План/факт	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Доля протяженности участков сети железных дорог, на которых имеются ограничения пропускной и провозной способности													
%	12	план	6,4	7,2	4,7	12	11,2	12,5	10,8	12	12	12	12
		факт								10,6	9,6		
Ввод в эксплуатацию новых железнодорожных линий													
км	665,3	план			2,8				5,7		587	69,8	
		факт			2,8				5,7	137,5			
Ввод в эксплуатацию дополнительных главных путей													
км	817,5	план	156,2	175,6	16,5	73,9	63,5	36,2	46,6	146,2	53,6		49,2
		факт	156,2	175,6	71,7	73,9	63,5	36,2	46,6	73,1	79,2		
Электрификация железнодорожных линий													
км	709,1	план		148,4					72,9	156	331,8		
		факт		148,4					72,9	189,6			

Высокая ресурсоемкость устранения этой проблемы не позволяет строить оптимистичные прогнозы на будущее – дефицит пропускных и провозных способностей транспортной системы сохранится в ближайшей перспективе.

Два эксплуатационных показателя – пропускная и перерабатывающая способность сети – являются определяющими в обеспечении транспортного потока. При этом пропускная способность, определяемая скоростью прохождения потока по сети, требует развития железнодорожных линий и высокой согласованности работы элементов логистической цепи. При нарушении ритмичности и согласованности взаимодействия элементов логистической цепи повышается роль мощностей, ориентированных на перерабатывающие способности сети (путевое развитие станций и подходов к ним, сортировочные мощности), которые играют демпфирующие функции при задержках поездов, приеме станций и портовых терминалов. Сбалансированность значения пропускных и перерабатывающих способностей перевозчика в организации смешанных перевозок имеет вид, представленный на рисунке 1.15 [56]. При большой стохастичности логистических цепей отсутствие резервов пропускных способностей направлений сети приводит к оставлению от движения грузовых поездов. На направлениях, где развитие портовых терминальных комплексов ограничено, востребованным становится дополнительное путевое развитие припортовых станций и станций припортовой железной дороги.



Рисунок 1.15 – Схема «балансирования» пропускных и перерабатывающих способностей и объема перевозок [56]

С учетом вышесказанного основными барьерами и рисками для развития экспорта и импорта в сфере транспорта могут являться:

- исчерпание возможности увеличения физических объемов поставок продукции традиционного экспортного ассортимента, зависимость российского экспорта от поставок необработанного сырья, что влечет колебания цен [60];

- недостаточный уровень развития инфраструктуры, складов и перегрузочных мощностей; неразвитость логистических систем;

- транспортно-логистические ограничения со стороны стран-партнеров.

Для решения ряда указанных проблем анонсировано обновление национального проекта «Международная кооперация и экспорт» [59]. На территориях опорных стран планируется реализовывать проекты по созданию транспортно-логистических центров, промышленных парков и объектов портовой инфраструктуры. Всего к 2030 году планируется создание 13 объектов зарубежной инфраструктуры;

- политическая нестабильность и санкции, что приводит к «удлинению» логистического плеча при доставке грузов по новым маршрутам, снижению количества судозаходов в порты России и увеличению времени ожидания погрузки с экспортной продукцией, росту ставок фрахта на морских линиях из-за ухода крупнейших игроков с рынка российских морских перевозок, увеличению времени прохождения экспортными грузами государственной границы [61, 62].

Помимо разработки мероприятий для отдельных видов транспорта при организации смешанных перевозок необходимо формирование концептуальной модели развития производственных процессов припортовых железных дорог с учетом их структурных элементов в соответствии с запросами грузовладельцев, социальных задач, пропускных и перерабатывающих способностей транспортной инфраструктуры. Поэтому при изучении проблем организации транспортного производства железнодорожных дорог, обслуживающих морские порты, предлагается выделить подсистему *«Припортовая транспортно-технологическая система» (ПТТС)* для эффективного решения организационно-управленческих задач управления смешанными перевозками.

Припортовая транспортно-технологическая система – это совокупность субъектов, агентов и элементов морского, железнодорожного (других видов транспорта), в т. ч. порты, транспортные узлы, припортовые и накопительные станции, объединенные едиными информационными и технологическими формами взаимодействия [57, 63]. Смысл выделения ПТТС заключается в создании механизмов их развития, обеспечении управляемости и эффективности транспортных потоков на полигонах припортовых железных дорог.

ПТТС призвана решать сложнейшую задачу координации огромного числа участников перевозок, структурных подразделений транспорта, образующих транспортный конвейер. Каждая припортовая железная дорога имеет свои отличительные характеристики (протяженность, виды тягового обслуживания, географическое расположение морских портов, расположение сортировочных станций, дальность перевозок в адрес портов, объемы местной работы и др.), которые определяют особенности технологии и организации транспортного производства припортовых железных дорог.

При этом в условиях изменения объемов и направлений экспортных грузопотоков, наличия факторов, осложняющих выполнение технологических процессов (например, неблагоприятная для погрузки-выгрузки погода) от устойчивости ПТТС зависит и функциональная устойчивость всей транспортной системы страны. Увеличение объемов перевозок, а следовательно, и рост

нагрузки на транспортную инфраструктуру требуют изменения транспортного производства в ППТС (рисунок 1.16). И аналогично, при снижении объемов перевозок появляются задачи эффективного использования малодеятельных линий, распределения ресурсов и др.



Рисунок 1.16 – Изменения транспортного производства в ППТС

Развитие ППТС должно иметь теоретическое, методологическое и инструментальное сопровождение, при этом нужно учитывать отнесение их к многомерным, сильно зашумленным (характеризуемым высокой степенью неопределенности) транспортным объектам.

1.3 Теория и практика развития припортовых транспортно-технологических систем: зарубежный и отечественный опыт

Многообразие областей транспортных исследований объясняется сложностью транспорта как системы, великим множеством составляющих его частей и связей между ними. Объектами исследования могут стать как, например, региональный транспортный комплекс, так и отдельные виды транспорта, системы взаимодействия различных видов транспорта и технологии их функционирования; подразделения и объекты железнодорожного транспорта, а также системы управления – например, оперативного управления вагонопотоками в припортовом регионе. Различные области исследований ППТС представлены на рисунке 1.17.

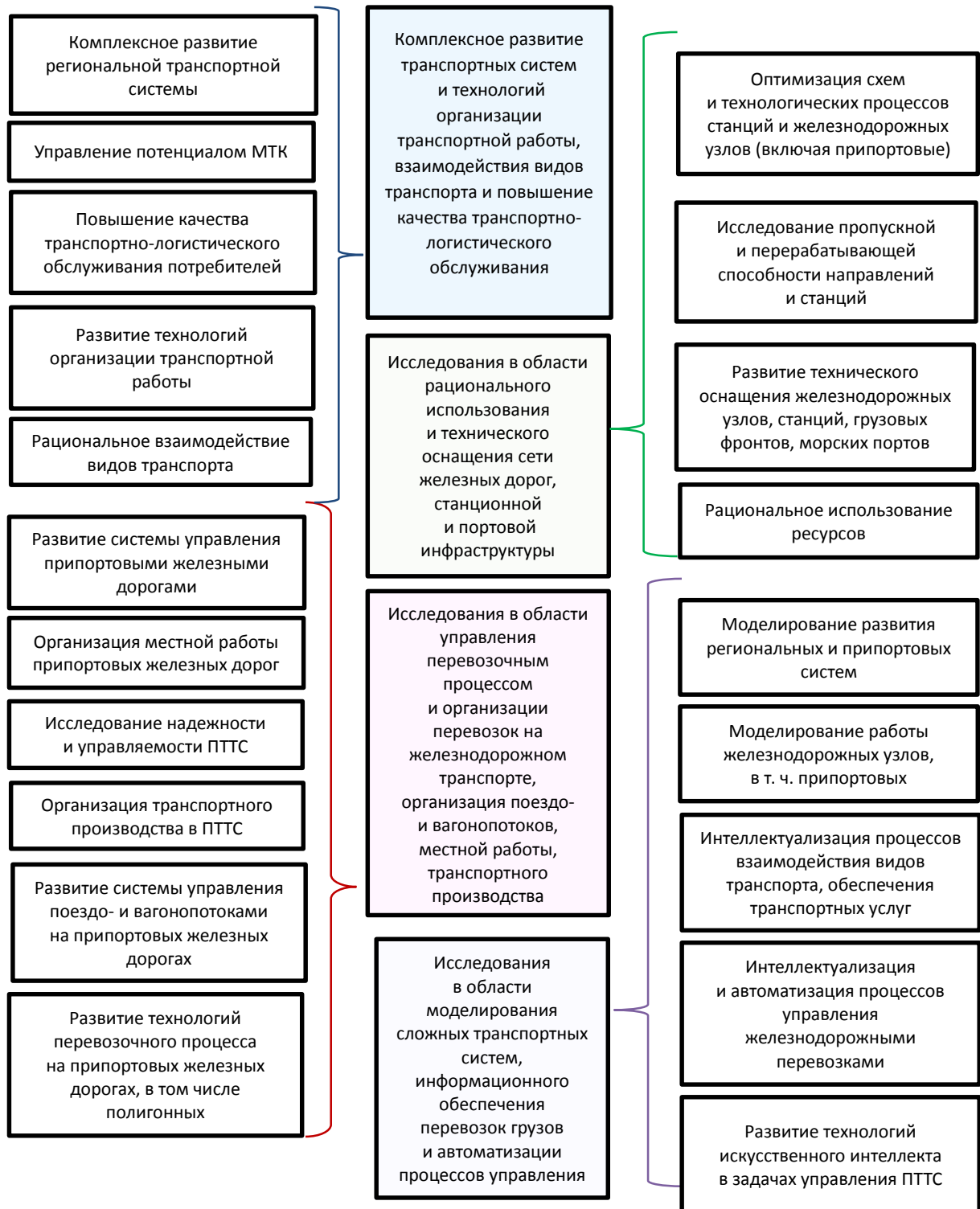


Рисунок 1.17 – Области исследований ПТТС

Транспортная система страны, региональная транспортная система.

Исследования транспортной науки охватывали вопросы развития единой транспортной сети (ЕТС) страны, локальных транспортных систем, ряд исследований посвящены развитию региональных транспортных систем, в т.ч.

припортовых. Транспортная система припортового региона представляет собой сложную систему, поэтому комплексные решения по оценке состояния и определению стратегии развития нужно рассматривать на базе многоуровневых иерархических моделей, включающих все этапы управленческих решений – от определения объема транспортной работы до календарного планирования этапов развития подсистем и элементов транспортной системы. Такой подход развит в исследовании Э. А. Мамаева [64], где отмечается, что задачи согласования и развития таких систем необходимо рассматривать с позиций транспортных предприятий (определение объемов работы, планирование перевозочной деятельности, стратегическое планирование развития) и с позиций производственных предприятий (определение объемов производства). Разработанные в исследовании модели позволяют предприятиям железнодорожного транспорта вступать в эффективное сотрудничество, соперничество или конкурентную игру с другими предприятиями. Указанный подход позволяет увеличить на 5–10 % инвестиционный портфель для припортовых железных дорог.

В исследованиях М. Б. Петрова [65] технологический фактор положен в основу модели организации региональной транспортной системы. Предложена концепция формирования региональной транспортной системы на базе технологического сопряжения обслуживаемого ею межотраслевого комплекса в целях совершенствования транспортного обеспечения в регионе и стране, однако в большей степени затронуты вопросы взаимодействия автомобильного и железнодорожного транспорта.

Научные работы в сфере изучения железнодорожных транспортных систем включают направления, в которых функционирование железных дорог трактуется с позиций ЕТС страны. В современных исследованиях ведется поиск новых инструментов согласования производственных и технико-экономических интересов подсистем и элементов, как внутри корпорации, так и с внешними агентами. В исследованиях М. В. Колесникова [66] предлагается концепция формирования модели организационного управления железнодорожной

транспортной компании, реализующей механизм кластерного и ценозного инструментария для достижения эффективности организации транспортного производства.

Теоретические основы организации производства на железнодорожном транспорте, исследования проблем производственных транспортных объектов раскрыты в трудах отечественных ученых: В. И. Апатцева, П. С. Грунтова, П. А. Козлова, В. А. Кудрявцева, Б. А. Левина, В. Н. Образцова, В. А. Персианова, А. М. Пешкова, С. М. Резера, В. А. Шарова и многих других. Развитие теоретико-методологических основ организационно-технологической и технической надежности, повышения эффективности функционирования производственных объектов железнодорожного транспорта раскрыты в работах В. Д. Верескуна, В. А. Гапановича, Е. Н. Тимухиной и др.

Важное направление в изучении проблем функционирования припортовых железных дорог занимают вопросы организации *местной работы* [67-72]. В исследованиях В. Н. Зубкова [72] развивается теория и методология организации местной работы на припортовой железной дороге. Особенности местной работы на припортовой железной дороге требуют управления подводом грузов как в адрес предприятий дороги, так и в адрес припортовых станций. Такая двойственная задача порождает необходимость согласованного подвода вагонов в адрес грузовых пунктов с учетом их полезности.

Станционная и портовая инфраструктура. Развитие инфраструктуры и терминального хозяйства припортовых станций и портов влияет на объемы перерабатываемых грузопотоков, поэтому важнейшим научным направлением является развитие теории размещения и проектирования объектов ПТТС. Основы научного подхода к расчету и проектированию железнодорожных станций и узлов (в т. ч. припортовых) были заложены в конце XIX – начале XX в. выдающимися учеными-транспортниками – А. В. Верховским, Б. Д. Воскресенским, Ф. А. Галицким, С. Д. Карейшей, В. Д. Никитиным, С. Г. Писаревым, М. В. Сеньковским, В. Н. Образцовым, А. Н. Фроловым, Ф. И. Шаульским и др. А с 1960-х годов в трудах А. Н. Горчакова, И. Ф. Рерберга, И. И. Рихтера, В. И. Троицкого, Г. И.

Черномордика и др. были сформулированы важнейшие принципы проектирования железнодорожных станций. Развитие научных подходов на основе надежности работы железнодорожных станций нашло отражение в работах П. С. Грунтова, И. Б. Сотникова, И. Г. Тихомирова и др. Весомый вклад в развитие современной теории проектирования железнодорожных транспортных систем и выбора параметров их технологических процессов внесли А. Ф. Бородин, Ю.О. Пазойский, В.Н. Чернов, О. Н. Числов и др.

Для взаимодействия железнодорожного и морского транспорта характерна значительная неравномерность поступления как судов, так и поездов, что приводит к скоплению грузов на подъездах к припортовым станциям. Поэтому одним из вариантов погашения данной неравномерности в научных отечественных и зарубежных исследованиях по развитию портовой и станционной инфраструктуры стало создание «буферных парков и станций» в самих узлах или на подходах к ним [73], изменились также подходы к проектированию станционной инфраструктуры в связи с появлением компаний-операторов подвижного состава [74]. Развитие концепции «сухого» порта и применении технология «блок-трейн», которая подразумевает завоз и вывоз контейнеров закольцованными маршрутами по жестким ниткам графика с тыловых контейнерных терминалов («сухих портов»), расположенных в черте города в непосредственной близости от порта, нашло отражение в транспортных исследованиях [75, 76]. В исследованиях [77, 78] развит подход к решению проблемы увеличения пропускной и перерабатывающей способностей морских портов в условиях ограничения их территориальной дислокации и увеличения неравномерности внешних и внутренних грузопотоков. Основу подхода составляет предложенная система основных параметров «сухого порта» и методика имитационного моделирования функционирования системы «морской порт – «сухой порт»».

Развитие методов инфраструктурно-технологического взаимодействия в региональной железнодорожной припортовой транспортной системе продолжено в исследовании Д. С. Безусова [79]. Существенный вклад в теорию оптимизации

схем и технологических процессов работы узловых сортировочных станций внесли исследования кафедры «Станции, узлы и грузовая работа» «БелГУТ» (БелИИЖТ) под руководством проф. Н. В. Правдина, а в области обоснования параметров путевого развития станций особую важность представляют теоретические исследования Петербургской школы под руководством проф. Ю. И. Ефименко [80].

Транспортное моделирование. В задачах оптимизации транспортных процессов особый раздел занимает транспортное моделирование. Существует значительный опыт применения различных методологических подходов и моделей для расчета и оптимизации транспортных систем. Методы оптимизации транспортных систем получили свое развитие начиная с середины сороковых годов прошлого столетия и отражены в работах Е. С. Венцель, Л. В. Канторовича, Ф. Вульфа, М. Сасиени и др. [81–85]. Для транспортной отрасли важную роль играют экономико-математические модели, имеющие в том числе прикладное значение, а также аналитические модели, которые дают углубленное понимание взаимосвязей в исследуемых процессах. Для формализации и оптимизации транспортных процессов используют задачи транспортного типа, линейного, нелинейного и динамического программирования [86, 87]. Также применительно к исследованию транспортных процессов широкое распространение получило применение теории массового обслуживания [88, 89].

В процессе исследования железнодорожных узлов, станций, припортовых систем применяется имитационное моделирование, особое значение отводится исследованию взаимодействия в системе «железная дорога – порт». Развитию имитационного моделирования на железнодорожном транспорте посвящены труды В. А. Персианова, Н. С. Ускова, К. Ю. Скалова, В. М. Акулиничева, А. М. Жидкова, П. А. Козлова, Е. А. Сотникова и др. В исследованиях проф. П. А. Козлова обоснованы теоретические подходы к оптимизации техпроцессов железнодорожных транспортных систем с применением аппарата имитационного моделирования [90]. Исследования практического применения методов оптимизационного проектирования и имитационного моделирования ведутся во

многих проектных транспортных институтах и вузах России: АО «ИЭРТ», АО «ВНИИЖТ», ИПТ РАН, АО «НИИАС» и др.

В исследовании [91] обосновано, что современный морской порт также является сложной динамической системой и к прогнозированию его развития может быть применен такой инструмент, как теория катастроф.

При всем разнообразии методов моделирования, применяемых на транспорте, меньшее распространение получили *когнитивные методы моделирования*. В последнее десятилетие активно развивается теория нейронных сетей, методы нечеткого моделирования в задачах управления транспортными процессами и подвода поездов в адрес припортовых станций [92–96], исследуются методология создания «цифровых двойников» транспортных объектов и перспективы их использования.

Взаимодействие видов транспорта и участников перевозочного процесса. Большинство научных работ до 2000-х годов выполнено с позиций планового управления народным хозяйством. В рамках социалистической экономики исследования были направлены на развитие «единой транспортной системы», а управление отдельными видами транспорта определялось профильным министерством [97, 98].

В исследованиях встречаются также понятия «транспортный комплекс», «производственно-транспортная система» и др. [99–102]. В рыночной экономике в реализации транспортных процессов задействовано большое количество участников, что потребовало исследования вопросов межтранспортной и внутривидовой конкуренции и сотрудничества между видами транспорта, транспортными предприятиями. В настоящее время в отечественных исследованиях проблемы управления и развития региональной транспортной инфраструктуры изучаются также и с точки зрения кластерного подхода [66, 103]. В исследовании [104] дается понятие «приморское логистическое пространство», которое состоит из трех основных элементов: форланда (морская акватория, регулярно используемая для получения и отправки торговых грузов и включающая водное пространство, которое связывает основной порт и его

аванпорт), порта и хин-терланда (наземный район, прилегающий к порту), экономически и технологически взаимосвязанных между собой. Методологию транспортно-логистического взаимодействия при мультимодальных перевозках развивал А. С. Балалаев, который особую роль при согласовании работы взаимодействующих видов отводил логистическим центрам. Были предложены принципы формирования, структура и технология функционирования региональных транспортно-логистических центров как координаторов мультимодальных перевозок в рамках систем взаимодействия различных видов транспорта [105].

В ряде научных исследований в качестве объекта исследования выступают транспортно-технологические системы: например, транспортно-технологические системы крупных предприятий [106], железнодорожные промышленные транспортно-технологические системы [107].

Организация мультимодальных грузопотоков. В исследовании процессов мультимодальных перевозок авторы работ [108] выделяют критерии эффективности таких перевозок: среднее время транспортировки, своевременность доставки, продолжительность цикла перевозки, время выполнения цикла заказа и его стабильность, вероятность выполнения срока доставки. В современных условиях все участники перевозочного процесса заинтересованы в выполнении сроков доставки, снижении оборота подвижного состава, обеспечении ритмичности перевозок при взаимодействии нескольких видов транспорта.

Повышение качества работы транспортных систем за счет оптимального распределения грузопотоков, их оптимизации рассмотрено в научных трудах Д. Дрю [109], В. Г. Галабурды [110, 111], А. Т. Осьминина [112,113] и др.

Исследования в области организация контейнерных перевозок в ПТТС широко представлены в исследованиях Санкт-Петербургского университета путей сообщения [114–121], РУТ МИИТ [122–128] и других железнодорожных вузов [129–133,136], в исследованиях ученых в области эксплуатации морского и

речного флота [137–139], контейнерных автомобильных и контрейлерных перевозок [134,135,140], а также в части систематизации понятий [141].

Организация поездо- и вагонопотоков на припортовых железных дорогах должна обладать большей степенью оперативности и адаптивности [142–144]. Данная научная задача предполагает расчет адаптивного плана формирования поездов на предстоящую неделю или декаду с учетом перерабатывающих способностей станций, структуры планового грузопотока, проведения ремонтных работ, специализации линий и экономически выгодных ходов. На текущий момент цифровой механизм вовлечения в этот процесс операторов и грузоотправителей с учетом наработанных ими транспортных схем перевозки грузов не сформирован [145].

В настоящее время имеются все предпосылки для перехода в автоматизации плана формирования поездов на принципиально новые, интеллектуальные принципы, что позволит технологическими мерами повысить провозную способность, существенно сократить количество отставленных от движения поездов и перевезти больше грузов на существующей инфраструктуре [146]. При организации перевозок грузов в адрес морских портов отправительские и технические маршруты в припортовых узлах проходят неоднократную переработку, поскольку требуется подборка по терминалам порта, грузовым фронтам, судовым партиям, а иногда и трюмам судов, поэтому важнейшим вопросом остается маршрутизация, или, в формулировке, предложенной в исследовании [73], «потребительская маршрутизация».

Важнейшим вопросом для ПТТС остается *оптимизация порожних вагонопотоков*, т. к. с ростом объема перевозок наблюдается значительное увеличение загрузки основных железнодорожных линий, в первую очередь в направлении морских портов. При этом дефицитные пропускные способности железнодорожных направлений заняты встречными пробегами однотипного порожнего подвижного состава, а тарифы на перевозку порожних вагонов ниже тарифов на перевозку грузов [147-152].

В работе [153] предложены методические подходы к разработке рациональной системы обслуживания портовых комплексов железнодорожным транспортом в части распределения сортировочной работы и организации передаточного движения с учетом подвижного состава различной принадлежности. В трудах [154, 155] авторами предложены мероприятия, позволяющие улучшить качество взаимодействия железнодорожного и морского транспорта на основе *согласованного плана подвода грузов*. В исследованиях [155, 156] развиты положения об автоматизированном плане подвода к крупным потребителям и морским портам.

Зарубежные исследования. Мировые лидеры в сфере транспорта – США, Япония, страны ЕС, Китай и др. – также известны своими технологическими решениями в области обеспечения эффективной работы ПТТС. Значительный научный вклад в развитие технологии работы транспортных систем внесли немецкие ученые У. Кауэр (W. Cauer), Г. Поттгоф (G. Potthof), У. Мюллер (W. Muller). Дальнейшие разработки в этой области проводили Ф. Хейт, Г. Корацца (G. Corazza), Т. Гулей (T. Gooley) [157], Г. Ричардсон (H. Richardson) [158], А. Робинсон (A. Robinson) [159] и др.

В настоящее время в ведущих транспортных державах (США, Китай, Япония, страны ЕС) создаются интеллектуальные системы управления продвижением мультимодальных грузопотоков в адрес припортовых станций [160]. Значителен опыт США в организации мультимодальных перевозок грузов, взаимодействия автомобильного и железнодорожного транспорта на грузонапряженных припортовых маршрутах. Важной вехой в эффективном управлении работой ПТТС с 1990-х гг. является использование США внутренних, или «сухих», портов. Вопросами выбора оптимального места расположения внутренних портов и распределения припортовых грузопотоков занимались американские ученые-транспортники, такие как Т. Гулей (T. Gooley), Г. Ричардсон (H. Richardson), А. Робинсон (A. Robinson) и др. Немецкий ученый Г. Поттгофф (G. Potthof) переложил на язык теории вероятностей и надежности

целый ряд транспортных задач в области управления транспортными потоками [161].

Т.о. зарубежная теория и практика имеют успешные решения для крупных узловых комплексов, но общесистемный подход к проблемам транспортного производства припортовых систем из-за многовариантности и сложности по-прежнему находится в разработке. Также опыт применения технологий зарубежных стран ограничен в силу специфики отечественных ПТТС, работающих на пределе загруженности, с большим объемом незавершенного производства.

Методы исследований. Классическими методами при выборе рациональных форм транспортно-технологического взаимодействия в ПТТС являются методы:

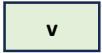
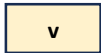
- теории системного анализа, позволяющие выявить возможные направления исследований сложных транспортно-технологических систем железнодорожного транспорта и их связи с внешними макросистемами;
- теории вероятности;
- теории массового обслуживания, позволяющие формализовать сложные транспортные процессы как каналы обслуживания, характеризующиеся интенсивностью прохождения заявок (составы, локомотивы, вагоны, документация и т. п.), интенсивностью обслуживания, временем обслуживания, временем нахождения в очереди, длиной очереди;
- аналитического моделирования;
- теории запасов (например, исследование оптимального количества вагонов в подаче на припортовой железнодорожной станции);
- экономико-математического программирования для поиска оптимальных моделей распределения ресурсов [162,163];
- математической статистики и прогнозирования.

Перспективным и актуальным трендом развития железнодорожного транспорта, технологий управления перевозочным процессом, и, в частности, управления взаимодействием в ПТТС, является применение аксиоматного [164,

165] и когнитивного моделирования, искусственного интеллекта, теории нечетких множеств, методов нечеткой логики, машинного обучения, интеллектуальных транспортных систем [166-169].

Такой довольно большой математический аппарат в исследовании ПТТС позволил получить значимые научные результаты в различных областях применения. В таблице 1.6 приведена обобщенная матрица исследований по степени изученности предметной области, сформированная на основании изучения отечественного и зарубежного опыта исследований.

Таблица 1.6 – Матрица исследований по степени изученности предметной области

Сфера исследования	Высокая степень изученности 	Средняя степень изученности 	Слабая степень изученности 
1	2	3	4
Стратегический уровень решаемых задач			
Моделирование региональных транспортных систем, включая припортовые регионы	v		
Инновационное развитие припортовых транспортных систем		v	
Инвестиционное и тарифное обеспечение		v	
Тактический уровень решаемых задач			
Организация транспортного производства видов транспорта		v	
Прогнозирование перевозок	v		
Развитие системы логистического управления перевозками в адрес припортовых станций		v	
Управление грузо-, поезд- и вагонопотоками на сети железных дорог		v	
Организация местной работы припортовых железных дорог	v		
Развитие инфраструктуры железнодорожных узлов, включая припортовые	v		
Повышение организационно-технологической надежности перевозочного процесса полигонов			v

Продолжение таблицы 1.6

1	2	3	4
Развитие технологий перевозок на укрупненных полигонах дорог			V
Использование аналитических методов расчета пропускной способности	V		
Использование имитационного моделирования для оценки резервов пропускной способности	V		
Использование «цифровых» двойников в задачах повышения пропускной способности грузонапряженных элементов			V
Оперативный уровень решаемых задач			
Взаимодействие видов транспорта	V		
Управление сроками доставки грузов на полигоне припортовых дорог			V
Интеллектуализация управляющих воздействий		V	
Оперативное регулирование перевозочного процесса	V		
Совершенствование технологических процессов подразделений железнодорожного транспорта	V		

Представленный обзор отечественных научных работ в данном направлении свидетельствует о необходимости продолжения исследований по изучению ПТТС в соответствии с современными требованиями.

1.4 Основные подходы к системному исследованию припортовых транспортно-технологических систем с участием железнодорожного вида транспорта

Как показал анализ исследований транспортных систем, представленный в предыдущей главе, методологическая основа последних довольно разнообразна и в зависимости от поставленных в исследовании задач может включать методы теории вероятности и математической статистики, научные методы, основанные на линейном и динамическом программировании, численные методы, методы прогнозирования, корреляционный, регрессионный, факторный и кластерный виды анализа, методы теории оптимизации, а также методы теории графов,

теории игр, нечетких множеств, методы экономико-математического, имитационного программирования и др. Такое разнообразие методов требует систематизации методологической основы исследования ПТТС. То есть системный подход, включающий в себя системный анализ, системный синтез, управление, является обязательным элементом такого исследования [63, 170].

Сущность системного подхода: анализ, синтез, управление

В научных исследованиях, как правило, оперируют понятием «системный анализ» – СА (а не системный подход). СА – прикладное направление теории систем, применяемое при решении сложных слабо формализуемых проблем [171]. Это общее определение, не конкретизирующее его сущность. Частные определения СА звучат следующим образом:

- системное управление организацией (С. Янг);
- методология исследования целенаправленных систем (Ю. И. Черняк);
- способ мышления, способ решения проблемы (С. Оптнер).

В этих определениях категория системного анализа предполагает использование и «синтеза», и «управления» как подчиненных категорий. Следует в этой связи отметить некоторые нестыковки в соответствующей онтологии:

– В самом определении системного анализа стоит «указание на систему». Но не все объекты удовлетворяют определению системы: «Система – множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определенную целостность, единство» [171]. В отличие от понятий «множество», «совокупность» понятие системы подчеркивает упорядоченность, целостность, наличие закономерностей построения, функционирования и развития. Таким образом, по определению сужается роль системного анализа. Но, по сути, на практике этого ограничения нет. Например, используется фразеологизм «ценологический анализ систем» [172]. Хотя, если следовать строгим определениям, ценоз системой не является, так как содержит не только сильные связи между составляющими, но и средние, а в основном слабые.

– По определению [171], системный анализ включает и синтез. Но анализ и синтез – две противоположные процедуры: анализ – расчленение и изучение по

частям, синтез – объединение частей в целое. То есть в определении [171] системный анализ понимается в самом широком смысле (как системный подход), а синтез – в узком (подчиненном).

– Далее в [171] системный анализ включает и управление. Но на практике управление осуществляется уже на проанализированном и синтезированном объекте.

Учитывая вышесказанное, в настоящем исследовании предлагается использовать более общую категорию – «системный подход». С существующим в литературе определением системного подхода противоречий при этом не возникает. Действительно, в [173] системный подход понимается как процедура, при которой любой объект рассматривается как совокупность взаимосвязанных элементов (компонентов), имеющих связь с внешней средой, совокупность внутренних и внешних обратных связей (положительных и отрицательных).

Системный подход реализуется через следующие методы и процедуры: абстрагирование и конкретизация, анализ и синтез, индукция и дедукция, формализация и конкретизация, композиция и декомпозиция, структурирование и реструктурирование, макетирование, алгоритмизация, моделирование, экспериментирование (в частности, имитационное моделирование), экспертное оценивание и тестирование, верификация. В качестве технологий системного подхода к исследованию сложных объектов ниже рассматриваются PEST- и SWOT-анализ и синтез, ценологический и когнитивный анализ и синтез, управление. Их совместное и сбалансированное использование дает значительный положительный синергетический эффект.

PEST- и SWOT-анализ и синтез. Управленческие стратегии.

PEST-анализ изучает макрофакторы [174], т. е. рынок и внешнюю среду, которые, как можно принять в большинстве случаев исследования ПТТС, не зависят от нас. SWOT-анализ изучает микрофакторы деятельности исследуемого объекта [175]. Это сильные и слабые стороны производства (бизнеса), существующие для него возможности и угрозы. PEST-анализ и SWOT-анализ зависят от позиции и знаний того, кто этот анализ проводит. Но в этом есть и

большой плюс: эти технологии обеспечивают начальную фазу процесса формализации естественного интеллекта специалиста и трансляцию его в машинный интеллект. В данном случае рассматриваемые процедуры могут реализоваться как для всей ПТТС в целом, так и для ее отдельных подсистем и подпроцессов. PEST-синтез состоит в разработке мер компенсации внешних негативных проявлений (выявляемых традиционным PEST-анализом) на традиционных же площадках мирового сотрудничества за счет:

- организации параллельного экспорта и импорта;
- расширения сотрудничества на иных полях (например, БРИКС);
- внутренних ресурсов развития.

Традиционный SWOT-анализ выявляет сильные и слабые стороны исследуемого объекта (ПТТС), возможности и угрозы. На пересечении этих входов таблицы образуются квадраты их пересечений, в которые заносятся результаты их взаимодействия (таблица 1.7).

Таблица 1.7 – Фрагмент SWOT-анализа ПТТС

	Возможности Использование ресурсов других видов транспорта (автомобильного, трубопроводного). Интеллектуализация и цифровизация процессов	Угрозы Ограничения деятельности как приграничного региона в случае конфликтов. Нехватка квалифицированных, молодых кадров
Сильные стороны ПТТС – ключевое звено транспортного коридора.	Поле СИ+В (показывает, какие сильные стороны необходимо использовать, чтобы получить отдачу от возможностей во внешней среде)	Поле СИ+У (показывает, какие силы необходимо использовать для устранения угроз)
Слабые стороны Зависимость от погодных условий в порту. В силу «тупиковости» ПТТС увеличивается пробег порожних вагонов. Ограничения в пропускной способности инфраструктуры	СЛ+В За счет интеллектуализации и цифровизации процессов увеличить пропускную способность, не изменяя инфраструктуру ПТТС. Создать цифровую платформу, обеспечивающую долгосрочный прогноз погоды и планирование работ	Поле СЛ+У (показывает, от каких слабостей необходимо избавиться, чтобы попытаться предотвратить угрозу)

Здесь же осуществляется построение вариантов действий, основанных на пересечении полей (в таблице 1.7 показано на примере поля СЛ+В). Для этого последовательно рассматривают различные сочетания факторов внешней среды и внутренних свойств объекта. Рассматриваются все возможные парные комбинации и выделяются те, которые должны быть учтены при разработке стратегии развития.

Технологии управления на основе PEST и SWOT-процедур осуществляются в соответствии с мерами, разработанными в полях СИ+В, СИ+У, СЛ+В, СЛ+У как для SWOT-, так для PEST-синтеза. Например, в нашем случае:

- создается цифровая платформа, обеспечивающая долгосрочный прогноз погоды в порту и планирование работ ПТТС и синтезирующая коллективный интеллект за счет общения виртуальных агентов в рамках интернета вещей на данной платформе;
- проводится активная интеллектуализация и цифровизация транспортных процессов в ПТТС (создание автоматов-советчиков, дополненной и виртуальной реальностей для обслуживания и ремонта оборудования). Это позволит увеличить пропускную способность, не изменяя инфраструктуру ПТТС.

Когнитивный анализ и синтез. В основе когнитивного анализа лежит когнитивная карта, отражающая взаимосвязь критериев и факторов развития ПТТС, сущность организационного и технологического процессов в ПТТС [176]. Когнитивная карта позволяет выявить наличие организационных и технологических обратных связей в системе. Круги деструктивного развития, спирали развития (позитивного, деструктивного) выступают примерами положительной обратной связи. Это отдельные фрагменты когнитивной карты.

ПТТС – сложная система, и подробная когнитивная карта будет малоэффективна вследствие большой размерности задачи. В этом случае следует предложить иерархические когнитивные карты. Например, строится укрупненная карта стратегического анализа, планирования и управления ПТТС, которая раскрывается совокупностью тактических карт, а те, в свою очередь, более подробно идентифицируются оперативными когнитивными картами,

отражающими инвестиционную, кадровую, экономическую и прочие составляющие ПТТС. Управление на основании когнитивных процедур осуществляется по следующему алгоритму:

1) имитация различных вариантов развития среды и объекта погружения, реализованная с помощью импульсного моделирования управляющих воздействий и случайных воздействий среды погружения. При импульсном моделировании формируются сценарии (планы эксперимента), в которых определяется, в какие вершины или их совокупности будут вноситься изменения-импульсы, например в развитие инфраструктуры припортовых станций или подходов, цифровых технологий, в технологии или в кадровую политику отрасли [176-178];

2) прогноз развития путем экстраполяции этих модельных конструкций;

3) выбор наиболее приемлемого варианта по заданным критериям.

Ценологический анализ и синтез.

Техноценоз – ограниченная во времени и пространстве искусственная «система», сообщество элементов (объектов инфраструктуры, изделий технологий и т. д.) с преимущественно слабыми связями между собой и едиными целями развития, выделяемое для целей исследования, проектирования, строительства или управления (усовершенствовано по [172, 179]). Термин «техноценоз» введен по аналогии с биоценозом. В это понятие включим и транспортные ценозы. Ценозы описываются гиперболическими распределениями типа:

$$y = a/x^a. \quad (1.1)$$

Различают ценозы видовые, ранго-видовые, ранговые по параметру.

В данном исследовании речь идет о важной составляющей техноценозов – транспортных ценозах. Задачами *ценологического анализа* данного подраздела являются:

1 Выявление параметров (характеристик) ПТСС, относительно которых следует провести ценологическое обследование. К таковым параметрам можно отнести элементы инфраструктуры, оборудование ПТТС, используемые

технологии, финансовые и экономические характеристики, кадровое, научно-образовательное обеспечение работ и т. д.

2 Идентификация текущего состояния ПТТС, т. е. нужно определить, является ли заданная ПТТС ценозом, квазиченозом, или ценологических качеств вообще не проявляет.

Если исходные данные (гистограмма) и аппроксимирующая их кривая (гипербола) имеют вид, представленный на рисунке 1.18, *а*, то можно говорить о наличии ярко выраженного ценоза. Показателем этого будет малая ошибка аппроксимации исходных данных гиперболой.

Если исходные данные и аппроксимирующая их кривая имеют вид, представленный на рисунке 1.18, *б*, то можно говорить об отсутствии ярко выраженного ценоза. Показателем того будет большая ошибка аппроксимации исходных данных гиперболой.

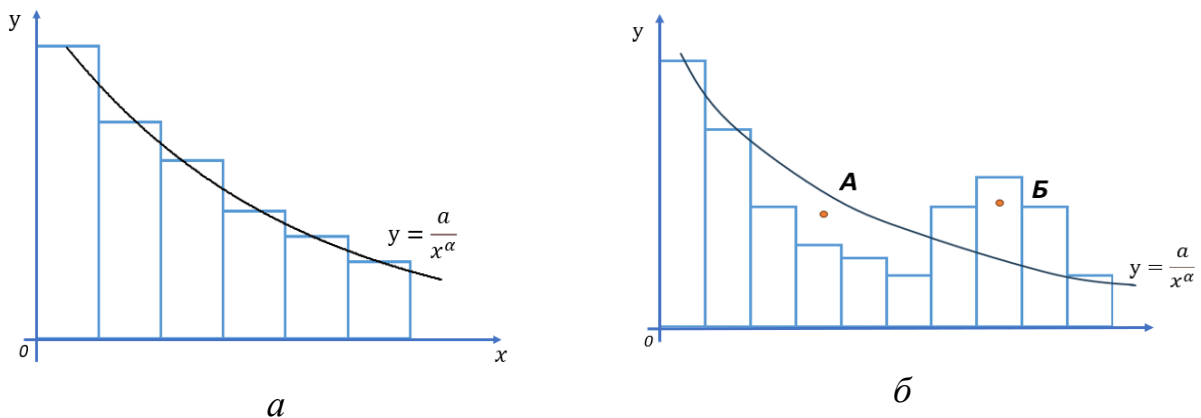


Рисунок 1.18 – Графическая иллюстрация ценозов

а – сложившийся ценоз; *б* – плохо сложившийся ценоз

3 Идентификация ПТТС как составляющей устойчивого ценоза более высокого уровня (например, транспортной системы государства).

В этом случае важно определить место ПТТС в этом ценозе (см. рисунок 1.18). Если оно локализуется в локальной области точки **А**, то данный ценоз способствует развитию ПТТС. Если ПТТС попадает в область точки **Б**, то она будет «угнетаться» этим ценозом.

4 Определение динамики развития ценоза (укрепление, деградация). Если ценологические кривые, построенные в разные моменты времени, имеют динамику, как показано на рисунке 1.18, то следует говорить о деградации ценоза. Это может быть как отрицательным явлением (если ценоз удовлетворял финансовым и производственным показателям, а теперь они под вопросом), так и положительным фактом (при необходимости радикального преобразования объекта исследования – не требуется значительных внешних усилий для разрушения сложившегося ценоза).

Ценологический синтез может быть структурным (добавление, удаление структурных единиц, переформатирование структуры) и параметрическим (изменение параметра α).

Относительно хорошо развитых систем автоматического управления (САУ) различают следующие виды синтеза: оптимальный, адаптивный, робастный, нелинейный, дискретный и многокритериальный синтез. Очевидно, что все они легко транслируются и на ценологический синтез. Задачами ценологического синтеза в рамках исследования ПТТС будут формирование дополнительных квазиценозов до полного транспортного ценоза, формирование ценозов с заданными свойствами (полноты, устойчивости).

Управление на основе процедур ценологического анализа и синтеза. Транспортный ценоз не является самоцелью для управленцев транспортным обслуживанием. Он служит инструментом для достижения практических целей, к которым следует отнести эффективность и качество транспортного обслуживания, его надежность и безопасность. В свою очередь эффективность может быть финансовой (прибыль, рентабельность, себестоимость транспортных услуг) и производственной (погрузка, выгрузка, скорость доставки и т. д.).

На рисунке 1.19 по горизонтали обозначим время, а по вертикали – показатель эффективности E (один из вышеперечисленных) и параметр α ПТТС как ценоза. Для построения зависимостей $E(t)$ и $\alpha(t)$ требуется статистическая информация о состоянии техноценоза за обозримый промежуток времени. Предположим, что эти зависимости получились такими, как показано на рисунке.

Тогда по $\max E$ определяем на рисунке 1.19, как показано стрелками, оптимальное значение параметра ценоза (1.1) $\alpha_{\text{опт}}$.

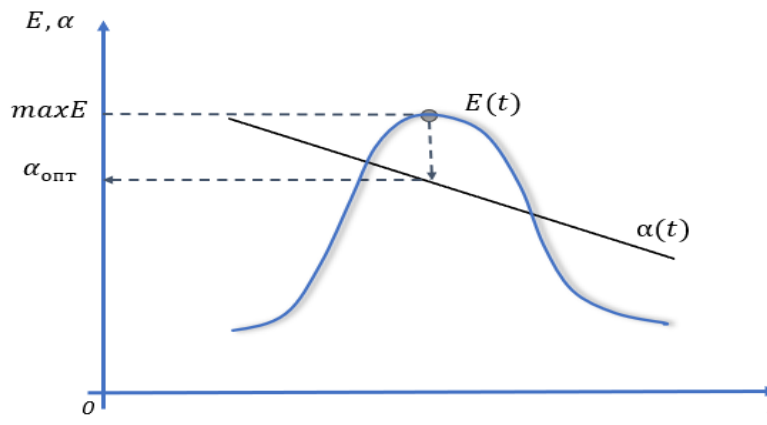


Рисунок 1.19 – Оптимизация параметра ценоза

Управление в ПТТС. В высокой сложности ПТТС рассматривается иерархия управлений, включающая:

1 Внешний уровень. Предполагает, что ПТТС – часть социально-экономической системы более высокого уровня (например: транспортная система в целом, экономика региона, страны).

В этом случае ПТТС – элемент некоторого глобального ценоза. На этом уровне кроме идеологии ценологического анализа используются также балансовые модели В. В. Леонтьева, методы самоорганизации на уровне мезо- и макросистем, производственные кластеры (последние содержат предприятия, выпускающую разную продукцию, оказывающие разные услуги, но дополняющие друг друга).

2 Уровень ПТТС. Здесь уже ПТТС рассматривается как ценоз или квазиченоз. На этом уровне используем также саморегулируемые организации (СРО), самоорганизацию на уровне предприятий (микроуровень), теорию активных систем (ТАС) (осуществляется моделирование транспортно-логистических процессов с целью управления экономическими показателями ПТТС), теорию массового обслуживания (ТМО) – осуществляется моделирование транспортно-логистических процессов с целью управления производственными показателями ПТТС.

СРО составляют предприятия, выпускающие одну продукцию (предоставляющие одни услуги), но объединенные едиными требованиями и взаимной ответственностью. СРО позволяют интегрировать ресурсы (что повышает вероятность успеха) и сокращают плечо управления между различными уровнями управления.

3 Уровень отдельных процессов ПТТС, например, обработка документов, планирование, техническое обслуживание и ремонт оборудования и т. д. В этом случае возможно эффективное применение аппарата теории автоматического управления и регулирования (ТАУиР).

Теория организации перевозочного процесса базируется на достаточно отработанных методологических и методических подходах к планированию и управлению транспортной работой, но при этом нужно учесть, что системные изменения условий организации перевозок в ПТТС требует развития таких подходов, важен анализ уровней и инструментария управления в ПТТС. Институциональный подход к управлению сложными социально-экономическими и технологическими системами предполагает учет и согласование интересов каждого уровня. Декларируемое единство целей и интересов зачастую получает противодействие со стороны организационно-управленческих структур, предприятий разных видов транспорта. Однако транспортная отрасль эффективна только в условиях ее пространственной и отраслевой целостности. В отличие от других отраслей и сфер экономической деятельности в транспортной отрасли должно быть больше согласованного планирования и сотрудничества, чем рыночной конкуренции [64].

1.5 Научно-практические проблемы теории и практики развития припортовых транспортно-технологических систем

Проблемное пространство исследования направлений развития ПТТС требует анализа исследований по научно-практическим направлениям и включает вопросы:

- совершенствования нормативного обеспечения процесса грузоперевозок с учетом дифференцированного управления экспортными, импортными и транзитными грузами;
- формирования единого информационного пространства и развития системы логистических центров для полного контроля и координации передвижения подвижного состава, прибывающего в транспортные узлы;
- внедрения и совершенствования договорных отношений о взаимообусловленной ответственности всех участников транспортного процесса;
- развития информационной логистики взаимодействующих видов транспорта и агентов транспортной системы;
- гармонизации развития и использования железнодорожной и портовой инфраструктуры, перевозочных ресурсов и др.

Ресурсом повышения эффективности организации перевозок, в том числе в международном сообщении, остаются информационные (цифровые, интеллектуальные) технологии операционного менеджмента потоковых процессов. Учитывая «сырьевую» ориентацию экспорта национальной экономики, магистральный железнодорожный транспорт на ближайшую перспективу сохранит свои ключевые позиции в организации мультимодальных смешанных перевозок в международном сообщении. В этих условиях повышение эффективности взаимодействия припортовых железнодорожных станций с портовой инфраструктурой и их технологиями имеет приоритетное значение.

Поэтому необходимы исследования в области теории процессов взаимодействия различных видов в ПТТС: выявление свойств, причинно-следственных связей в них, а также изучение вариаций и альтернативных путей в развитии (модели организации) ПТТС.

По иерархии можно выделить несколько уровней управления развитием ПТТС: стратегический уровень (управление развитием, инвестиционная и инновационная политика, тарифное регулирование), тактический (прогнозирование и организация перевозок), оперативный (взаимодействие видов транспорта). Развитие припортовых транспортно-технологических систем в

задачах организации железнодорожно-морских перевозок может включать организационное, технологическое, ресурсное, инновационное и информационное развитие. По каждому из указанных направлений выделены задачи исследований (рисунок 1.20).

Научно-методические проблемы развития ПТТС связаны с вопросами развития железнодорожной инфраструктуры, а также информационного инструментария. Так, имеет место недостаточное развитие теории взаимодействия и регулирования транспортных процессов, надежности организационных и технологических решений для ПТТС, что в условиях интеллектуализации процессов управления приобретает актуальность.

Специализация проектируемых морских терминалов должна увязываться с технологией подвоза и вывоза грузов и с возможностями примыкающих направлений, чтобы минимизировать суммарную потребность в инвестициях для освоения грузопотоков. Без методического решения этой проблемы неизбежны значительные риски: разработчики будут тратить деньги заказчика и годы собственной жизни на поиски оптимума в системе, а направления следования грузопотоков будут подстраиваться под неэффективное размещение терминалов [180].

Другая задача – классификация припортовых транспортных узлов, ПТТС, на базе которой должна устанавливаться возможность развития железнодорожной инфраструктуры. Из этой задачи формируется стратегически более сложная – обоснование эффективных траекторий развития ПТТС.

Обзор исследований также показал, что в отечественной практике пока еще недостаточное внимание уделено вопросам оценки климатических, техногенных рисков, снижения загрязнений и повышения экологической устойчивости ПТТС, хотя для отдельных видов транспорта такие исследования проводятся [181–188], и отмечается рост интереса исследователей к проблемам загрязнения окружающей среды [189,191].

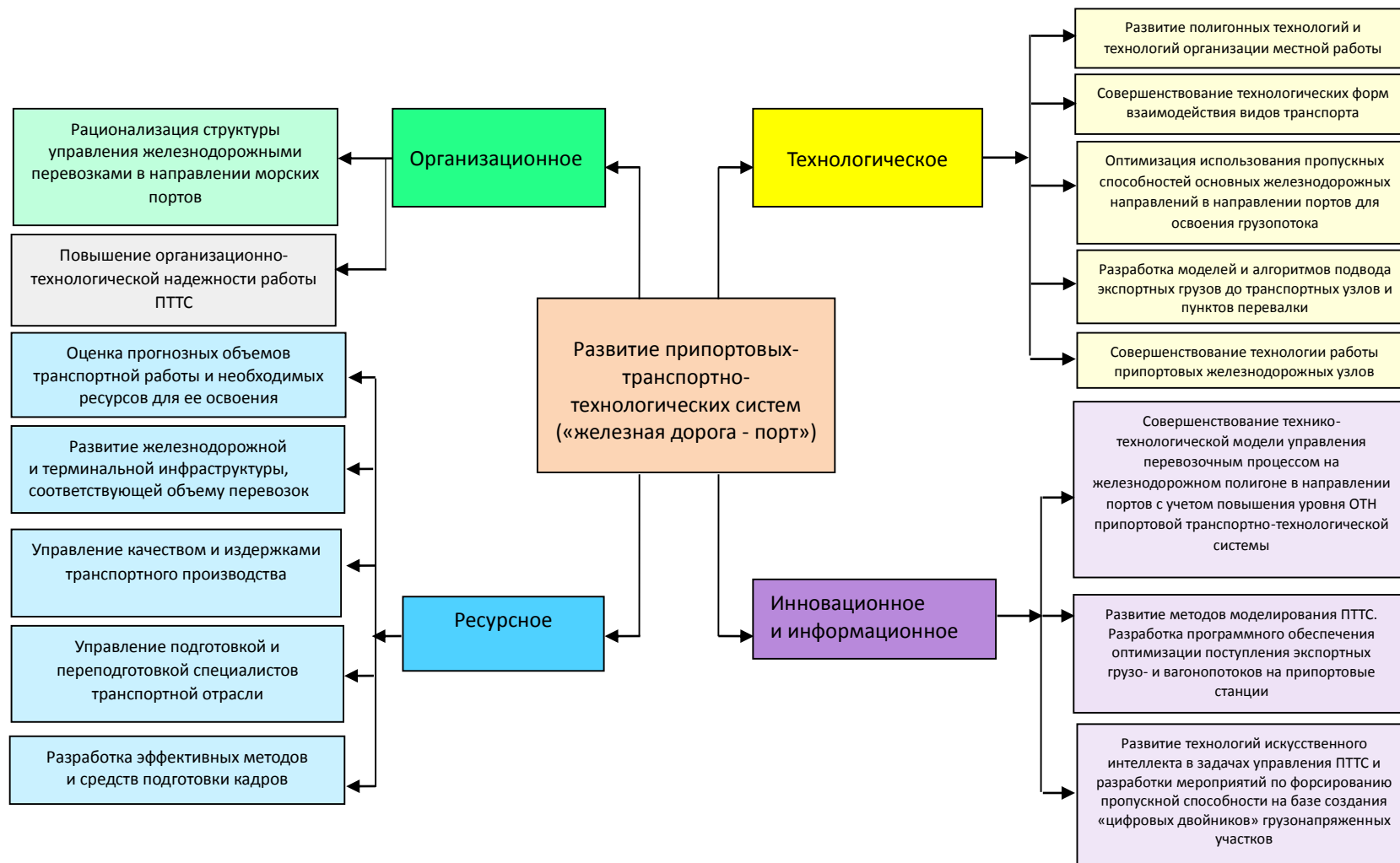


Рисунок 1.20 – Направления развития припортовых транспортно-технологических систем (ПТТС)

в задачах организации железнодорожно-морских перевозок

Выбор адекватного методического аппарата – также сложнейшая задача современных исследований. Для ПТТС важен выбор методов, позволяющих в условиях неполноты информации выбирать решения, которые не теряли бы своей эффективности при практически возможных изменениях исходных данных [190].

Проведенный анализ теоретического и практического опыта показал, что вопросы развития ПТТС, совершенствования транспортного производства припортовых железных дорог исследованы еще недостаточно. Целостная концепция системного анализа применительно к ПТТС, организации и управлению их технологической модернизацией и развитием с позиций повышения уровня их организационно-технологической надежности находится в стадии формирования. Потребность исследования этих вопросов обостряется усилением угроз, связанных с геополитическими факторами, угрозами транспортной безопасности страны.

1.6 Выводы по первой главе

1 Транспортная система, являющаяся неотъемлемой частью эффективной экономики страны, представляет собой сложную многоуровневую систему, включающую элементы и подсистемы, разные по назначению, целям, технологиям организации и взаимодействия с экономическими субъектами и т. д. Припортовые транспортно-технологические системы (ПТТС) являются частью транспортной системы, которые имеют свойственные им особенности развития. Стратегии развития ПТТС должны быть рассмотрены в единстве с экономикой всех уровней, т. е. следует рассматривать производственно-транспортные системы, изменяющиеся вместе с формами регулирования экономики страны.

2 С учетом изменения логистики грузовых перевозок необходимо системное исследование функционирования припортовых систем в условиях изменения объема экспортных перевозок для выявления как «узких» мест в транспортной инфраструктуре для освоения заданных объемов перевозок, так и перспектив развития международных транспортных коридоров, анализ новых

экономических, транспортных связей между странами. Проведенный анализ показал, что в условиях санкционного давления существенно увеличен грузопоток между Россией, азиатскими и африканскими странами. Почти половина грузов (по прибытии) доставляется в порты железнодорожным транспортом. В этой связи налаженная работа портовиков и железнодорожников, а также возможности инфраструктуры являются основополагающими факторами интеграции этих видов транспорта.

3 Показано, что теория системного анализа сложных многокомпонентных систем применима к управлению изменениями транспортной системы припортовых регионов. Обоснована необходимость использования системного подхода во всех его проявлениях (анализ, синтез, управление) для исследования ПТТС. На примере ПТТС уточнен категориальный аппарат исследования, обоснована роль системного подхода в исследовании сложных транспортных объектов и сформулированы базовые признаки такого подхода. Раскрыта сущность SWOT-, PEST-процедур через призму задач ПТТС и структура связей между ними, обеспечивающая получение положительного синергетического эффекта совместного применения. Сформулированы основы и особенности применения когнитивного анализа и синтеза, а также ценологического анализа и синтеза для формирования эффективной структуры и параметров ПТТС.

4 Выявлена необходимость уточнения категориального аппарата, для чего введено понятие «припортовая транспортно-технологическая система (ПТТС)» как составная часть транспортной системы. Полигон управления экспортными перевозками груза в железнодорожно-морском сообщении к портам зависит от характера поставленной в исследовании задачи и может включать железнодорожную сеть, полигон, дорогу, припортовую станцию, либо несколько станций, технологически увязанных в процессе переработки экспортного вагонопотока. В этом случае предлагается на укрупненном полигоне дорог для эффективного решения задачи управления железнодорожно-морскими перевозками условно выделить припортовые транспортно-технологические системы, имеющие специфические особенности по характеру и сегментам

транспорта, обеспечивающих в них транспортную работу, а также по номенклатурам подводимых грузов, наличию взаимоувязанных по технологии работы станций (например, по единому технологическому процессу (ЕТП)), участвующих в переработке экспортных вагонопотоков, и др. свойствам.

5 Российские припортовые регионы играют важную роль в транспортной системе страны, поэтому проведенный в первой главе анализ по принципу от общего к частному требует в дальнейшей структуре исследования анализа транспортного производства в ПТТС и по обратному принципу (от частного к общему) для выявления дополнительных особенностей взаимодействия видов транспорта в припортовых системах с учетом региональных аспектов.

2 ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ В ОРГАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОГО ПРОИЗВОДСТВА В ПРИПОРТОВЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

2.1 Системные изменения условий организации перевозочного процесса в припортовых транспортно-технологических системах и их региональные аспекты

Припортовые транспортные системы могут быть представлены двумя подсистемами – управляющей и управляемой. Управляющая система осуществляет «управленческую функцию», управляемая – процесс транспортного производства, т. е. обеспечивает технологическую функцию. Управляемая система представлена внутренними блоками: техническим (функционирующие постоянные устройства и подвижной состав) и, в узком смысле, технологическим (совокупность или набор правил, определяющих последовательность операций и процессов, связанных с выполнением перевозок) [192]. Обязательным условием транспортного производства является тесная связь и взаимодействие технического и технологического блоков, особенно очевидно эта связь должна проявляться в ситуации изменения внутренних и внешних по отношению к транспортной системе условий.

Процесс перемещения и передачи груза с одного вида транспорта на другой обеспечивается соединением технического и технологического блоков. Задачей управляющего (организационного) блока является настройка транспортного комплекса, чтобы он был устойчив, управляем и развивался целенаправленно, определяя подзадачи для элементов системы в изменяющихся производственных условиях. Однако эластичность, способность к пространственно-временным преобразованиям средств производства в ходе самого производства тоже имеет свой предел. В изменяющейся эксплуатационной обстановке работа транспорта требует, с одной стороны, управления транспортными потоками, а с другой – создания необходимых резервов в производственных мощностях и звеньях транспорта – участках дорог, железнодорожных станциях, морских и речных

портах, аэропортах и др., что является своеобразной «адаптацией» транспорта к смежным отраслям производства [193]. При организации железнодорожно-морских перевозок цикл железнодорожной составляющей зависит не только от технического и технологического состояния самого вида транспорта, но и от ситуации в морском порту, работы контрагентов и других факторов, отсюда повышенная зависимость производственных процессов от климатических условий, изменений погоды, состояния грузовых фронтов, занятости складских емкостей и других параметров, что увеличивает необходимые резервы производственных мощностей.

Исследования, представленные в первой главе, показали роль ПТТС в обеспечении товарооборота. Выявим системные изменения отечественных ПТТС, т. е. скоординированные преобразования, которые охватывают все стороны деятельности системы (организации, системы управления и т. д.) и направлены на качественное изменение ее поведения. Как правило, системные изменения противопоставляются локальным (единичным), которые затрагивают только одну сторону системы.

Протяженность морской границы России – более 42 тысяч километров, основные порты расположены на Баренцевом (Мурманск), Балтийском (Санкт-Петербург, Усть-Луга, Калининград, Балтийск, Выборг), Белом (Архангельск, Кемь), Японском (Ванино, Владивосток, Находка, Восточный), Черном (Новороссийск, Тамань, Туапсе) и Азовском морях (Ростов-на-Дону) [194].

В таблице 2.1 представлено деление железнодорожной транспортной сети с указанием наличия припортовых станций. В настоящее время основной портовый потенциал страны сосредоточен в 44 из 62 российских морских портов [195]. 99 % всех внешнеторговых грузов отгружается через 39 станций российских железных дорог, обслуживающих порты. Ретроспективный анализ погрузки по сети железных дорог в адрес крупнейших морских портов показывает прирост погрузки в адрес морских портов Октябрьской, Северо-Кавказской и Дальневосточной железных дорог (Приложение 2, Раздел П2.1).

Таблица 2.1 – Железные дороги РФ и припортовые районы

№	Железная дорога	Длина	Припортовые станции
1	Восточно-Сибирская железная дорога	3824	-
2	Горьковская железная дорога	5474	-
3	Дальневосточная железная дорога	6031	Ванино, Владивосток, Мыс Астафьева, Находка, Крабовая, Находка-Восточная, Посьет, Советская Гавань, Мыс Чуркин, Хмыловский, Рыбники, Блюхер
4	Забайкальская железная дорога	3407	-
5	Западно-Сибирская железная дорога	6061	-
6	Калининградская железная дорога	662	Калининград, Балтийский Лес, Балтийск
7	Красноярская железная дорога	3161	-
8	Куйбышевская железная дорога	4846	-
9	Московская железная дорога	9177	-
10	Октябрьская железная дорога	10147	Белое Море, Кола, Мурманск, Выборг, Высоцк, Санкт-Петербург, Лужская, Канда拉克ша, Комс.-Мурманский
11	Приволжская железная дорога	4203	Оля, Кутум, Трусово, Новолесная, Правый Берег
12	Свердловская железная дорога	7167	-
13	Северная железная дорога	6004	Архангельск
14	Северо-Кавказская железная дорога	6499	Азов, Таганрог, Ростов, Усть-Донецк, Ейск, Заречная, Новороссийск, Грушевая, Темрюк, Кавказ, Туапсе, Махачкала, Вышестеблиевская
15	Юго-Восточная железная дорога	4308	-
16	Южно-Уральская железная дорога	4807	-

Приморскими регионами Российской Федерации (имеющими выход к морю) являются 23 субъекта из 85. Приморские регионы, на территории которых расположены порты Арктического, Азово-Черноморского, Балтийского, Дальневосточного и Каспийского бассейнов, имеют свои особенности как в части расположения и размещения по отношению к основным грузообразующим центрам, так и в зависимости от климатических, топографических и гидрологических условий (рисунок 2.1).

Особенностями ПТТС страны являются ограниченное число незамерзающих портов (гавани, ледовая проводка к которым требуется менее двух месяцев в году): Крым и Черноморское побережье Кавказа (порты Новороссийск, Туапсе), порты Мурманск, Калининград, Махачкала, для Дальнего Востока – порты Восточный, Находка, Зарубино, Невельск, Посьет, Холмск, а также более интенсивное развитие портовых мощностей по отношению к провозной способности транспортных подходов и перерабатывающих способностей припортовых железнодорожных узлов.

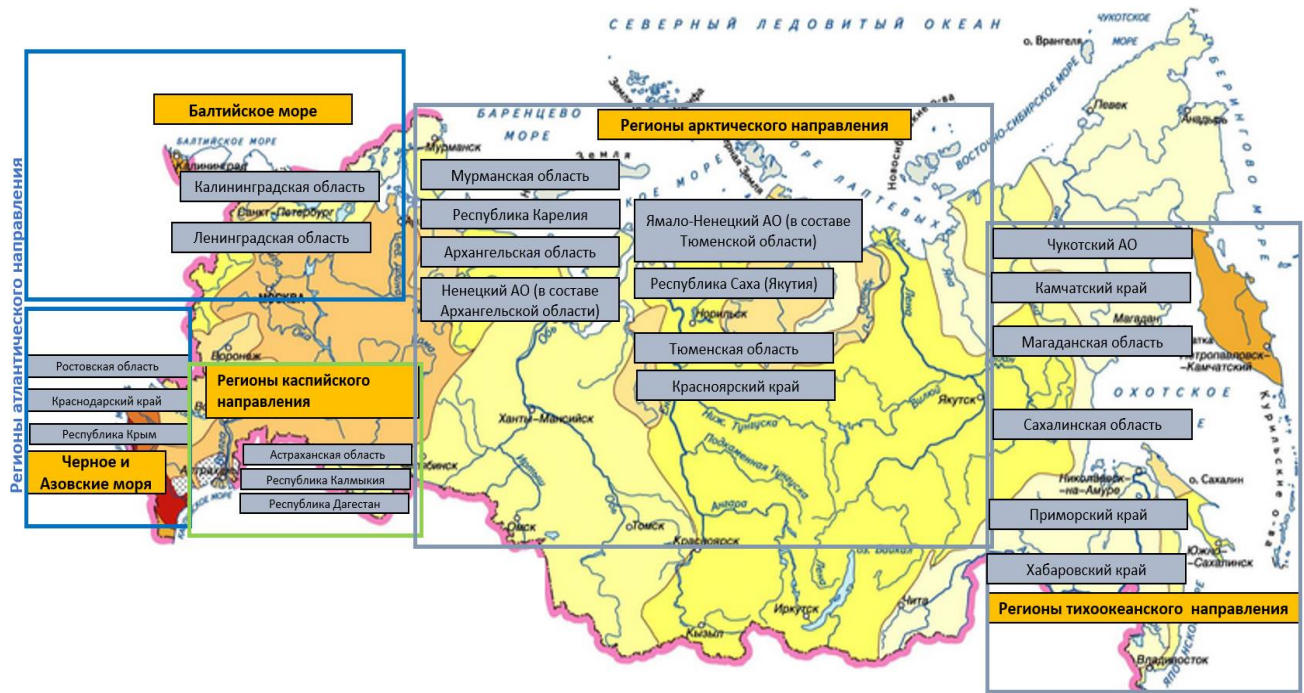


Рисунок 2.1 – Припортовые регионы России

Анализ теории и методологии развития ПТТС позволил выделить основные свойства и характерные признаки ПТТС, приведенные на рисунке 2.2. Указанные характеристики могут быть раскрыты по дополнительным признакам. Рассмотрим также классификацию припортовых транспортных узлов на рисунке 2.3, где введена дополнительная характеристика по возможностям развития транспортных узлов с учетом анализа современных научных исследований [180, 196–198]. Системные изменения условий организации перевозочного процесса в ПТТС привели к *расширению признаков ПТТС, и потребовалась корректировка их классификации.*

Так, в ряде современных исследований предлагается расширить классификацию транспортных узлов, дополнив ее такими признаками, как агломерационно-экономическая роль, уровень логистического сервиса, степень развития промышленного производства, степень цифровизации процессов, степень вовлеченности в международное пространство [198], что, безусловно, также дополнит многофакторную оценку структуры ПТТС.

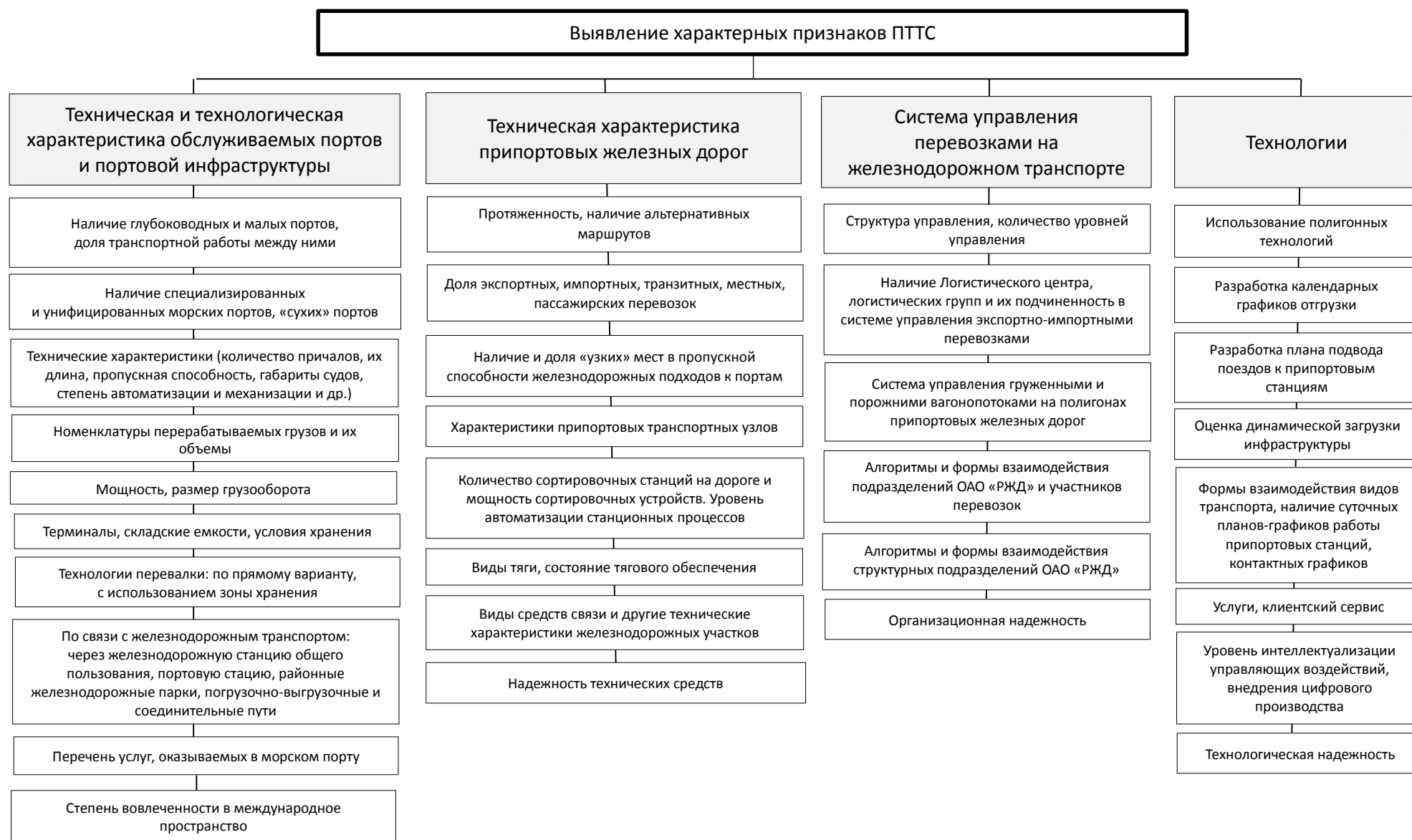


Рисунок 2.2 – Выявление характерных признаков ПТТС (составлено автором)

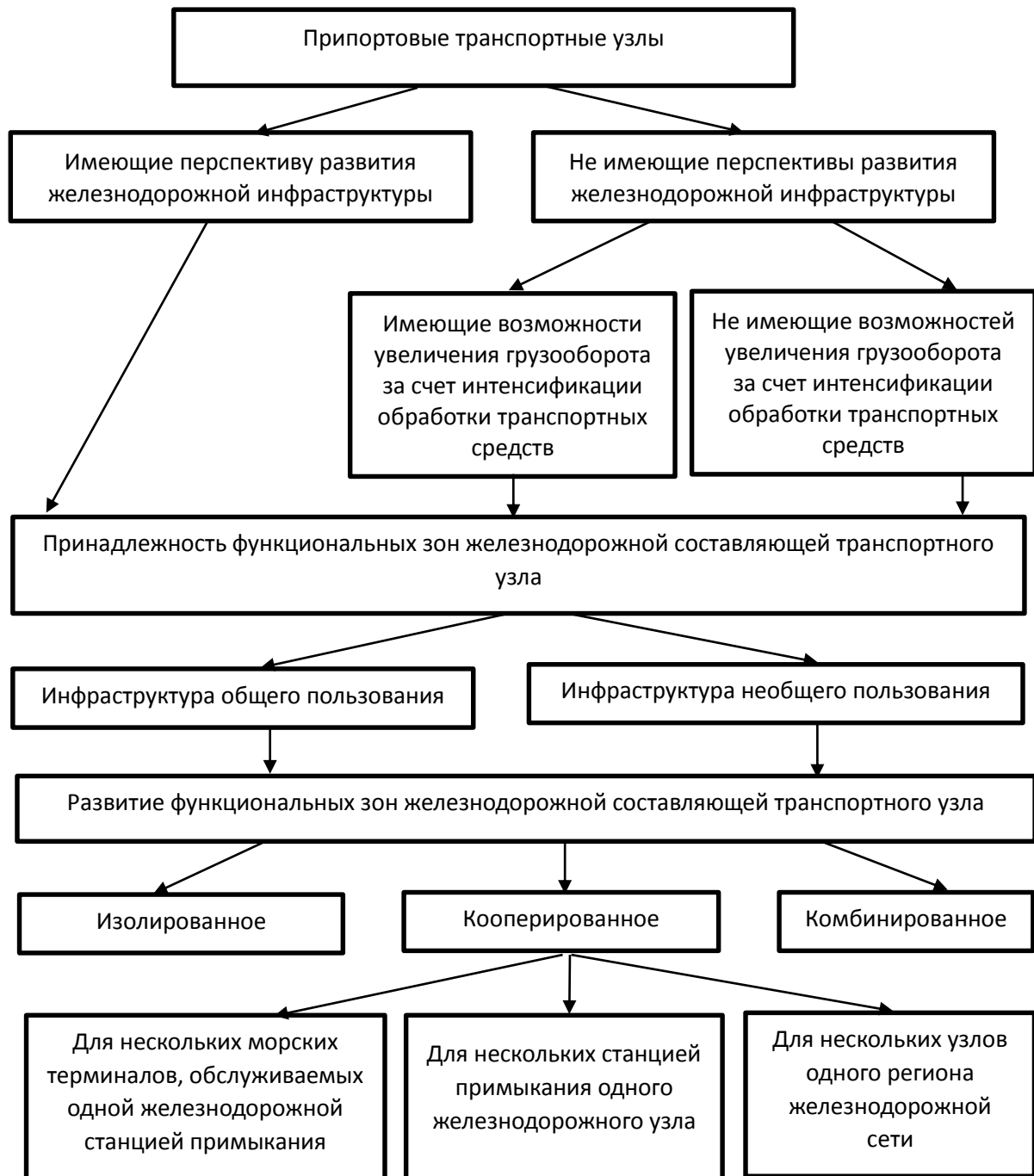


Рисунок 2.3 – Классификация припортовых транспортных узлов по возможностям развития инфраструктуры [180]

Признак «степень вовлеченности в международное пространство» (см. рисунок 2.2) определяется не только техническим, технологическим оснащением, но и зависит от санкционной политики и др. внешних факторов, примером чего могут стать порты Крымского полуострова. Признак «транспортная безопасность морских портов» требует также отдельного научного исследования.

Отсутствие ретроспективных и прогнозных интерактивных инструментов усложняет методологические аспекты исследования системных изменений условий организации перевозочного процесса в ПТТС. Интерес представляют номенклатурные карты перерабатываемых грузопотоков морских портов (в динамике), с оценкой эксплуатационных показателей при различных сценариях развития (Приложение 2, Раздел П2.2), а также признаков, представленных в данном исследовании. Наличие большого числа характерных признаков определяет особенности производственных процессов каждой ПТТС. Унаследованные от периода СССР 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 современный период потребовало реконструкции железнодорожных узлов и развития железнодорожных подходов.

Процесс глобализации до недавнего времени набирал обороты, и современным государствам важно было включаться в мировые глобализационные процессы, чтобы не отставать в своем развитии, и это стало закономерностью, но с конца 2019 года ряд событий в экономической, социальной и политической жизни многих стран мира привели к негативным последствиям в различных сферах деятельности и, как результат, к смещению глобализации мировой экономики на регионализацию.

Как правило, появление новых морских портов в регионах всегда способствовало ускоренному их развитию и определяло обратную задачу прогнозирования грузовых перевозок припортовых регионов в зависимости от развития терминально-логистической инфраструктуры [199]. К таким портам относятся Приморск (нефтеналивной порт), Высоцк (распределительно-перевалочный комплекс нефтепродуктов), Усть-Луга (морской грузовой порт), Балтийск (грузовой морской железнодорожно-автомобильный паромный комплекс), Сабетта (арктический морской грузовой порт), Светлый (нефтяной и

универсальный терминалы), Имеретинский (универсальный грузовой порт в Сочи), Тамань (морской грузовой порт), Пригородное (морской порт на юге острова Сахалин), Варандей (нефтяной терминал на побережье Баренцева моря), Козьмино (специализированный морской нефтеналивной порт). Однако необходимо принимать во внимание, что в условиях изменений геополитики многих государств появилась необходимость учета *политических и природно-климатических рисков развития портовой и транспортной инфраструктуры регионов.*

Комплексное развитие приморских территорий происходит за счет развития территориальных кластеров и транспортной инфраструктуры. При этом железнодорожная сеть ряда направлений загружена неравномерно, и имеется дефицит пропускной способности. Эта ситуация имеет место с 2000-х гг. в связи с переориентацией поставок энергоресурсов и сырья на экспорт, с 2018 г. рост экспорта, в основном угля, обострил проблему. Основные направления грузопотоков в адрес морских портов приведены на рисунке 2.4.

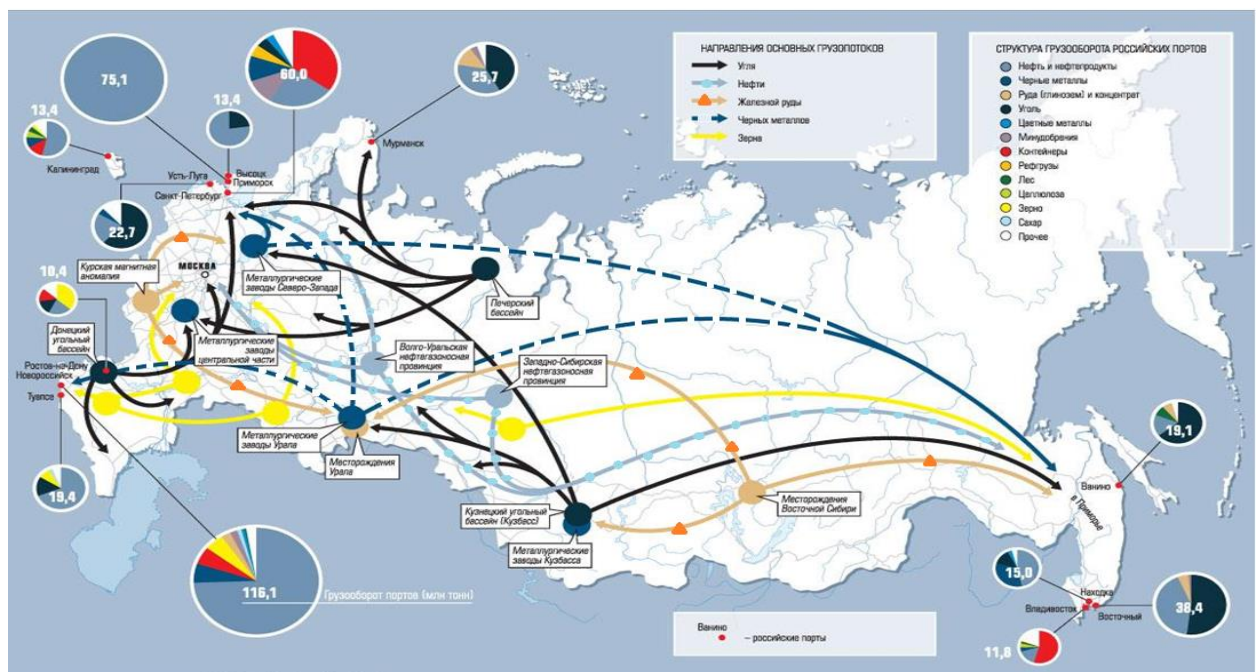


Рисунок 2.4 – Основные направления грузопотоков в адрес морских портов [5]

Анализ направлений следования грузопотоков показывает наличие высокого уровня концентрации погрузки экспортных грузов на железных дорогах,

образующих направления большой протяженности, что видно из рисунка 2.5. Концентрация погрузки видна в адрес морских портов Северо-Запада, Юга и Дальнего Востока. Грузопоток через порты Балтии был переориентирован на другие маршруты, которые проходят через Дальний Восток.

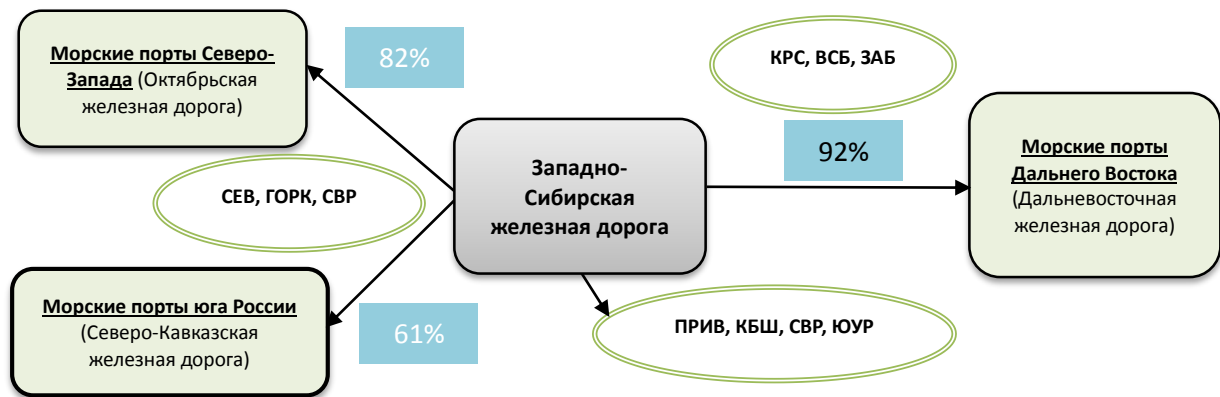


Рисунок 2.5 – Концентрация погрузки в адрес морских портов на всех железных дорогах [200]

Образовавшиеся в последние десятилетия крупные выгрузочные районы, по прогнозам, сохраняют свою роль и на перспективу. Реализация таких прогнозов поддерживается осуществлением крупных инвестиционных проектов, к которым можно отнести [200] сооружение новых железнодорожных линий, в том числе грузообразующих (Северного широтного хода, транспортного перехода через Керченский пролив и др.), развитие российских морских портов (Тамани, Усть-Луги, Мурманска, Ванино, Восточного и др.), развитие инфраструктуры ОАО «РЖД» (реконструкция и модернизация Байкало-Амурской и Транссибирской магистралей, развитие железнодорожной инфраструктуры на подходах к портам АЧБ).

Развитие крупных выгрузочных районов в местах нахождения морских портов Российской Федерации потребовало изменения технологической и технической составляющих железнодорожных перевозок, *развития полигонной концепции управления перевозками*. Указанное демонстрирует происходящие системные изменения условий организации перевозочного процесса в ПТТС.

Организация поездо- и вагонопотоков в адрес крупных выгрузочных районов предусматривает анализ районов образования экспортных грузов, структуры и объемов грузопотоков. На сети железных дорог имеется концентрация междорожных грузопотоков и соответственно междорожный обмен поездопотоками в значительных размерах. Для управления такими поездопотоками требуется тесное взаимодействие по регулированию поездного движения на междорожном уровне. Данная особенность стала основополагающей для развития полигонных технологий управления перевозочным процессом [3,201–206].

В исследовании [200] на сети отечественных железных дорог определены укрупненные направления и регионы с большим обменом поездопотоков: Кузбасс – Северо-Запад; Кузбасс – Дальний Восток; Кузбасс – Юг; Кузбасс – Центр; Урало-Поволжский и Урало-Сибирский регионы; Южный регион (включающий Северо-Кавказскую, Приволжскую и Юго-Восточную железные дороги) и регион Юг – Северо-Запад (рисунок 2.6).

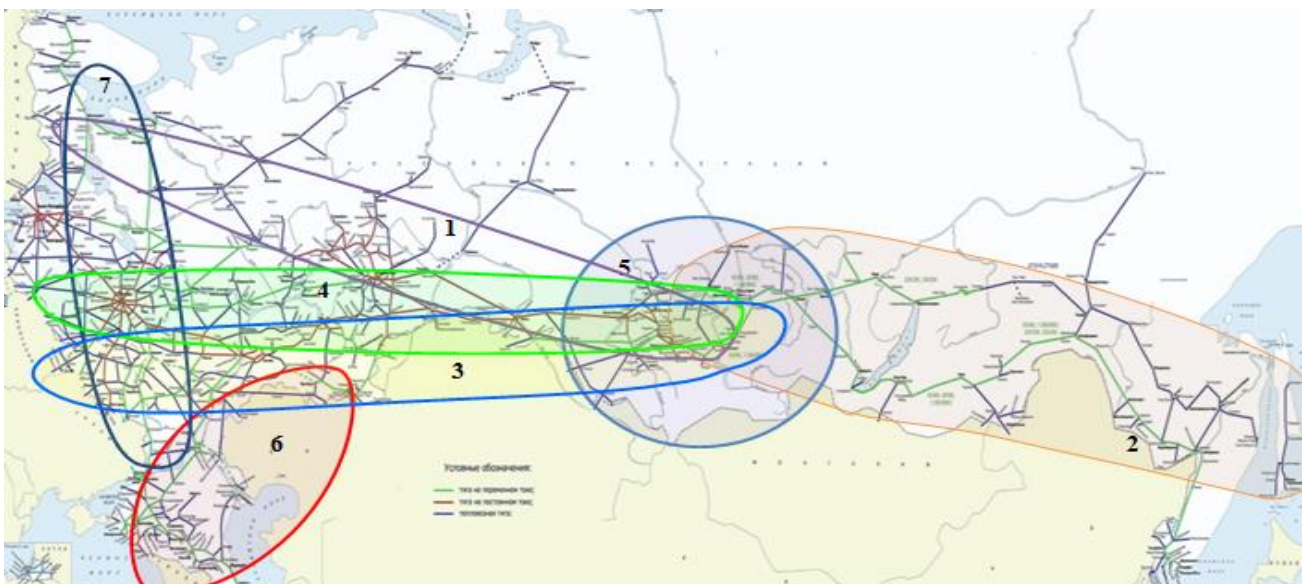


Рисунок 2.6 – Направления со значительными обменами грузопотоками [200]

Например, для Южного региона имеют место значительная погрузка между железными дорогами по полному циклу и высокий уровень транзита через Приволжскую и Юго-Восточную железные дороги потока Кузбасс – Юг, а также

потоки с Куйбышевской и Южно-Уральской железных дорог на СКЖД. Полигон в направлении, например, портов Азово-Черноморского бассейна (АЧБ) имеет большую протяженность. На рисунке 2.7 отчетные данные о количестве отправленных тонн в год представлены в виде «условных поездов в среднем в сутки в год» – $n_{\text{сут}}$, при этом

$$n_{\text{сут}} = \frac{\Gamma_{\text{год}}}{q_{\text{ст}}^{\text{ЖД}} \cdot m_{\text{ваг}}^{\text{ЖД}} \cdot 365}, \text{ поездов/сутки}$$

где $\Gamma_{\text{год}}$ – годовое отправление в междорожном сообщении (т);

$q_{\text{ст}}^{\text{ЖД}}$ – статическая нагрузка по железной дороге отправления, т/ваг;

$m_{\text{ваг}}^{\text{ЖД}}$ – средний состав поезда по железной дороге отправления, ваг.

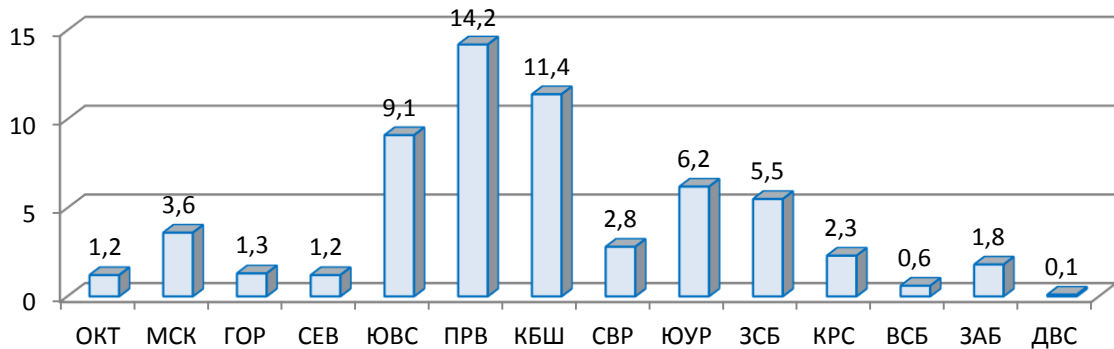


Рисунок 2.7 – Количество условных поездов в среднем в сутки в адрес СКЖД с других дорог

В работе [200] дается общий подход к определению границ полигонов, меньшее внимание уделено особенностям полигонов, имеющих припортовый характер работы. Например, к особенностям СКЖД, обслуживающей морские порты, также относятся большой объем местной работы, значительные размеры концентрации внутридорожных грузопотоков, необходимость приоритета в пропуске поездопотоков в адрес портов и крупных потребителей региона [207, 208]. Указанное требует развития *методов организации и управления перевозками (организационно-технологического управления ОТУ) в ПТТС*.

Организация перевозочного процесса в ПТТС с учетом региональных аспектов имеет свои особенности, определяемые густотой и разветвленностью

транспортной сети, объемами транспортной работы, совокупностью экономических зон (портовых особых экономических зон, туристско-рекреационных зон и др.), структурой потоков (грузовые, пассажирские, специальные и т. д.), технологиями организации перевозок, характером перевозок (мультимодальные, транзитные, экспортно-импортные, международные и т. д.) [209].

С другой стороны, организация транспортного производства в ПТТС в современных условиях стремительно видоизменяется из-за появления новых системных особенностей их функционирования. Во-первых, рыночной экономике в целом свойственна высокая динамика экономических связей, многоагентность и повышенное внимание к качеству, гибкости и вариативности транспортного обеспечения, что требует развития клиентоориентированных сервисов и технологий.

Во-вторых, усложнились технологические задачи управления железнодорожным комплексом, например, в части работы с частным вагонным парком, управления динамичными резервами пропускных способностей в условиях укрупненных полигонов [210, 211].

В-третьих, интенсификация использования и развития транспортной инфраструктуры требует определения стратегий развития ПТТС, организационной, технологической, технической надежности составляющих транспортной системы.

В-четвертых, усилилось внимание к потерям на стыках «транспорт – промышленное предприятие», «железнодорожный транспорт – морской порт», что ставит задачу рационального взаимодействия разных видов транспорта и совершенствования форм их технологического взаимодействия.

В-пятых, переориентация транспортных потоков в системе МТК, необходимость устранения «узких мест» и увеличения резервов провозной способности транспортной инфраструктуры являются трендом развития цифровых инструментов транспортного производства и интеллектуализации процессов управления в ПТТС.

2.2 Характеристика транспортных и производственно-технологических процессов в направлении портов в задачах повышения перевозочной мощности железнодорожных подходов (на примере Азово-Черноморского бассейна)

Характеристика транспортных и производственно-технологических процессов припортовой железной дороги включает большое количество составляющих (рисунок 2.8), исследование которых проведем на примере полигона в направлении портов АЧБ.

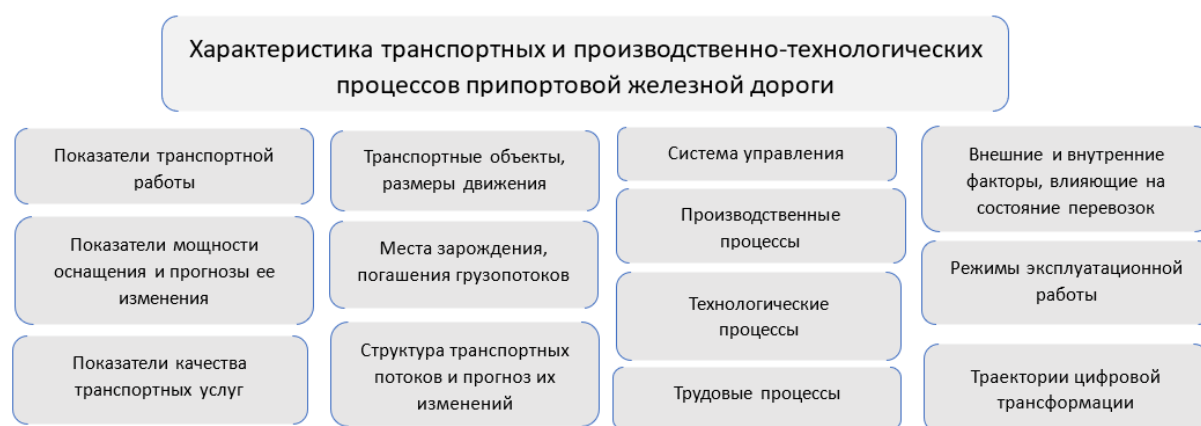


Рисунок 2.8 – Элементы характеристики транспортных и производственно-технологических процессов припортовой железной дороги

Анализ внутриотраслевых процессов работы железнодорожного транспорта и процессов всего производственно-транспортного комплекса ПТТС Южного региона является необходимой задачей развития экономики страны, внешнеторговых операций и международных перевозок. Состояние перевозок на полигоне в направлении портов АЧБ характеризуется ролью каждого вида транспорта в обеспечении грузооборота, оценивается через объемные и качественные показатели и признаки ПТТС, приведенные в главе 2.1. Транспортное обеспечение Южного региона представлено железнодорожным, морским, авиационным, трубопроводным, автомобильным транспортом. Между видами транспорта имеется как конкуренция, так и кооперация. Распределение объемов перевозок грузов по видам транспорта на юге страны приведено на рисунке 2.9.

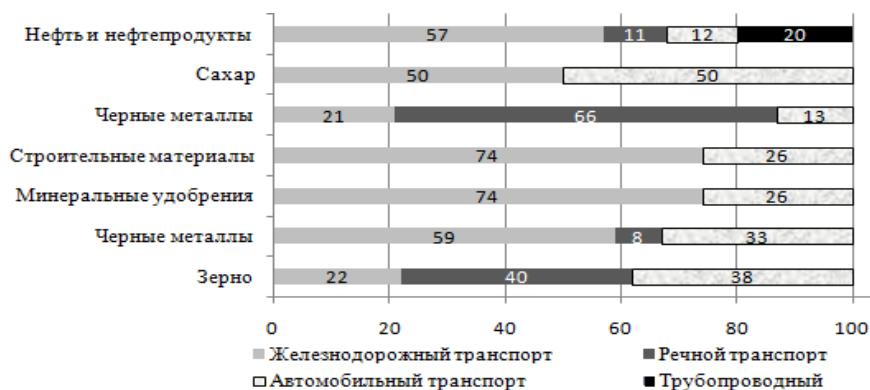


Рисунок 2.9 – Распределение объемов перевозок грузов по номенклатурам и видам транспорта на полигоне Южного региона, % [212]

Анализ рынка перевозок с учетом приоритетных сегментов операционной деятельности железнодорожного транспорта показал, что в Южном регионе Северо-Кавказская железная дорога играет значительную роль в транспортном обеспечении как грузовых, так и пассажирских перевозок. При развернутой длине более 14 тыс.ткм дорога обслуживает территорию в 350 тыс. кв. км с населением свыше 17 млн человек. В зоне ее действия – 11 из 89 субъектов Российской Федерации, Южный и Северо-Кавказский федеральные округа (исключая Волгоградскую и Астраханскую области), которые занимают территорию более 350 тыс. кв. км с населением свыше 17 млн человек. СКЖД обслуживает порты юга страны, характеристика которых приведена в Разделе П2.3 Приложения 2, популярные курорты Черноморского побережья и Северного Кавказа. Морские и речные порты расположены в основном на границах дороги и являются перевалочными пунктами, тем самым обеспечивается кооперация видов транспорта в реализации транспортной работы.

Речной транспорт конкурирует с железной дорогой лишь на незначительном участке, в речном сообщении перевозятся в основном зерно, металлолом, сера. Новошахтинский НПЗ, введенный в эксплуатацию в октябре 2009 года, осуществляет перевалку нефтепродуктов на водный транспорт с нефтеналивного терминала ОАО «НЗНП» – филиал «Ростовский». Далее груз перевозится судами класса «река – море» конечному потребителю. Данные перевозки являются альтернативой смешанным перевозкам с участием железной

дороги на маршруте Несветай – Туапсе, Несветай – Новороссийск и Несветай – Вышестеблиевская. Работа внутреннего водного транспорта носит сезонный характер. Обслуживаемые предприятия – строительные карьеры, нефтеперевалочные базы. Дальность перевозок сухогрузов – 100–250 км, нефть и нефтепродукты – 2350 км. Навигационный период портов Усть-Донецк и Волгодонск составляет 9 месяцев. Остальные порты в регионе обслуживания СКЖД являются портами круглогодичной навигации. Несмотря на имеющиеся исследования по перераспределению грузопотоков между железнодорожным и речным транспортом, перекрестному обслуживанию судов и поездов конкурирующими собственниками на инфраструктуре друг друга, в настоящее время данная практика на юге России не получила должного развития [213]. В исследовании [214] также подтверждено, что имеется тенденция сокращения количества перевозок для определенных номенклатур грузов как на железнодорожном, так и внутреннем водном транспорте в связи с их перераспределением в пользу других видов транспорта, в частности автомобильного и трубопроводного.

Северный Кавказ является полигоном для транзита нефти, основные маршруты приведены в исследовании [212]. В зоне действия СКЖД между двумя указанными выше видами транспорта имеется конкуренция на маршруте Махачкала – Новороссийск. Трубопроводный транспорт в силу специфики организации и условий его производства для железных дорог в меньшей степени является партнером или конкурентом. Виды продуктов, с которыми он в основном работает, жесткие схемы поставок товарной продукции от производителя до потребителя, а также низкие тарифы практически исключают альтернативные варианты пользования услугами других перевозчиков. Возможно переключение объемов перевозок грузов при внештатных ситуациях на трубопроводе на время, необходимое для устранения неисправностей. Сырая нефть не перевозится трубопроводным и железнодорожным транспортом параллельно. Если на конкретном маршруте есть возможность транспортировки по нефтепроводу, железнодорожные перевозки не осуществляются. Несмотря на то, что тарифы трубопроводного транспорта как минимум устанавливаются на

30 % ниже железнодорожных, барьеры для «входа» в достаточно узкий круг компаний-операторов прокачки высоки. Существуют определенные правила регистрации и минимальные объемы транспортировки, устанавливаемые как, правило, техническими возможностями.

Транспортная сеть Южного региона, включающая различные виды транспорта, обеспечивает пропуск и перевалку достаточно широкой номенклатуры грузов. Кроме этого, в связи с присоединением к Российской Федерации полуострова Крым Россия получила дополнительные перевалочные мощности расположенных на нем пяти морских портов (Евпаторийский, Севастопольский, Феодосийский, Керченский и Ялтинский), выполняющих перевалку грузов различных номенклатур. Их совокупный потенциал пропускной способности составляет 15 млн т в год. В последние годы они перерабатывали около 4,6 млн т. Переработанные ими ранее грузы ушли в соседние транспортные узлы Украины, и их возврат проблематичен по целому ряду фундаментальных и явно долговременных причин, лежащих вне плоскости транспортного бизнеса.

Особенностью транспортной системы юга России является ориентированность на экспортные перевозки грузов с их перевалкой в морских портах АЧБ, сохранение стабильного роста их объемов. Южные порты России находятся на пересечении мировых торговых путей, формируют российский участок международного транспортного коридора «Север – Юг». В зоне, обслуживаемой СКЖД, находятся четыре нефтеперевалочных комплекса (Новороссийск, Туапсе, Махачкала, Кавказ) и два речных порта (Усть-Донецк и Волгодонск). С точки зрения управления железнодорожными перевозками в направлении портов АЧБ регион входит в Юго-Западный полигон управления.

Порты бассейна составляют три группы: незамерзающие порты на Черноморском побережье, способные принимать крупнотоннажные морские суда, замерзающие и мелководные порты Азовского моря, и порты, расположенные в черноморских городах-курортах. В настоящее время 11 морских портов Южного бассейна перерабатывают почти четверть экспортно-импортного общего грузооборота портов страны, обеспечиваемого с участием железнодорожного транспорта, с достижением уровня 97,6 млн т в 2018 г., с прогнозными

значениями к 2030 году 152 млн т, до 2035 г. – 200 млн т. В 2024 г. грузооборот дороги составил 113,2 млн ткм, среднесуточная выгрузка дороги – 5710 вагонов (в 2023 г. – 6800 ваг.), из них 63 % выгружено в портах (3596 вагонов). За последние 10 лет объем погрузки экспортных грузов в адрес портов Северного Кавказа возрос практически в два раза. Основными станциями выгрузки вагонов на СКЖД являются припортовые станции Вышестеблиевская (22 %), Новороссийск (21 %) Туапсе-Сортировочная (9 %) и другие (Приложение 2, Раздел П2.4). Основная доля выгрузки приходится на станции Краснодарского региона.

Перевозочная мощность припортовой железной дороги и ее элементов в течение года не остается постоянной, поскольку потоковая нагрузка характеризуется неравномерностью отправления пассажиров, неравномерным предъявлением к перевозке грузов и порожних вагонов [215]. На припортовых дорогах выполняется наибольший объем местной работы, значительную долю которой составляет работа с экспортными грузами. При этом динамика долей местного груза, приходящегося на экспорт и в адрес различных предприятий СКЖД, значительно менялась (Приложение 2, Раздел П2.5) [216].

Другой отличительной особенностью транспортной системы юга России, является тот факт, что рассматриваемый полигон расположен на основной части железнодорожной инфраструктуры, обеспечивающей пассажирские перевозки к таким курортам, как Сочи, Туапсе, Анапа, Новороссийск, Кисловодск. Основными задачами пассажирского комплекса в южном направлении являются развитие высокоскоростного и скоростного движения на направлении Центр – Юг, анализ транспортной доступности с учетом новых территорий, согласование программ развития регионов и транспорта по линии «транспорт – регион – туризм» и др. [209]. Кроме того, если ранее можно было выделить характерные пики летних перевозок, то в связи с закрытием аэропортов (Ростов-на-Дону, Краснодар) спрос на железнодорожные перевозки вырос и в другие периоды года. В результате к 2030 году по железнодорожным линиям рассматриваемого полигона прогнозируется суммарное количество поездов дальнего следования в связях с крупнейшими городами-курортами Черноморского побережья России более 130 пар пассажирских поездов в летний период [217].

Рассматривая эксплуатационную работу СКЖД, нельзя не остановиться на значимости пригородного сообщения. Например, на рассматриваемом полигоне в пригородном сообщении основными узловыми станциями являются Ростов-на-Дону, Краснодар, Туапсе, Сочи. Для обеспечения растущей потребности в пригородных пассажирских перевозках на перспективу на рассматриваемом технологическом полигоне также планируется увеличение размеров движения поездов. С учетом обобщения факторов, влияющих на объем транспортной работы полигона СКЖД, определенных в рамках проводимого исследования и представленных в Разделе П2.6 Приложения 2, необходима оценка провозной мощности рассматриваемого полигона. Анализ опыта организации железнодорожных перевозок показывает, что смешанный транспорт на одних и тех же железнодорожных путях при установлении приоритета в пользу пассажирских перевозок перед грузовыми, ввиду их социальной значимости, сталкивается с техническими, технологическими и организационными сложностями, затрудняющими развитие обеих форм перевозок.

В соответствии с отраслевыми программами оптимизации работы СКЖД до 2010 года предусматривалось увеличение пропускной способности участков на ближних и дальних подходах основных направлений, реконструкция основных припортовых станций и строительство нового порта Тамань [4]. Тем не менее на основных линиях рассматриваемого полигона в направлении АЧБ по состоянию на 2020 г. имелось большое число однопутных участков (рисунок 2.10). Благодаря инвестиционному проекту «Развитие железнодорожных подходов к морским портам Азово-Черноморского бассейна» за последние три года в развитие инфраструктуры СКЖД инвестировано более 130 млрд руб., а объем инвестиций за последние 20 лет составил более 850 млрд руб. [218].

Из схемы (см. рисунок 2.10) видно, что наибольшее число однопутных участков были расположены на подходах к портам, и большой объем работ по укладке вторых путей вплоть до лета 2023 года значительно осложнял эксплуатационную работу.

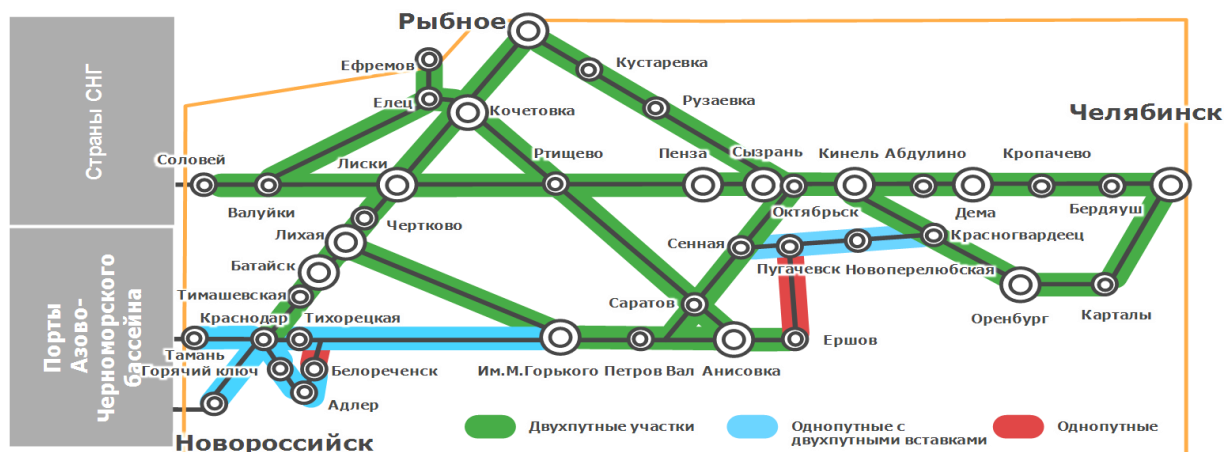


Рисунок 2.10 – Схема полигона в направлении портов АЧБ с указанием числа главных путей, по состоянию на 2020 г.

Мероприятия по развитию железнодорожной инфраструктуры на подходах к портам АЧБ до 2035 года приведены в Разделе П2.7 Приложения 2. После завершения строительства вторых главных путей от станции им. М. Горького до станции Тамань-Пассажирская с обходом Краснодарского узла, а также в условиях увеличения размеров пассажирского движения в направлении Крымского федерального округа основным грузовым направлением СКЖД стал участок им. М. Горького – Котельниково – Сальск – Тихорецкая – Разъезд 9 км – Тамань-Пассажирская протяженностью 875 км. По состоянию на сегодняшний день, после реализации основного этапа по строительству вторых главных путей перегонов, на направлении им. М. Горького – Разъезд 9 км остается ряд барьерных мест (рисунок 2.11).

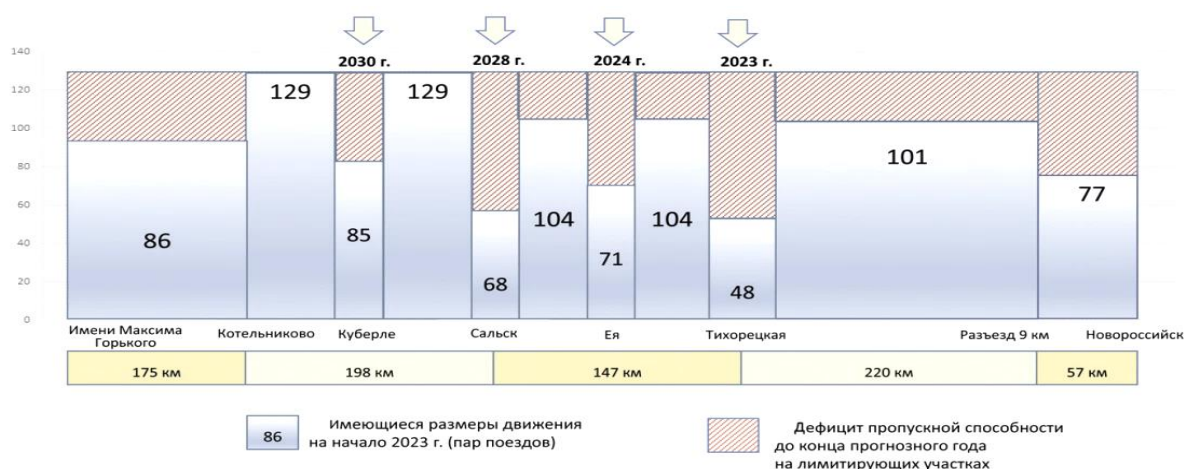


Рисунок 2.11 – Лимитирующая пропускная способность участков на направлении имени Максима Горького – Котельниково – Новороссийск [218]

Методологически координация задачи обеспечения предъявляемых объемов грузовых и пассажирских перевозок, необходимого объема реконструктивных работ по развитию железнодорожной инфраструктуры и ремонтных работ по поддержанию необходимого коэффициента ее готовности может достигаться автоматизированным прогнозом ресурсов сети. Припортовые железные дороги должны устойчиво функционировать в течение всех сезонных и оперативных изменений эксплуатационной обстановки и потребностей в перемещении грузов и пассажиров. Как показано в исследовании [219], для этого в мероприятия по развитию инфраструктуры должны закладываться возможности эффективного применения вариантных технологических режимов работы полигонов железнодорожной сети. Имеет место задача компромиссного управления по обеспечению, с одной стороны, растущих объемов перевозок, с другой – необходимого объема реконструктивных работ. Для выбора мероприятий (организационно-технических или реконструктивных) исследуется влияние различных факторов на пропускную способность линий (рисунок 2.12).

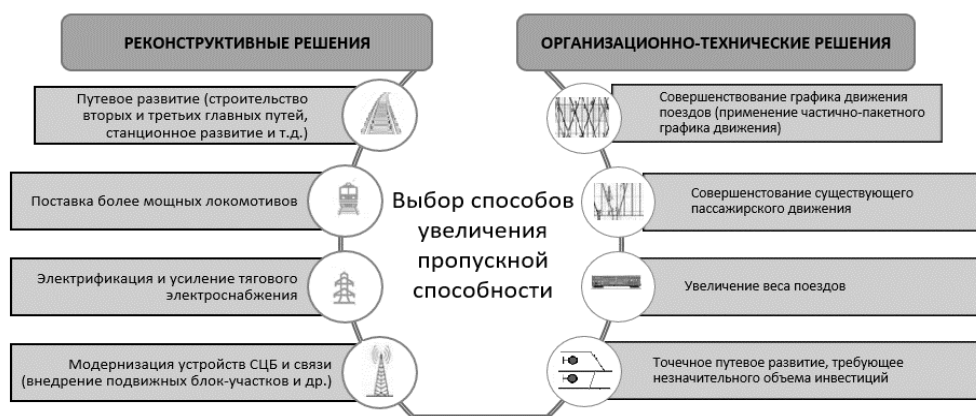


Рисунок 2.12 – Способы увеличения пропускной способности участков [220]

Организационно-технические решения могут быть применимы для оперативного повышения пропускной способности до момента реализации проектов по комплексному развитию железнодорожной инфраструктуры. Теоретические исследования и практический опыт показывают, что методом динамического роста массы и длины грузового поезда получают максимальный

результат в пропускной способности при минимальных финансовых затратах [221]. Однако организационно-технические решения имеют ряд ограничений, в том числе по использованию зарубежных технологий в практике отечественных железных дорог [222–241]. Кроме того, как было показано ранее, при развитии портовых мощностей необходимо оценивать баланс между грузовым и пассажирским движением на совмещенной грузопассажирской инфраструктуре, а также определять этапность освоения растущих объемов перевозок. В общем виде этот процесс можно продемонстрировать графиком, приведенным на рисунке 2.13.

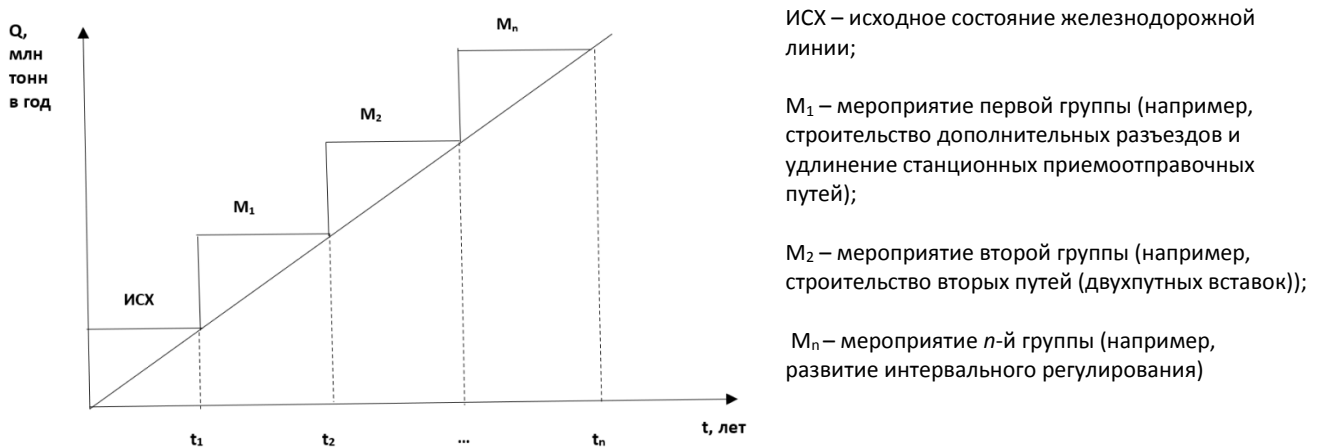


Рисунок 2.13 – Этапность освоения возрастающих объемов перевозок [241]

В настоящее время на участках зарубежных и отечественных железных дорог осуществляется активное внедрение системы автоблокировки с подвижными блок-участками [242, 243]. Система позволяет отказаться от использования проходных светофоров, в то время как движение поезда производится в соответствии с принимаемыми сигналами автоматической локомотивной сигнализации. Уменьшение межпоездного интервала, решаемое в комплексе (по перегонной и станционной инфраструктуре, локомотивам, тяговой энергетике), дает увеличение перевозочной мощности направления [244]. Однако эффективность применения современных систем интервального регулирования при всех их широких функциональных возможностях остается в сильной зависимости от корректности их проектирования и внедрения [245–248].

Дополнительным способом увеличения пропускных и провозных способностей, который активно применяется на полигонах в направлении портов (прежде всего Дальнего Востока), является внедрение современных инновационных решений, таких как применение технологии виртуальных сцепок (ВСЦ) [249–255]. Передовые технологии «виртуальных сцепок» показали свою эффективность на Восточном полигоне сети «РЖД», в режиме «виртуальная сцепка» в период 2019–2020 гг. проведена 701 поездка, в 2021 году – 897 поездок.

Нужно учесть, что для грузонапряженных транспортных систем совершенствованием только систем автоматики невозможно обеспечить требуемый рост пропускной способности [256]. Для припортовых железных дорог с учетом совмещенной инфраструктуры рост потоковой нагрузки в пассажирском и грузовом движении потребовал форсирования пропускной способности за счет структурирования поездо- и вагонопотоков [218, 257]. За последние три года в направлении портов АЧБ определена специализация линий на преимущественно грузовое и пассажирское движение. Изменена специализация двух направлений, проходящих по территории Южного региона, с переключением основного грузопотока, следуемого в порты, на направление Котельниково – Тихорецкая – Разъезд 9 км – Новороссийск – Тамань, в то время как на направлении Сохрановка – Ростов-Гл. – станции Черноморского побережья преимущественно организовано движение пассажирских поездов [258] (рисунок 2.14).



Рисунок 2.14 – Специализация основных направлений СКЖД

Ввод специализации дал положительный эффект в части увеличения участковой скорости [259], однако не дал должного эффекта по резервам пропускной способности в границах Краснодарского района управления СКЖД, где на ряде участков коэффициент заполнения пропускной способности еще завышен [220, 260] (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Коэффициент использования пропускной способности ряда участков Краснодарского района управления СКЖД

№	Участок		Число путей	Коэф. использования пропускной способности
1	«Б-П 7»	«Стар. – Тимаш.»	2	1,25
2	«Стар. – Тимаш.»	«Тимаш.»	2	0,97
3	«Тит.»	«Вит.»	1	1,01
4	«Вит.»	«Кр. II»	1	0,87
5	«Кр. II»	«Кр. I»	1	0,89
6	«Эн. I»	«Г. Кл.»	1	1,01
7	«Г. Кл.»	«Крив.»	1	1,29
8	«Т-Пас.»	«С»	1,2	0,99

Слияние двух направлений (пассажирского и грузового) в границах СКЖД и дальнейшая концентрация прогнозируемого поездопотока будут происходить на участке Гречаная – Разъезд 9 км, который и станет лимитирующим. Результаты проводимых исследований в работе [261], где дана оценка отдельных мероприятий, направленных на увеличение пропускной способности участка Гречаная – Разъезд 9 км, показали недостаточный их эффект (таблица 2.3), тогда как для освоения ожидаемого грузопотока требуется комплекс мероприятий. Результаты увеличения пропускной способности участка в ходе реализации комплекса мероприятий представлены в таблице 2.4.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что наилучший вариант комплекса мер по повышению пропускной способности предполагает строительство третьего пути на участке Гречаная – Разъезд 9 км. Общая протяженность участка составит 97,7 км, сметная стоимость, по данным АО «ИЭРТ», – 42 757,0 млн руб.

Таблица 2.3 – Анализ увеличения пропускной способности
в зависимости от мероприятия

Показатели	Строительство третьего пути на участке Гречаная – Разъезд 9 км	Локомотивная сигнализация с подвижными блок- участками	Организация тяжеловесного движения с использова- нием новых локомотивов
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Существующая пропускная способность участка	154	154	154
Наличная пропускная способность после реализации мероприятия	187	164	154
Потребная пропускная способность на 2025 г.	205	205	144
Коэффициент использования, проп. способности K	1,1	1,24	0,93

Таблица 2.4 – Анализ увеличения пропускной способности участка
Гречаная – Разъезд 9 км в зависимости от комплекса мероприятий

Показатели	Строительство третьего пути на участке	Локомотивная сигнали- зация с подвижными блок-участками	Локомотивная сигнали- зация с подвижными блок-участками	Организация тяжеловесного движения	Строительство третьего пути	Организация тяжеловесного движения
	Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3	
Наличная пропускная способность после реализации мероприятия	33	164	164	154	33	154
Итоговая пропускная способность	197		164		187	
Потребная пропускная способность на 2025 г.	205		144		144	
Коэффициент использования проп. способности, K	1,04		0,88		0,77	

Были проведены дополнительные расчеты по установлению доходов за счет освоения большего размера грузопотока при трехпутном участке. Данные расчеты могут учитываться в качестве дополнительных инструментов комплексной оценки проекта строительства приоритетных железнодорожных линий [261].

В условиях двухпутного участка Тимашевская – Разъезд 9 км нельзя будет освоить дополнительно 33 пары поездов (с учетом коэффициентов съема пассажирскими и сборными поездами 27 поездов/сут при строительстве третьего пути). Количество грузовых поездов, которое потребуется пропустить по участку в 2025 году, составит – $N_{\text{пр}}^{\Phi} = 104$ поезда/сут. Т. е. в процентном соотношении:

$$\Delta N_{\text{гр}} \% = \frac{27}{104} \cdot 100 = 26 \ \%.$$

При этом на данном направлении отсутствуют альтернативные маршруты, более длинные по сравнению с тарифным расстоянием, приводящие к расхождению тарифных и фактических эксплуатационных расходов, но позволяющие освоить заявленный грузопоток и получить дополнительные доходы, хоть и в меньшем размере. Размеры движения приведены в таблице 2.5, а с разбиением по номенклатуре грузов – в Разделе П2.8 Приложения 2.

Таблица 2.5 – Назначение поездов, проходящих участок Тимашевская –
Гречаная – Разъезд 9 км

Назначение	Количество поездов	Количество вагонов
Новороссийск	41	2498
Кавказ	6	392
Темрюк	5	329
Вышестеблиевская	44	2528
Крым	8	522
Итого	104	6269

Расчет недополученной прибыли от пропуска поездов по рассматриваемому направлению приведен в Разделе П2.8 Приложения 2.

При оценке пропускных и провозных способностей направлений на подходах к портам нужно учитывать, что инвестиции в их развитие имеют мало смысла, если не обеспечиваются эффективные уровни их использования. Важно гармоничное развитие и обеспечение технологических форм организации эксплуатационной работы (Единого сетевого технологического процесса, технологических процессов работы укрупненных полигонов и пр.), которые упорядочивают и организуют транспортный поток во времени и пространстве, доводя уровни полезной загрузки результирующей пропускной и

провозной способности подразделений железнодорожной сети до 55–85 % (разброс значений объясняется сложностью конфигураций обслуживаемых потоков и необходимостью компенсации незапланированных потерь при выполнении перевозок) [262]. Нужно отметить, что количество таких технологических документов в производственных процессах ПТТС больше, чем, например, для транзитных железных дорог, в силу необходимости обеспечения взаимодействия разных видов транспорта.

Компенсацию незапланированных потерь обеспечивают традиционно за счет оперативного управления движением, систем автоматизированного и перспективного интеллектуального управления, активизируя таким образом динамические резервы [262, 263] и доводя полезную загрузку лимитирующих элементов сети до 80–95 %. В работах [262, 264] приводится положение о том, что для этого необходима рациональная организация потоков, оптимизация границ полигонов, диспетчерских участков. Отнесем указанное к параметрам *организационно-технологического управления (ОТУ)*.

Отсутствие резервов пропускной способности при росте пассажиро- и грузопотоков может приводить железнодорожную транспортную систему в «утяжеленное» состояние, когда ухудшаются эксплуатационные показатели и отсутствуют возможности приема дополнительных объемов грузов к перевозке. Оценка возможностей железнодорожной инфраструктуры для пропуска объемов перевозок стала необходимой задачей в условиях увеличения вагонного парка (с 2021 г. парк вагонов увеличился на 152,7 тыс. и достиг максимального значения в 1 млн 357 тыс. грузовых вагонов). В свою очередь этот показатель не полностью зависит от качества выполнения технологических процессов железных дорог. Исследованиями доказано, что превышение рабочего парка вагонов снижает маневренность станций и ухудшает остальные эксплуатационные показатели, что сказывается и на соблюдении сроков доставки [265, 266].

Влияние наличия избытка фактического вагонного парка сверх технологически допустимого на каждый конкретный показатель – зависимость индивидуальная, для каждой дороги существует величина наличия избытка

фактического вагонного парка сверх технологически допустимого, при которой происходит резкое ухудшение значений показателей [265] (Приложение 2, Раздел П2.9). На припортовых дорогах, где доля отставленных от движения поездов – одна из самых высоких, вероятность работы транспортной системы в тяжелом и утяжеленном режимах возрастает.

Для характеристики режимов работы железнодорожной ПТТС используем исследования Д. Ю. Левина [267] относительно режимов поездной работы (нормального, оптимального, утяжеленного, тяжелого, аварийного) применительно к более крупным объектам (припортовой дороге и полигону). Общая схема возможных режимов эксплуатационной работы припортовой железной дороги и ее структурных элементов представлена на рисунке 2.15. Набор значений параметров, определяющих переход в i -й режим, и управляющие воздействия определяются при постановке конкретной задачи управления элементами ПТТС.

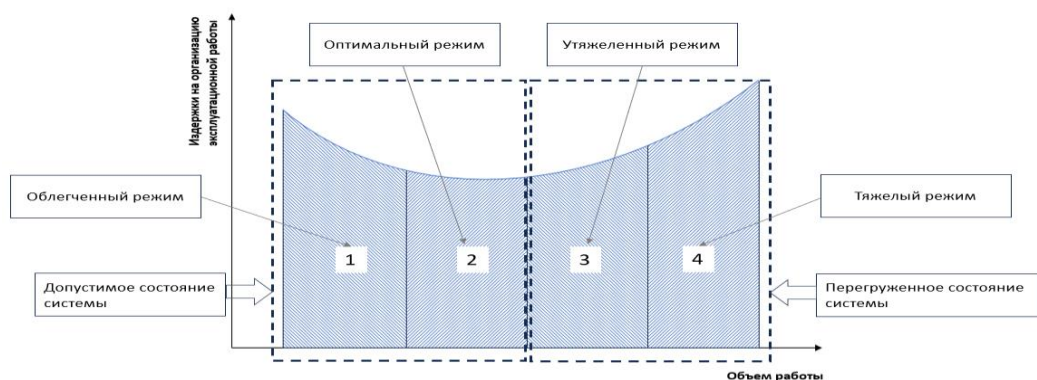


Рисунок 2.15 – Режимы работы элементов припортовой железной дороги

Отметим, что в оптимальном режиме эксплуатационной работы величина рабочего парка вагонов не превышает допустимых значений и не вызывает задержек поездов по неприему станциями. Появление избыточного вагонного парка может быть вызвано как внешними причинами (сгущенный подвод поездов, неприем поездов соседними подразделениями), так и внутренними (ограничение пропускных способностей участков и внутриузловых соединений из-за ремонтных работ, снижение перерабатывающих способностей сортировочных и грузовых устройств, дефицит тяговых ресурсов) [268].

Актуальность ввода, например, вариантных технологических режимов неоднократно рассматривалась в научных исследованиях [269], так как не только характер потоков оказывает нагрузку на ПТТС и приводит к определенному режиму эксплуатационной работы, но и, наоборот, потоковую нагрузку можно трансформировать в зависимости от технологии организации и продвижения транспортных потоков. Решение этой задачи в силу своей сложности невозможно реализовать в индивидуальном порядке, но оно может стать парадигмой развития интеллектуальных систем управления и мониторинга [270].

Оценка состояния режима эксплуатационной работы может производиться на основании алгоритмов с учетом оценки определенных показателей. Примером могут служить укрупненные алгоритмы оценки соответствия балансового и нормального наличия вагонов с выработкой управляющих воздействий, приведенные в исследовании [271]. Режимы эксплуатационной работы припортовой железной дорог зависят как от внутренних, так и от внешних факторов, рассмотрение которых также необходимо (рисунок 2.16, таблица 2.6 [4]).

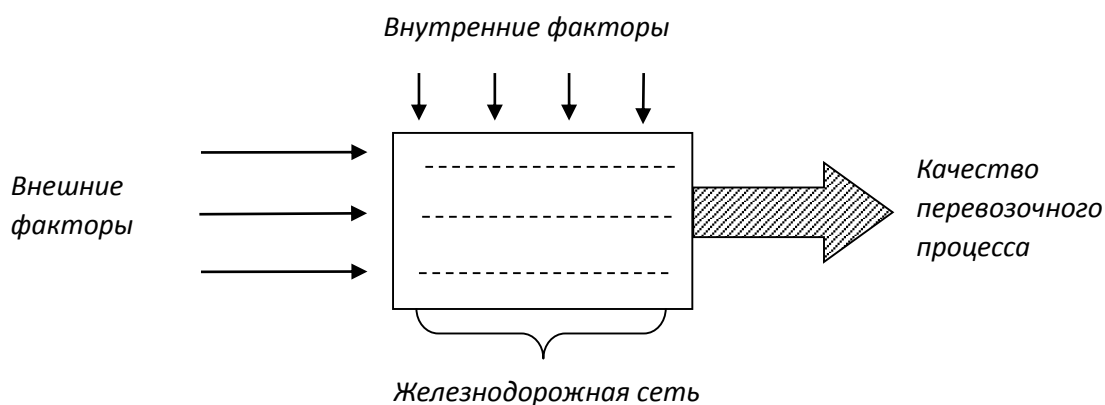


Рисунок 2.16 – Влияние внешних и внутренних факторов на качество перевозочного процесса ПТТС

Безусловно, указанные негативные факторы можно и нужно устранять за счет развития технологий перевозочного процесса, научной поддержки принимаемых решений.

Таблица 2.6 – Внешние и внутренние факторы, влияющие на качество перевозочного процесса ПТТС

Примеры внутренних факторов, зависящих от работы самого железнодорожного транспорта	Примеры внешних факторов
– ограниченные пропускные способности на ближних и дальних подходах к транспортным узлам, не соответствующие темпам роста объема перевозок и изменению структуры собственного подвижного состава; – нерациональная структура и организация местной работы на различных этапах ее выполнения при обслуживании малых и крупных пунктов грузовой работы, в том числе и транспортных узлов; – отсутствие оперативной координации в деятельности перевозчика, транспортных дирекций, грузовладельцев и др., что приводит к неудовлетворительному выполнению сменно-суточного планирования местной работы; – недостаточная профессиональная подготовка персонала; – низкий темп внедрения инновационных технологий в области развития инфраструктуры, подвижного состава и др.	– неравномерная погрузка экспортных грузов; – растущие объемы грузопотоков и их характер; – неритмичность в системе «поставщик – потребитель» (отсутствие обратной связи); – отсутствие достоверной информации, представленной в едином унифицированном виде; – неадекватный уровень заинтересованности участников перевозок в управлении транспортировкой грузов по всей логистической цепочке различных видов транспорта и собственников подвижного состава; – несоответствие экономических и нормативно-правовых отношений требованиям транспортного рынка, – погодные условия (сильные ветра и значительные осадки), в связи с чем возникает необходимость в приостановлении погрузочно-разгрузочных работ, в отставлении поездов от движения в пути следования и на подходах к портам, во вводе соответствующих конвенций с запретом на отгрузку.

Таким образом, транспортные и производственно-технологические процессы в ПТТС Южного региона имеют высокую технологическую сложность, которая обусловлена следующими *факторами*:

- необходимостью обеспечения пропуска максимальных размеров движения на основе выбора наиболее эффективных с точки зрения пропускной способности решений и технологий с учетом увеличения объемов транспортной работы в ПТТС;
- высокой дальностью перевозок [272];
- высокой интенсивностью грузопассажирского движения на совмещенной инфраструктуре с его вариативностью и неравномерностью движения;
- ограничениями в пропускной способности инфраструктуры в связи с проведением «окон» в условиях строительства вторых путей на подходах к морским портам и реконструкции железнодорожных станций;

- достаточно большим объемом повагонных отправок и переработок вагонов в пути следования;
- значительным объемом местной работы, при этом диспетчерский аппарат на грузонапряженных направлениях с большим объемом пассажирских и грузовых перевозок большее внимание уделяет поездной работе и в недостаточной мере – управлению местной работой, что приводит к снижению уровня обслуживания грузовладельцев и ухудшению использования подвижного состава;
- существенным дисбалансом груженных вагонопотоков в направлении портов и встречных порожних из-за неравномерности экспортно-импортных грузопотоков по направлениям, объему и структуре;
- наличием отставленных от движения поездов в адрес портов и ухудшением маневренности станций;
- учетом особенностей работы видов транспорта в различных погодных условиях («штормовые предупреждения»);
- наличием трех видов тяги на полигоне СКЖД: электротяги переменного и постоянного тока (электрифицированная сеть), а также тепловозной тяги;
- высоким и продолжающим расти уровнем износа парка локомотивов.

Полигоны в направлении припортовых железных дорог имеют совокупность технологических сложностей по продвижению поездо- и вагонопотоков отличных от транзитных железных дорог, которые в дальнейшем приводят к ухудшению КРІ структурных подразделений (припортовых железных дорог):

$$P = < P_{\text{инфр}}, P_{\text{в}}, P_{\text{пор}}, P_{\text{контр}}, P_{\text{внутр техн}}, P_{\text{пасс., мест}}, P_{\text{рес}}, P_{\text{огр эксп/имп}}, P_{\text{пог}}, P_{\text{етп, тех пр}} >$$

где $P_{\text{инфр}}$ – факторы, связанные с недостатком развития инфраструктуры, отсутствием резервов пропускной способности;

$P_{\text{в}}$ – связанные с волатильностью грузо- и поездопотоков;

$P_{\text{пор}}$ – связанные с дисбалансом порожнего и груженого вагонопотоков по направлениям продвижения экспортного и импортного грузопотоков;

$P_{\text{контр}}$ – связанные с нарушением технологии работы контрагентов (морской порт, операторы ПС);

$P_{\text{внутр техн}}$ – связанные с технологическими процессами и их нарушениями в местном сообщении и на дорогах погрузки, транзитных;

$P_{\text{пасс., мест}}$ – связанные с изменением объемов пассажирской и местной работы припортовой железной дороги, выполняемой на одной совмещенной инфраструктуре;

$P_{\text{рес}}$ – связанные с несоответствием ресурсов и их параметров (локомотивный парк, кадровое обеспечение и др.) объемам транспортной работы,

$P_{\text{огр эксп/имп}}$ – связанные с вводом временных или постоянных ограничений, санкций в отношении грузов, перерабатываемых в морских портах Российской Федерации;

$P_{\text{пог}}$ – связанные с разрывами в непрерывных технологических процессах в связи с влиянием климатических и погодных факторов;

$P_{\text{етп, тех пр}}$ – связанные с отсутствием скорректированных технологических форм взаимодействия, системы организации продвижения поездо- и вагонопотоков с учетом изменения объемов транспортной работы и в условиях ее развития (модернизации).

Как следствие, появляется *вторичная группа факторов*:

$P_{\text{отст}}$ – связанные с отставленными от движения поездами;

$P_{\text{маневр}}$ – связанные с ухудшением маневренности станций в результате превышения нормы рабочего парка;

$P_{\text{ср. дост.}}$ – связанные с невыполнением договорных обязательств по срокам доставки и др.

Эта группа факторов не окончательная, может дополняться, однако даже несколько из них способны привести к ухудшению работы и изменению режима эксплуатационной работы припортовых железных дорог.

Качество эксплуатационной работы на стыке видов транспорта влияет на работу не только припортовой дороги, но и всего транспортного направления. Мерами регулирования эксплуатационной обстановки в пунктах взаимодействия

различных видов транспорта являются конвенционные запреты на погрузку грузов и отставление поездов от движения. При этом в качестве полигона для отставления используются и участки перед пунктами взаимодействия различных видов транспорта, и смежные железные дороги [273,274]. Большое количество научных исследований по указанной проблеме позволяет выделить отдельные научно-методические задачи, связанные с анализом причин оставления от движения поездов [273, 275], однако в целом такие исследования направлены на нивелирование последствий, а не исключение таких случаев.

Недостаточное развитие инфраструктуры и несбалансированная работа взаимодействующих видов транспорта вызывают значительные простои подвижного состава, поэтому необходимо продолжить развитие транспортной инфраструктуры с учетом региональных особенностей, ликвидацию «узких» мест, строительство ВСМ для перераспределения транспортной работы. Применение новых форм взаимодействия железнодорожного и морского видов транспорта также является важнейшим направлением совершенствования работы национальной транспортной сети, повышения ее конкурентоспособности.

2.3 Современные концепции и технологии обеспечения взаимодействия видов транспорта и участников припортовых транспортно-технологических систем

Железные дороги и морские порты на протяжении многих лет ведут совместный поиск путей оптимизации перевозочного процесса, в частности, на основе широкого использования единых технологических процессов.

Первые *единые технологические процессы* (далее – ЕТП) взаимодействия железнодорожных станций и путей необщего пользования на железных дорогах страны появились до Великой Отечественной войны, а после 1947 г. они повсеместно вводились на сети железных дорог СССР [276, 277]. Начиная с 70–80-х гг. XX в. выделились следующие формы технологического взаимодействия железнодорожного и морского транспорта в смешанном сообщении:

1 Организация движения поездов и судов по специализированным взаимосогласованным расписаниям («ниткам» графика) с прибытием в пункт перевалки в одно и то же примерное время.

2 Согласованный подвод поездов и судов к пунктам перевалки с грузами определенного назначения по периодам суток.

3 Прибытие поездов и судов в пункты перевалки без согласования времени их прибытия. При этом на основе взаимной информации о подходе подвижного состава устанавливается наиболее целесообразный вариант перевалки.

Накопленный опыт внутриотраслевого непрерывного планирования, исследования инженеров Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта и специалистов Октябрьской железной дороги позволили в августе 1976 г. внедрить в Ленинградском транспортном узле непрерывный план-график работы транспортного узла (НПГРТУ). НПГРТУ предусматривал согласованную подачу судов, автомобилей и вагонов. По результатам этого эксперимента в 1978 г. ЦК КПСС принял решение «О трудовом содружестве коллективов моряков, железнодорожников, автомобилистов и речников в Ленинградском транспортном узле», одобрявшее внедрение новой, более прогрессивной формы работы морского, железнодорожного, речного и автомобильного транспорта по взаимоувязанным непрерывным планам-графикам на основе ЕТП [278].

Опыт Ленинградского транспортного узла получил широкое распространение во многих других узлах [195]. Дальнейшее совершенствование непрерывного планирования было связано с вовлечением крупнейших грузоотправителей. По методу непрерывного планирования к 1985 г. работали 130 железнодорожных станций, 48 морских, 80 речных портов и 330 транспортно-экспедиционных объединений. Для оптимизации перевалки предлагалось изменить маршрутизацию как прямого железнодорожного, так и смешанного сообщения. В то время широкое распространение получили так называемые технологические транспортные системы. Речь идет о внедрении контейнерных и пакетных перевозок, использовании железнодорожных паромов.

В конце 1980-х годов было принято решение о создании ЕТС на территории СССР, которая координировала бы развитие и взаимодействие всех видов транспорта [195]. ЕТС должна была включать и создание единой информационной системы взаимодействия всех видов транспорта. После распада Союза ССР работы в этой области были прекращены. В ряде зарубежных стран многие зарубежные морские и речные порты стали выполнять функции грузораспределительных логистических центров.

Современные отечественные концепции и технологии обеспечения взаимодействия видов транспорта и участников припортовых транспортно-технологических систем включают:

- развитие системы сбалансированного интегрированного управления внешнеторговыми грузопотоками на базе логистических и информационных технологий, формирование транспортных логистических цепей поставок внешнеторговых грузов;
- развитие «бесшовных» технологий на стыках «порт – станция» для транзитных грузов;
- участие ОАО «РЖД» в уставных капиталах портовых комплексов в ключевых регионах, разработка совместных бизнес-планов, создание совместных международных проектов [5];
- комплексное развитие портовой и припортовой инфраструктур, создание портовых «хабов» на ближних и дальних подходах к крупнейшим экспортоориентированным портам, развитие припортовых специализированных экономических зон;
- проведение сбалансированной тарифной политики при перевозке внешнеторговых грузов в качестве регулятора взаимодействия железных дорог и портов.

Использование логистических технологий при организации перевозок грузов является на сегодняшний день наиболее перспективным направлением оптимизации работы транспортных систем как в отечественной, так и в зарубежной практике. Анализ зарубежного опыта показывает, что развитие ПТТС

происходит с учетом создания необходимых резервов производственных мощностей. Так, отличительной чертой транспортной индустрии США является интермодализм. Путевое развитие транспортных узлов США позволяет практически без ограничений производить накопление груженых и порожних вагонов для обеспечения перевалки внешнеторговых грузов как по складскому, так и по прямому вариантам. Перегрузочные мощности портов, используемые лишь на 30 %, имеют значительные резервы для погашения колебаний размеров грузовых перевозок [279].

В Европе, с более короткими расстояниями железнодорожных перевозок, существует тесная конкуренция между морскими портами, имеющими общие зоны экономического тяготения. В порту Гамбурга в передаче вагонов от железных дорог порту и обратно участвуют многочисленные организации, которые должны обязательно являться пользователями информационно-управляющих систем. Прибывающие в порт груженые составы расформировываются на главной станции, откуда вагоны отправляются на районные станции с учетом документов на вагоны, переданных с сортировочной станции Машен, находящейся южнее Гамбурга, и заявок на вагоны от пунктов погрузки [279]. В порту и на прилегающих территориях имеется хорошо развитая инфраструктура складов, позволяющая накапливать грузы не на колесах, а в нормальном режиме хранения, отвечающем современным принципам транспортной и складской логистики. Имеется хорошо развитая диспетчерская служба, отслеживающая движение всех вагонов в направлении порта [280]. Подобное сочетание развитой инфраструктуры, диспетчеризации и делегирования всех функций перевозки уполномоченному экспедитору сводит вероятность «пробок» в портах практически к нулю.

Совершенствование взаимодействия в отечественных ПТТС идет по нескольким формам: технической, технологической, экономической, информационной, а также организационной и правовой [281–284] (Приложение 2, Раздел П2.10).

Для российских портов основными взаимодействующими видами транспорта являются автомобильный и железнодорожный (завоз грузов в порты осуществляется преимущественно железнодорожным транспортом). Морской порт является ключевым инфраструктурным объектом. Площадь современного морского порта делится на две основные части: водную (акваторию) и сухопутную (территорию). Так как основная часть грузов завозится в порт железнодорожным транспортом, то во многих портах имеются припортовые железнодорожные станции и железнодорожные пути. В состав портового железнодорожного узла могут входить узловая, припортовая и портовая сортировочные станции, районные сортировочные парки, подъездные и соединительные пути. Во многих случаях общая схема узла сильно упрощается: в ее составе остаются припортовая сортировочная станция и иногда районные сортировочные парки. Через припортовую сортировочную станцию проходят все вагоны, следующие в порт и из порта. Районные сортировочные парки устраивают в портах, имеющих несколько обособленных районов [281].

Задачи технологического взаимодействия железнодорожного и морского видов транспорта на данном этапе заключаются в организации маневрового обслуживания грузовых фронтов, обеспечении порожним подвижным составом, формировании очередности обработки транспортных средств, выборе варианта организации перевалочных работ. Технология взаимодействия операторов морских терминалов и станций примыкания разрабатывается на основе федеральных законов: 17-ФЗ «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации», 18-ФЗ «Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации», № 261-ФЗ «О морских портах в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (с изменениями на 16.12.2019) и подзаконных актов. На отечественных железных дорогах единая технология работы подразделений определяется *технологическими процессами*. Классификация технологических процессов в зависимости от области применения и решаемых задач приведена в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Классификация технологических процессов на сети железных дорог [285]

Вид		Область охвата
ЕСТП	Единый сетевой технологический процесс	Сеть железных дорог ОАО «РЖД»
ЕТПП	Единый технологический процесс полигона	Укрупненный полигон железных дорог
ЕКТП	Единый комплексный технологический процесс	ПТТС, железнодорожный узел
ЕТП	Единый технологический процесс	Станции и пути необщего пользования
ТП	Технологический процесс	Железнодорожная станция

Современный период также характеризуется большим опытом разработки технологических процессов взаимодействующих видов транспорта. В 1992 г. ОАО «Ленгипротранс» приступило к рассмотрению вопросов развития железнодорожных подходов к порту Усть-Луга в составе Генеральной схемы развития морских портов на берегу Финского залива Балтийского моря. На тот момент намечалось увеличение грузооборота порта Усть-Луга до 180 млн т, из которых 118 млн т планировалось доставлять по железной дороге. При этом инфраструктура станции Лужская и морского порта развивалась «блочным» методом, дополняясь взаимосвязанными комплексами «парк – терминал или несколько терминалов».

В 2005–2006 гг., под эгидой Российской академии транспорта, ПГУПС совместно с Центром организации движения поездов ОАО «НИИАС» была выполнена большая работа по созданию ЕКТП взаимодействия железнодорожных станций Автово и Новый Порт с ОАО «Морской порт Санкт-Петербург» [286]. Опыт разработки и внедрения ЕКТП работы Усть-Лужского транспортного узла показал значимость проекта такого масштаба на крупном полигоне сети [287]. Решение данной задачи дало толчок новому, еще более масштабному проекту – ЕКТП работы транспортного узла Новороссийск и портов Таманского полуострова (на прогнозный 2020 год). Приказом Минтранса России от 23.09.2009 № 169 порт Тамань был открыт для оказания услуг. Строительство порта вызывало ряд вопросов технического, технологического, экономического и экологического характера. Для обслуживания железнодорожным транспортом

сухогрузного порта Тамань и обеспечения пропуска планируемых объемов экспортных грузов потребовались как технические решения (реконструкция станции Вышестеблиевская, развитие станции Разъезд 9 км и др.), так и технологические [288,290]. Основной целью ЕКТП стало повышение надежности взаимодействия железнодорожного и морского транспорта, снижение эксплуатационных затрат за счет совершенствования технологии работы участков, технических и припортовых железнодорожных станций и железнодорожных путей необщего пользования.

В период развития станции Разъезд 9 км важнейшей задачей стала корректировка плана формирования поездов (ПФП), выполненная при участии специалистов Ростовского государственного университета путей сообщения [288] (рисунок 2.17).

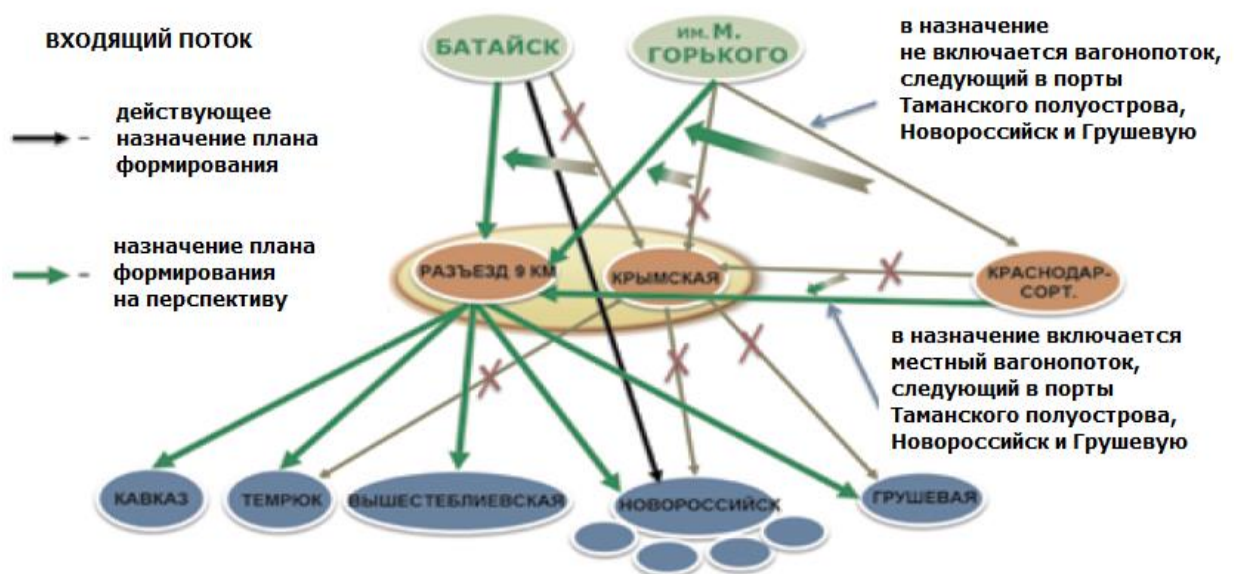


Рисунок 2.17 – Схема продвижения входящего вагонопотоков по плану формирования с учетом прогнозных мероприятий на 2020 г. на полигоне ЕКТП Новороссийского транспортного узла и портов Таманского полуострова [288,289].

Основными факторами, оказывающими влияние на изменение плана формирования поездов, являлись строительство обхода Краснодарского транспортного узла (Козырьки – Величковка), реконструкция станции Крымская

и строительство парка «Б» на станции Новороссийск. Станция Разъезд 9 км стала буферной (распределительной) станцией, путевое развитие которой используется в т.ч. как резервная емкость для обеспечения сглаживания неравномерности движения и очередности подвода грузовых поездов к морским портам.

С учетом увеличения объемов перевозок в направлении портов стали разрабатываться также технологии организации движения поездов на подходах к портам. Общий алгоритм разработки которых составлен автором в результате анализа таких технологий и представлен на рисунке 2.18.

В условиях интенсивных изменений в ПТТС важнейшей задачей является корректировка технико-технологической модели управления перевозочным процессом на полигоне в направлении портов, которая включает в себя достаточно много элементов, рисунок 2.19.

Таким образом, к существующей системе технологических процессов добавляется Технология организации движения поездов на подходах к портам N_i -го бассейна и Техничко-технологическая модель управления перевозочным процессом на полигоне в направлении морских портов. Данная модель должна быть корректируема для припортовых железных дорог в условиях волатильности грузо- и пассажиропотоков.

Приведем пример такой корректировки на примере СКЖД. Рассматривая СКЖД как систему, были проанализированы входные параметры, прежде всего здесь речь идет о «входящем» по стыкам поездо- и вагонопотоке. На СКЖД основной экспортный вагонопоток поступает по стыкам Сохрановка, Котельниково, Морозовская и Олейниково и следует в направлении крупных выгрузочных районов АЧБ.

На СКЖД имеются также регионы, в которых наблюдается концентрация междорожных грузопотоков и соответственно междорожный обмен поездопотоками в значительных размерах. Этот фактор также необходимо учитывать.

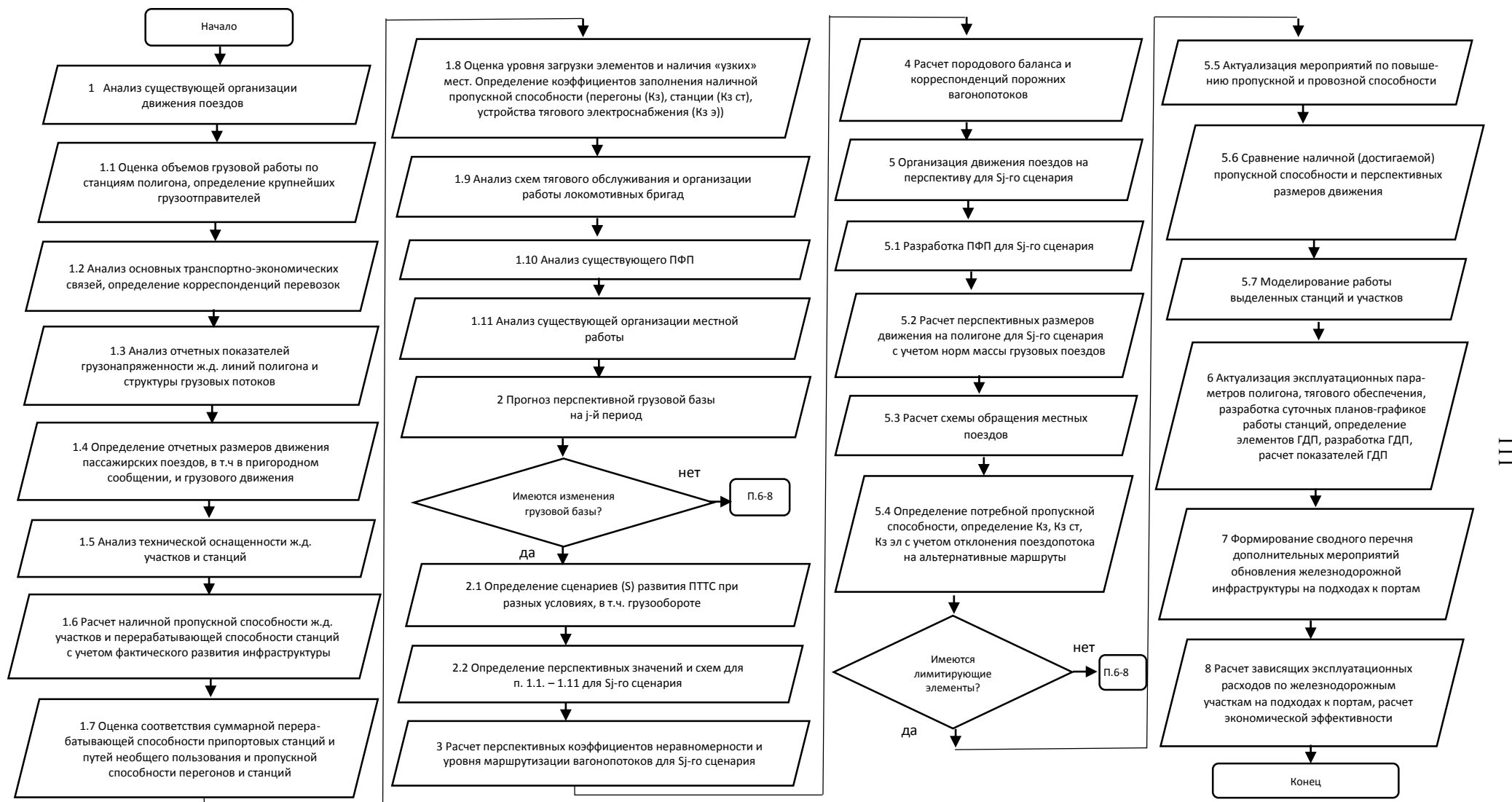


Рисунок 2.18 – Алгоритм разработки технологии организации движения поездов на подходах к портам N_i -го бассейна



Рисунок 2.19 – Элементы технико-технологической модели управления перевозочным процессом на полигоне в направлении портов АЧБ [218]

Далее необходимо проанализировать не только объемы поступления вагонов по стыкам, но и их распределение по таким параметрам, как доля маршрутизации в адрес конкретных припортовых станций, доля вагонопотока, поступающего в разборочных поездах. Доля маршрутизации в адрес припортовых станций различная (рисунок 2.20), а в целом для припортовых станций уровень маршрутизации составляет 79,11 %.

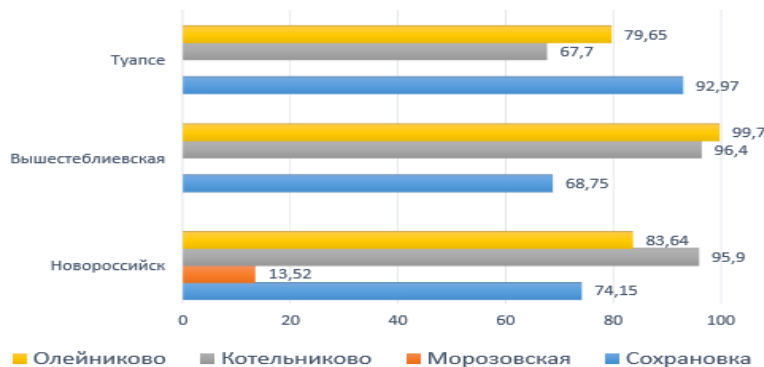


Рисунок 2.20 – Маршрутизация по стыкам СКЖД [218]

По рисунку 2.21 видно, что еще достаточно большой поток идет в разборочных поездах. По итогам анализа поступления маршрутов на станцию Вышестеблиевскую выявлено ежесуточное поступление 3,13 маршрута в среднем по стыку Сохрановка (таблица 2.8), 15,27 поездов по Котельниково, 2,8 поезда по Олейниково [218], и необходимо скорректировать пропуск всех таких поездов через стык Котельниково (в данном примере – 21,2 поезда в сутки).

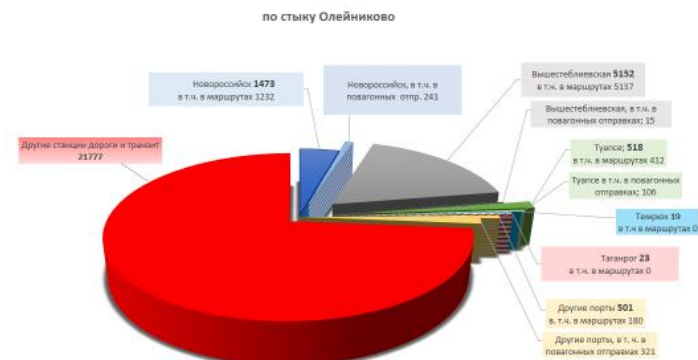
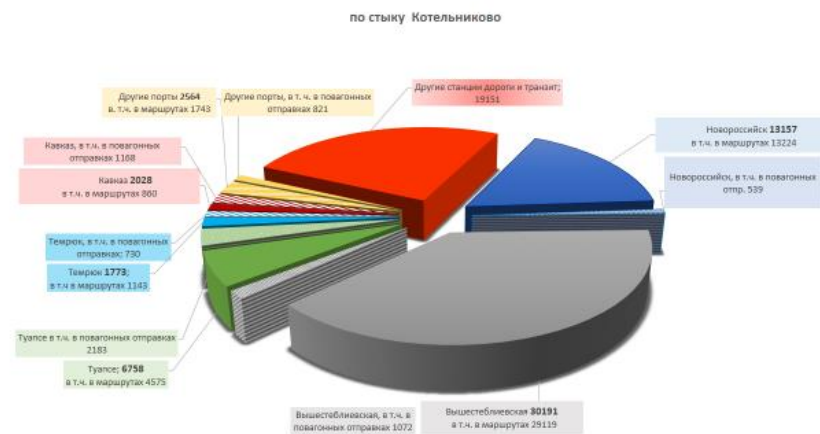
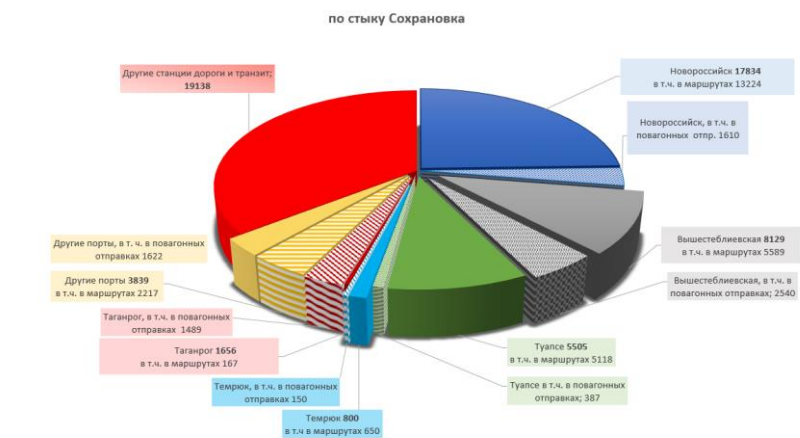


Рисунок 2.21 – Поступление повагонных и маршрутных отправок по стыкам на СКЖД в адрес припортовых станций

Таблица 2.8 – Вагонопоток по стыку Сохрановка (по данным АС РПФП)

Станции назначения	Всего	В т. ч. в маршрутах	% маршрутизации	Всего маршрутов, поездов	Маршрутов в среднем в сутки, поездов
Новороссийск	17 834	13 224	74,15	250	8,33
Вышестеблиевская	8129	5589	68,75	94	3,13
Туапсе	5505	5118	92,97	80	2,67
Темрюк	800	650	81,25	15	0,50
Кавказ	417	210	50,36	4	0,13
Грушевая	0	0	0	0	0
Ейск	1477	985	66,69	17	0,57
Азов	693	300	43,29	6	0,20
Заречная	943	662	70,20	12	0,40
Кизитеринка	309	60	19,42	2	0,007
Таганрог	1656	167	10,08	3	0,10
Всего	37 763	26 965	71,41	483	16,1

С учетом перспективного переключения основного грузопотока, следующего к портам АЧБ на направление станция им. М. Горького – станция Разъезд 9 км, на котором нет ни одной сортировочной станции, способной переработать этот вагонопоток, возникает потребность для изменения существующей логистической технологии подвода и переработки экспортных вагонопотоков, при которой основную работу по формированию поездов с экспортными грузами в перспективе должна взять на себя сетевая сортировочная станция им. М. Горького, с перераспределением сортировочной работы с другими вагонопотоками на сортировочные станции Приволжской, Юго-Восточной, Куйбышевской и Южно-Уральской железных дорог до ввода в эксплуатацию четной сортировочной системы станции им. М. Горького, и как целевая задача – исключение поступления разборочного потока по станции Котельниково в адрес припортовых станций СКЖД. Специализация плеч обслуживания локомотивных бригад на этом направлении должна строиться в зависимости от назначения грузовых поездов. Для обеспечения пропуска предъявляемого вагонопотока

имеется необходимость организации движения поездов на удлинённых плечах обслуживания локомотивных бригад. Высвободившуюся пропускную способность по станциям Сальск, Тихорецкая, станции Разъезд 9 км возможно использовать для пропуска и переработки остального вагонопотока, поступающего по стыку Котельниково назначением на остальные станции СКЖД. Управление *входными параметрами* для припортовых железных дорог позволит сбалансированно управлять работой железнодорожной ПТТС.

Управление работой железнодорожных узлов. В условиях изменения объемов внешнеторговых перевозок одним из основных требований технического перевооружения ПТТС является согласованное развитие железнодорожной инфраструктуры общего и необщего пользования. Большое количество запросов на разработку ЕТП в период 2020–2024 гг. (например, ЕТП работы железнодорожного пути необщего пользования ООО «ИПП» и станции примыкания Новороссийск СКЖД, ООО «НМТ» и станции примыкания Новороссийск парк «Нижний», «Терминальный комплекс по перегрузке зерновых, масличных культур и масла растительного (подсолнечного, тропического)», терминалы ООО «НУТЭП», АО «КСК») потребовало проведения имитационного моделирования работы железнодорожной станции Новороссийск и примыкающих терминалов в части анализа увеличения перерабатывающей способности железнодорожной инфраструктуры узла на перспективу.

Несмотря на то, что сценарии предусматривали вариативность развития припортовых железнодорожных станций, мало учитывался риск беспрепятственного пропуска дополнительного грузопотока по всему маршруту следования. Наглядно возможности инфраструктуры общего пользования по освоению прогнозного грузооборота на примере станции Новороссийск продемонстрированы на рисунке 2.22. Поэтому важна централизованная оценка соответствия заявленных клиентами объемов пропускным способностям с оценкой дополнительных доходов от перевозки грузов, инвестиций в развитие портовой и транспортной инфраструктуры.

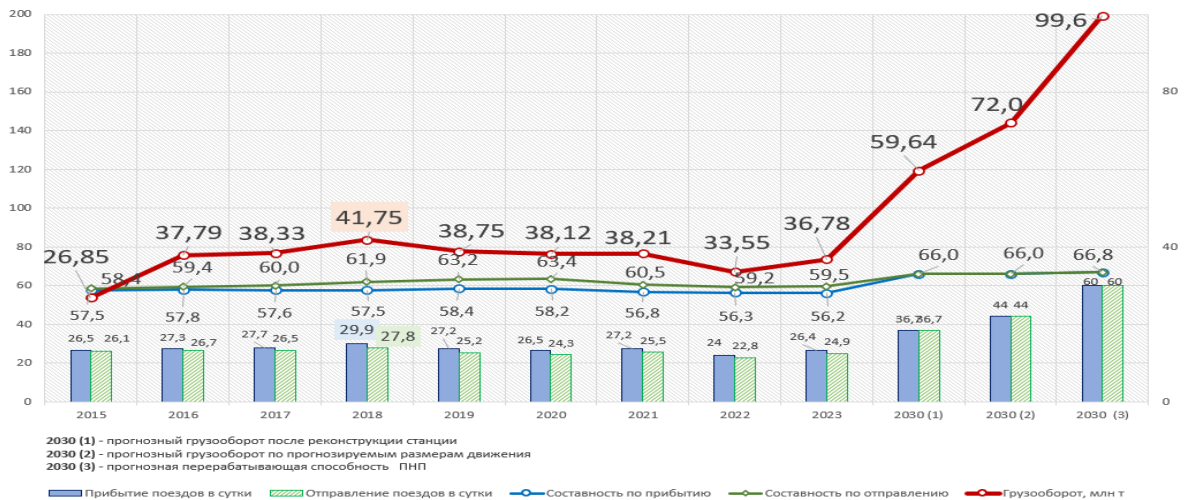


Рисунок 2.22 – Несоответствие перспективной перерабатывающей способности железнодорожных путей необщего пользования (ПНП) перерабатывающей способности станции Новороссийск и размерам грузового движения на подходах к станции к 2030 году [292]

Выработка мероприятий по повышению эффективности работы припортовых станций в условиях ограниченных пропускных способностей направлений с целью ускорения пропуска вагонопотоков по полигону – также важнейшая задача.

С этой целью выполнен анализ составности поступающего поездопотока на станцию Новороссийск по прибытии и отправлении за несколько лет, рассмотрена статистика по количеству отправленных поездов повышенной длины (ППД), изучен опыт организации ППД на других направлениях (Приложение 2, Раздел П2.11). Проведенный анализ показал, что отправление поездов повышенной длины с припортовых станций позволяет снизить рабочий парк, более эффективно использовать тяговый подвижной состав, особенно в условиях, когда операции по выгрузке значительно превышают операции по погрузке [293].

Таким образом, задачи совершенствования эксплуатационной работы припортовой железной дороги – это не только задачи местного, локального уровня, это корректировка технологических процессов по всему маршруту следования вагонопотоков. Важнейшая роль в обеспечении нормального режима

работы ПТТС отводится динамичному плану формирования поездов. Стратегические решения по изменению Технико-технологической модели управления перевозочным процессом припортовой железной дороги должны находить отражение в технологических и нормативных документах, в частности в графике движения и плане формирования поездов, технологических процессах, технических планах и бюджетных заданиях.

Другая задача, решаемая для железнодорожной ПТТС, – это учет транспортных издержек и интересов взаимодействующих агентов в условиях усложнения когнитивных связей между ними. Рассматривая логистические цепи организации перевозок в смешанном сообщении в современный период, уже недостаточно проводить анализ работы только взаимодействующих видов транспорта, – следует выделить также крупных агентов логистических цепей в смешанных перевозках, провести анализ состояния их технологий и бизнес-процессов, перспектив развития с макро- и микроэкономических позиций [294]. Мощности по генерации и продвижению материального потока и интересы агентов логистической цепи представлены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Анализ интересов и возможностей агентов логистических цепей организации перевозок в смешанном сообщении [56]

Агент логистической цепи	Влияние на мощность потока	Обеспечение регулярности потока	Ответственность за нарушения, их влияние на эффективность бизнеса
1	2	3	4
Грузоотправитель	Непосредственное, на этапе генерации потока, заявки на перевозку	Заявка на период перевозки	Нет ответственности, не влияет
Перевозчик	Регулирование в пределах срока доставки на полигоне сети	Согласование графика отгрузки на операционном уровне	Штрафы за просрочку сроков доставки по вине перевозчика, значительные потери
Оператор подвижного состава	В условиях профицита подвижного состава – нет, при дефиците – ограничения по наличному подвижному составу	Взаимодействие с перевозчиком по перевозке порожнего подвижного состава, подача на пути необщего пользования	В соответствии с договором

Продолжение таблицы 2.9

1	2	3	4
Морской порт	Терминальные мощности, путевая инфраструктура	В рамках сводных мощностей и их загрузки	Диверсифицирована на грузовладельца, в соответствии с договором
Стивидорная компания	Мощности по перевалке грузов	Регулярны без учета влияния технологических отказов и погодных условий	Штрафы за технологические отказы, при форс-мажорных условиях нет ответственности, влияние незначительное
Судовая компания	Водоизмещения судна (судов)	Обеспечивается договором	В соответствии с договором

Многообразие и усложнение задач организации эксплуатационной работы на припортовых железных дорогах, вызвано также изменением экономических условий и требованием сырьевых компаний по изменению логистики перевозочного процесса. Так очевидная тенденция сырьевых компаний – наращивание тенденции самостоятельно контролировать потоки своего сырья. Гибко управляя поставками, компании могут извлекать дополнительный доход.

Например, добывающие компании Австралии активно инвестируют в строительство портовых терминалов, железнодорожную инфраструктуру и в управление морским транспортом. Аналогичные процессы можно наблюдать и на российском рынке: например, ПАО «Новатэк» и ПАО «Сибур Холдинг» открыли собственные перегрузочные терминалы в порту Усть-Луга. Такая тенденция также способствовала развитию новых форм взаимодействия между железнодорожным транспортом и крупными клиентами, *диверсификации транспортных услуг*, в том числе для припортовых железных дорог [295–299]. Примером является проект «Коммерческая диспетчеризация», цель которого – формирование новой продуктовой корзины холдинга «РЖД» в части оказания услуг грузовладельцам. Например, на СКЖД разработана единая Технология работы подразделения коммерческой диспетчеризации, обеспечено функционирование отдельного коммерческого круга.

В проектах развития железных дорог особую роль в условиях рыночной экономики играет государственно-частное партнерство (ГЧП). Целью такого

соглашения является создание железнодорожных объектов или предоставление услуг с большей эффективностью и с меньшими издержками, чем это мог бы сделать каждый из участников соглашения, действуя самостоятельно. Одним из примеров ГЧП в развитии станционной и припортовой инфраструктуры на территории СКЖД стало строительство морского порта Тамань, включающего комплексное развитие станционных и припортовых инфраструктур и также требующего своевременного формирования нормативно-правовой базы таких взаимоотношений.

Усиление позиций на мировом транспортном рынке возможно лишь при условии интеграции смежных видов транспорта, многочисленных агентов логистических цепей едиными формами взаимодействия [300,301]. В условиях дефицита пропускных способностей железнодорожных подходов и изменения объемов перевозок появилась необходимость совершенствования технологических форм взаимодействия видов транспорта, управляемого подвода грузов в порты различными видами транспорта с учетом изменения объемов выгрузки, «полезности» подводимых номенклатур грузов, ситуации на выгрузочных фронтах, загруженности транспортной сети и развития организационно-технологической надежности ПТТС.

2.4 Направления развития организационно-технологической надежности припортовых транспортно-технологических систем в условиях волатильности грузо- и пассажиропотоков на железнодорожных направлениях

Растущие объемы грузо- и пассажироперевозок требуют поиска новых путей форсирования пропускных способностей при обязательном выполнении заданных параметров эксплуатационной работы смежных дорог в направлении портов. В приоритете – задачи организации вагонопотоков и ускорения пропуска поездопотоков в направлении портов, повышения участковой скорости и улучшения показателей использования тягового и другого подвижного состава.

Увеличение объемов перевозок при одновременном развитии инфраструктуры припортовых дорог, увеличении ремонтных работ потребовало анализа работы припортовых дорог (рисунок 2.23), который показал наличие рисков неосвоения плановых объемов перевозочной деятельности.



Рисунок 2.23 – Анализ работы припортовых дорог

Для оценки деятельности сбытового блока используются объемные показатели, к которым относится, например, выручка от оказания услуг в сфере грузовых перевозок (млн руб.), и качественные показатели [302] – количество и сумма предъявленных претензий, возникших в связи с осуществлением перевозок грузов. На дорогах определяется доля грузовых отправок, проследовавших по инфраструктуре дороги в установленный срок, анализируется доля отправок по инфраструктуре по типу отправок (груженые и порожние), оценивается выполнение нормативов проследования по полигону дороги. Например, на СКЖД за 12 месяцев 2022 г. по полигону дороги проследовало 772,8 тыс. груженых отправок, из них 55,2 тыс. отправок проследовали с нарушением норматива. При нормативе проследования по полигону дороги 6,6 суток выполнение составило 10,0 суток (+3,4 сут.). Помимо перечисленных видов анализа, также выполняется анализ по видам сообщения (рисунок 2.24).



Рисунок 2.24 – Анализ по видам сообщения (по СКЖД) [303,305]

Поэтому важнейшими задачами являются систематизация факторов, влияющих на нарушения обязательств ОАО «РЖД» как перевозчика, выделение технологических затруднений железнодорожного транспорта при организации перевозочной деятельности в ПТТС, определение факторов, не зависящих от перевозчика, для их учета и сокращения экономических потерь. Так, на обеспечение надежности доставки по проследованию с соблюдением установленного срока прямое влияние оказывает эксплуатационная обстановка по припортовой железной дороге в целом и такие факторы, как:

F_1 – увеличение приема поездов по междорожным стыкам;

F_2 – работа в условиях сверхнормативного содержания рабочего парка вагонов;

F_3 – рост «брошенных» поездов назначением на припортовые станции;

F_4 – невыполнение договорных обязательств отдельными грузополучателями ввиду сверхнормативного наличия груза и отсутствия емкостей в связи с неритмичным подходом флота, в том числе из-за неблагоприятных погодных условий;

F_5 – ограничения пропускных способностей участков дороги, связанные с капитальным ремонтом приемоотправочных путей, тоннелей и пр.;

F_6 – снижение эксплуатируемого парка локомотивов к норме по причине внеплановых видов ремонта, технических неисправностей локомотивов, а также увеличения перерабатывающих способностей отдельных станций;

F_7 – увеличение количества пассажирских поездов.

Распределение финансовых рисков от несвоевременной доставки грузов и порожних вагонов по железным дорогам показано на рисунке 2.25, где прослеживается увеличение рисков для припортовых дорог.

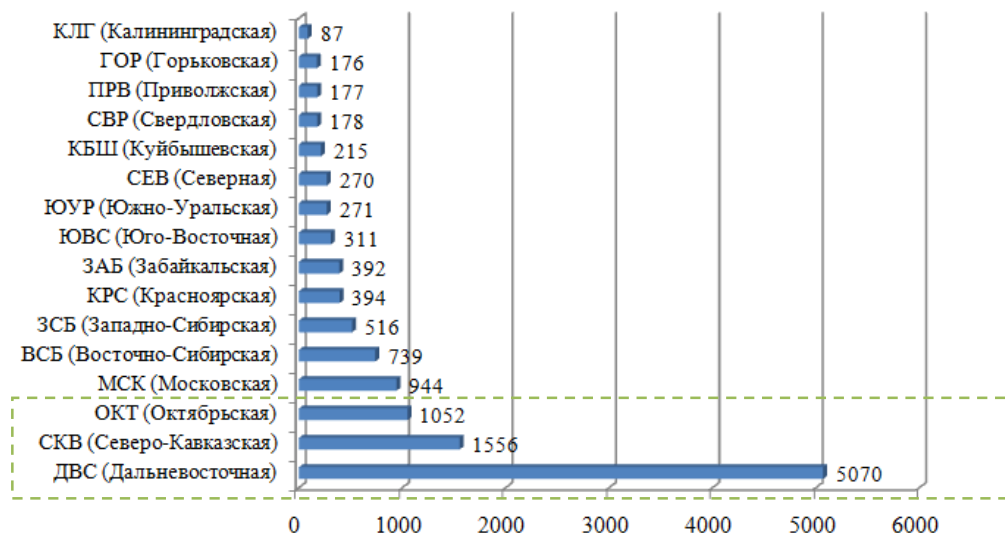


Рисунок 2.25 – Распределение финансовых рисков от несвоевременной доставки грузов и порожних вагонов по железным дорогам, млн руб. [5]

Наибольшие суммы финансового риска отмечены для Дальневосточной (41 % от общей суммы финансовых рисков), Северо-Кавказской (13 %), Октябрьской (9 %) железных дорог. Динамика предъявления претензионных требований также возрастает для припортовых железных дорог [303–305]. Исследования, проводимые ранее, в 2016–2018 гг., также показывали наличие высоких финансовых рисков для припортовых железных дорог (Приложение 2, Раздел П2.12).

Нормативно-правовое регулирование отношений между участниками перевозочного процесса направлено на соблюдение баланса интересов всех участников, формирование институциональной основы упорядочения и эффективного взаимодействия участников рынка. Однако коллизии и нарушения технологического регламента организации перевозочного процесса не в равной мере влияют на организацию бизнеса компании перевозчика и других участников перевозочного процесса. В условиях ограниченности резервов пропускных и

провозных способностей, волатильность грузопотоков заведомо предопределяет возможные нарушения (отклонения) технологии организации перевозочного процесса, которые прямо или опосредованно зависят от причин, вызвавших отклонения от директивных (плановых) параметров организации перевозок. В то же время правила перевозок предусматривают распределенную и равную ответственность участников за реализацию перевозочного процесса определенными правилами, нарушение которых «виновная» сторона компенсирует «пострадавшей» стороне в виде штрафов за возникающие «убытки» в установленных нормативно-правовыми документами объемах. При этом стремление участников перевозочного процесса минимизировать свои финансовые риски приводит к массовым разбирательствам даже в случаях, когда виновной стороной становится не перевозчик.

Рассмотрим основные технологические аспекты, влияющие на выполнение договорных обязательств железнодорожным транспортом (на примере юга России).

1 Приоритетность организации пассажирских и специальных перевозок. ОАО «РЖД», как компания-перевозчик с существенным объемом пассажирских перевозок на совмещенной с грузовыми перевозками инфраструктуре, выполняет важную социальную роль. Целью компании является приоритетное обеспечение государственных задач, далее – графиковая организация пассажирских перевозок как в дальнем, так и в пригородном сообщении. Высокая ответственность в организации пассажирских перевозок отражается в классификации категорий технологических нарушений.

Динамика роста числа ниток графика движения для пассажирских поездов на СКЖД приведена в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Динамика ниток пассажирских поездов СКЖД

Показатель	Год			
	2020	2021	2022	2023
Число ниток пассажирских поездов, ед.	122	127	133,5	130,5
В процентах к базовому 2020 году, %	100,00	104,10	109,43	106,97

ОАО «РЖД» вынуждено максимально задействовать свои пропускные и перевозочные способности в целях обеспечения перевозок пассажиров в направлении южных регионов России. Максимальное использование мощностей железных дорог в южном направлении осуществляется в последние три года как летом (период отпусков), так и в иные периоды года. Учитывая повышение уровня террористической опасности и закрытие 11 аэропортов Центральной России и юга, включая Симферополь, Анапу, Геленджик и Краснодар, для бесперебойного пассажирского сообщения ОАО «РЖД» сформировала дополнительные пассажирские поезда. За 8 месяцев 2023 года на станции Северо-Кавказской железной дороги со станций железных дорог Северо-Запада, Центральной России, Поволжья, Урала, Сибири, Дальнего Востока было направлено на 2366 поездов больше, чем за аналогичный период прошлого года, всего прибыло 19 351 поездов дальнего следования. Учитывая рост пассажирского движения, повышается риск несоблюдения расчетных сроков доставки грузов.

2 Приоритетность организации специальных перевозок. Для Южного региона увеличилась также нагрузка в связи с увеличением объемов перевозок специального назначения для удовлетворения особо важных государственных и оборонных нужд. Централизованное управление специальными железнодорожными перевозками осуществляется с учетом обеспечения безопасности движения, а также защиты государственной тайны. Использование «ниток» графика под указанные категории поездов приводит также к снижению резервов пропускной способности направлений, а также к росту потребности тяговых ресурсов и локомотивных бригад, расширению рабочего парка вагонов, увеличению продолжительности выполнения транспортно-технологических операций. Все воинские перевозки осуществляются в закрытом режиме. ОАО «РЖД» не может составлять акты общей формы и фиксировать задержку движения гражданских поездов. Возможность составления актов общей формы в подобных случаях не предусмотрена законодательством.

3 Увеличение размеров грузового движения. Также следует как фактор, повышающий грузонапряженность на полигоне СКЖД, отметить рост числа грузовых поездов при отставании темпов развития параметров инфраструктуры, пропускных и провозных способностей. Динамика роста числа ниток графика движения для грузовых поездов на СКЖД приведена в таблице 2.11. При этом в данных директивных планах не отражены дополнительные поезда, которые могут использоваться для обеспечения специальных перевозок.

Таблица 2.11 – Динамика ниток грузовых поездов по СКЖД

Показатель	Год				
	2020	2021	2022	2023	2024
Число ниток грузовых поездов, ед.	640	650	634	685	687
В процентах к базовому 2020 году, %	100,00	101,56	99,06	107,03	107,34

4 Повышение дальности перевозок. Железнодорожный транспорт, являясь массовым, магистральным видом, обеспечивает перевозки на большие расстояния. Наблюдается перманентный рост средней дальности грузовых перевозок за последние десятилетия – с 1995 г. на 886 км, что составляет прирост на 75,1 % к 2022 году (1067 км в 1995 г., 1321 км в 2005 г., 1735 км в 2015 г., 1868 км в 2022 г.). Эксплуатационная длина железнодорожного транспорта осталась за этот же период практически неизменной (около 87 тыс. км.) Этот факт в общем добавляет некую неопределенность и напряженность в технологию организации перевозочного процесса в силу того, что погруженный груз на маршруте следования может подвергаться разного рода внешним воздействиям, приводящим к увеличению сроков доставки. К таким факторам можно отнести ситуации, причисляемые также к «форс-мажорным» и «чрезвычайным».

Регулирование движения поездов при полигонных технологиях позволяет сегодня проводить нивелирование негативного фактора – роста средней дальности перевозок, однако дополнительных научных исследований по данному вопросу очень мало. Эксплуатационная длина Юго-Западного полигона железнодорожной сети сегодня превышает 23 тыс. км, что составляет более

четверти эксплуатационной длины сети. Средняя дальность отправок в адрес припортовых станций АЧБ составляет около 3–4 тыс. км, что по нормативам сроков доставки повагонных отправок может составить 15–18 суток. С увеличением дальности перевозок, согласно современным научным исследованиям, повышается вероятность риска нарушения сроков доставки, что не учитывают действующие нормативные документы.

5 Неравномерность погрузки в адрес грузополучателей и изменение графиков отгрузки грузоотправителями. Сложный, многоступенчатый по времени процесс планирования перевозок включает процесс сбора-накопления заявок на перевозки от грузоотправителей. Сформированные декларативные планы организации перевозочного процесса всецело зависят от точности и достоверности информации от клиентов-грузоотправителей. При этом отклонения от плановых графиков отгрузки могут происходить по разным причинам:

- внеплановые колебания графиков производственных процессов на предприятиях, изменения спроса на продукцию на рынках сбыта, корректировки графиков отгрузки грузополучателями и другие, не зависящие от планов перевозчика ОАО «РЖД» обстоятельства;

- внешние природно-климатические и макроэкономические факторы, повлиявшие на технологию организации производственных процессов, спрос на продукцию предприятия-грузополучателя;

- отсутствие ресурсов (мощностей) для обеспечения отгрузки груза, таких как подвижной состав и иные грузовые единицы, погрузочно-разгрузочные мощности, не зависящих от мощностей перевозчика ОАО «РЖД»;

- отсутствие синхронизации производственных процессов нефтеперерабатывающих заводов и портовых перевалочных баз.

Эти и иные факторы, сохраняя потенциал грузовой базы для перевозчика, формируют неравномерности в отгрузке грузов, «сгущенные» по времени отгрузки, которые приводят к предельным загрузкам мощностей перевозчика, обеспечивая технологическую базу для отказов и появления технологических

нарушений в работе ОАО «РЖД». При этом со стороны перевозчика проводится планомерная работа по созданию новых информационных инструментов, например системы ДМ ЗИ (Динамической модели загрузки инфраструктуры) для корректировки объемов погрузки, и примечательным является тот факт, что данные инструменты встраиваются в технологические процессы работы ПТТС.

6 Нарушение технологии работы контрагентами. В технологии организации перевозочного процесса на железнодорожном транспорте задействованы и прочие компании. К основным контрагентам организации перевозок относятся операторские компании, предоставляющие подвижной состав. К причинам, нарушающим декларативные планы организации перевозок ОАО «РЖД» и зависящим от деятельности операторских компаний, можно отнести следующие: нарушение сроков предоставления подвижного состава под погрузку, как правило, в условиях дефицита подвижного состава; увеличение сроков переадресовки подвижного состава после выгрузки, как правило, в условиях профицита подвижного состава; завышение нормы рабочего парка на отдельных станциях и участках сети, как правило, на грузонапряженных участках, которое приводит к затруднениям в организации перевозочной работы, к увеличению срока оборота вагона; технические отказы подвижного состава, приводящие к увеличению числа технологических операций и увеличению сроков доставки грузов; ожидание локомотива, не принадлежащего перевозчику.

7 Нарушение технологии работы подразделениями ОАО «РЖД». Факторами, приводящими к увеличению сроков доставки грузов, относимыми к нарушениям технологии организации перевозочного процесса со стороны ОАО «РЖД», относятся технические отказы объектов железнодорожного транспорта, систематизированные по группам (Приложение 2, Раздел П2.13), выполнение внеплановых аварийно-восстановительных работ на объектах железнодорожного транспорта, приводящее к остановке движения или нарушению графиков движения, ненадлежащее содержание локомотивного парка и прочие нарушения.

8 Увеличение объема санкций и их влияние на транспортную работу припортовой дороги. ОАО «РЖД» осуществляет свои функции в рамках

беспрецедентного санкционного давления, на пределе своих производственных мощностей и пропускных способностей в условиях постоянного роста объема перевозок, перестраивая транспортное производство в связи с введенным торговым эмбарго на поставку ряда комплектующих. В условиях активных геополитических и макроэкономических изменений перестройка транспорта, транспортно-логистических потоков – достаточно сложная работа, сопряженная с нарушениями регламентов взаимодействия между участниками перевозочного процесса. В числе факторов, влияющих на нарушения сроков доставки грузов, можно отметить введение санкций на внешнеэкономическом направлении деятельности предприятий, которые требуют перестройки транспортно-логистических цепей поставок, приводят к отставлению от движения грузовых поездов или их переадресации.

9 Нарушения технологии, связанные с обстоятельствами непреодолимой силы. Отдельную группу составляют задержки поездов вследствие возникновения обстоятельств непреодолимой силы, военных действий, ЧС, а также задержки, связанные с неблагоприятными погодными и климатическими условиями, что нарушает нормальный режим припортовых станций. Следует также отметить задержки, связанные с ликвидацией последствий чрезвычайных ситуаций, угрозами и актами вмешательства в обеспечение транспортной безопасности и другими, остановками движения при ограничениях в работе крупных контрагентов в целях обеспечения безопасности, ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на их территориях. Все перечисленные факторы, влияющие на сроки доставки грузов, особо часто проявляются в приграничных территориях с особым режимом работы, при организации перевозок в смешанном железнодорожно-морском сообщении. Для СКЖД дополнительные затруднения в этой области представляет организация железнодорожного сообщения с Крымской железной дорогой.

Сводная диаграмма факторов, влияющих на сроки доставки грузов, приведена на рисунке 2.26.



Рисунок 2.26 – Причины нарушения сроков доставки грузов на железнодорожном транспорте и их зависимость от участников перевозочного процесса на железнодорожном транспорте (диаграмма Исикавы)

Таким образом, факторы, приводящие к нарушениям сроков доставки, могут быть условно разделены на три группы:

- 1) внешние факторы, которые не могут быть урегулированы деятельностью перевозчика ОАО «РЖД»;
- 2) факторы, которые полностью зависят от организации транспортно-технологических процессов ОАО «РЖД» и влияют на перевозочный процесс;
- 3) факторы, которые зависят технологии взаимодействия участников перевозочного процесса (контрагентов ОАО «РЖД»).

Внутренние факторы, влияющие на организацию перевозочного процесса и сроки доставки грузов. Рассматривая перечень факторов, влияющих на нарушение сроков доставки грузов, зависящих от ОАО «РЖД», необходимо отметить следующее:

1 Текущее и сменно-суточное планирование перевозок на железнодорожном транспорте максимально привязано к ресурсам и возможностям компании по обеспечению провозных и пропускных способностей. С другой стороны, бизнес-планирование перевозочной деятельности производится для достижения максимального финансового результата, т. е. с расчетом на максимальные возможности инфраструктуры. В то же время высокая волатильность грузопотоков приводит к возникновению затруднений в организации перевозок.

К существенным внутренним факторам, влияющим на организацию перевозочного процесса и нарушению сроков доставки грузов, относятся:

- выполнение сверхнормативных работ по поддержанию инфраструктуры в нормативном состоянии для обеспечения безопасной и безотказной транспортной работы вследствие внешних воздействий на состояние инфраструктуры (природно-климатические факторы, нарушения работы в результате возникновения аварий и катастроф техногенного характера и др.);
- отказы объектов инфраструктуры и технологические нарушения в результате несоблюдения технологических регламентов взаимодействия дирекций и структурных подразделений компании;

– отказы вследствие износа основных фондов и невыполнения регламентных работ по текущему содержанию инфраструктуры из-за высокой востребованности мощностей железнодорожного транспорта для удовлетворения спроса экономики и населения в перевозках.

При разработке мероприятий по усилению пропускной способности железнодорожных участков и направлений нужно учитывать, что управление железнодорожной инфраструктурой и перевозочным процессом на современном этапе носит характер «управление по состоянию» по ряду причин:

– используемая инфраструктура и резервы на транспорте не могут быть технически усилены за короткий промежуток времени в силу их высокой капиталоемкости и, естественно, отнесения их стоимости на себестоимость транспортных услуг, которую должны снижать;

– сезонные и эпизодически проявляющиеся внешние факторы вносят достаточные возмущения в систему планирования и нормирования перевозочного процесса, что предопределяет высокую значимость операционных управленческих решений;

– системообразующий характер железнодорожного транспорта для отечественной транспортной системы и экономики привел сегодня к высокой загрузке основных направлений, а колебания объемов перевозок на этих участках приводят к существенным потерям компании ОАО «РЖД» в виде эксплуатационных расходов, претензионных выплат за просрочки в доставке порожних и грузовых отправок;

– существенные изменения в структуре грузопотоков (объем и направления) приводят к формированию грузонапряженных участков, требующих высоких компетенций операционного менеджмента (диспетчерского персонала) компании по управлению и регулированию перевозочным процессом.

Эти и другие факторы повышают зависимость эффективности управления от компетенций диспетчерского персонала и наличия систем поддержки принятия решений. Современные концепции перехода к цифровым платформам управления предусматривают создание интеллектуальных помощников диспетчерского

аппарата, полностью или частично замещающих определенные функции или операции. В этой области находятся технологии формирования «цифровых двойников» объектов железнодорожной инфраструктуры и нейросетевых алгоритмов управления перевозочным процессом [306].

Влияние внешних факторов на организацию перевозочного процесса. Рассматривая влияние внешних факторов, следует отметить, что каждая сторона (агент логистической цепи) стремится к максимальной защите своих интересов независимо от того, каковы причины нарушения технологии перевозочного процесса. При этом ОАО «РЖД», являясь естественной монополией, публичным перевозчиком и практически «государственной компанией», преследуя цель полного и качественного обеспечения потребностей экономики и населения в железнодорожных перевозках, принимает на себя большинство организационно-экономических и финансовых рисков в устойчивом функционировании экономики и общества. Социальные, экономические и мобилизационные задачи, стоящие перед железнодорожным транспортом, формируют нормативное пространство в транспортной системе, в котором системообразующим фактором является предоставление доступного железнодорожного транспорта для страны, для ее развития. Нарушения сроков доставки грузов и подлежащие к выплате штрафы со стороны компании требуют в современных условиях активной работы по правовой поддержке компании на уровне межкорпоративного взаимодействия с контрагентами и государственном уровне.

В противном случае компании ОАО «РЖД» необходимы структурные изменения организации работы на таких участках, включающие компетенции персонала, которые будут формировать доказательную базу причин нарушения сроков доставки грузов и предоставлять эти данные (информацию) для защиты интересов компании. Нарушения технологии перевозок в связи с отставлением от движения поездов в силу событий чрезвычайного характера приводят к дополнительным расходам компании, увеличивая себестоимость перевозок.

Факторы, влияющие на нарушение сроков доставки грузов и не зависящие от деятельности ОАО «РЖД». 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. Эти факторы, по сути, формируют среду функционирования компании, определяя требования гибкости и адаптивности железнодорожного транспорта в организации операционной деятельности. При большой стохастичности логистических цепей отставление от движения грузовых поездов требует дополнительного путевого развития станций для отстоя таких поездов. Число таких грузовых поездов на припортовых железных дорогах выше, чем на остальных (рисунок 2.27). Временный отказ от продвижения грузовых поездов, независимо от причин такого решения, приводит к росту эксплуатационных расходов компании при фактически неизменном уровне доходов от перевозок. Этот факт, признаваемый в компании как один из негативных в организации перевозочного процесса, находится в фокусе внимания менеджмента компании ОАО «РЖД» и для припортовых железных дорог является проблемным вопросом.

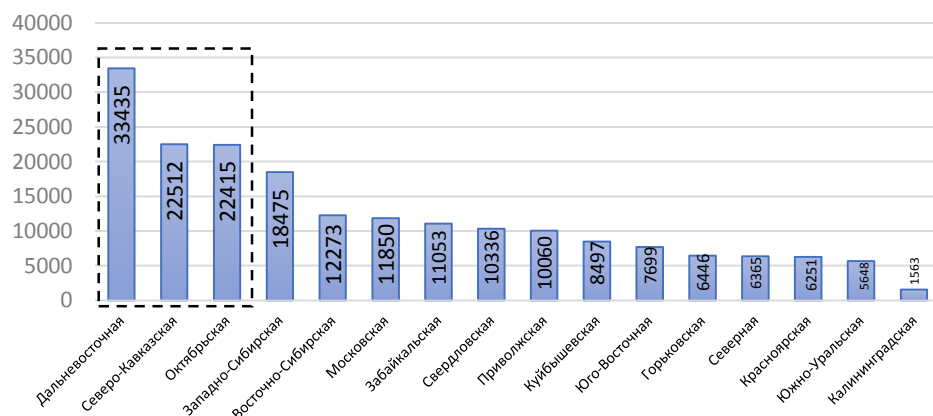


Рисунок 2.27 – Распределение отставленных от движения поездов по дорогам назначения на всей сети ОАО «РЖД» в 2022 г. [307]

В то же время собранная в ходе исследования доказательная база подтверждает наличие большой группы внешних причин появления отставленных от движения поездов и нарушения сроков доставки, что не позволяет полноценно управлять указанными негативными факторами при организации перевозок.

Особенно актуализирована эта проблема на СКЖД в связи с появлением за последние три года нового ряда факторов, представленных в данной работе и влияющих на организацию перевозок.

Подводя итоги, сформируем задачи развития железнодорожного транспорта в организации транспортного производства ПТТС:

1) научно-технологические (в части транспортного производства железнодорожного транспорта, в т.ч. рассмотренные в данной главе):

- определение зон напряженности в организации перевозочной работы ПТТС на основе систематизации причинно-следственных связей нарушений сроков доставки грузов, зависящих от ОТУ и ОТН работы железнодорожного транспорта, внешних и внутренних возмущающих воздействий на технологию перевозок. Современные технологии операционного менеджмента предусматривают не только управление внешними рисками, но и упреждающие решения на основе результатов использования прогностических моделей оценки состояния внешней среды [308];

- соблюдение принципа «бесшовности» на разных этапах транспортного производства в ПТТС. Организация и управление перевозками на железнодорожном транспорте должны происходить «бесшовно», безотносительно границ железных дорог и зон ответственности дирекций и структурных подразделений, на базе информационных технологий;

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

2) научно-методологические. Развитие методологии организации транспортного производства в ПТТС должно основываться на соблюдении ряда требований:

- учет особенностей припортовых регионов в части специфики выполняемой транспортной работы взаимодействующими видами транспорта с целью качественного управления резервами транспортных мощностей;

- разработка современных технологических форм взаимодействия видов транспорта и участников перевозок, развития бизнес-процессов организации перевозок в железнодорожно-морском сообщении в условиях диверсификации транспортных услуг, волатильности перевозок и гетерогенности субъектов транспортно-логистического рынка;
- повышение ОТН взаимодействующих видов транспорта (железнодорожного и морского), в том числе за счет интеллектуализации управляющих воздействий и перехода на цифровое производство;
- совершенствование методов оценки резервов пропускной и перерабатывающей способности железнодорожных станций и перегонов железнодорожной ПТТС;
- учет сценарного развития ПТТС в условиях интенсивных экономических, геополитических изменений;
- развитие моделей производственных процессов припортовых железных дорог и их структурных элементов в условиях цифровой трансформации субъектов ПТТС.

2.5 Выводы по второй главе

ПТТС имеют разнообразные производственные характеристики, задачи развития транспортно-логистической инфраструктуры. Изменение объемов перевозок в железнодорожно-морском сообщении и ухудшение эксплуатационных показателей работы припортовых железных дорог потребовало выявления объективных причин появления проблем в организации транспортного производства ПТТС. Так, проведенный анализ показал, что усложнение и увеличение транспортно-логистических цепей (средней дальности перевозок) в условиях санкций ставит задачи по организации поездопотоков на припортовых железных дорогах с максимальной загрузкой пропускных способностей.

В этих условиях даже незначительные внешние или внутренние воздействия на технологический процесс приводят к нарушению сроков доставки грузов в

адрес припортовых железных дорог. Причинно-следственный анализ факторов, приводящих к нарушениям сроков доставки грузов в направлении припортовых железных дорог, позволил распределить их на три группы: зависящие от деятельности ОАО «РЖД» и его филиалов – железных дорог, включая СКЖД; зависящие от технологии организации взаимодействия ОАО «РЖД» и его контрагентов; факторы, не зависящие от ОАО «РЖД», но приводящие не только к просрочке сроков доставки грузов, но и к другим существенным нарушениям. Такой методический подход позволил обеспечить юридически необходимый вопрос распределения потерь на стыках взаимодействия видов транспорта статистическими и аналитическими материалами и снизить претензионные выплаты ОАО «РЖД».

В условиях отсутствия резервов пропускных способностей и волатильности перевозок необходим анализ методов усиления пропускной и перерабатывающей способности железнодорожной инфраструктуры на подходах к морским портам, в том числе с учетом совершенствования форм взаимодействия видов транспорта и участников перевозок. В условиях, когда ОАО «РЖД» вынуждено максимально задействовать свои пропускные и перевозочные способности в целях обеспечения грузопотоков в направлении морских портов, а также пассажиропотоков, специальных перевозок (например, как в Южном регионе) необходимо развитие передовых технологий с их быстрой адаптацией в производственные процессы. 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.

3 МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ПРИПОРТОВЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ВИДОМ ТРАНСПОРТА

3.1 Методология применения положений организационно-технологической надежности в транспортном производстве припортовых транспортно-технологических систем

Организация транспортного производства в ПТТС в современных условиях существенно изменилась. Во-первых, сегодня ее отличают свойственные рыночной экономике высокая динамика экономических связей, многоагентность и повышенное внимание к качеству, гибкости и вариативности транспортного обеспечения. Во-вторых, усложнено управление оборотом порожних вагонов многих частных собственников вследствие наличия ряда индивидуальных ограничений. В-третьих, внимание к потерям на стыках «транспорт – промышленное предприятие», «железнодорожный транспорт – морской порт» ставит задачу рационального взаимодействия разных видов транспорта, в том числе за счет цифровизации и интеллектуализации процессов управления. В-четвертых, отмечаемая интенсификация использования и развития транспортной инфраструктуры требует определения стратегий развития ПТТС, оценки резервов пропускных способностей, надежности элементов транспортной системы [308].

Транспортная система любого иерархического уровня, включающая различные виды транспорта – это сложная макросистема, характеризующаяся наличием одновременного функционирования различных по природе элементов [309]:

– относительно детерминированных видов транспорта, функционирующих в то же время по варьируемым технологическим схемам в условиях волатильности грузо- и пассажиропотоков;

- узлов (морские порты, «сухие» порты, терминалы, погрузочные районы, районы местной работы), осуществляющих вбросы нагрузки на транспортную систему;

- источников притяжения – распределительных станций, функционирующих как макросистемы с переменной емкостью и в динамическом режиме.

Такие системы нуждаются не в директивном и разомкнутом как по состоянию, так и по времени управлению, а в согласованном режиме интеллектуального управления, при котором будут учитываться не только интересы сторон транспортного процесса, но и общая устойчивость системы в целом.

Сложные объекты, к которым относятся ПТТС, имеют определенную специфику:

- нецелесообразность и нереальность применения одной модели изучения аспектов функционирования ПТТС;
- необходимость комплексного учета факторов, относящихся к различным подсистемам ПТТС;
- потребность определения единой стратегии развития и поведения ПТТС.

Исследование показало, что процесс возникновения ситуаций перехода в тяжелый и утяжеленный режимы функционирования железнодорожной ПТТС обусловлен периодическим усилением действия сложнопрогнозируемых факторов, отражающих изменения внешней среды, и возникновения новых рисков, до этого не исследуемых. К таким рискам относятся риски, вызванные изменением геополитической ситуации в мире. Вследствие этого происходит формирование рисков второй генерации, проявляющихся, например, в дефиците подвижного состава в связи с перераспределением грузопотоков по транспортным коридорам, и, соответственно, требуется принятие оперативных управленческих решений для их минимизации, базирующихся на анализе существенного объема актуального информационного массива данных [272,310]. В связи с этим повышается необходимость оптимизации транспортного

производства на основе цифровой трансформации транспортного комплекса и его элементов. Немаловажное значение в этой сложной работе имеют надежность технических средств, состояние транспортной инфраструктуры, провозные и пропускные мощности, развитие новых методов исследования процессов и операций в ПТТС. Риск присутствует и при осуществлении всех стадий механизма поставок продукции и обусловлен вероятностным характером транспортного процесса.

В исследовании ПТТС используются различные научные теории и методы: теория надежности технических систем, теория вероятности, теория организационно-технологической надежности, теория графов, теория расписания, теория случайных процессов, теория исследования операций, теория принятия решений, теория активных систем, теория устойчивости динамических систем, теория систем автоматического управления, различные методы моделирования транспортных систем, прогнозирования, технико-экономического сопоставления и другие, в т. ч. рассмотренные в первой главе настоящего исследования.

В условиях недостаточных резервов пропускной способности в направлении морских портов, возникновения рисков неосвоения объемов перевозок в направлении морских портов, увеличения форм и структуры ОТУ, трендов интеллектуализации процессов управления *теория организационно-технологической надежности (ОТН)* может стать важным инструментом исследования ПТТС.

Развитие любой теории идет от простого к сложному, от частного к общему, и теория надежности в этом ряду не исключение. Вначале, и достаточно системно, была развита и применена на практике теория надежности отдельных элементов и устройств сложного объекта (процесса). В этом контексте надежность – «наука, изучающая закономерности распределения отказов технических устройств и конструкций, причины и модели их возникновения» [311].

Затем исследования перешли в новую плоскость, захватывая вопросы надежности алгоритмов (технологий) и организации процессов производства и управления. Возникла теория организационно-технологической надежности

(ОТН) [312–314]. Первоначально теория касалась только строительных объектов и отражала соответствующую специфику. Вместе с тем идеи ОТН оказались очень плодотворными и нашли свое применение в других сферах народного хозяйства (агропромышленный комплекс, оценка технического состояния линейной части магистральных нефтепроводов, транспортное производство и т. д.).

Не остался в стороне и железнодорожный транспорт (ЖДТ). Вопросы совершенствования ОТН на ЖДТ рассматривались, например, В. Д. Верескуном (надежность и эффективность функционирования производственных объектов) [315], Е. Г. Шепиловой (разработка концепции, моделей, методов и механизмов организации транспортного образования) [316].

Развитие классической *теории надежности (технических устройств)* происходит по ряду направлений прикладных научных исследований, среди которых технические отказы оборудования, статистическая теория прочности, техническая диагностика, инженерная психология, исследование операций, планирование эксперимента и др.

Рассмотрим основные элементы предметной области и математический аппарат исследований.

Под *надежностью технических устройств* понимается свойство данного объекта сохранять во времени и в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции в заданных режимах, условиях применения, стратегиях технического обслуживания, хранения и транспортирования. Надежность является комплексным свойством, определяемым ремонтпригодностью и сохраняемостью, безотказностью, долговечностью, а также сочетанием этих свойств [317].

В классической теории надежности наибольшей информативностью обладает функция распределения наработки устройства до отказа $F(t)$, которая определяет вероятность P того, что время работы изделия t не превышает некоторого значения t_i , т. е. попадает на временной шкале на участок от $-\infty$ до t_i :

$$F(t) = P(t \leq t_i). \quad (3.1)$$

Обозначая функцию $F'(t)$ через $f(t)$, можно записать вероятность безотказной работы:

$$P(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt; \quad (3.2)$$

среднюю наработку до отказа (математическое ожидание наработки до отказа):

$$P(t) = \int_t^{\infty} tf(t)dt. \quad (3.3)$$

Формулы (3.1)–(3.3) являются типичными для классической теории надежности, а плотность распределения $f(t)$ определяется статистически по результатам наблюдений.

Таким образом, инструментами классической теории надежности служат теория вероятностей и случайных процессов, математическая статистика.

Этот инструментарий, переходя от устройства на процессы и системы устройств, уже расширяется теорией массового обслуживания, математической логикой, теорией графов, теорией оптимизации. Задача определения плотности распределения $f(t)$ теперь выходит за рамки статистических методов, и часто приходится пользоваться логическим определением вероятности, отражающим опыт и интуицию специалиста-эксперта. Эти инструменты соответственно переводят нас к ОТН и необходимости ее развития.

Концепция ОТН была предложена в 1971–1974 гг. д.т.н., проф. А. А. Гусаковым, в дальнейшем она была расширена разработками по общей теории функциональных систем П. К. Анохина и теорией моделирования сложных систем Н. П. Бусленко.

При определении и систематизации терминологии под ОТН первоначально понимали способность организационных, технологических, а также проектных и строительных решений обеспечивать достижение заданного результата в условиях случайных возмущений, прежде всего присущих сложным вероятностным системам, например, в строительстве.

В последующем термин был скорректирован. Под *организационно-технологической надежностью (ОТН)* понимается способность организационно-технологической системы быть устойчивой к внешним и внутренним воздействиям и, в случае изменения своих свойств, не выходить из зоны организационно-технологической безопасности, определяемой установленными нормативами и требованиями.

Общепризнано понимать, что:

$ОТН = \text{организационная надежность (ОН)} + \text{технологическая надежность (ТН)}.$

Символически это может быть записано следующим образом:

$$ОТН = ОН \vee ТН. \quad (3.4)$$

Традиционно в качестве меры оценки ОТН применяют коэффициент готовности объекта исследования [318]:

$$k = T / (T + \sum t_{от i}), \quad (3.5)$$

где T – время безотказной работы объекта,

$t_{от i}$ – время отказа i -го элемента объекта.

Развивая теорию ОТН, М. Ю. Квинт [314], вводит понятие *организационно-экономической надежности (ОЭН)*, как составной части ОТН. Под ОЭН автор понимает способность организационно-экономической системы быть устойчивой против внешних воздействий и, в случае изменения своих свойств, не выходить из зоны организационно-экономической безопасности. Организационно-экономическая надежность в этом случае характеризуется мерой отклонения фактических данных от плановых. Переходя к безразмерным величинам, вычисляя долю отклонения в плановом показателе, получим численную, вероятностно-подобную меру ОТН:

$$k = (Q_p + Q_f) / Q_p, \quad (3.6)$$

где Q_p, Q_f – некоторые экономические показатели (затраты, рентабельность и т. д.).

Теоретико-методологические положения концепции управления и системного анализа ОТН производственных процессов изложены в работе [311], автор которой предлагает направления разработки аппаратно-программных комплексов, организационных структур, организационно-технологических аспектов менеджмента и эффективности функционирования производственных объектов железнодорожного транспорта в условиях ОТН.

Известно, что надежность функционирования сложных систем зависит от многочисленных параметров и условий. Сложные системы 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 имеет различную трактовку, пользуется разнообразным инструментарием для своей оценки [318,319]. И если в области исследования надежности технических систем имеется упорядоченная терминология, определенная национальными стандартами, то область изучения надежности в управлении сложными транспортными системами – молодая отрасль науки.

Рассмотрим виды надежности применительно к исследованию транспортных систем.

Функциональная надежность – этот вид надежности применительно к железнодорожному транспорту исследован в работе Е. Н. Тимухиной [320,325]. В ее исследованиях на основе анализа работы объектов железнодорожного транспорта (железнодорожных станций) сформированы задачи повышения функциональной надежности при технологических сбоях. Отмечено, что «функциональную надежность характеризуют вероятностью выполнения некоторой функции $f = P(f)$ при обеспечении заданных технологических параметров».

Применительно к железнодорожному транспорту как сложной транспортной системе выделяют разные уровни оценки надежности: элементарную функцию элемента, технологическую операцию, процесс, функцию системы. При этом надежность осуществления основной функции лишь

опосредованно зависит от надежности работы элементов транспортной системы. Важнейшая задача повышения функциональной надежности – создание условий адаптации системы для обеспечения гибкого управления с динамическими резервами [320]. Иными словами, повышение функциональной надежности возможно за счет адаптации в системе. Выход из строя того или иного устройства приводит к технологическому ущербу, функциональные потери от которого будут зависеть от увеличения величины задержек, числа вариантов выполнения операций. Элементы с наибольшей загруженностью традиционно относятся к элементам с большей функциональной значимостью.

Определить функциональную надежность по элементарным формулам невозможно по причине сильной технологической и структурной связности транспортной системы. Функциональную значимость элементов можно определить посредством моделирования, что позволит оценить и величину технологических потерь при выходе определенных элементов из строя [321]. Нужно отметить, что приведенный в работе [322] пример актуализирует необходимость оценки эксплуатационного режима работы транспортной системы: «В нормальных условиях станция “Е” работает на пределе перерабатывающей способности вагонопотока. Загрузка элементов (стрелочных переводов, путей) достаточно высока. Именно такие транспортные объекты наиболее функционально чувствительны к технологическим сбоям, особенно при сходах подвижного состава, что обусловлено значительным износом устройств инфраструктуры и большим объемом маневровой работы». Такая постановка задачи уже свидетельствует о том, что станция работает не в нормальном, а утяжеленном (тяжелом) режиме. И совершенно бесспорна необходимость заранее выявить элементы, создающие высокую уязвимость для станции, для производства, для ПТТС в целом, чтобы своевременно разрабатывать технологические меры. Аппарат исследования для выявления зон напряженности может быть разным.

К показателям функциональной надежности относят показатели правильности вычислительных процессов (вероятность безотказного выполнения процесса, среднее время восстановления правильного процесса, комплексные

показатели функциональной надежности (коэффициенты оперативной и функциональной готовности)) [323].

Эксплуатационная надежность – надежность как транспортно-технологической системы в целом, так и составляющих ее компонентов транспортно-логистических цепей в перевозках и элементов транспортной инфраструктуры [324].

Процесс оценки эксплуатационной надежности включает анализ внешних показателей надежности транспортно-логистических цепей, определяемых потребностями пользователей услуг. К ним можно отнести:

– вероятность непревышения заданного времени следования единицы транспортного потока между установленными пунктами транспортной сети

$$B_1 = P(t_{\text{дв}} \leq t_{\text{дв}}^*); \quad (3.7)$$

– вероятность прибытия (проследования) единиц транспортного потока в установленные пункты транспортной сети в определенном интервале времени:

$$B_2 = P(T_{\min} \leq T_{\text{приб}} \leq T_{\max}). \quad (3.8)$$

В указанных исследованиях также определены способы повышения эксплуатационной надежности транспортно-технологической системы:

- 1) за счет повышения норматива допустимого времени следования $t_{\text{дв}}^*$;
- 2) за счет уменьшения разброса суммарного времени следования $t_{\text{дв}}$.

Оценку надежности выполнения транспортных процессов производят также через систему коэффициентов использования (графика, инфраструктуры и т. д.). В исследованиях проф. Е. М. Тишкина предложен «коэффициент технологического использования графика движения поездов» (аналогично коэффициенту технического использования в теории надежности) и «обобщенный коэффициент технологического использования графика» (учитывающий число опаздывающих поездов и время их опоздания). Могут вводиться обобщенные показатели. Так, обобщенный коэффициент технологического использования транспортно-логистической цепи определяется с учетом общего числа проследовавших единиц транспортного потока:

$$k_{\text{исп}} = \frac{24(N - N_{\text{оп}})}{24N + (t_3 - t_p w_p) N_{\text{оп}} N + N_{\text{оп}} T_{\text{ок}}}, \quad (3.9)$$

где N – общее число проследовавших единиц транспортного потока;

$N_{\text{оп}}$ – число единиц, имевших опоздание;

t_3 – средняя продолжительность задержки одной опоздавшей единицы, ч;

w_p – доля транспортных единиц (от общего числа), имеющих резерв времени;

t_p – длительность указанного резерва на одну такую единицу, ч;

$T_{\text{ок}}$ – продолжительность технологического «окна», ч.

Эксплуатационная надежность транспортной системы «железная дорога – морской порт» предопределяется надежностью каждой подсистем: транспортной системы «Железная дорога», надежностью смежной транспортной системы и надежностью стыка между системами. На показатели функциональной и эксплуатационной надежности влияют факторы, систематизированные в т.ч. в главе 2 (рисунок 3.1). При анализе эксплуатационной надежности отказом на полигоне считается задержанный поезд любой категории. При наличии барьерных мест пропускная способность снижается, и стремительно нарастает число отказов.

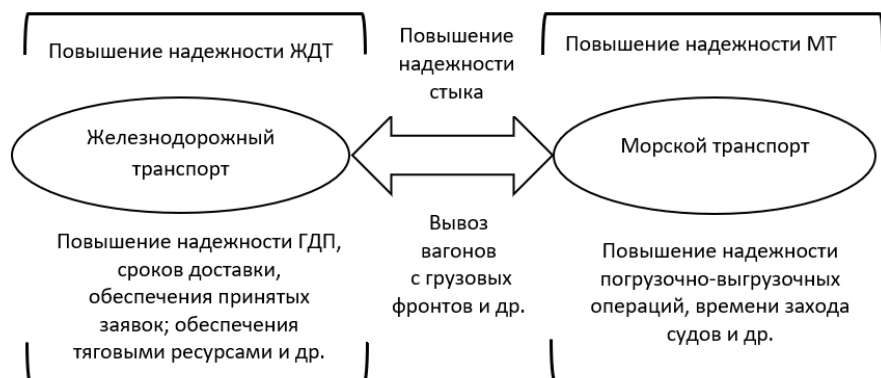


Рисунок 3.1 – Повышение эксплуатационной надежности бимодальных систем

Для оценки надежности транспортных систем развивается комплекс математических инструментов, например, для оценки функциональной надежности – это имитационное моделирование. Сведем характеристики по видам надежности в исследовании транспортных систем в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Виды надежности в исследовании транспортных систем «железная дорога – морской порт»
(составлено автором)

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 [332]. Опыт экспериментов на имитационной модели ИСТРА показал хорошие научные результаты	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

Таким образом, 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 определения надежности.

3.2 Развитие методов оценки и повышения организационно-технологической надежности элементов припортовой транспортно-технологической системы

Рассмотрим развитие методов оценки и повышения организационно-технологической надежности элементов припортовой транспортно-технологической системы на основе новых инструментов оценки ОТН.

Энтропийная оценка ОТН. Впервые энтропийная оценка сложных систем была предложена в [313]. Обобщим эти материалы в рамках темы исследования. Необходимость развития и применения ОТН вызвана неопределенностью системы (структуры взаимодействующих предприятий, технологии, процесса), имеющей n состояний, которая измеряется энтропией и вычисляется по формуле К. Шеннона:

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i, \quad (3.10)$$

где n – общее число возможных состояний,

p_i – вероятность возникновения i -го состояния.

В нашем случае энтропия может вычисляться в двух принципиально разных случаях:

- при оценке неопределенности вероятностных состояний ПТТС;
- при интегральной оценке значений структурных показателей производства: технологических, организационных, управленческих, экономических, статистических, надежности и пр.

Максимальная энтропия (неопределенность) имеет место, если все состояния равновероятны (все показатели имеют равный вес), т. е. если $p_i = 1/n$. В этом случае

$$H_{\max} = \log \frac{1}{n} = -\log n. \quad (3.11)$$

Энтропийная оценка принимаемого решения по развитию ПТТС может рассматриваться как разность между текущей H_1 и будущей H_2 энтропиями (т. е. оценивается уменьшение энтропии в результате принятого решения):

$$H(R) = H_1 - H_2. \quad (3.12)$$

Качество системы можно оценить относительной величиной

$$K = (H_{\max} - H) / H_{\max}. \quad (3.13)$$

Например, принимается решение о распределении инвестиций по двум направлениям (в информационное и кадровое обеспечение и, например, автоматизацию и интеллектуализацию ПТТС). Каждое из направлений характеризуется разной энтропийной оценкой ОТН.

Ценологическая оценка ОТН. Большое количество субъектов ПТТС, многоагентность логистических цепей делают возможным формирование в ПТТС ценозов различной сложности при организации транспортного производства. Ценоз имеет, как правило, иерархическую структуру [327]. Ценологическую оценку ОТН ПТТС следует проводить в двух аспектах:

- строить ценоз собственно ПТТС. В этом случае исследуется внутренняя компактность, структурная и функциональная слаженность системы;
- строить ценоз для системы более высокого уровня, в которой ПТТС является элементом.

Фрактальная оценка ОТН. Фракталы – естественный механизм развития различных объектов окружающего нас мира [63]. Фракталами называют иерархические структуры, состоящие из частей, каждая из которых в каком-то смысле подобна более общей (по иерархии) составляющей. Припортовые и

вообще транспортные системы таковыми и являются. Основными, определяющими свойствами фракталов являются:

- нерегулярность, не описываемая традиционными математическими конструкциями;
- самоподобие, которое проявляется в том, что часть имеет ту же форму, что и целое. То есть часть кодирует целое. Это свойство сохраняется при параллельных переносах и изменении масштаба;
- размерность исследуемого пространства больше его топологической размерности, поэтому фрактальные пространства позволяют описать извилистость и неровность границы изучаемого объекта. Переход от топологического к фрактальному пространству позволяет описать разрывы, склейки, которых так много в социально-экономических, технико-технологических системах;
- возможность определения рекурсивно (формулой или алгоритмом).

Когнитивная оценка ОТН заключается в структуризации проблемы (помочь эксперту формализовать сложную ситуацию), в разработке наиболее эффективной стратегии управления, основываясь на своей интуиции и на упорядоченном и верифицированном знании о сложной системе. Вопросы когнитивного моделирования транспортных систем исследованы в работе [328]. В частности, акцентировано внимание на роли и месте «когнитивной структуризации», этапах когнитивного анализа, построении когнитивных карт, применении когнитивного моделирования в системах поддержки принятия решений на транспорте. На рисунке 3.2 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 (ПСКМ) можно симитировать возможные сценарии развития транспортных систем (ТС). Когнитивная карта позволяет выявить совокупности положительных и отрицательных обратных связей в системе, а следовательно, определить возможности стабилизации и роста показателей транспортных

процессов. В данном случае естественный интеллект проявляется в построении когнитивных карт, оценке устойчивости и перспектив развития и деградации ТС. Машинный интеллект, использующий ПСКМ, берет на себя проблемы большой размерности данных, обеспечивает необходимую скорость вычислений. Таким образом, теорию ОТН можно доработать новыми инструментами развития ПТТС: энтропийной, ценологической, фрактальной и когнитивной оценкой.

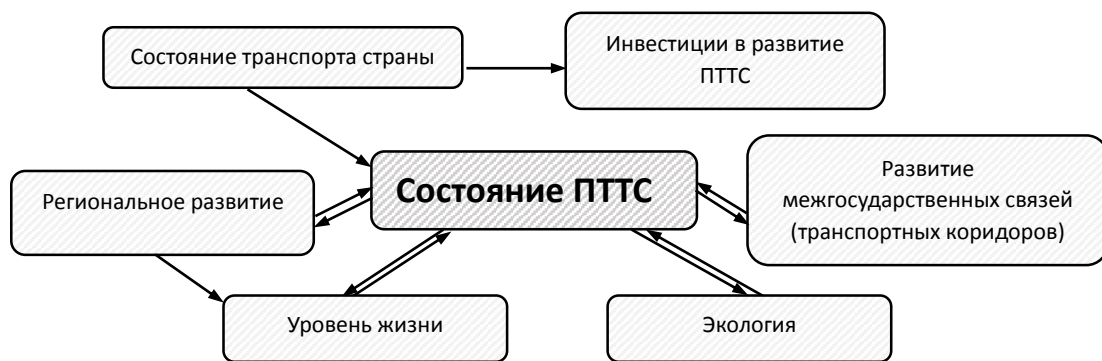


Рисунок 3.2 – Когнитивная карта роли и места припортовых транспортно-технологических систем (ПТТС)

Рассматривая задачи повышения организационной надежности, следует отметить, что современные стратегии развития ЖДТ формируют запрос на совершенствование технико-организационных уровней хозяйственной деятельности. Все более заметную роль в отраслевой практике приобретают обобщающие показатели эффективности транспортного производства, которые учитывают использование всех видов производственных ресурсов, а не только отдельные показатели. Важнейшим направлением такого анализа является определение уровня организации транспортного производства [329].

Рассмотрим основные мероприятия, обеспечивающие повышение показателей составной части ОТН – *организационной надежности (ОН)*:

Для субъектов ПТТС:

1 Уменьшение плеча управления за счет формирования кластеров или саморегулируемых организаций (СРО). Имеется в виду наличие как минимум двух уровней управления (например, холдинг ООО «РЖД» и линейные

предприятия ЖДТ). Объединяя предприятия нижнего уровня в кластеры и СРО, возможно изменить структуру управления: верхний уровень имеет дело не с отдельными частными предприятиями, а с их объединениями. Теперь уровней управления три, и плечо управления уменьшается вдвое.

2 Увеличение ресурса и оптимизация возможностей всей системы в целом и отдельных предприятий в частности за счет организации кластеров и СРО. Они аккумулируют свои ресурсы, и в рамках этих объединений можно использовать аппарат теории массового обслуживания (ТМО) [330], обеспечивающего согласование производственных параметров участников производственного процесса (в частности, транспортно-логистического процесса).

3 Оптимизация структуры и параметров ОН. *Для субъектов ПТТС* это:

- оптимизация производственного процесса (кластеры снижают размеры перепроизводства и недопроизводства);
- оптимизация через согласование противоречивых интересов хозяйствующих субъектов (ХС) на основе некоторого критерия. Для решения этой задачи «включается» механизм теории активных систем (ТАС) [318];
- оптимизация посредством традиционного анализа сетевых моделей (минимизация критического пути по времени производственного процесса). Эта задача также может быть сформулирована относительно используемых ресурсов (кадровых и иных);
- применение принципов «бесшовности», непрерывности, научности, гибкости, точности, приоритетности организации транспортного производства [329], что особенно важно для ПТТС;
- развитие цифровых моделей производственных объектов.

Для железнодорожного транспорта это:

- оптимизация числа уровней управления;
- оптимизация границ полигонов управления и диспетчерских участков;
- управление потоками;
- управление динамичными резервами.

Надежность функционирования ПТТС с участием железнодорожного транспорта можно обеспечить путем создания значительных резервов, что относится к капиталоемкому способу и предполагает, например, строительство дополнительных путей на станции, вторых и третьих путей на перегонах. Управление грузопотоками, вагоно- и поездопотоками частично заменяет по функции такие резервы (локомотивы, пути, склады), т. е. замещает статические резервы, как бы создавая резервы другого рода – динамические [324].

Чем выше развито организационно-технологическое управление в условиях неравномерности и внешнего влияния, тем меньше требуется статических резервов. Наличие динамических резервов позволяет улучшить работу транспортной системы в условиях волатильности грузо- и пассажиропотоков. Однако это требует выработки новых подходов к принципам и методам оптимизации, к выбору эффективной организации работы. Перед принятием решения необходимо осуществлять предварительное сценарное моделирование поведения системы при изменении тех или иных внешних и внутренних факторов, чтобы своевременно перенастроить ее деятельность и не допустить перехода в тяжелый (утяжеленный) режимы работы. В современных исследованиях в качестве такого подхода предлагается использовать концепцию «цифрового двойника», в основу которой заложено представление функционирования объекта (станции, участка, района управления, дороги, полигона, направления) в виде математических моделей, описывающих его свойства, параметры, изменения его состояния на основе соответствующих данных [333, 334].

Исследование и развитие категории «технологическая надежность» (ТН). Технологическая надежность может рассматриваться также в нескольких аспектах:

- технологическая надежность операции, процесса (здесь близкое сходство с функциональной надежностью);
- технологическая надежность услуги.

Рассмотрим следующий аспект: любую технологию можно оценить с помощью статистических показателей. Так, при планировании подвода поездов в адрес припортовых станций определяются ключевые показатели, характеризующие качество выполнения плана подвода. С помощью имитационного моделирования можно получить эталонную работу разработанной технологии. При этом в процессе оценки качества модели транспортной системы любой сложности вопрос допустимого уровня надежности остается одним из самых актуальных (рисунок 3.3).

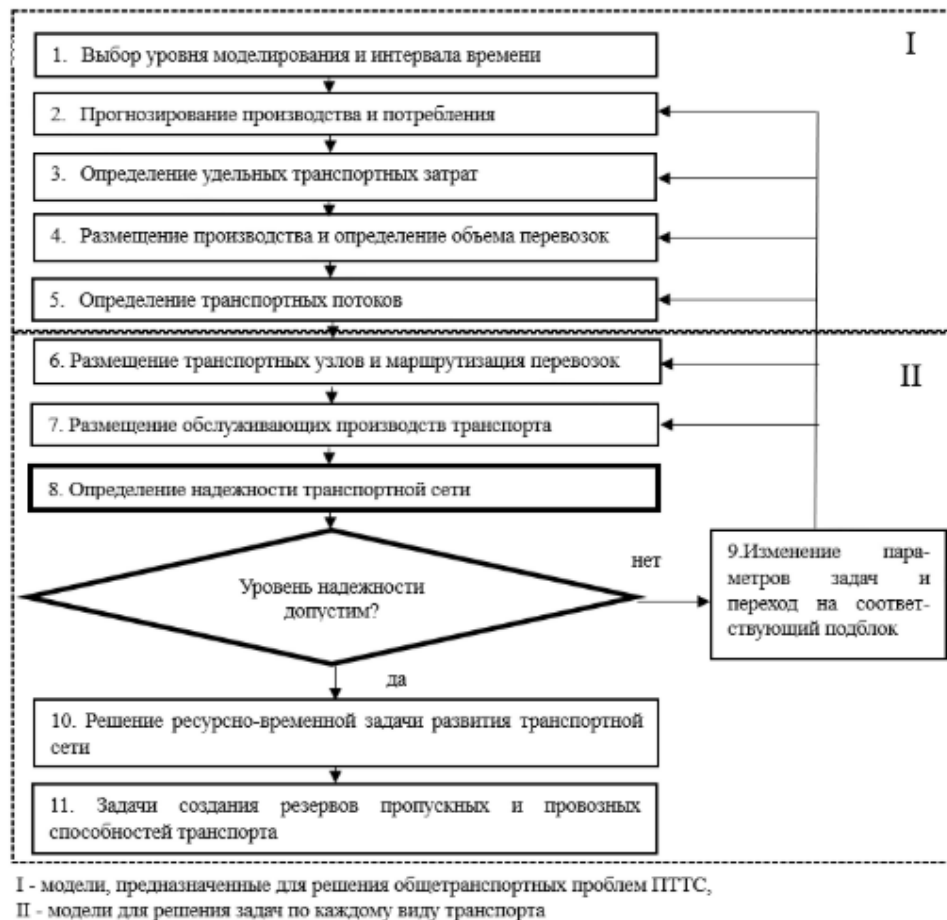


Рисунок 3.3 – Пример структурной блок-схемы системы модулей региональной транспортной системы с проверкой уровня надежности [64]

Имитационное моделирование дает также эталонные параметры исследуемой технологии.

Реализуем теперь данную технологию на практике. Если средние значения параметров (модели и практической реализации) не совпадают, то корректировке

следует подвергнуть или модель процесса (обеспечить ее адекватность), или практическую реализацию технологии (усовершенствовать ее). Если дисперсия параметров имеет малое значение, то данная технология хорошо отработана, устойчива, т. е. надежна. И дисперсия – одна из характеристик этой надежности. Аналогично можно рассуждать и о других показателях исследуемой технологии: качестве продукции (транспортной услуги), времени реализации и т. д.

В качестве математического инструментария в рамках ОТН можно предложить модели, представленные в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Математический инструментарий в рамках ОТН

Математический инструментарий	Описание
<i>Сетевые модели</i>	В отличие от традиционных сетевых моделей, описывающих производственный процесс, эти модели структурируют исследуемую технологию. Т. е. синтезируемая сеть описывает не процесс получения продукта, а процесс реализации технологии с указанием рисков на каждом этапе ее реализации. Определив по сетевой модели слабые места технологии (с высоким риском), их можно усилить, включив, например, параллельную обработку данных, параллельное же измерение показателей и т. д. В системах горочной автоматизации, например, для расчета скорости отцепа на горки можно использовать скоростемер, а можно рельсовые цепи. Они могут работать параллельно, используя мажоритарный принцип
<i>Модели теории массового обслуживания (ТМО)</i>	Эти модели на транспорте исследуют производственные параметры: объемы погрузки-выгрузки, перевезенных грузов, оказанных транспортных услуг. Они также помогают снизить риски сбоев, резервируя процессы, разделяя их на блоки с понятной логикой контроля и управления
<i>Модели теории активных систем (ТАС)</i>	В данном случае исследуются экономические параметры транспортных процессов. Все предприятия – агенты системы, имеют свои ресурсы, цели, и ТАС согласовывает эти параметры при технологическом взаимодействии агентов. ТАС объективизирует процесс принятия решений, заменяя субъектов на их цифровых двойников, формирует в среде участников коллективный интеллект, выдает компромиссные решения

Кроме того, важным аспектом совершенствования ОТН является внедрение *технологий бережливого производства (БП)* [336]. БП на транспорте можно (и нужно) рассматривать в двух аспектах: на микроуровне (на уровне процессов) и мезоуровне (на уровне взаимодействия предприятий). На уровне процессов

исследуются логика их организации (процессный или проектный подход), используемый инструментарий, структура организации рабочих мест (последовательность операций). Это позволяет избежать непроизводительных расходов, дублирования, задержек. На уровне предприятий с помощью БП удается избежать перепроизводства и недопроизводства продуктов и услуг. Кластеры согласовывают объемы своей частной работы, подчиняясь единому плану выпуска интегрального продукта, а саморегулируемые организации интегрируют свои ресурсы, снижая тем самым риски невыполнения задания.

Как показал анализ, проведенный во второй главе настоящего исследования, железнодорожные ПТТС наиболее функционально чувствительны к технологическим сбоям и нарушениям [337]. Для того чтобы не допустить снижения работоспособности элементов ПТТС, предотвратить или уменьшить экономические потери, необходимо уменьшить вероятность возникновения и негативные последствия не только технических сбоев, но и технологических нарушений.

С ростом интенсивности перевозок возрастает и вероятность ошибочных действий диспетчерского аппарата при приготовлении маршрутов движения или планировании поездной и местной работы, что вызывает необходимость развития не только информационных, но и управляющих систем [338]. Модернизация систем централизации и блокировки, внедрение единого сетевого технологического процесса и полигонных технологий управления эксплуатационной работой, развитие новых информационных инструментов должны повышать устойчивость системы железнодорожных перевозок и оцениваться с точки зрения соблюдения параметров безопасности, так как безопасность движения – это важнейший индикатор, который характеризует надежность той или иной технологии. Например, в исследовании [339] приведен анализ возникновения транспортных происшествий, событий и связанных с ними процессов при организации маневровой работы на железнодорожных станциях. На основании проводимого исследования определены основные причины проезда запрещающих сигналов, связанные с ошибками машинистов, приемом

длинносоставных поездов и др. ситуациями, где также статистически подтвержден факт необходимости учета не только надежности технических средств, но и ОТН.

С учетом работы полигонов припортовых железных дорог при увеличении объемов транспортной работы актуальными становятся исследования процесса диспетчерского управления на железнодорожном полигоне и загрузки поездных диспетчеров (ДНЦ), что было проведено в исследовании [340]. В настоящее время объем работы и перечень выполняемых трудовых функций ДНЦ значительно расширяются в связи с экономическими требованиями рынка грузовых перевозок по увеличению ассортимента предоставляемых грузовладельцам услуг, а также внутренними регламентами компании ОАО «РЖД», нацеленными на улучшение ключевых показателей работы отрасли. Так, на поездного диспетчера возложена ответственность за соблюдение ряда важнейших эксплуатационных показателей, таких как вес, длина и вес поезда, участковая скорость. Параллельно решению производственных задач автоматически выполняется экономический анализ работы ДНЦ по установленным параметрам и ключевым показателям работы. К дополнительным требованиям можно отнести ответственность за соблюдение коммерческих «ниток» графика, графика специальных перевозок, ускоренных контейнерных поездов, грузовых экспрессов, судовых партий и других коммерческих сервисов (которые будут рассмотрены далее, в главе 4), реализуемых на инфраструктуре припортовых железных дорог.

Увеличение набора решаемых диспетчерским аппаратом задач не в полной мере отражается в расчетах загрузки ДНЦ, выполняемых по нормативной методике. Не учитывается существующая неравномерность транспортной работы в течение смены, суток, праздничных дней, когда вводятся дополнительные поезда, и времени года.

Как известно, загрузка диспетчерского аппарата – одно из основных ограничений, определяющих границы диспетчерских участков, однако данной области научных исследований в последние годы уделяется незаслуженно мало внимания [341]. Загрузка диспетчерского персонала напрямую влияет на

показатели надежности железнодорожной ПТТС. В работе [264] указано, что на сети ОАО «РЖД» действуют 349 диспетчерских участков (ДУ) в 53 районах управления (РУ). Безусловно, этот показатель динамичен: так, на СКЖД ведутся работы по корректировке границ диспетчерских участков и их количества. Нормативными документами [342] регламентируется порядок определения границ зон управления при соблюдении ряда условий (например, обеспечение максимальной завершенности цепочек технологических операций под управлением одного поездного диспетчера). При этом отсутствуют механизмы оценки загрузки при оперативных изменениях поездо- и вагонопотоков, реализации пропуска длинносоставных поездов, поездов по технологии «виртуальная сцепка», во время проводимых «окон» и в связи с неравномерностью, не учитывается ряд требований по выполнению плана подвода поездов в адрес портов, нет технической возможности формирования различных конфигураций участков, и не решен ряд методологических задач [340].

Связь между неверно установленным уровнем загрузки диспетчерского аппарата и появлением технологических нарушений достаточно очевидна, а практически все участки в направлении АЧБ являются грузонапряженными, с необходимостью учета приоритетности пропуска поездопотоков [337]. Снижение трудоемкости диспетчерского руководства и количества функций – одна из перспективных задач, находящихся в области развития интеллектуальных систем управления. Полигоном для анализа новых решений и оценки показателей ОТН могут стать участки припортовых железных дорог.

3.3 Когнитивные модели в человеко-машинных комплексах принятия решений и управлении припортовыми транспортно-технологическими системами

Применение искусственного интеллекта в задачах управления ПТТС может изменить процессы принятия решения с учетом переноса управленческих функций, выполняемых традиционно только диспетчерским аппаратом.

Прокомментируем сложность процедур принятия решений в транспортных системах (ТС) на примере ППТС [335]. На всех этапах организации деятельности и функционирования ППТС, а это структурный синтез (определение состава участников перевозочного процесса, объектов необходимой инфраструктуры, развитие транспортных маршрутов и т. д.), установление базовых параметров перевозочного процесса (типы и объемы перевозок), организация взаимодействия видов транспорта (снижение негативных эффектов конкуренции и повышение положительного синергетического эффекта совместной работы), формирование технологического процесса доставки грузов в условиях высокой динамики экспортных грузопотоков, слабой предсказуемости форс-мажорных ситуаций (например, неблагоприятная для погрузки-разгрузки погода в порту), – роль лица, принимающего ответственное решение (ЛПР), трудно переоценить.

Важнейшим фактором такого принятия решений ЛПР является его интуиция. Действительно, логически принимаемые решения требуют репрезентативных данных (полных, объективных, слабозашумленных) и четкого, непротиворечивого алгоритма принятия решений. Эти условия в большинстве задач, возникающих в ППТС (нестационарных, высокодинамичных, зашумленных), не соблюдаются. Поэтому интуиция, основанная на опыте специалиста и оперирующая образами, является порой единственным средством принятия решений.

Обладая рядом несомненных преимуществ, машинные средства принятия решений (практически неограниченная память, высокая скорость обработки информации, отсутствие факта физиологического уставания, эмоциональности, страха за последствия принятого решения и пр.) могут лучше воспользоваться интеллектуальным опытом человека и тем самым повысить безопасность и эффективность (производственную, экономическую, социальную, экологическую) транспортных систем. Для этого надо интуицию человека транслировать в машинные блоки принятия решений.

Таким образом, осуществляется ускоренная интеллектуализация ТС, в данном случае на основе трансляции в их машинные блоки принятия решений естественного интеллекта специалиста-эксперта [343].

В контексте поставленной задачи роль искусственного интеллекта (ИИ) иная: обеспечить синтез естественного интеллекта и преимуществ машинной обработки информации в задачах принятия сложных организационных решений по управлению ТС, оценить надежность принимаемых решений.

С точки зрения психологии принятие решений – это когнитивный процесс выбора мнения, точки зрения или порядка действий из нескольких альтернативных возможностей. При этом различают количественные и эмпирические методы, а также персональные и коллективные решения. В математике задача принятия решений традиционно сводится к расчету оптимальной по некоторому критерию процедуры действий и расчету рисков. ИИ позволяет систематизировать этот процесс: объединить количественные и качественные методы, использовать индивидуальный и коллективный опыт принятия решений. Кроме того, для сложных решений дается оценка их выполнимости в условиях неопределенности данных. Ниже такая характеристика вводится на основании байесовского подхода.

В психологии интуиция определяется следующим образом: это «способность человека понимать и проникать в смысл событий и ситуаций посредством единомоментного бессознательного вывода – озарения» [344]. То есть отличительными чертами интуиции являются воображение, эмпатия, предшествующий опыт, как профессиональный, так и эмоциональный, образное мышление и способность распознавания ситуации в целом без анализа деталей. Поэтому в производственных задачах интуицию еще называют «профессиональным чутьем», характеризующим проницательность (способность «видеть» будущее) специалиста, например поездного диспетчера или сотрудника отдела логистики (логистического центра), участвующего в решениях по преобразованию транспортных потоков.

Современные исследования показывают возможность и необходимость интеграции интуиции и искусственного интеллекта в процесс принятия организационно-технологических решений, в связи с этим важны исследования по оценке ОТН [345] функционирования интеллектуальных транспортных систем (рисунок 3.4).

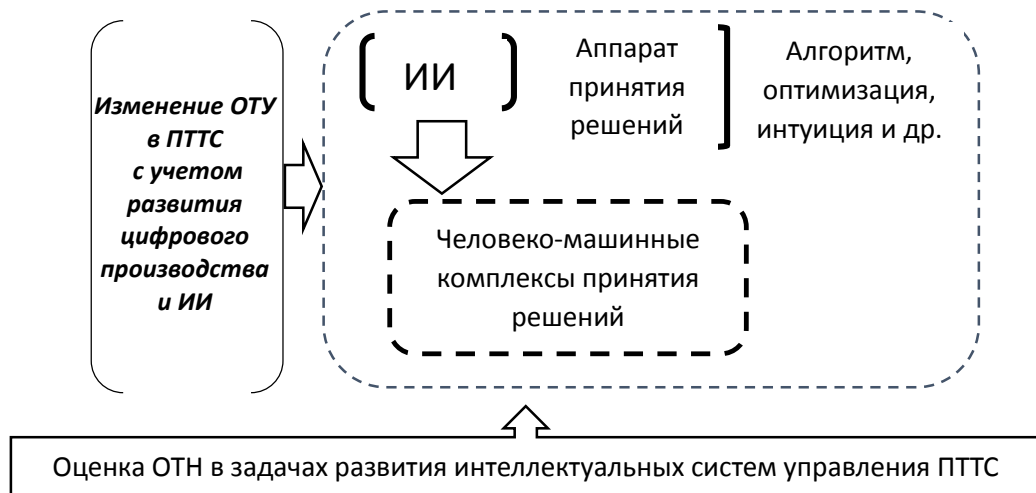


Рисунок 3.4 – Оценка ОТН в задачах развития интеллектуальных транспортных систем

Формирование интуиции в рамках идеологии искусственного интеллекта (ИИ) основывается на базах данных, базах знаний, специальной цифровой платформе для извлечения данных и знаний сферы принятия решений из этих баз, формирования интуитивного мышления и интуитивных решений. Математическая основа этому может быть обеспечена различными средствами [343, 346–350] (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Математический инструментарий моделирования интуиции

Математический инструмент	Описание
1	2
Теория нечетких множеств (ТНМ)	Использует нечеткие рассуждения, присущие человеку, и лингвистические переменные следующего порядка: риск «очень высокий», «высокий», «средний», «не высокий» или «отсутствует». В ТНМ формируется механизм интуитивного принятия решений за счет логического утверждения «Если верно A , то верно и B »
Теория распознавания образов (ТРО)	Включает инструменты моделирования образов прошлого в данной области знаний (т.е. фактически опыта субъекта), но с различной величиной «смутности». Размер «смутности» может коррелироваться со степенью неопределенности задачи, а также со временем накопления практического опыта. Использование и определение степени «смутности» принимаемого решения в алгоритмах машинного принятия решений можно посредством введения степени достоверности высказываний и утверждений, предложенной Демпстером – Шафером, и с помощью функций принадлежности ТНМ
Теория игр	Например, игры с природой, которые описывают конкуренцию и сотрудничество сторон, и игры, описывающие рефлексивную (логику рассуждений, учитывающую мысли и позицию оппонента по предмету взаимодействия)

Продолжение таблицы 3.3

1	2
Многозначные логики Я. Лукасевича	Определение Я. Лукасевичем многозначной логики позволило избежать ограничивающего факта двужначности (всякое высказывание является либо истинным, либо ложным) с учетом того факта, что многозначная логика активно используется в рассуждениях человека для принятия сложных решений
Нейро-нечеткие модели	Нейронные связи формируются не на основе уже существующих статистических наблюдений (традиционный принцип обучения современных нейросетей), а на нестандартных, не предусмотренных эволюцией ситуациях. Это позволяет носителю такой сети подстраиваться под новую ситуацию и правильно себя вести в будущем. Разработанные модели в рамках данного исследования выявили большое сходство в деятельности естественных и искусственных нервных клеток
Теория перколяции	В физике перколяция описывает слабо предсказуемые скачкообразные переходы одного качества объекта из одного состояния в другое. Данный математический инструментарий может быть эффективно использован для описания перехода от незнания к знанию (озарения, достижения инсайтных решений)
Компьютерное моделирование интуиции	Методологические вопросы компьютерного моделирования интуиции рассмотрены в исследовании [348]. В основу поиска решения положено векторно-броуновское блуждание частицы на фазовой плоскости. Предложено в задачах описания интуитивных процессов полагаться «на сложные семантические сети, адресованные к фреймам с XML-таблицами данных с указателями на параметры настроек нейронных сетей и нечеткие диапазоны данных». Такая модель учитывает объемы опыта (через радиусы R формируемых кластеров); направления поиска решения (с помощью коэффициента векторизации k); время жизни кругов опыта t (аналог человеческой индивидуальной и общественной памяти); число шагов обучения N (учитывается зависимость $R(t)$)
Байесовские сети или сети Байеса (СБ)	Процесс моделирования интуиции с помощью СБ, которые основаны на формуле Байеса

Рассмотрим процесс моделирования интуиции по формуле Байеса:

$$P(B/A) = P(A \wedge B)/P(A), \quad (3.14)$$

где $P(B/A)$ – вероятность появления события B при условии, что событие A верно.

Логика построения алгоритма, моделирующего интуицию посредством построения соответствующей СБ для конкретного исследователя, представлена в [349] и содержит этапы, приведенные на рисунке 3.5.

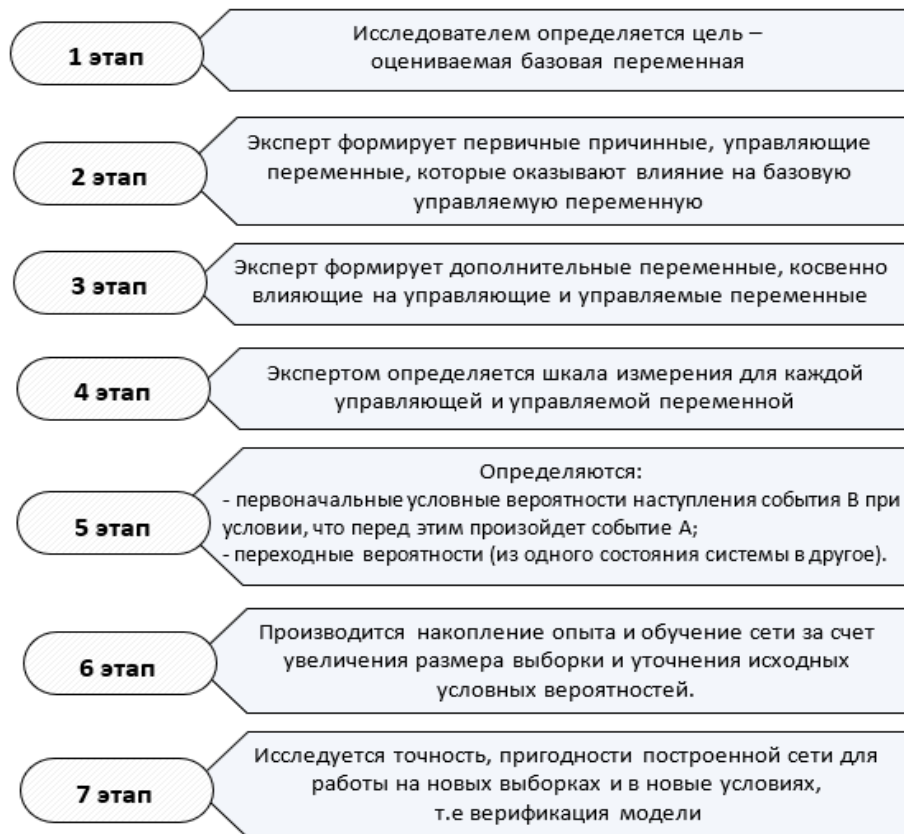


Рисунок 3.5 – Логика построения алгоритма, моделирующего интуицию посредством построения соответствующей СБ

Примеров применения СБ для моделирования интуиции при принятии решений в транспортной системе (ТС) практически нет. В [349] приведен пример построения простой, но очень важной СБ: сотрудник транспортной службы по первичному досмотру должен интуитивно принять решение о необходимости дополнительного, более тщательного досмотра. Можно выделить несколько важных сфер применения в ТС результатов вышеописанных работ:

– при разрешении конфликтных ситуаций на транспорте. Например, в работе ДМ ЗИ произошел сбой. Кто несет за него ответственность: сотрудники ЦФТО, использующие систему для принятия решений о погрузке в направлении морских портов, разработчик системы автоматизации или служба, обеспечивающая безопасную работу систем автоматизации?

– взаимодействие реальных агентов ПТТС в перспективе должно быть заменено взаимодействием виртуальных агентов на некоторой цифровой платформе, реализующей идеи интернета вещей (в данном случае людей);

– в аналогичных системах, используемых для обеспечения своевременного обслуживания (технического осмотра и ремонта) объектов инфраструктуры. В этом интернете вещей взаимодействующими «вещами» будут специалисты и оборудование.

Проведем анализ практической области применения СБ в задачах управления ПТТС. В более общем виде формула Байеса определяется следующим образом: вероятность совместного появления событий A и B равна или произведению вероятностей появления события A и события B при условии, что событие A состоялось, или произведению вероятностей появления события B и события A при условии, что событие B состоялось:

$$P(A \wedge B) = P(B/A) \cdot P(A) = P(A/B) \cdot P(B). \quad (3.15)$$

Дальнейшее использование (3.15) зависит от содержательного смысла событий A и B и от имеющейся информации о них. Например:

- если известны $P(A \wedge B)$ и $P(A)$, то можно выразить и найти $P(B/A)$;
- если известны (априори или статистически рассчитаны) $P(B/A)$ и $P(A)$ или $P(A/B)$ и $P(B)$, то можно определить $P(A \wedge B)$;
- если известны $P(A \wedge B)$ и $P(B/A)$, то можно выразить и найти $P(A)$ и т. д.

В работе [349] событие A представлено полной группой частных несовместных событий $A_i, i = 1, \dots, n$:

$$A = \sum A_i. \quad (3.16)$$

В частности, A_i – ответы на вопросы эксперта (диспетчера, логиста и т. д.). Это индикаторы, а результат – B (свершившееся нарушение регламента, технологического процесса и т. д.). Тогда по формуле полной вероятности:

$$P(B) = \sum P(B/A_i)P(A_i), \quad (3.17)$$

где $P(A_i)$ – вероятность появления индикатора в общей массе испытаний;

$P(B/A_i)$ – вероятность появления результата при появлении данного признака-индикатора.

Они считаются известными из практики при стационарном течении процесса. При возможном изменении ситуации, например со стороны появления новых внешних факторов (санкции, экономический или политический кризис, пандемия), эти вероятности изменятся и потребуются адаптация системы принятия решения (перерасчет названных выше базовых вероятностей). Такой перерасчет можно выполнить итерационной процедурой, машинный способ принятия решений в этом случае будет иметь больше преимуществ перед человеком за счет быстроедействия, большей памяти, точности, оперативности. В (3.14) и (3.17) в качестве события B примем событие, заключающееся в том, что решение принято верно. Тогда $P(B)$ и $P(B/A)$ – вероятности этого события, которые далее и будем называть надежностью принимаемых решений.

Рассмотрим пример. Введем сложное событие $A = UA_i, i = 1, 2, \dots, n$, где A_i – событие-индикатор состояния погоды в морском порту, которое непосредственно влияет на возможность выполнения грузовых операций. Например, A_1 – «нормальная погода», A_2 – «на море волнение и ветер», A_3 – «на море сильное волнение и сильный ветер», A_4 – «на море шторм, штормовое предупреждение» (некоторые состояния для учета возможности ведения грузовых операций в порту или ввода конвенциональных ограничений). Т. е. в нашем примере $n = 4$. На момент завершения подвода судовой партии в порт ожидается следующая обстановка (метеосводка): $P(A_1) = 0,5; P(A_2) = 0,3; P(A_3) = 0,1; P(A_4) = 0,1$. Пусть также известно (по результатам статистических наблюдений – опыт работы ПТТС), что $P(B/A_1) = 1, P(B/A_2) = 0,6, P(B/A_3) = 0,3, P(B/A_4) = 0$.

Рассчитаем $P(B) = 1 \cdot 0,5 + 0,6 \cdot 0,3 + 0,3 \cdot 0,1 + 0,1 \cdot 0 = 0,71$.

Если результат не может быть принят как нормальная работа ПТТС, то необходим комплекс мер, повышающих вероятность успешного завершения процесса доставки груза. К ним могут быть отнесены:

- мероприятия по долгосрочному изменению $P(B/A_i)$ (например, строительство закрытых бухт, углубление фарватера и т. д.);
- оперативные мероприятия по изменению графика подвода груза на припортовые станции. В нашем случае – изменению порядка погрузки грузов

и/или изменению темпа подвода с целью попадания в благоприятный период работы порта. Возможность влияния на темп подвода вагонов в направлении портов в интеллектуальных системах управления ПТТС рассмотрим в главе 4.

Таким образом, трансляция в синтезируемые транспортные системы естественного интеллекта специалиста и разработчика (инструментарий когнитивного анализа, построение нечетких субъективных моделей, отражающих неопределенность исследуемого объекта и используемые человеком лингвистические переменные и нечеткие способы мышления) является важным этапом развития сложных транспортных систем, к которым относятся ПТТС. Усложнение организационно-технологического управления (ОТУ) в условиях цифрового производства и интеллектуализации управляющих воздействий требует оценки организационно-технологической надежности (ОТН) ПТТС. При этом данная оценка может производиться на микроуровне (функционирования интеллектуальных систем управления ПТТС) и макроуровне – повышение ОТН ПТТС. Исследование ОТН на макроуровне предлагается выполнять на базе когнитивного моделирования.

3.4 Когнитивное моделирование развития припортовых транспортно-технологических систем

Сложные системы, к которым однозначно можно отнести транспортные, экономические, социотехнические и другие системы, подвержены в своем сценарном развитии различным рискам. Для их оценки и определения вектора развития требуются научные исследования с привлечением не только специалистов по системному моделированию, но и специалистов-экспертов, имеющих обширный опыт, например, в транспортных исследованиях.

Как правило, проведение экспериментов для таких сложных систем с целью выявления лучших управленческих решений очень затруднительно, а натурный эксперимент практически невозможен. Однако быстро меняющиеся условия работы транспортной отрасли в связи с геополитическими факторами, развитие

новых транспортных коридоров, изменение специфики работы припортовых железных дорог актуализируют задачу поиска приоритетных решений по развитию конкретных элементов системы, обеспечивающих адаптацию к изменяющимся условиям функционирования ПТТС.

На основе анализа отечественных работ ученых ИПУ РАН, подразделений Южного федерального университета в качестве метода исследования ПТТС выбрано когнитивное моделирование, которое начало развиваться с конца прошлого века. Ранее научные результаты с использованием когнитивного моделирования получены в исследованиях региональных социально-экономических и политических систем, а также геополитических систем (юг России, зоны Черноморье – Кавказ – Каспий). Особое место среди них занимают исследования проблем методологии, теории и практики когнитивного анализа и развития ситуаций, управления слабоструктурированными системами, разработки когнитивных карт и их применения и инструментария когнитивного моделирования, а также по областям: моделирование социально-политических ситуаций, социально-экономических ситуаций. В контексте данных исследований значительный интерес представляют собой результаты моделирования развития конкретных регионов, например юга России [351,354].

Для различных припортовых транспортно-технологических систем с их привязкой к конкретному бассейну (Азово-Черноморскому или, например, Дальневосточному) выделяются определенные характеристики: большой размер, сложное поведение, наличие стабильных иерархических, организационных и ресурсных связей, привнесение каждым элементом измеряемого вклада в выполнение транспортной работы, наличие материальных ресурсов, средств сбора, передачи и обработки информации, а также ряд факторов, вызывающих трудности в управлении системой, связанные с неопределенностями разного рода, разнородностью информации, объемами информации, возрастанием роли инфраструктурных ограничений в организации перевозок, в числе которых высокая сезонность и гетерогенность в структуре потоков.

Поэтому на начальном этапе исследований ПТТС с участием железнодорожного и морского видов транспорта без привязки к региону и бассейнам морских портов необходим учет влияния изменений внутренней и внешней среды транспортной системы, однотипных качественных и количественных факторов. Методология когнитивного моделирования определяет порядок проведения исследований, в котором на первоначальном этапе заложено построение разнообразных по сложности когнитивных моделей, а в качестве более «простого» математического элемента выступает когнитивная карта, которая может быть представлена знаковым ориентированным графом, однако может быть и более сложное представление в виде векторного параметрического функционального графа [331] (впервые введено Э. Ч. Толменом). Когнитивные модели с учетом проводимой имитации структуры и поведения исследуемого объекта относятся к имитационному моделированию. Этапы исследования ПТТС на базе когнитивного моделирования приведены на рисунке 3.6.

В общем виде управление на базе когнитивных процедур включает [63]:

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

Ввиду сложности моделирования сложных транспортных систем, к которым относятся системы железнодорожного, морского и других видов транспорта в смешанных сообщениях (железнодорожно-морских), железнодорожно-автомобильных и др.) и многообразие возникающих при их развитии новых связей, применение определенного инструментария математического моделирования ограничено.

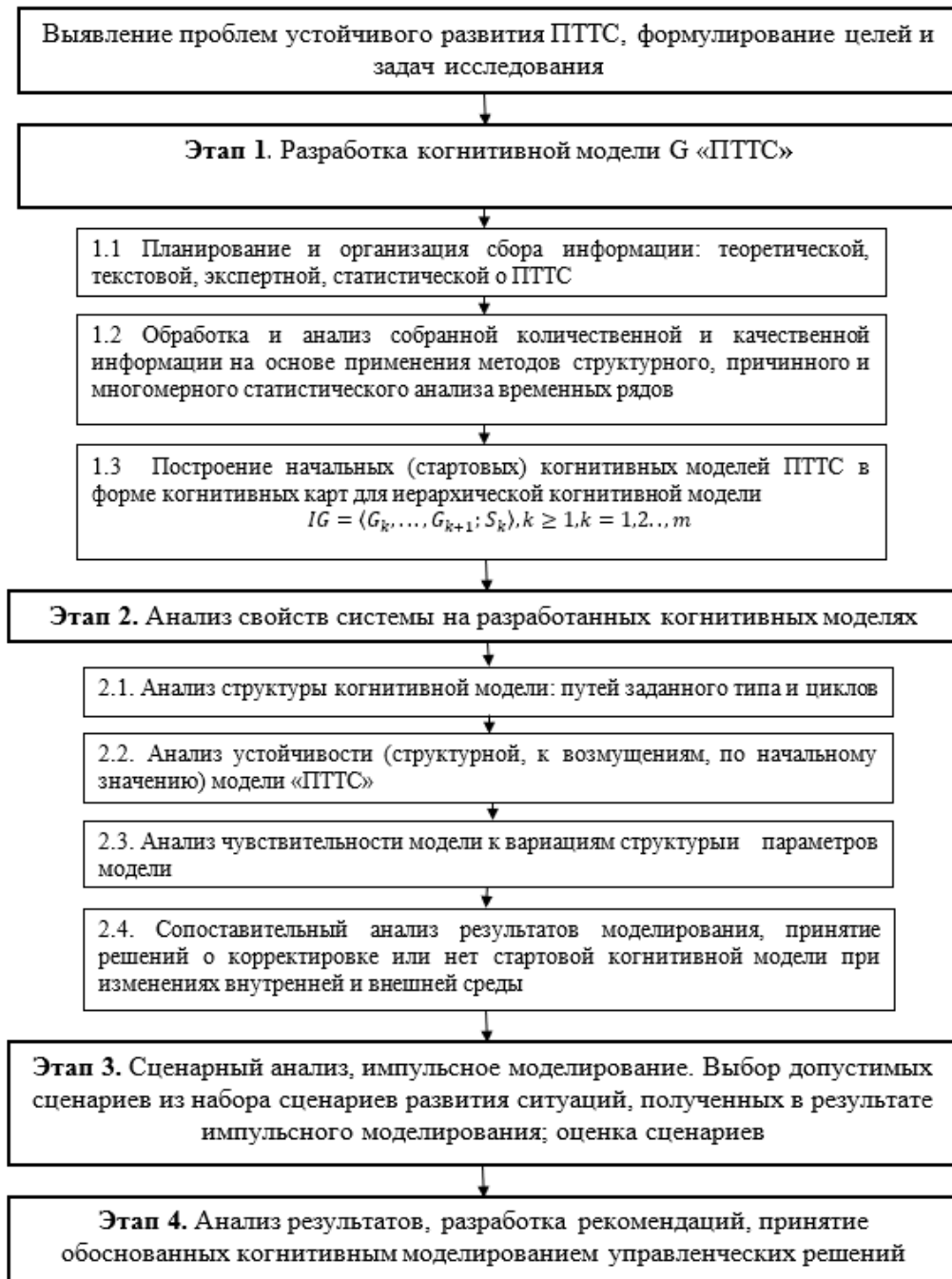


Рисунок 3.6 – Этапы исследования ПТТС на базе когнитивного моделирования

Набор задач линейного, динамического программирования, экономико-математического моделирования, балансового моделирования безусловно полезны для решения конкретных производственных задач, однако с точки зрения оценки вектора развития транспортной системы в условиях многообразия внешних и внутренних факторов (например, геополитических) имеют ограниченное применение.

Использование ориентированных графов в виде многокомпонентных систем позволяет объединить разные показатели, в т. ч. количественные, качественные, экономические, экологические, а также связанные с безопасностью, которые применимы к оценке работы транспортной отрасли. Так, система показателей железнодорожной отрасли имеет статистическую базу, часть показателей оцениваются количественно, а часть – качественно, основные вынесены в категорию ключевых показателей KPI.

С точки зрения когнитивных исследований возможно получать новые научные знания об исследуемой сложной системе, описывая и объясняя ее поведение. Отметим, что в настоящее время, с учетом развития технологий искусственного интеллекта, когнитивное моделирование как одна из составляющих когнитивных наук стало методом развития интеллектуальных систем, предназначенных в том числе для применения в киберфизических системах [326] и относящихся к классу современных НБИК (Нано-Био-Информационно-Когнитивных) технологий, являющихся критическими технологиями в приоритетных направлениях развития науки, технологий и техники согласно Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (п. 8 «Нано-, био-, информационные, когнитивные технологии»).

Когнитивное моделирование развития припортовой транспортно-технологической системы является многоэтапным циклическим процессом, что наглядно демонстрирует рисунок 3.6. В общем представлении можно выделить четыре основных этапа когнитивного моделирования, которым предшествуют сбор и анализ данных об объекте моделирования.

Для когнитивного моделирования сложных систем используются модели (1), которые подходят и для моделирования работы ПТТС:

$$IG = \langle G_k, G_{k+1}, S_k \rangle, k = 1, 2, \dots, m, \quad (3.18)$$

где IG – иерархическая когнитивная карта, в которой

$$G_k = \langle V, S \rangle_k, V = \{V_i\}, i = 1, 2, \dots, n; S = \{s_{i,j}\}, i, j = 1, 2, \dots, n, \quad (3.19)$$

где G_k – когнитивная карта k -уровня;

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

Когда требуется разработка более сложной модели, то может быть применен параметрический векторный функциональный граф:

$$VFG_p = \langle G = \langle V, S \rangle, X^{(V)}, F, C \rangle, \quad (3.20)$$

где $X^{(V)}$ – параметры вершин;

$F = f(x_i, x_j, s_{ij}) = f_{ij}$ – функциональная зависимость между вершинами V_i, V_j , которая определяется только весовым коэффициентом $w_{i,j}$;

C – симплициальные комплексы.

Кроме четких моделей типа (3.18), (3.19), (3.20) в когнитивном моделировании транспортных процессов могут применяться нечеткие когнитивные модели [328]:

$$\tilde{G} = \langle V, \tilde{z} \rangle, \quad (3.21)$$

$$\tilde{z} = \left\{ \langle \delta_k \langle v_i, v_j \rangle / \langle v_i, v_j \rangle \rangle \right\}, \quad (3.22)$$

где $\tilde{z}$ – нечеткое множество дуг; $\delta_k \langle v_i, v_j \rangle$ – степень принадлежности дуги $\langle v_i, v_j \rangle \in Z^2$ к нечеткому множеству дуг.

В имитационном, когнитивном моделировании имеет место упрощение исследуемой системы, отображение процесса познания свойств сложной системы, преломленное через сознание исследователя (субъективное представление). В методологии и процедурах когнитивного моделирования предусмотрены инструменты анализа свойств модели, на основании которых можно модель скорректировать, отклонить в желаемом направлении для устранения противоречий и подтверждения соответствия основных свойств модели реальной системе, а также теоретическим и практическим представлениям о ней.

Таким образом, в основе когнитивного анализа припортовых систем 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. Круги деструктивного развития Кналла [355], спирали развития (позитивного, деструктивного) выступают примерами положительной обратной связи. Это отдельные фрагменты когнитивной карты. Также бывают и отрицательные связи, примером такой обратной связи может служить установление равновесия спроса и предложения на рынке транспортных услуг: повышение предложения снижает спрос и наоборот.

ПТТС – сложная система, и подробная когнитивная карта будет малоэффективна вследствие большой размерности задачи. В этом случае следует предложить иерархические когнитивные карты разных уровней. Например, строится укрупненная карта стратегического анализа, планирования и управления ПТТС, которая раскрывается совокупностью тактических карт, которые, в свою очередь, более подробно идентифицируются оперативными когнитивными картами, отражающими инвестиционную, кадровую, экономическую и пр. составляющие ПТТС.

Разработка когнитивной модели ПТТС. Укрупненные этапы исследования ПТТС на базе когнитивного моделирования перечислены на рисунке 3.7. Далее представлена их реализация для разработки когнитивного моделирования развития ПТТС с учетом задач повышения уровня организационно-технологической надежности. Предварительно на подготовительном этапе определяются проблемы устойчивого развития ПТТС.

Этап 1. В основу когнитивной модели ПТТС (рисунок 3.8) положены ранее проведенные автором исследования, связанные с анализом работы транспортной системы юга России и СКЖД, обслуживающей морские порты АЧБ и Таманского полуострова. Когнитивная карта ПТТС разработана на базе программной системы CMSS. Разработанная когнитивная модель ПТТС представляет собой иерархическую функциональную когнитивную карту высшего уровня.

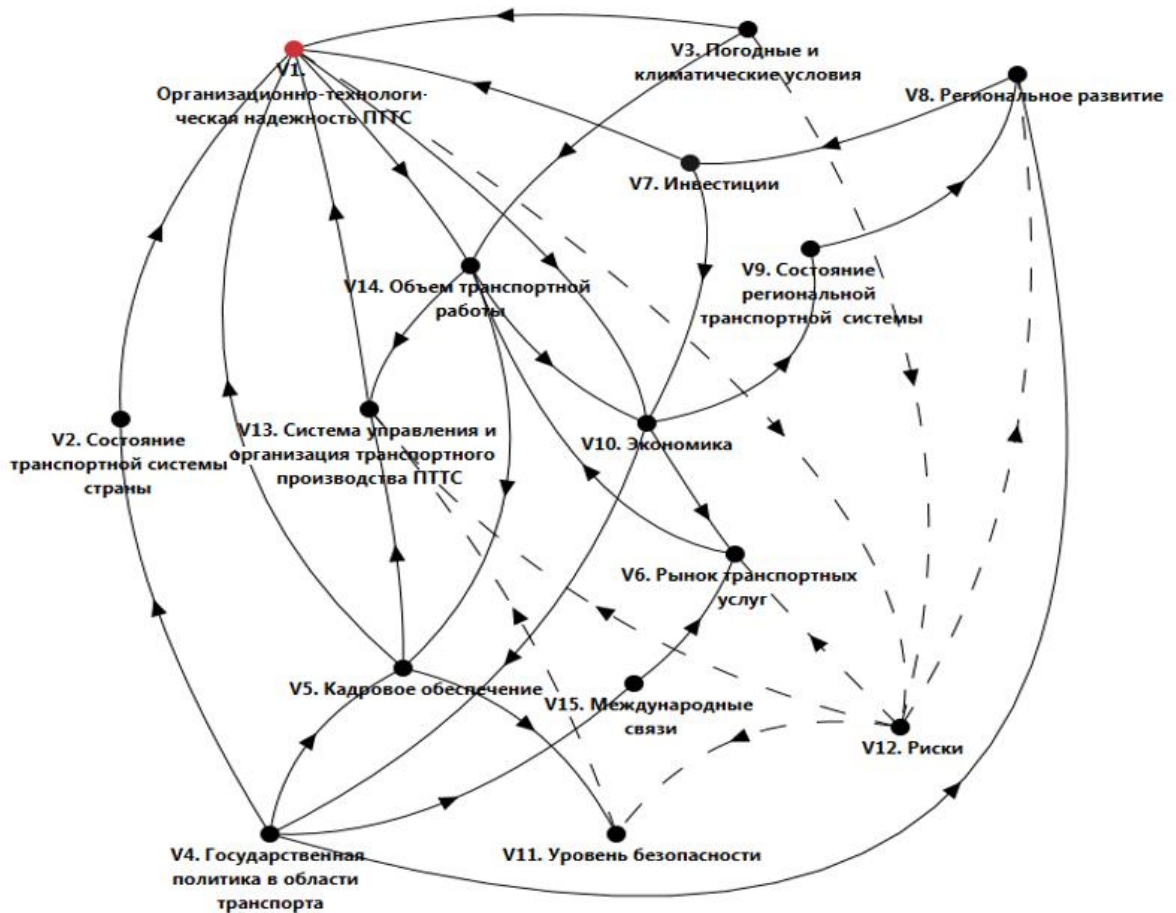


Рисунок 3.8 – Когнитивная карта верхнего уровня G_1
«Припортовая транспортно-технологическая система»

Разработанная модель (см. рисунок 3.8) с выделением 15 вершин и связей между ними представляет собой иерархическую функциональную когнитивную карту высшего уровня.

Когнитивная карта $G_k = \langle V, S \rangle$ является ориентированным знаковым графом. На рисунке 3.8 штрихпунктирными линиями обозначены отрицательные дуги (-1) (положительные/отрицательные изменения в вершине V_i вызывают отрицательные/положительные изменения в вершине V_j), а положительные дуги $(+1)$ обозначены сплошными линиями, когда положительные/отрицательные изменения в вершине V_i приводят к положительным/отрицательным изменениям в вершине V_j .

Графу разработанной когнитивной карты соответствует матрица смежности R_G , три фрагмента которой изображены на рисунке 3.9.

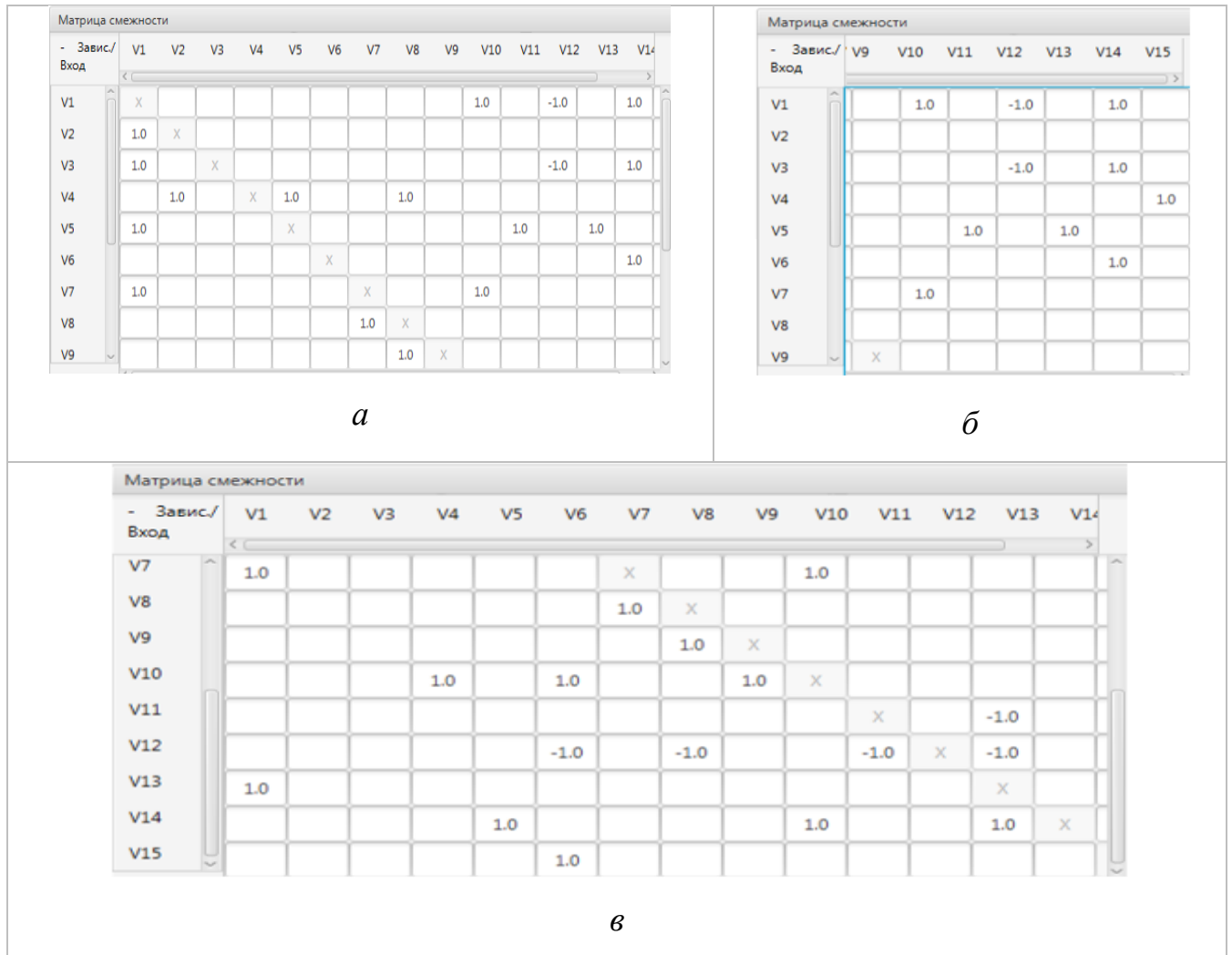


Рисунок 3.9 – Визуализация фрагментов матрицы смежности R_G :

а – первый фрагмент; *б* – второй фрагмент; *в* – третий фрагмент

Этап 2. Анализ когнитивной карты ПТТС.

2.1 Анализ вершин когнитивной карты G .

На втором этапе производится анализ когнитивной карты ПТТС, оценивается структурная устойчивость, выполняется анализ циклов когнитивной карты. Необходимо особое внимание уделить вершинам с наибольшим числом входов и выходов. На рисунке 3.10 представлена характеристика рассматриваемого графа, наибольшей степенью обладают вершины V_1 ($p = 8$), V_4 , V_5 , V_6 , V_{10} , V_{12} . В когнитивных моделях отображаются циклы (контуры) обратной связи.

Характеристики графа			
Вершин: 15. Дуг: 32.			
Вершина	p	p+	p-
V1. Организационно-технологическая надежность ПТТС	8	5	3
V2. Состояние транспортной системы страны	2	1	1
V3. Погодные и климатические условия	3	0	3
V4. Государственная политика в области транспорта	5	1	4
V5. Кадровое обеспечение	5	2	3
V6. Рынок транспортных услуг	4	3	1
V7. Инвестиции	3	1	2
V8. Региональное развитие	4	3	1
V9. Состояние региональной транспортной системы	2	1	1
V10. Экономика	6	3	3
V11. Уровень безопасности	3	2	1
V12. Риски	6	2	4
V13. Система управления и организация транспортного производства ПТТС	5	4	1
V14. Объем транспортной работы	6	3	3
V15. Международные связи	2	1	1
Макс: p = 8: V1. Организационно-технологическая надежность ПТТС			
Вход (ч.дыра): 0			
Выход (звезда): 1			
		Экспорт данных	Закрыть

Рисунок 3.10 – Исследование вершин графа G

2.2 Анализ циклов иерархической когнитивной карты ПТТС высшего уровня и оценка структурной устойчивости

В любых сложных системах, к которым относится и ПТТС, имеется особенность, отраженная в когнитивных моделях, – наличие в них контуров обратной связи.

Рассмотрение замкнутых причинно-следственных циклов позволяет проверить их на противоречия, оценить соответствие когнитивной модели в целом знаниям и представлениям о реальной системе. Если в когнитивной карте установлено большое количество циклов, усиливающих отклонения, то система может быть неустойчивой, но в то же время наличие многих циклов, противодействующих отклонению, также может приводить к неустойчивости, но другого вида – в форме колебаний с увеличивающейся амплитудой.

Циклы положительной обратной связи усиливают тенденцию к отклонению от начального состояния и обладают характерным признаком (отсутствие или четное число отрицательных дуг). Циклами отрицательной обратной связи подавляют тенденцию к отклонению от начального состояния (их признак – присутствие нечетного числа отрицательных дуг).

Важно определить циклы положительной и отрицательной обратной связи и их количественное соотношение в модели. Если колебания показателей затухают и система приходит в определенное состояние, то можно говорить об устойчивости системы. На рисунках 3.11, 3.12 представлен пример анализа циклов когнитивной карты G с выделением одного из 42 положительных циклов.

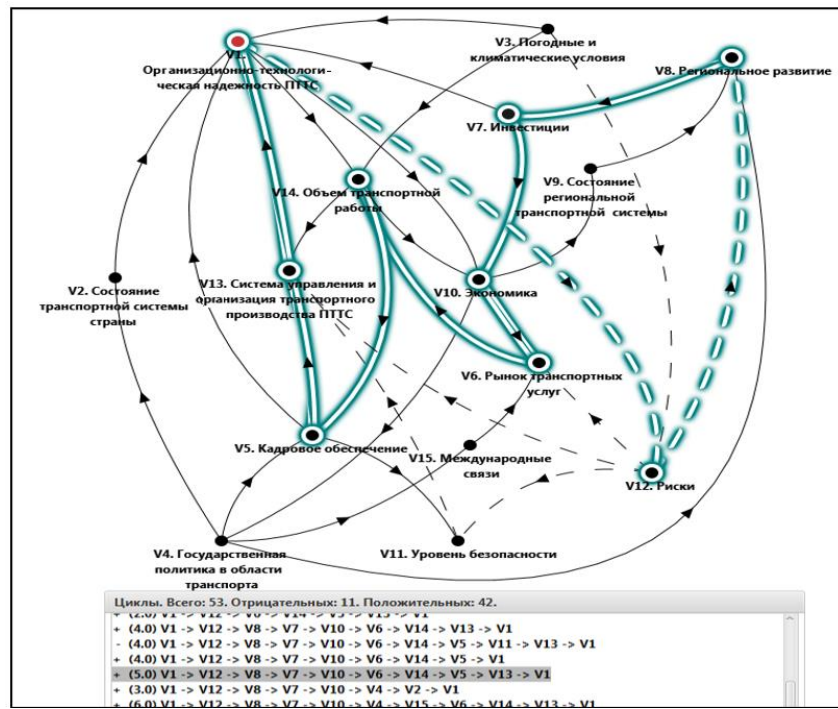


Рисунок 3.11 – Анализ циклов когнитивной карты G верхнего уровня и выделение одного из 42 положительных циклов

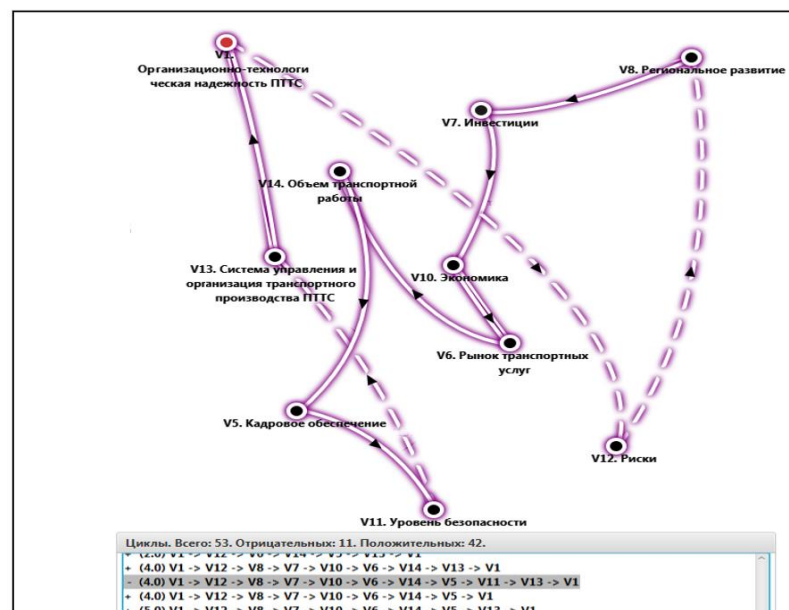


Рисунок 3.12 – Анализ цикла когнитивной карты G

2.3 Анализ устойчивости к возмущениям.

Процедура оценки устойчивости модели к возмущениям описана в исследовании [328], необходимо составить и решить характеристическое уравнение матрицы смежности R_G . На рисунке 3.13 приведены результаты такого расчета.

#	Действительная часть	Комплексная часть	Модуль (2.0657)
0	2.0657	0.0	2.0657
1	-1.0119	1.1452	1.1452
2	-1.0119	-1.1452	1.1452
3	0.0143	1.4962	1.4962
4	0.0143	-1.4962	1.4962
5	-1.0867	0.0	1.0867
6	0.1838	0.8558	0.8558
7	0.1838	-0.8558	0.8558
8	0.4847	0.3304	0.4847
9	0.4847	-0.3304	0.4847
10	-0.7512	0.0	0.7512
11	0.4303	0.0	0.4303
12	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0
14	0.0	0.0	0.0

Рисунок 3.13 – Расчет собственных чисел матрицы смежности R_G

Согласно критериям [352] система не устойчива к возмущениям $|M| < 1$, т. к. $|M| = 2,06 > 1$.

Симплициальный анализ связности системы

С исчезновением структурной связности система исчезает, поэтому важен анализ связности системы. Математическое описание задачи анализа связности часто выполняют при использовании алгебраической топологии и теории графов. В теории графов представление системы в виде графа позволяет изучать ситуации, когда i -я компонента (элемент, подсистема) влияет на j -ю и на другие компоненты по цепочкам связи. Можно определить силу связности, сопоставив каждой дуге некоторое число – вес ω_{ij} .

В теории алгебраической топологии разработаны метод a -анализа (по имени его автора, R. H. Atkin) q -связности (цепочек связи) симплексов и построения симплициальных комплексов [353].

Приложение топологического анализа связности к исследованию экономических, социальных и других сложных систем показало свою

эффективность. Рисунки 3.14 и 3.15 иллюстрируют результаты симплициального анализа когнитивной карты G для припортовой транспортной системы.

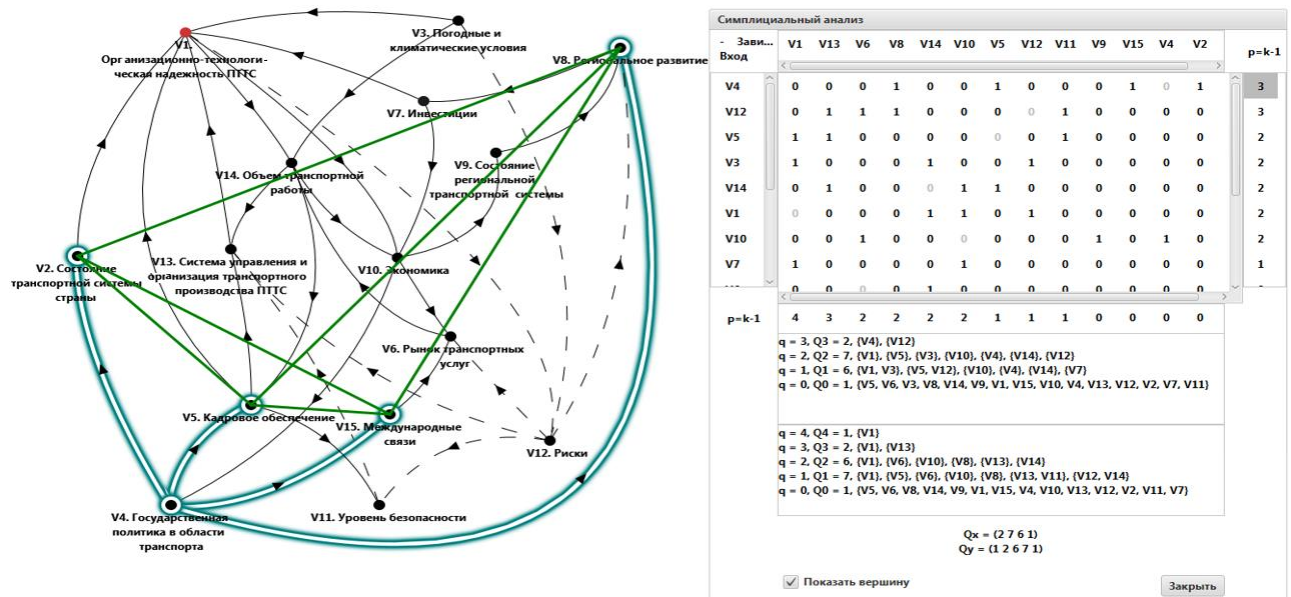


Рисунок 3.14 – Симплициальный анализ q -связности когнитивной карты G припортовой транспортно-технологической системы (пример 1)

На рисунке 3.14 выделен один из симплексов строк матрицы («входы» системы смежности R_G), образованный вершиной $V4$ (Государственная политика в области транспорта). В данном случае вершина $V4$ есть «причина» того, что между собой оказываются связанными вершины $V2$ (Состояние транспортной отрасли страны), $V5$ (Кадровое обеспечение), $V15$ (Международные связи), $V8$ (Региональное развитие).

На рисунке 3.15 выделен также один из симплексов столбцов R_G матрицы («выходы» системы смежности R_G), образованный вершиной $V13$ (система организации транспортного производства ПТТС). Эта вершина является причиной того, что вершины $V14$ (Объем транспортной работы), $V5$ (Кадровое обеспечение), $V11$ (Уровень безопасности), $V12$ (Риски) оказываются связанными и образуют блок (симплекс).

Цепочки q -связности образуют симплициальные комплексы Q_x и Q_y по входам и выходам системы соответственно (см. рисунок 3.15).

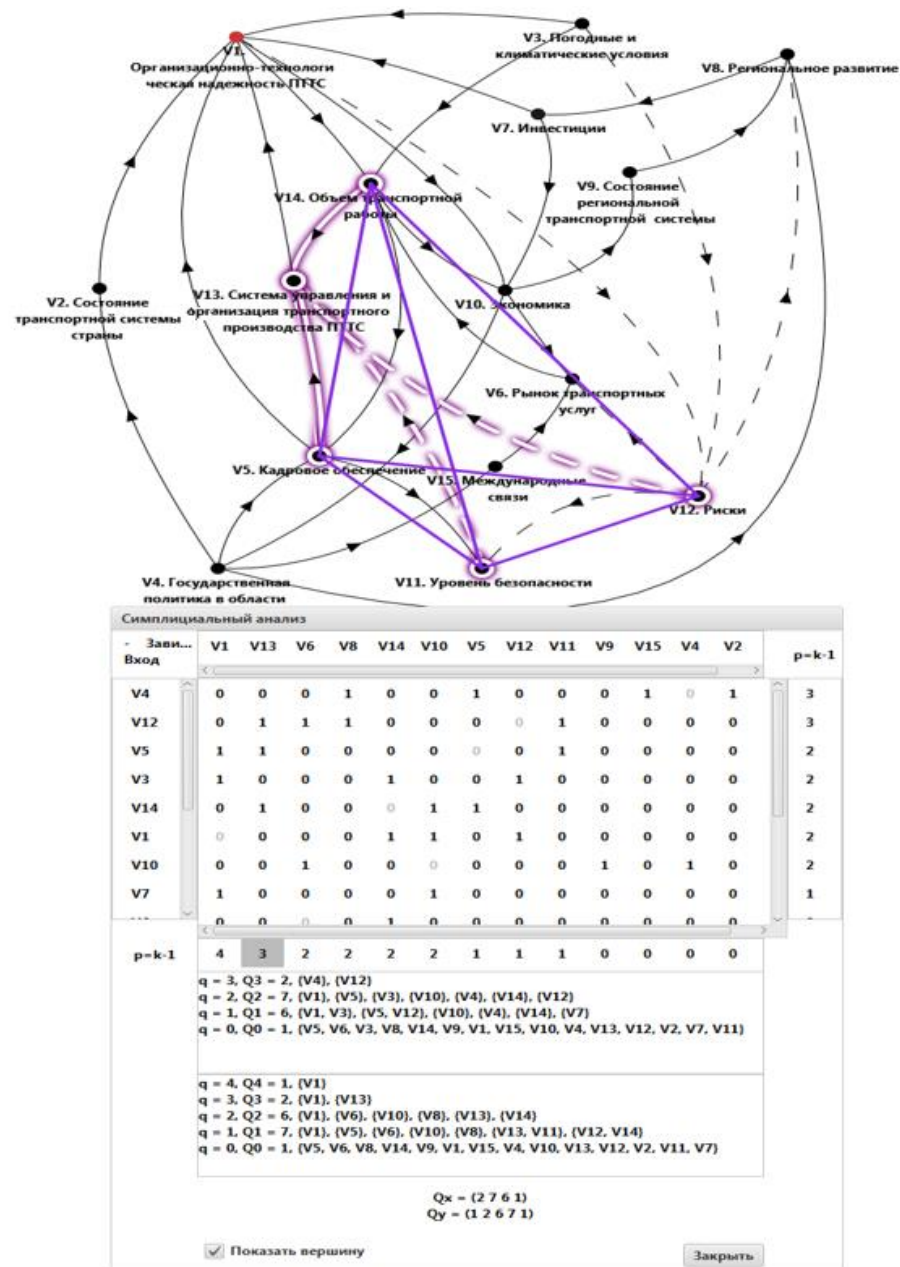


Рисунок 3.15 – Симплициальный анализ q -связности когнитивной карты G припортовой транспортно-технологической системы (пример 2)

Этап 3. В импульсных процессах когнитивной модели может быть обозначено время. Однако для знаковых орграфов (когнитивной карты) и знаковых взвешенных орграфов можно отражать только последовательность изменений состояний [352]. Поэтому результаты моделирования процессов в данном исследовании будут представлены по тактам (шагам) моделирования. Возмущения в одну, две и более вершины одновременно вносятся в ходе плана эксперимента (таблица 3.4) с помощью программной системы CMSS.

Таблица 3.4 – Разработка плана эксперимента

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

Продemonстрируем эксперимент по сценарию 1. Пусть для ПТТС в процессе моделирования увеличиваются инвестиции (без значительных изменений по другим параметрам). В вершину V_7 вносится импульс $q_7 = +1$; вектор возмущений имеет вид $Q = \{q_1 = 0; \dots q_7 = +1; \dots q_{15} = 0\}$. Результаты импульсного моделирования в табличной форме приведены на рисунке 3.16.

Шаг Вершина	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
V1. Организационно-технологическая надежность ПТТС	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	6.0	14.0	22.0	46.0	101.0	223.0
V2. Состояние транспортной системы страны	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	14.0	31.0	51.0
V3. Погодные и климатические условия	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
V4. Государственная политика в области транспорта	0.0	0.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	14.0	31.0	51.0	106.0
V5. Кадровое обеспечение	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	4.0	7.0	15.0	35.0	76.0	146.0
V6. Рынок транспортных услуг	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0	5.0	7.0	23.0	49.0	87.0	183.0
V7. Инвестиции	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	4.0	6.0	8.0	15.0	43.0	85.0
V8. Региональное развитие	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	5.0	7.0	14.0	42.0	84.0	148.0
V9. Состояние региональной транспортной системы	0.0	0.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	14.0	31.0	51.0	106.0
V10. Экономика	0.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	14.0	31.0	51.0	106.0	239.0
V11. Уровень безопасности	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0	5.0	13.0	29.0	57.0	122.0
V12. Риски	0.0	0.0	0.0	-1.0	-1.0	-1.0	-6.0	-14.0	-22.0	-46.0	-101.0
V13. Система управления и организация транспортного производства ПТТС	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	4.0	6.0	19.0	37.0	73.0	160.0
V14. Объем транспортной работы	0.0	0.0	0.0	1.0	2.0	4.0	11.0	21.0	45.0	95.0	188.0
V15. Международные связи	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	14.0	31.0	51.0

Рисунок 3.16 – Результаты импульсного моделирования в табличной форме

Этап 4. Результаты моделирования показывают (рисунок 3.17), что имеется тенденция развития процессов в системе в заданных сценарием условиях, так, значения показателей по выделенным вершинам растут (положительно), а риски – падают. Таких сценариев может быть значительное количество в зависимости от поставленных в исследовании задач (см. Раздел ПЗ.1 Приложения 3).

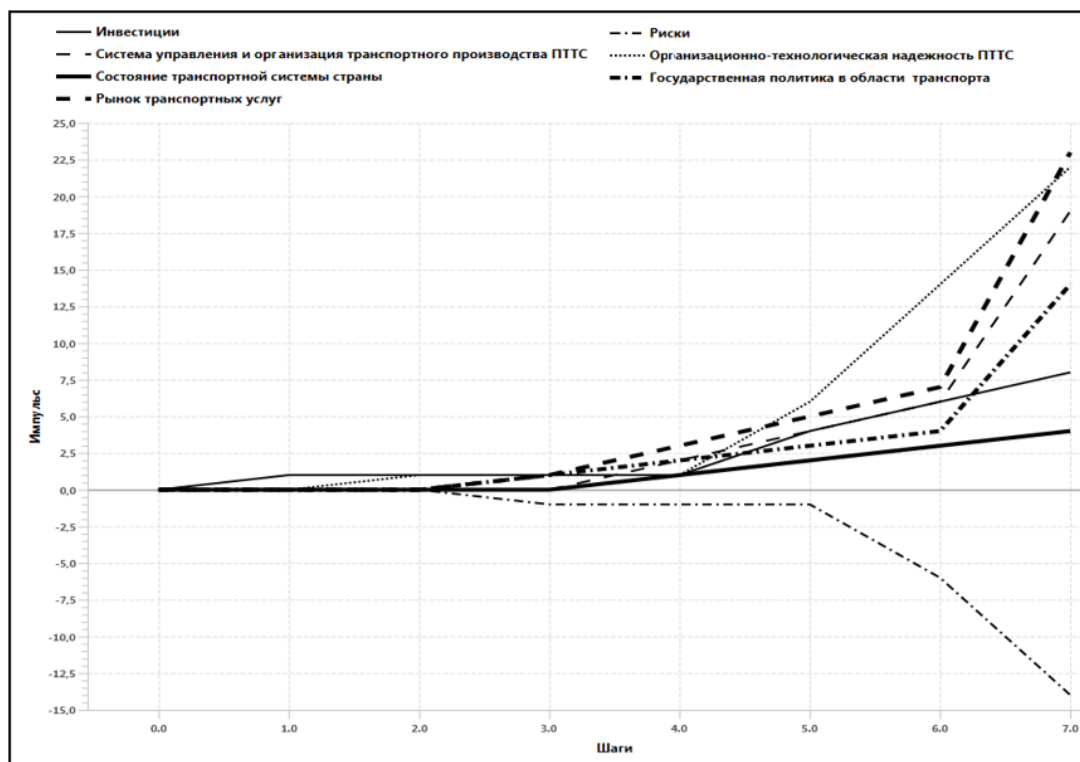


Рисунок 3.17 – Результаты импульсного моделирования (сценарий 1)

Эксперимент по сценарию 2. Импульс в вершину «Кадры» +1.

Результаты моделирования показывают (рисунок 3.18), что имеется тенденция развития процессов в системе в заданных сценарием условиях, так, значения показателей по выделенным вершинам растут (положительно).

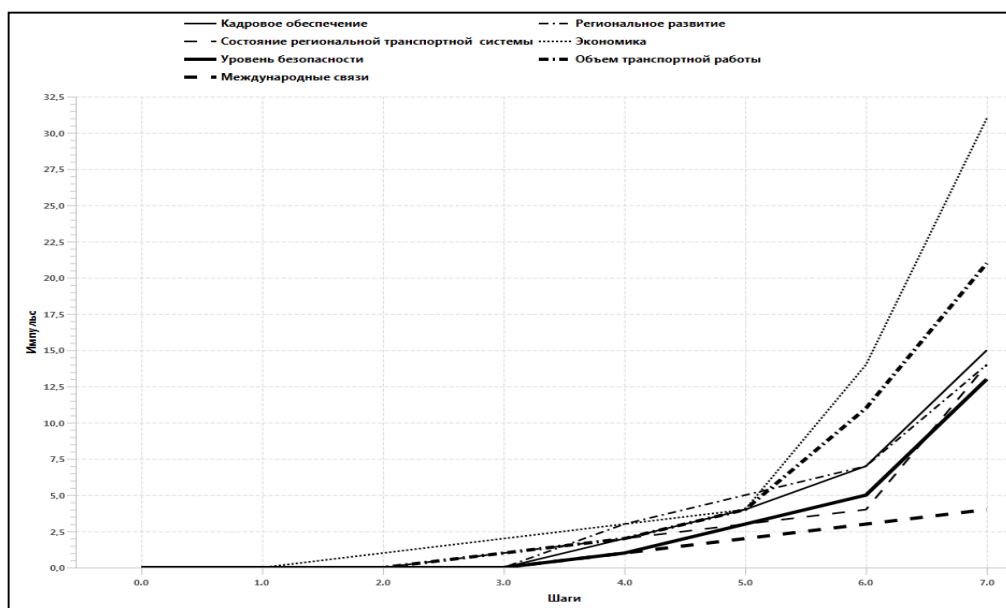


Рисунок 3.18 – Результаты импульсного моделирования (сценарий 2)

Стратегическая задача развития транспортных систем состоит в переходе от условной конкуренции между видами транспорта к интеграции и формированию комплексных транспортных решений. Для грузового и пассажирского сообщения вариативность приоритетов развития транспортной инфраструктуры имеет и территориальный аспект. Согласно расчетам по экономическим эффектам и пассажиропотокам, можно выделить три основных направления: Москва – Санкт-Петербург, Москва – Нижний Новгород – Казань и далее на Екатеринбург, Москва – Воронеж и далее Сочи, определенных для приоритетного строительства высокоскоростных железных дорог, что будет способствовать переключению части пассажиропотока на ВСМ и созданию дополнительных резервов для грузового движения. Поэтому в дальнейшем появится необходимость разработки сценариев развития транспортной отрасли, что может быть продолжено в дальнейших исследованиях когнитивного управления.

3.5 Выводы по третьей главе

Предложена методологии организации транспортного производства в ПТТС, основанная на повышении ОТН производственных процессов и применении когнитивного моделирования для ПТТС в условиях изменения объемов транспортной работы взаимодействующих видов транспорта, усложнения ОТУ, развития цифрового производства и интеллектуализации управляющих воздействий в ПТТС. Рассмотрены основные виды надежности применительно к исследованию транспортных систем и дополнены методы, инструменты оценки и повышения ОТН элементов ПТТС.

Актуализирована задача принятия сложных решений в транспортных системах в условиях высокой априорной неопределенности, дефицита времени на принятие решения, высокой размерности задачи управления, сильно зашумленных исходных данных. Решение поставленной задачи предлагается осуществить за счет трансляции опыта и интуиции специалиста-эксперта в машинные блоки принятия решений. В связи с этим исследован математический

аппарат формирования интуиции в человеко-машинных комплексах принятия решений по управлению ПТТС.

Проведены систематизация и уточнение категориального аппарата исследования транспортных систем в части понятий «искусственный интеллект на транспорте», «принятие решений», «интуиция специалиста-эксперта». Акцентируются особенности и проблемы исследования ОТН функционирования интеллектуальных транспортных систем. Показана необходимость введения численного показателя надежности принимаемого решения, позволяющего осуществлять сравнение и градацию потенциально возможных решений. Определена необходимость оценки ОТН на разных иерархических уровнях.

Исследование ОТН предлагается выполнять на базе когнитивного моделирования. В связи с чем исследованы возможности применения методологии когнитивного моделирования для ПТТС в условиях изменения объемов транспортной работы взаимодействующих видов транспорта, изменения системы управления транспортным производством и других условий.

В результате проведенного исследования определены основные элементы ПТТС с участием железнодорожного транспорта, изменение параметров работы которых может повлиять на устойчивое функционирование транспортной отрасли. Предложена многоэтапная методология когнитивного моделирования ПТТС, включающая формирование различных типов когнитивных моделей и определение их свойств. 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). Приведены результаты экспериментов импульсного моделирования развития ПТТС с учетом выделенных факторов и элементов системы. Дальнейшие направления развития методологии исследования ПТТС с использованием когнитивного моделирования видятся в составлении более подробных когнитивных карт, совершенствовании интеллектуальных систем для ПТТС, база знаний которых включает когнитивное моделирование.

4 МЕТОДОЛОГИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ (ОТУ) ПЕРЕВОЗКАМИ В ПРИПОРТОВЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

4.1 Реализация логистической парадигмы управления взаимодействием железнодорожного и морского видов транспорта в припортовых транспортно-технологических системах

Возникновение во второй половине XIX в. смешанного железнодорожно-морского и железнодорожно-речного сообщения и формирование к середине 1980-х гг. Единой транспортной системы СССР легли в основу организации перевозочного процесса на принципах централизации планирования смешанных перевозок, создания узловых соглашений и ЕТП, осуществления прямых смешанных сообщений по единому перевозочному документу, введения стимулирующих тарифов и т. п. Однако с переходом к рыночной экономике с учетом появившихся трудностей в организации перевозочного процесса на смену старой парадигме пришла новая логистическая парадигма управления взаимодействием видов транспорта в ПТТС. Основным производственным ресурсом в современных условиях стали информация и наукоемкие технологии.

Вследствие доминирующей роли морского транспорта в глобальной транспортной системе морские порты исторически являлись «грузовыми полюсами», к которым «притягиваются» все остальные транспортные системы и сопутствующие логистические виды деятельности [356, 357]. В методологии логистического управления ключевые роли играют портоориентированная логистика, системность управленческих решений, адаптивность, безопасность, надежность функционирования, экологичность, синхронизация по потокам ресурсов/затрат, финансовое обеспечение управленческих решений, регулирование в режиме реального времени, защита информации и структуризация информационных потоков, прогнозирование стратегии развития.

Основные подходы к логистической организации перевозок в смешанном железнодорожно-морском сообщении предполагают несколько вариантов: организацию перевозок при наличии оператора фрахта или при наличии оператора смешанной перевозки (чаще в зарубежной практике) и создание узловых информационно-координационных логистических центров (зарубежная и отечественная практика). Так, первые шаги в создании логистических центров (Дорожные логистические центры (ДЛЦ)) для координации железнодорожно-морских перевозок были сделаны на Северо-Кавказской, а далее Дальневосточной, Октябрьской железных дорогах [358] (рисунок 4.1).

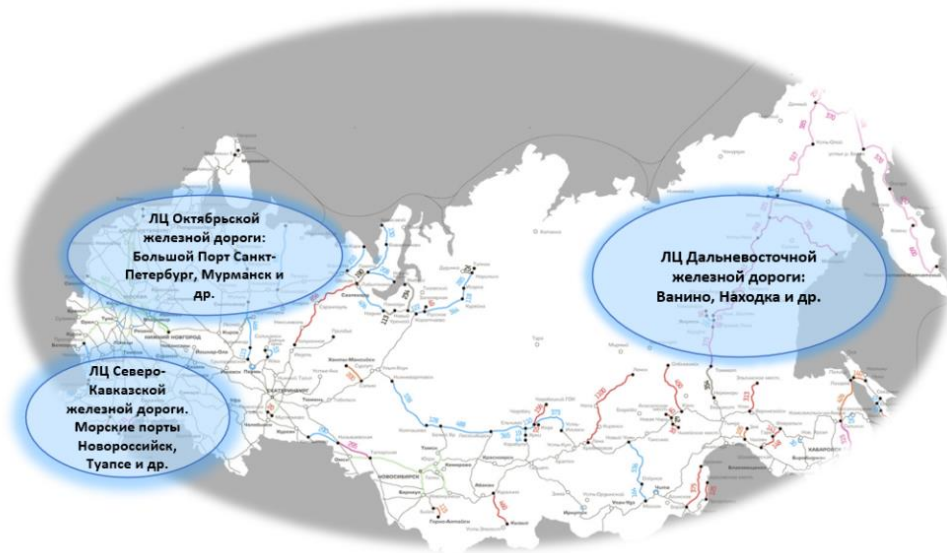


Рисунок 4.1– Расположение ДЛЦ на полигонах железных дорог

Так на юге страны в период 2003–2004 гг. был создан Дорожный центр управления перевозками (ДЦУП), что позволило сконцентрировать управление перевозочной деятельностью дороги в одном месте, а в рамках дальнейшего развития ОТУ на СКЖД были созданы ДЛЦ и Логистический отдел на станции Новороссийск. Фактически до 2024 года ДЛЦ входил в состав Северо-Кавказской дирекции управления движением – структурного подразделения Центральной дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД». В это же время на дороге были разработаны первые информационные технологии взаимодействия с портами, например, было разработано АРМ «Порты Южного региона».

В дальнейшем был образован Информационный логистический центр порта, который взаимодействовал с Логистическим отделом станции Новороссийск. Аналогичные преобразования в структуре управления предусматривались и для других крупнейших железнодорожных узлов сети (например, формирование единого информационно-управляющего логистического центра (ИУЛЦ) Усть-Лужского транспортного узла в 2015 г. [4]).

Наиболее качественное планирование ДЛЦ удалось реализовать при организации перевозок в пределах припортовой железной дороги: фактически была отработана логистическая цепочка управления экспортными потоками от момента поступления вагонопотоков по стыковым пунктам припортовой дороги до момента окончания грузовых операций. Процесс же от момента приема заявок к перевозке до момента поступления экспортных грузов на дорогу с учетом отсутствия в то время информационно-управляющего инструментария оставался неуправляемым [203]. Негативным этапом управления оставался и последний этап перевозки (рисунок 4.2) [358]. Такая технология управления грузопотоками и вагонопотками в адрес крупных потребителей зачастую не позволяла своевременно и эффективно принимать управляющие решения по пропуску экспортных грузопотоков, в связи с чем были выработаны авторские организационно-технологические, социальные, экономические аспекты развития логистического управления припортовой железной дороги. В рамках полигонной модели управления было предложено расширение полномочий ДЛЦ или включение ДЛЦ в состав ЦД. Начиная с 2024 года действует технология работы Северо-Кавказского отдела логистики перевозок и информационного анализа (СКАВ ЛП). Октябрьский и Северо-Кавказский отделы логистики перевозок и информационного анализа являются подразделениями Оперативного управления Центральной дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД». Дальневосточный отдел является подразделением Центра управления перевозками на восточном полигоне. Управление логистики перевозок и местной работы Центральной дирекции управления движением координирует СКАВ ЛП по вопросам организации перевозок в направлении морских портов. Структура СКАВ ЛП представлена в Разделе П4.1 Приложения 4.

Внутридорожные перевозки

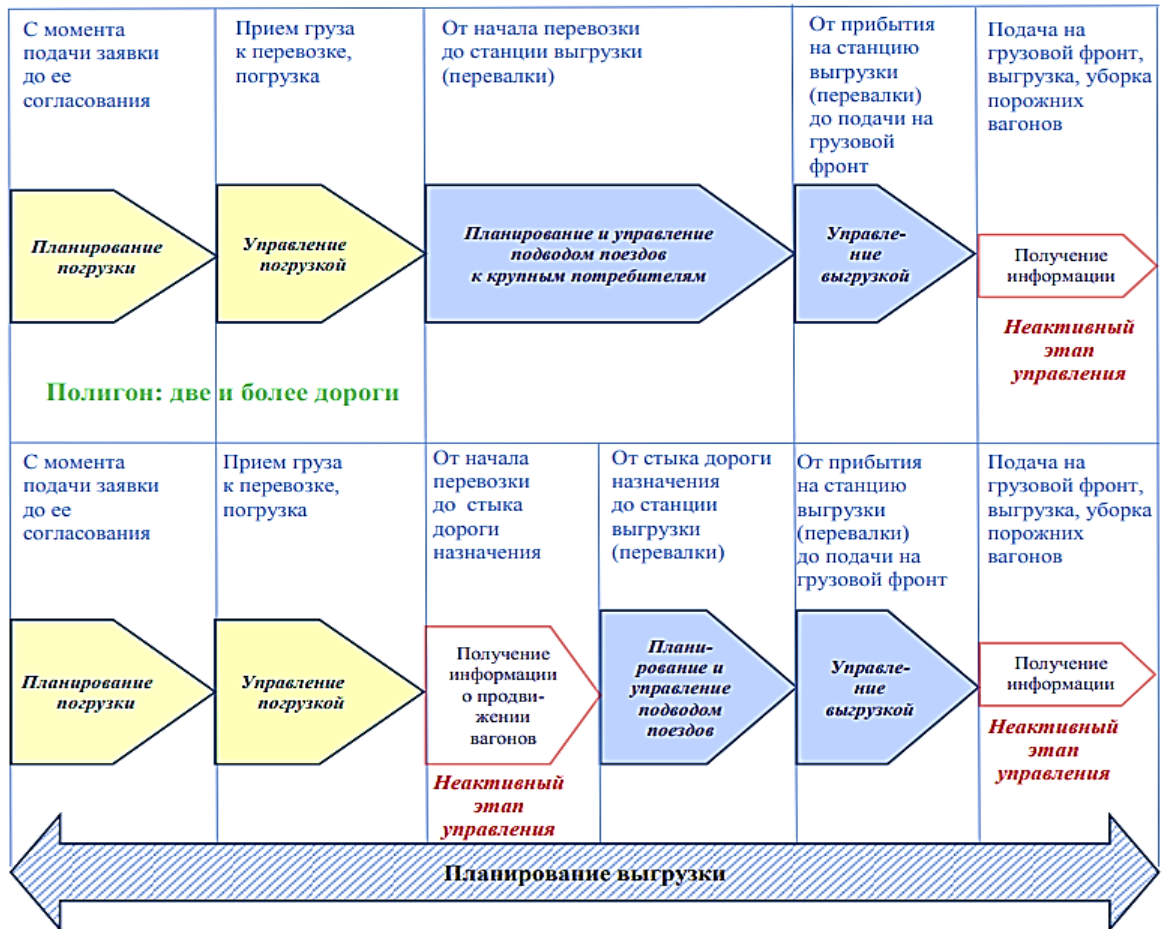


Рисунок 4.2 – Этапы управления грузопотоками и вагонопотоками в адрес крупных потребителей (портов и предприятий регионов)

В отечественной практике развития организационно-технологического управления (ОТУ) припортовыми железными дорогами можно выделить три этапа, приведенных на рисунке 4.3.

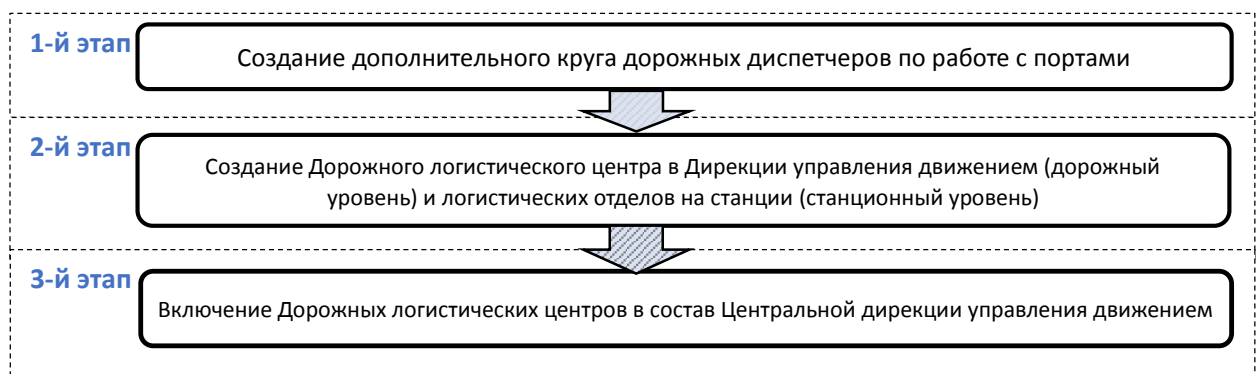


Рисунок 4.3 – Этапы развития структуры логистического управления железнодорожно-морскими перевозками

Современная организационно-административная структура управления эксплуатационной работой припортовых железных дорог на сети дорог ОАО «РЖД» представляет собой многоуровневую систему оперативного руководства с разграничением обязанностей оперативно-диспетчерского персонала в вертикально интегрированной схеме управления (Приложение 4, Раздел П4.1).

Управление грузопотоками на грузонапряженных железнодорожных направлениях в адрес крупных потребителей (портов и предприятий регионов), как было показано во второй главе, имеет свои специфические особенности. Такие грузопотоки зарождаются и концентрируются в системе МТК, проходящих по территории страны, и, следуя в адрес крупных потребителей регионов, требуют логистического мониторинга их продвижения. Поэтому система управления грузопотоками на таких направлениях – *многоуровневая и многоэтапная*, и включает такие элементы, как:

- *планирование погрузки* грузов в целом по сети и в адрес крупных потребителей региона и портов с учетом инфраструктурных ограничений и возможностей пунктов перевалки (выгрузки); согласование плана завоза экспортных грузов, следующих через порты и нефтеперевалочные базы; контроль отгрузок грузов на припортовые станции дороги;

- *оперативное планирование поездной и местной работы* подразделений припортовой железной дороги (введение приоритетов в пропуске поездов с определенными номенклатурами грузов, определение очередности подачи вагонов на грузовые пункты и др.); формирование предложений по оперативной корректировке плана формирования поездов, следующих в адрес морских портов; определение набора регулировочных мероприятий в зависимости от эксплуатационной обстановки дороги; составление плана подвода поездов; взаимодействие с секторами и отделами дирекции движения;

- *применение логистических технологий* доставки грузов («грузовые экспрессы», организация работы по формированию судовых партий на полигоне дороги при организации перевозок по договорам);

– *мониторинг* продвижения грузопотоков на грузонапряженных направлениях; ведение учета наличия складских емкостей морских портов и терминалов; формирование ежесуточного аналитического справочного материала о выгрузке в портах и нефтебазах; анализ дестабилизирующих факторов влияния на продвижение экспортного грузопотока – причин бросания поездов и невыполнения норм выгрузки; ежесуточный анализ выполнения плана подвода поездов к припортовым станциям с предоставлением анализа в ДЦУП, ЦД;

– *управление выгрузкой* (перегрузкой) и взаимодействие с морским видом транспорта, агентами в ПТТС;

– *управление продвижением порожнего подвижного состава.*

Матрица распределения полномочий и ответственности при включении ДЛЦ в состав Дирекций управления движением (ДУД) приведена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Матрица распределения полномочий и ответственности подразделений при организации работы с внешнеторговыми грузами [359]

Основные задачи	ЦФТО, ТЦФТО	ДЦУП	ДЛЦ, логистические группы станций	Порты, пункты перевалки
1. Планирование объемов перевозок грузов в смешанном сообщении с учетом согласованного подвода подвижного состава к транспортному(перегрузочному) узлу	+		+	+
2. Совместное ежемесячное рассмотрение плана завоза экспортных грузов грузоотправителями в адреса портов, других крупных получателей	+		+	+
3. Корректировка плана завоза экспортных грузов	+		+	+
4. Полное и своевременное обеспечение всех имеющихся заявок на перевозку грузов в смешанном сообщении	+		+	
5. Увеличение размеров перевозки грузов в смешанном сообщении	+		+	+
6. Разработка и реализация плана подвода грузов к транспортным узлам и пунктам перевалки		+		
7. Анализ и обобщение результатов выполнения месячного плана перевозки грузов в смешанном сообщении	+		+	+
8. Анализ причин задержек транспортного конвейера на стыке взаимодействующих видов транспорта	+	+	+	+

Укрупненно процесс управления доставкой грузов в железнодорожно-морском сообщении можно представить в виде ряда технологических цепочек, к которым применительны управляющие воздействия (рисунок 4.4).



Рисунок 4.4 – Технологические этапы при управлении доставкой грузов в железнодорожно-морском сообщении

Каждый из этих этапов требует отдельного рассмотрения с позиций изменений в организационно-технологическом управлении (ОТУ), интеллектуализации процессов управления и, как следствие, формирования новых или корректировки сквозных бизнес-процессов.

В качестве первого примера рассмотрим решение задачи управления погрузкой экспортных грузов в адрес припортовой железной дороги с динамикой изменения в ОТУ (изменение структуры логистического управления и развитие информационно-управляющих систем). Для осуществления перевозки грузов грузоотправитель подает заявку ф. ГУ-12. Заявка становится доступна получателю (морскому порту), который в данном случае выступает как конечное звено согласования. Технологическая схема согласования приема экспортных грузов к перевозке с участием ДЛЦ, ТЦФТО, грузовладельцев, портов и других участников перевозочного процесса приведена в Разделе П4.2 Приложения 4.

На рисунке 4.5 показан план завоза груза в адрес ОАО «Импортопищепром» (ОАО «ИПП») в сравнении с максимальной выгрузочной перерабатывающей способностью по договору.

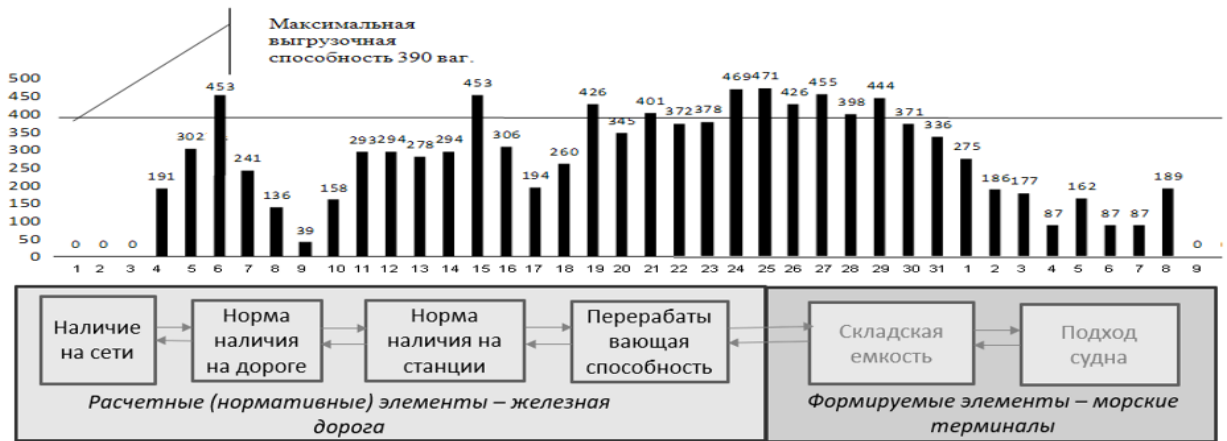


Рисунок 4.5 – План фактического завоза груза в январе-феврале исследуемого года в адрес ОАО «ИПП», расчетные и формируемые элементы анализа

Из данных рисунка 4.5 видно, что в третьей декаде месяца завоз будет превышать выгрузочные способности ОАО «ИПП» и необходимо корректировать даты погрузки грузов [359].

Однако отказ от приема грузов портам и железнодорожникам невыгоден, поэтому, если заявка не согласовывается дорогой назначения, ЦФТО может включить эти объемы в дополнительный план без учета положения на дороге, что не всегда эффективно отражается на результатах ее работы. Такая ситуация может приводить к сгущенному подводу грузов на припортовые станции в отдельные периоды планирования и требует анализа темпа прибытия вагонов с учетом наличия на дороге груза, темпа выгрузки и остатков грузов на складах (см. рисунок 4.5, таблица 4.2).

С появлением нового инструмента оценки загрузки инфраструктуры ДМ ЗИ появилась возможность отказаться от ручной корректировки планов погрузки и завоза. Стало возможным в режиме реального времени получать информацию о состоянии грузовых отправок на сети дорог с глубиной прогноза 45 суток, технических и технологических ограничениях на сети дорог; согласовывать заявки ф. ГУ-12 и видеть прозрачность причин их отклонений.

Таблица 4.2 – Анализ вагонопотоков в адрес станции Новороссийск

01.2010	Поток на дороге, ваг.	Погрузка сети, ваг.	Выгружено НВРС, ваг.	Отставлено поездов	Торговый порт											
					Зерно			Удобрения			Руда			Черные металлы		
					Погр.	Выгр.	Отставлено поездов	Погр.	Выгр.	Отставлено поездов	Погр.	Выгр.	Отставлено поездов	Погр.	Выгр.	Отставлено поездов
1	4803	980	1147	33	0	0	0	145	55	9	177	175	13	308	187	0
2	4806	850	1004	28	0	0	0	14	95	9	208	119	11	108	208	0
3	4320	741	1185	28	0	0	0	43	194	9	79	136	13	140	254	0
4	4373	692	1129	24	0	0	0	50	45	10	0	284	11	91	421	0
5	4373	669	1040	24	0	0	0	50	71	10	0	173	11	92	236	0
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
29	3202	1249	1053	17	0	0	0	214	71	11	225	168	3	215	203	0
30	2991	1055	950	16	0	0	0	106	77	11	192	159	3	265	173	0
Сред.	3349	933	1024	13	0	0	0	95	95	5	137	161	5	182	202	0,033

Планирование происходит непрерывно. В настоящее время план разрабатывается на месяц, однако перспективная задача – понижение периода планирования в целях повышения его достоверности [308]. Создается новый регламент сквозного бизнес-процесса формирования и исполнения суточного клиентского плана погрузки, корректируется технологическая схема согласования приема экспортного груза к перевозке (Приложение 4, Раздел П4.2).

Второй пример. Задача оперативного управления продвижением вагоно- и поездопотоков в адрес морских портов требует разработки и корректировки планов подвода поездов с учетом ситуации на припортовой железной дороге, припортовой станции и грузовых фронтах. Обобщенная модель процесса оперативного управления поездной работой включает набор колец регулирования (Приложение 4, Раздел П4.3). В указанную модель «встраивается» процесс формирования и корректировки плана подвода поездов на припортовую станцию. Логистический отдел является ответственным за формирование плана подвода поездов. Ответственным за реализацию плана подвода поездов является Диспетчерский центр управления перевозками.

Следует отметить, что за последние десятилетия также происходили изменения в части управляемого подвода поездов на припортовые станции. Выделим авторские предложения, реализованные в производственных условиях:

1) переход к системе управления производственным процессом «тянущего» типа и, как следствие, развитие структурированного подвода поездов к припортовым станциям;

2) количественное и качественное развитие технологических и информационных инструментов составления плана подвода поездо- и вагонопотоков к морским портам.

В ряде исследований [360, 361] проводится анализ структуры поездо- и вагонопотоков, поступающих в адрес приморских регионов. Такие исследования позволили не только увидеть работу припортовых дорог в динамике, но и выработать *подход к структурированному подводу* грузопотоков по стыкам и станциям припортовой железной дороги, апробированный на СКЖД. Структурированный подвод грузопотоков в направлении морских портов предполагает:

- корректировку технико-технологической модели работы припортовой дороги в зависимости от доли поступающих поездо- и вагонопотоков по стыкам дороги, в т. ч. доли маршрутных отправок [218];

- формирование структурированного плана подвода по стыкам припортовой железной дороги с учетом накопления вагонов на станциях формирования поездопотоков на припортовые станции, обслуживающих морские порты (рисунок 4.6). Указанное позволило не только увеличить долю полезного груза, подводимого на припортовые станции, но и снизить нагрузку на пропускную способность дороги. Такой подход к формированию управляющих воздействий по отношению к поездо- и вагонопотокам соответствует опыту применения *lean-производства* («бережливого производства») на ряде зарубежных и отечественных предприятий, например в производственной системе Toyota (TPS) [362].

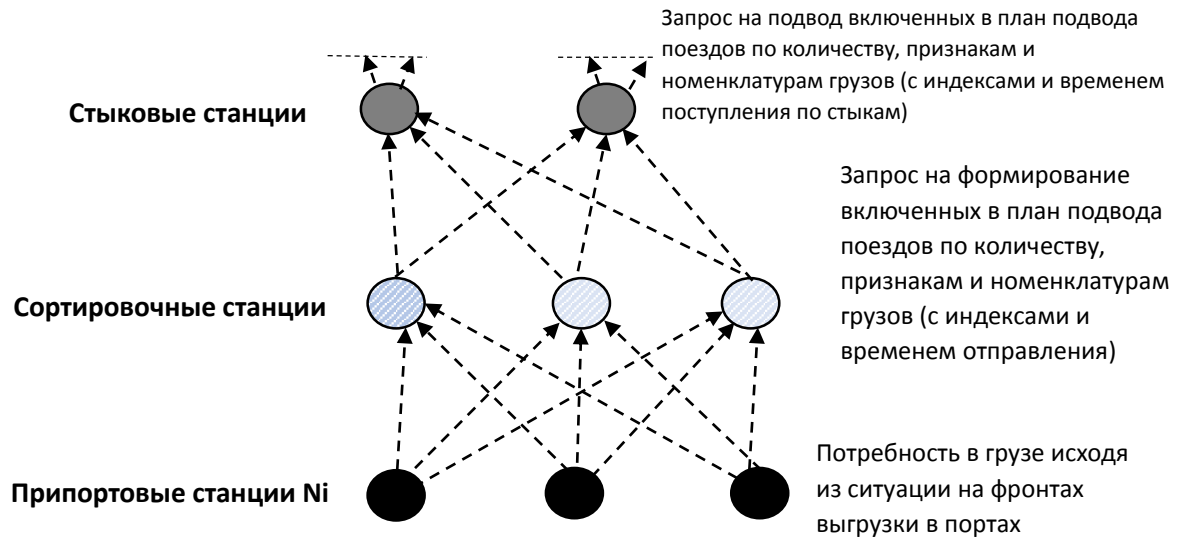


Рисунок 4.6 – Общая схема составления структурированного плана подвода поездов по стыковым и сортировочным станциям припортовой железной дороги

В системах ПТТС, построенных на принципах Lean, обычно составляются списки видов потерь, которые следует устранять, и предлагаются мероприятия для их ликвидации. Необходимо обеспечивать:

- максимально одинаковую производительность всех операций переработки (погрузки, сортировки, переработки, выгрузки и т. п.) и транспортировки (скорости движения) во избежание скопления запасов (вагонов) между операциями – принцип выравнивания потока;
- постоянную работу по повышению производительности по всей цепочке, начиная с конечных операций, а также работу по устранению потерь времени (простоев) и материальных ресурсов;
- переход к системе управления производственным процессом «тянущего» типа, при которой последующие участки по технологическому процессу «вытягивают» на себя из предыдущих участков только нужное им количество вагонов и в нужный момент (рисунок 4.7). Т. е. стратегия организации технологического процесса должна быть ориентирована на изменение интенсивности погрузки-выгрузки в конечном пункте, зависящее от различных ситуаций, в отличие от классической системы «толкающего» типа [8,362].

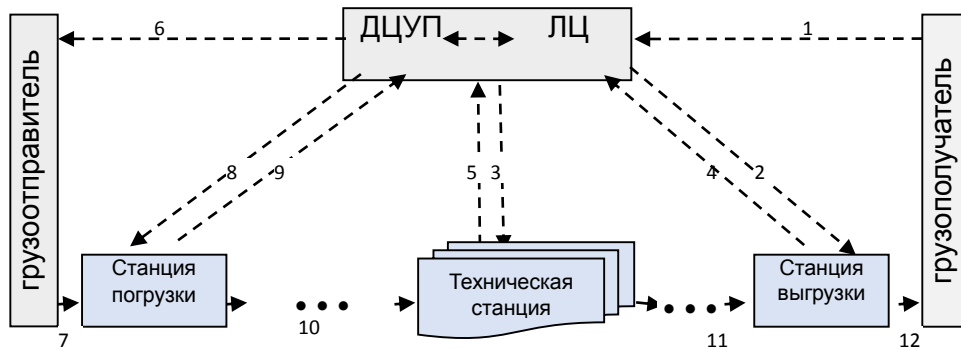


Рисунок 4.7 – Система управления производственным процессом
«тянущего» типа:

1 – требование на необходимое количество подвода вагонов нужной номенклатуры от диспетчерского аппарата с линейного уровня на уровень (ДЦУП) дирекции управления движением; 2, 3, 4, 5 – оценка наличия вагонов с данным грузом в системе и его состояния; 6 – разрешение на погрузку необходимого количества грузов в результате обработки данных расчета темпа подвода и выгрузки; 7 – завоз груза грузоотправителем на станцию погрузки, где подготовлены к этому моменту порожние вагоны; 8 – приказ на отправление погруженных вагонов, так чтобы они прибыли на станцию назначения в нужный момент; 9 – передача сообщения о погрузке вагонов в АСОУП дороги и соответственно в ДЦУП; 10, 11, 12 – передача вагонов с предыдущего участка на последующие по ходу технологического процесса

Таким образом, изменение парадигмы управления перевозками в ПТТС заключается не столько в полной комплексной автоматизации и цифровизации процессов предоставления транспортных услуг и организации перевозок [363], сколько в принципиальном изменении ОТУ и формировании новых бизнес-процессов с учетом количественного и качественного роста информационных инструментов, охватывающих все большее число фаз перевозок.

4.2 Технологические и бизнес-процессы организации перевозок в железнодорожно-морском сообщении в условиях интеллектуализации процессов управления и диверсификации транспортных услуг

При управлении технологическими процессами в ПТТС все чаще используются инструменты различных профилей, в том числе, интеллектуальные, которые задействуются во многих бизнес-процессах организации грузоперевозок, осуществляемых железнодорожным и морским транспортом (рисунок 4.8).



Рисунок 4.8 – Технологические и бизнес-процессы в организации железнодорожно-морских перевозок

Одной из ключевых задач развития железнодорожно-морских перевозок на перспективу является дальнейшая цифровая трансформация транспортного комплекса и его элементов, развитие концепции цифровой железной дороги,

железнодорожной станции и классов автоматизированных решений, которые обладают высоким потенциалом использования для поддержки требований сервисных блоков в контексте модели цифровой железной дороги), что отражено в ряде принятых нормативных документов и исследований [97,391].

На основании анализа опыта развития технологических и бизнес-процессов организации перевозок железнодорожно-морском сообщении в условиях интеллектуализации процессов управления и диверсификации транспортных услуг автором сформированы следующие требования к ним:

1 *Оперативность и гибкость*. Так в исследовании [308] установлено, что оперативность в планировании увеличивает число согласованных заявок. План погрузки становится точнее, и повышается качество перевозочного процесса. Данный вывод сделан на основании анализа статистических данных по Куйбышевской (при периоде плана «15 на 10 дней» точность плана составит 41 %), и по Дальневосточной (при периоде плана «7 на 7 дней» точность плана составит 78 %) железным дорогам, где прослеживается увеличение точности плана в сравнении с существующей технологией планирования, особенно для припортовой железной дороги.

Указанная задача по повышению оперативности процессов согласования связана не только с производственным, сбытовым циклами, но и с этапом формирования новых и диверсификации транспортных услуг [364, 365]. При анализе бизнес-процессов, где оперативность была утрачена в силу изменения форм управления, демонстрируется ухудшение качественных показателей каждого взаимодействующего агента. Так, после перехода грузовых вагонов из инвентарного парка перевозчика в собственный под управлением операторских компаний система организации порожних вагонопотоков претерпела кардинальные изменения [366]. В настоящее время горизонт планирования подвода порожних вагонов под погрузку увеличился [367]. В этих условиях также актуально решение задачи интеграции с автоматизированными системами управления крупных грузоотправителей и операторов железнодорожного подвижного состава.

Гибкость необходима во взаимодействии с клиентами и другими видами транспорта. При смешанных перевозках увеличивается риск несоблюдения агентами перевозок внутренних технологических и бизнес-процессов, что в свою очередь приводит к затруднениям в работе транспортного комплекса в целом. Необходимо доверительное (прозрачное) и долгосрочное (с временным интервалом 3–7 дней) планирование взаимодействия между грузополучателем и перевозчиком [8,272].

2 *Альтернативность*. Другое требование к технологическим и бизнес-процессам – это альтернативность, особенно в области взаимоотношений с клиентами. Например, использование альтернативных маршрутов, предлагаемых клиентам, способствует увеличению грузовой базы и компенсации затрат перевозчика при перевозке «кружностью», этому же способствует «варьирование даты погрузки» [369, 370].

3 *Интеграционное взаимодействие бизнес-процессов*, реализованных в том числе в информационных и интеллектуальных моделях, и отсутствие противоречий между ними [368]. Например, если система ДМ ЗИ выдает модельные маршруты продвижения, графики подач и альтернативные маршруты, то АСУ СТ НП после получения этих данных рассчитывает уточненные параметры с учетом многофакторной оценки текущей эксплуатационной ситуации и детального оперативного прогнозирования.

4 *Наличие системы внутреннего контроля корректности* прогнозных и реализованных технологических элементов (например, построения прогнозного маршрута проследования отправок, прогнозной «нитки» графика и т. д.).

5 *Вариабельный анализ различных сценариев* реализации бизнес-процессов как на этапе разработки новых сценариев, так и на этапе анализа возможностей их улучшения [146, 371], в т. ч. с учетом предиктивных моделей железнодорожных перевозок. Опыт применения различных методов моделирования бизнес-процессов транспортных компаний подробно изложен в исследовании [372].

6 *Соответствие нормативным технологическим документам* с автообновлением технологических норм, предопределяющих при их

качественном выполнении баланс интересов участников транспортного процесса и экономическую эффективность перевозок.

7 Сохранение или повышение уровня ОТН при корректировке или переходе на новые бизнес-процессы, учет региональных особенностей ПТТС при реализации новых технологий (так, например, протяженность припортовой железной дороги может влиять на этапы организации подвода «полезного» груза).

8 Соблюдение в бизнес-процессах принципа клиентоориентированности [373, 374, 376]. Важное место в решении этих задач занимает создание Единого каталога услуг (ЕКУ) в области грузовых перевозок [375], обсуждение которого состоялось на Объединенном ученом совете ОАО «РЖД» (ОУС), прошедшем в январе 2021 года. В этой области в авторском видении предложено дополнение традиционных услуг ЕКУ по договорной работе, представленных на рисунке 4.9, отдельными сервисами для припортовых железных дорог по использованию инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования [299].



Рисунок 4.9 – Услуги и договорная работа по организации грузовых железнодорожных перевозок

Развитие цифровых сервисов позволит клиентам ОАО «РЖД» получить полную информацию о более чем 300 услугах, предлагаемых холдингом, в т. ч. предложениях всех дочерних компаний. Примерно треть всех услуг электронного каталога ориентированы на оптимизацию использования грузового вагона –

переадресовку, маршрутизацию, формирование грузовых экспрессов, работу шаттлов и т. д. Важность создания ЕКУ связана также с необходимостью систематизации и идентификации основных услуг, оказываемых холдингом в области грузовых перевозок в цифровом формате, а также с формированием комплексной транспортной услуги [377–379]. Данная система также станет полезным инструментом для ОАО «РЖД», позволяющим отслеживать поступающие от клиентов запросы и динамику изменения спроса и подстраивать процессы под запросы клиентов.

С учетом специфики работы железных дорог, перевозимых номенклатур грузов, которые требуют определенных транспортно-технологических схем доставки, имеется необходимость анализа рынка услуг в зависимости от их локации. Так, для припортовых железных дорог, кроме основных задач по переработке вагонопотока и обеспечения перевозок в местном сообщении, актуальны работы и услуги в реализации цикла экспортно-импортных перевозок. То есть клиенты – операторы вагонного парка, заинтересованы в определенных услугах, сервисах и технологических решениях, не свойственных, например, для транзитных железных дорог. Область таких дополнительных услуг связана с диспетчеризацией и организацией перевозочного процесса. На Юго-Западном полигоне сети и на СКЖД в этом направлении реализуется ряд услуг: специализированные расписания, грузовые экспрессы, судовые партии и др. (рисунок 4.10).

В настоящее время активно внедряются сервисы, позволяющие сократить срок доставки грузов, ускорить оборачиваемость вагонов, контейнеров. К этой группе услуг относятся перевозки по специализированным расписаниям, в т. ч. контейнерных, наливных грузов, рудно-металлургических грузов, угля и других номенклатур. Имеется дополнительная версия «грузового экспресса» – перевозка отдельных вагонов в прицепной части к контейнерному поезду. Услуга актуальна для клиентов малого и среднего бизнеса. Проблема развития данной услуги – это конкуренция со стороны автомобильного транспорта, предлагающего перевозку грузов по принципу «от двери до двери». Развитие данных сервисов относится к

области диверсификации услуг с учетом запросов клиентуры, повышения конкурентоспособности железнодорожных перевозок, формирования системы лояльности клиента.



Рисунок 4.10 – Услуги и технологические решения в области диспетчеризации и организации перевозочного процесса на припортовых железных дорогах

Одним из важнейших сервисов для припортовых дорог является *сервис формирования судовых партий*, позволяющий обеспечить гибкий подвод грузов под выгрузку по прямому варианту «вагон – борт судна», направленный на повышение перерабатывающей способности терминалов. Схемы организации перевалки грузов «по прямому варианту», могут быть различными (Приложение 4, Раздел П4.4). Услуга формирования судовых партий (доход в размере 1,8 млрд руб. в год) – пример успешной локализации услуги по запросам клиентов, отвечающей потребности операторов на припортовых железных дорогах [299].

Рабочей группой из специалистов дороги и ученых РГУПС разработан и утвержден регламент технологии работы с судовым партиями в увязке с представителями Новороссийского морского торгового порта (НМТП). СКЖД и РГУПС была рассмотрена возможность реализации «адресных» подборок вагонов, которые условно называют «логистическими пакетами» (рисунок 4.11).



Рисунок 4.11 – Этапы планирования «логистических пакетов»

Выполнение подборки вагонов по станции Батайск в адрес получателей станции Новороссийск с учетом взаимного расположения грузовых районов, длины, оснащённости фронтов и еще ряда факторов позволяет сократить простой вагонов на припортовой станции Новороссийск. Несмотря на увеличение простоя вагонов по станции Батайск, технология в целом позволяет сократить оборот вагонов. Внедрение данной технологии ограничено по некоторым технологическим причинам: из-за загрузки мощностей станции Батайск по переработке вагонопотоков по другим назначениям, отсутствия информации по станции Батайск – кодов грузовых районов станции Новороссийск в электронном виде. От решения этих технологических задач будет зависеть возможность развития данной технологии.

Каждая новая услуга – это новая технология, созданная при активном взаимодействии ТЦФТО, Дирекции управления движением и других структурных подразделений филиалов ОАО «РЖД», которая получает развитие при наличии спроса со стороны рынка и клиентов, технических возможностей, а в дальнейшем – надежности выполнения данной услуги. Рост дополнительных сервисов должен обеспечиваться готовностью инфраструктурного комплекса и ОТУ.

Например, в 2018 г. на СКЖД работали всего по четырем договорам на формирование контейнерных поездов. В 2019 г. были осуществлены перевозки по 10 направлениям. В 2020 г. разработано уже 24 технологии формирования

контейнерных поездов на местах общего пользования. Всего за 10 месяцев 2020 г. проследовало 429 контейнерных поездов с дополнительным доходом в 550 млн руб. по 25 направлениям. Запущен контейнерный поезд Новороссийск – Ростов-Товарный с модификацией услуги «короткий шаттл» длиной 24 условных вагона. Однако специалисты ТЦФТО отмечают, что иногда в процессе обработки запроса от клиента о разработке индивидуальной технологии, за время согласования возможности осуществления услуги и обеспечения внутрикорпоративных процессов, грузоотправители уже успевают перевезти груз автомобильным транспортом. Поэтому для припортовых железных дорог, работающих в условиях большой загрузки инфраструктуры, важнейшим вопросом является не только проработка отдельных коммерческих услуг по диспетчерскому сопровождению, но и формирование порядка взаимодействия и ответственности ключевых участников процессов, реализуемых при планировании и организации местной работы. Здесь речь идет не просто о развитии отдельных услуг, а об изменении внутрикорпоративных технологических процессов для реализации новых коммерческих услуг.

На текущий момент технологические и бизнес-процессы перевозок грузов в непрерывном режиме обеспечиваются и поддерживаются множеством программных средств и автоматизированных систем, таких как автоматизированная система оперативного управления перевозками (АСОУП), автоматизированная система централизованной подготовки и оформления перевозочных документов (АС ЭТРАН), личный кабинет клиента ОАО «РЖД» в сфере грузовых перевозок, автоматизированная система управления станционной и местной работой (АСУ СТ НП) и др.

Переход от автоматизации существующих бизнес-процессов в ПТТС к их реинжинирингу и разработке новых технологических процессов в рамках цифровой трансформации – необходимый этап современных исследований. Цифровая трансформация открывает новые возможности для выполнения корпоративных задач холдинга «РЖД» – в первую очередь для роста эффективности грузоперевозок за счет оптимизации технологических процессов,

направленной на использование резервов пропускных способностей инфраструктуры, повышение качества и развитие комплексного обслуживания грузоотправителей.

4.3 Развитие моделей логистического управления перевозками в условиях полигонной концепции управления железнодорожными перевозками

Развитие информационных технологий вносит изменения не только в традиционные модели бизнеса на рынке перевозок. Изменение возможностей информационных технологий привело к снятию ограничений протяженности полигонов управления перевозочным процессом и развитию *полигонных технологий*. В настоящее время выполнены исследования в части изменения ОТУ при полигонной модели управления:

- по определению границ полигонов управления перевозочным процессом с учетом принципов клиентоориентированности, а также технических, технологических, организационных, социальных и других факторов;
- предложены различные варианты разбиения сети железных дорог на полигоны управления перевозочным процессом [380], подняты вопросы научного обоснования границ зон оперативного управления для ДСП и ДНЦ в условиях полигонной модели управления [381];
- развиты сквозные полигонные технологии и регулировочные мероприятия по сквозному пропуску поездопотоков.

В качестве основного метода при структурно-функциональной оптимизации полигонов на сети железных дорог предложено имитационное моделирование [382]. Отработка полигонных технологий начиналась с Восточного полигона, с дальнейшим тиражированием опыта на другие полигоны с накоплением опыта организации технологических цепочек при взаимодействии органов управления «по вертикали» и «по горизонтали», в т. ч. при работе с портами, грузовладельцами, операторскими компаниями [383]. Преобразования, проводимые в железнодорожной отрасли, изменяют устройство управления

ПТТС. Для таких изменений важны новые цели и стратегии функционирования, ключевые показатели эффективности (KPI) и методологические подходы (рисунок 4.12).

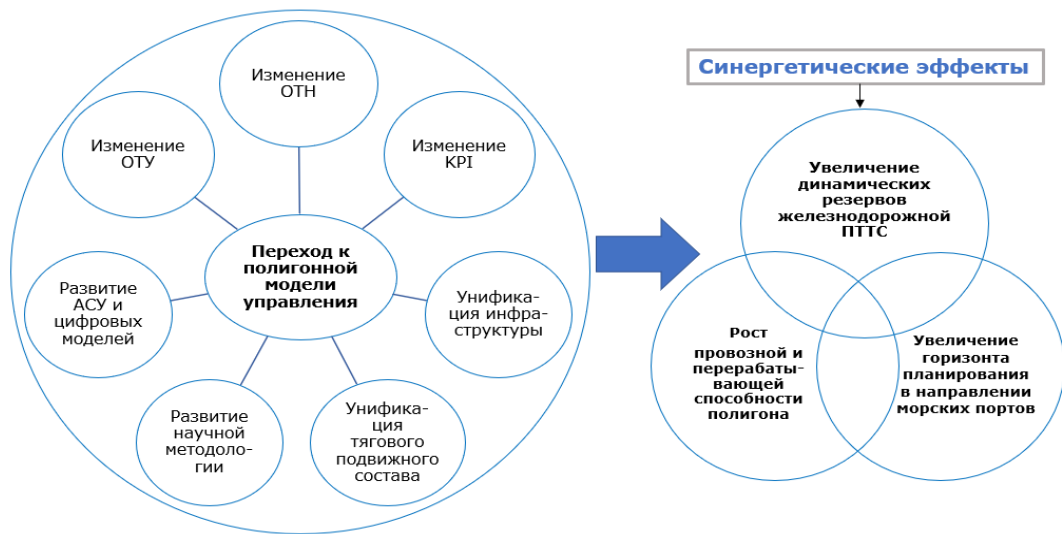


Рисунок 4.12 – Синергетические эффекты перехода к полигонной модели управления

Базовыми факторами построения полигонной модели являются:

- единые сбалансированные ключевые показатели взаимосвязанных процессов по управлению вагонопотоками, тяговыми ресурсами и ремонтными работами на инфраструктуре нескольких участков железных дорог, объединенных в один полигон;
- унификация параметров инфраструктуры с установлением единых весовых норм на всем пути следования поезда [384]. Для полигона управления очень важна идентичная инфраструктура. Здесь прежде всего следует понимать оснащенность участков современными станционными и перегонными системами управления движением поездов [385];
- унификация тягового подвижного состава.

Ростовским государственным университетом путей сообщения при участии автора было выполнено исследование внешних и внутренних факторов, влияющих на перевозочный процесс при реализации полигонной модели управления перевозками (таблица 4.3[386]).

Таблица 4.3 – Факторы, определяющие реализацию полигонных технологий управления перевозками на железнодорожном транспорте

Наименование фактора	Объект, состояние, свойства, операция	Уровень управления	Показатели, измерители	Ответственная структура (предприятия)	Возможность управления перевозчиком
Рынок транспортных услуг	Объем рынка	Стратегический, текущий	Грузооборот (т-км)	Экономика страны, геополитика	Отсутствует
	Ценообразование	Текущий, операционный	Тарифы на перевозки (руб/т-км)	Правительство, индексы цен	Отсутствует
Грузовая база	Состояние	Операционный	Объем выпуска (потребления) продукции	Экономика страны	Отсутствует
	Перспективы	Стратегический	Объем выпуска (потребления) продукции	Экономика страны	Отсутствует
Технологические операции	Погрузка	Текущий, операционный	Объем погрузки (тыс. т, ваг., др.)	Грузоотправители, ОАО «РЖД»	Частично
	Выгрузка	Операционный	Объем выгрузки (тыс. т, ваг., др.)	Грузополучатели, ОАО «РЖД»	Частично
	Перевозка	Операционный	Объем перевозок (тыс. т, др.)	ОАО «РЖД»	Полностью
Транспортная инфраструктура (стационарные устройства)	Ж.-д. станции и устройства	Стратегический, текущий	Перерабатывающая способность	ОАО «РЖД»	Полностью
	Железнодорожные направления	Стратегический, текущий	Пропускная способность, грузо-напряженность	ОАО «РЖД»	Полностью
	Объекты обеспечения	Стратегический, текущий	Мощность	ОАО «РЖД»	Полностью
Транспортная инфраструктура (мобильные транспортно-технологические устройства)	Тяговый подвижной состав	Текущий, операционный	Единицы	ОАО «РЖД», частные владельцы локомотивных парков	Частично
	Вагонный парк	Текущий, операционный	Единицы	Операторы подвижного состава, дочерние зависимые общества	Частично
Управление транспортировкой	Системы диспетчеризации и управления	Операционный	Уровни управления	ОАО «РЖД»	Полностью
	Грузовые и коммерческие операции	Операционный	Операции	ОАО «РЖД»	Частично
	Сервис на транспорте	Операционный	Доля в себестоимости (тарифе)	Дочерние зависимые общества, ОАО «РЖД»	Частично

Как видно из таблицы 4.3, возможности перевозчика ограничены, поэтому ему следует уделять основное внимание тем участкам перевозочной деятельности, где от его решений зависит качество работы, например совершенствованию технологии перевозок. Однако развитие междорожных сквозных технологий организации движения было ограничено структурой управления (для 1-го и 2-го этапов, см. рисунок 4.3). Это связано с тем, что диспетчерский аппарат планировал работу исходя из эксплуатационной обстановки на полигоне только своей дороги, и соответственно управляющие воздействия были ограничены полигоном дороги. Вместе с тем положительный опыт внедрения логистических внутридорожных технологий позволил говорить о новых возможностях развития системы управления грузопотоками на полигонах дорог в направлении морских портов. В таблице 4.4 сведены варианты полигонных технологий, а также цели и механизмы их реализации. Например, полигон в направлении АЧБ определен в границах нескольких дорог. Для внедрения принципов полигонной технологии был изучен грузопоток, поступающий в адрес портов юга России.

Таблица 4.4 – Цели, варианты полигонных технологий и механизмы их реализации для управления грузопотоками в направлении ПТТС [387]

Цели внедрения полигонных технологий	Варианты полигонных технологий	Механизмы реализации
1) Повышение эффективности использования инфраструктуры укрупненного полигона 2) Уменьшение числа отставленных от движения поездов	Управление погрузкой грузов исходя из возможностей инфраструктуры транзитных дорог и дороги назначения	1) Календарное планирование погрузки 2) Снижение погрузки на других дорогах в адрес дороги назначения 3) Единый план подвода поездов к крупным потребителям укрупненного полигона
3) Сокращение разрывов между тарифными и эксплуатационными пробегами груженых вагонов	Управление сквозным пропуском поездов исходя из возможностей инфраструктуры транзитных дорог и дороги назначения	1) Отставление поездов на станциях укрупненного полигона, находящихся по кратчайшему маршруту следования
4) Повышение эффективности использования инфраструктуры укрупненного полигона	Пропуск длинносоставных и тяжеловесных поездов	1) Согласование порядка пропуска длинносоставных и тяжеловесных поездов по участкам укрупненного полигона
5) Повышение транзитности вагонопотоков	Повышение уровня маршрутизации для полигона	1) Корректировка ПФП в границах нескольких дорог

Установлено, что основной поток грузов (за исследуемый период) в адрес СКЖД поступал с Приволжской (ПривЖД) (17,4 % из общей погрузки), Куйбышевской (10,7 %) и Юго-Восточной железных дорог (ЮВЖД) (14,6 %). В местном сообщении объем экспортных грузов составил 25,5 %. Всего 68,2 % выгрузки вагонов формировалось в пределах четырех дорог [202, 388] (рисунок 4.13). Т. е. отмечен высокий уровень погрузки между СКЖД, ЮВЖД и ПривЖД дорогами по полному циклу (погрузка + выгрузка) и высокий уровень транзита через ПривЖД и ЮВЖД потока Кузбасс – Юг, а также потоков с Куйбышевской и Южно-Уральской железных дорог на СКЖД. В дальнейшем полигон организации движения поездов в направлении портов АЧБ был определен в границах Южно-Уральской, Куйбышевской, ПривЖД, ЮВЖД, Московской и СКЖД (в пределах от станции Челябинск-Главный, Рыбное, Ефремов). Эксплуатационная длина рассматриваемого полигона (на 01.01.2018) составила 23 917 км. На полигоне имеется 12 сортировочных станций, 11 важнейших участковых станций.



Рисунок 4.13 – Погрузка в адрес портов АЧБ по железным дорогам, %

Основные задачи логистического отдела (СКАВ ЛП) при полигонной модели управления заключаются в разработке плана подвода поездов на припортовые станции и пограничные переходы по номенклатуре грузов, обеспечивающего при наличии груза выгрузку в объеме не менее перерабатывающих способностей морских терминалов (с увеличением горизонта планирования), а также разработке мероприятий по снижению количества

вагонов, находящихся в отставленных от движения поездах, назначением на припортовые станции и погранпереходы (Приложение 4, Раздел П4.5).

Решение проблем организации транспортного производства в ППТС в рамках полигонной модели управления перевозками осуществлялось по разным вариантам (рисунок 4.14). В первом варианте – увеличением мощности инфраструктуры припортовой дороги. В другом варианте для оптимизации управления грузопотоками задействовали динамические резервы за счет расширения зоны логистического планирования подхода поездов в адрес портов до границ нескольких смежных железных дорог, используя их инфраструктуру для временного отстоя невостребованных поездов.



Рисунок 4.14 – Решение проблем организации транспортного производства в ППТС при увеличении объемов перевозок

В декабре 2016 г. и в первые месяцы 2017 г. был проведен эксперимент по использованию инфраструктуры трех дорог Южного полигона (ЮВЖД, ПривЖД и СКЖД) в оптимизации регулирования экспортных вагонопотоков. Во время продолжительных неблагоприятных погодных условий в портах АЧБ в этот период ДЛЦ по согласованию со смежными железными дорогами удалось рационально размещать составы поездов назначением в порты на всем полигоне. На станциях смежных дорог при проведении эксперимента были отставлены от

движения составы поездов с временно не востребованными грузами, что позволило СКЖД в условиях создавшихся резервов пропускной способности ее участков обеспечить ритмичный подвод полезного груза к портам, увеличить его выгрузку, повысить скорость движения поездов и оптимизировать расходы. Таким образом, в существующую систему логистического управления был интегрирован *принцип демпфирования*.

Увеличение горизонта планирования более чем на двое суток (первоначальный период планирования при работе ДЛЦ в составе дирекций) позволит своевременно принимать меры по погрузке и пропуску соответствующего груза для стабилизации перевалочного процесса в транспортном узле. С целью оперативного управления вагонопотоками в адрес портов весь поток вагонов, следующих на станции выгрузки (перевалки), целесообразно разделить на основные («решающие») струи, затем к каждой «решающей» струе применить индивидуальные регулировочные воздействия на темп погрузки и продвижения вагонов таким образом, чтобы на станцию назначения в каждые сутки прибывало столько вагонов, сколько максимально возможно может быть принято и выгружено с учетом состояния складских площадей порта и плана подвода судов. Правильно говорить не о максимальных размерах выгрузки, а об оптимальной загрузке портовых мощностей.

При оперативной корректировке погрузки и контроле за продвижением экспортных грузопотоков диспетчерский аппарат логистического отдела оперирует понятием «*наличие вагонов*» на дороге, т. е. количество вагонов, находящихся на дороге в движении, на станциях и под грузовыми операциями. Контроль этой величины позволяет выявлять возможные затруднения в продвижении экспортного грузопотока.

На рисунке 4.15 приведены размеры вагонопотока с рудой в адрес припортовой станции и наличия отставленных от движения поездов.

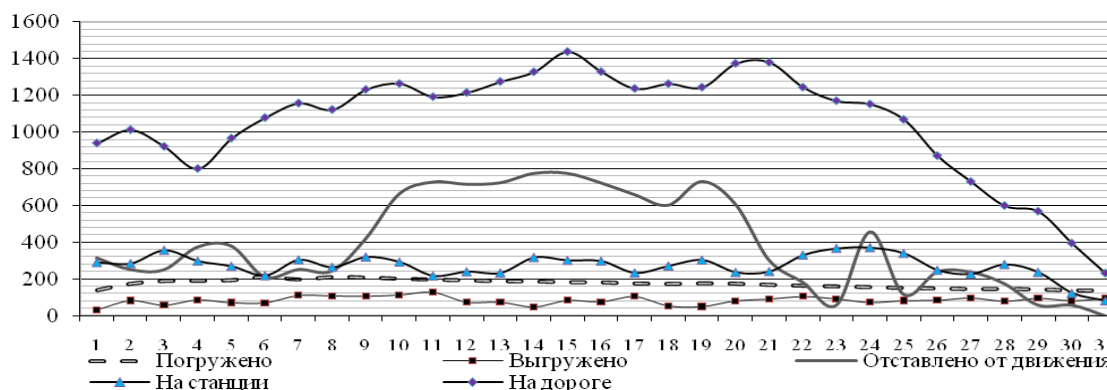


Рисунок 4.15 – Анализ вагонопотока с рудой в адрес Новороссийска за месяц и наличие отставленных от движения поездов

Для снижения неравномерности погрузки грузов в адрес портов необходимо обеспечить формирование и реализацию таких планов погрузки экспортных грузов, которые позволили бы не допустить превышение максимальной и снижение ниже минимальной нормативной величины наличия груза на дороге [389]:

$$P_{\min}^{\text{норм}} \leq P_{\text{н}}^{\text{прогн}} \leq P_{\max}^{\text{норм}} \quad (4.1)$$

Методика определения прогнозного и максимального наличия вагонов с грузом конкретной номенклатуры приведена в работе [390].

Оценить участникам перевозочного процесса резервы перерабатывающей способности терминалов и принять решения о порядке пропуска экспортного вагонопотока помогают различные ситуационные модели. В Разделе П4.6 Приложения 4 приведена подобная модель. Далее (в п. 4.5.5) рассмотрим факторы, влияющие на устойчивость таких моделей.

Известный в логистических системах управления цепями поставок «эффект хлыста» в организации перевозок в железнодорожно-морском сообщении проявляется в полном объеме. Для исключения этого эффекта краткий перечень задач для каждого участника логистической цепи может иметь следующий вид:

- планирование работ должно производиться с резервированием мощностей для снижения возникающих рисков, внешних по отношению к элементу логистической цепи;

- прозрачность планов работы участника (элемента) логистической цепи на первом этапе, хотя бы для смежных с ним контрагентов;
- интеграция информационных систем управления как в производственной деятельности каждого вида транспорта, так и в цепях поставок контрагентов на операционном уровне.

4.4 Концепция развития и интеграции информационных систем с целью повышения эффективности функционирования припортовых транспортно-технологических систем

В рамках реализации утвержденной стратегии развития информационных технологий важное место занимает проект «Цифровая железная дорога» [391]. Формирование этого проекта идет по пути пересмотра и корректировки управленческих подходов, особенности которых приведены на рисунке 4.16.

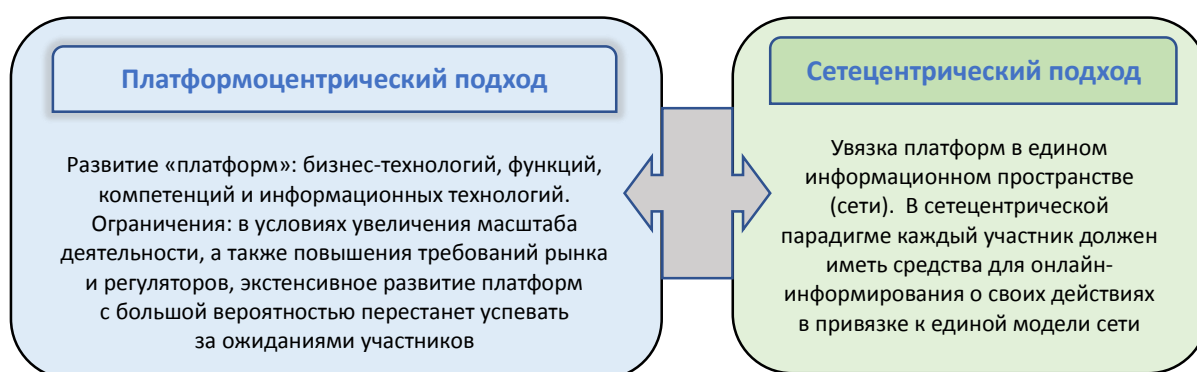


Рисунок 4.16 – Виды подходов к развитию информационных платформ

Поскольку к настоящему времени в холдинге «РЖД» достигнут высокий уровень автоматизации функций, появляется возможность перехода к «сетецентрическому» управлению. Сетецентрический подход к управлению опирается на «дополненную аналитику» с добавлением оперативных оценок состояния сети и сведений о происходящих событиях. В связи с вышеуказанным необходимо выполнить анализ информационного инструментария, используемого при планировании и организации железнодорожно-морских перевозок.

Информационные технологии управления грузо- и вагонопотоками в перевозочном процессе с учетом принципа концентрации диспетчерского управления предполагают использование комплекса взаимосвязанных информационно-управляющих автоматизированных систем и технологий (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Информационные системы для обеспечения перевозочного процесса

Сфера применения	Информационное обеспечение
Оперативно-распорядительный отдел	АСОУП-2, ГИД «Урал-ВНИИЖТ», АСУ СТ НП, АПК Эльбрус, АСОВ и др.
Отдел графика движения поездов	АРМ ГДП, АРМ ТКНГДП, КАС РНГДП и др.
Отдел организации проведения «окон»	АСОУП-2, АС АПВО, АСУ ВОП, ГИС РЖД, ИСУЖТ, АПК Эльбрус и др.
ЦУТР	АСОУП-2, АС ЦУТР, ИСУЖТ, ПЛАН-ЛБ-3, АСУТ-Т и др.
Логистический центр (отдел)	АСОУП-2, ЭТРАН, АСУ МР (АСУ СТ НП), ДИЛС (ЕМД ПП УЭР)) (планирование и контроль продвижения вагонопотоков в адрес припортовых станций дороги на всех уровнях управления вертикали ЦД – Д – ДЦУП – СКАВ ЛП), АСОВ, АС РПФП, КИХ и др.
Станции	АСОУП-2, ЭТРАН, АСУ СТ НП и др.

Важными направлениями исследования взаимодействия станции и порта являются передача информации и сопровождение грузопотока. Нужно отметить, что данный процесс достаточно подробно ранее был рассмотрен в работах д.э.н., проф. П. В. Куренкова, а в исследовании сотрудников Петербургского государственного университета путей сообщения [392] представлены дескриптивные модели документального сопровождения импортного груза от момента прибытия судна до момента передачи документов в агентство фирменного транспортного обслуживания (АФТО) и от момента приема документов в АФТО до момента отправления поезда. Все эти системы позволяют руководящему и диспетчерскому персоналу формировать данные для оперативного контроля перевозочного процесса и автоматизированного анализа.

Так, АСУ морских портов располагает большим объемом информации о вагонах, судах, грузах, состоянии складов. Информационная система порта при

«сетецентрическом» управлении также получает набор сообщений об операциях с вагонами в его адрес и на их основе строит свою справочную систему. Наиболее полно обмен информации между ЖДТ и морскими портами велся на базе Дорожной информационно-логистической системы (ДИЛС) (разработки ООО «ЦИТ Транс М»). Рассмотрим этапность создания и функционал этой программы, а также изменения в ОТУ припортовой железной дороги (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Эволюция развития ОТУ припортовой железной дороги
(на примере СКЖД) на базе информационных и логистических принципов

Период	Изменения в системе и инструментарии управления	Изменения в технологиях, результаты решений	Изменения в информационной логистике
1	2	3	4
1999–2005	2003 г. – появление первого 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 услуг (движение поездов по расписанию и пр.)
2013–2014	Разработка технологии Единого комплексного технологического процесса 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, внедрение
2015–2016	Разработка ЕТП работы железнодорожного пути необщего пользования оператора морского терминала ОАО «ТМТП» и станции примыкания «Туапсе-Сортировочная»	Корректировка форм взаимодействия видов транспорта в железнодорожных узлах, технологии взаимодействия припортовых станций и операторов морских терминалов	Развитие АС ДИЛС: внедрены специальные отчетные формы для контроля перевозки и перевалки различных видов грузов, реализовано взаимодействие с другими системами для получения и передачи необходимых данных по условиям перевозки

Продолжение таблицы 4.6

1	2	3	4
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 («судовые партии», «грузовой экспресс»)	Реализация алгоритма автоматизированного расчета плана подвода на основе многокритериальной оценки востребованности грузов, разработка комплекса задач по работе с судовыми партиями. 31 марта 2018 г. была окончена подконтрольная эксплуатация модуля автоматического составления плана подвода грузов [56]
2019–2023	Развитие полигонной модели управления, оценка загрузки инфраструктуры в интеллектуальных системах управления (в т. ч. для припортовых железных дорог)	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

С 2024 года функционал ДИЛС реализуют в программе ЕМД ПП УЭР (разработчик – ПКТБ-ЦЦТ) – Единая модель данных перевозочного процесса, предназначенная для обеспечения цифровизации и комплексного подхода к управлению всеми циклами перевозочного процесса.

Эксплуатация ДИЛС показала необходимость интеграции подобного вида программ с другими системами (таблица 4.7). Сведения о функционале ДИЛС, в т. ч. с точки зрения переноса его в функционал ЕМД ПП УЭР (или иных систем) приведены в Разделе П4.7 Приложения 4. Одна из ключевых задач в таком функционале – автоматизированное составление плана подвода поездов на припортовые станции. Для эффективного взаимодействия с портами и

припортовыми терминалами формирование плана подвода может осуществляться в ручном либо автоматизированном режиме (на базе алгоритма). Цели и этапы разработки автоматизированного плана подвода поездов на припортовые станции приведены в Разделе П4.8 Приложения 4.

Таблица 4.7 – Взаимодействие ДИЛС с другими системами

Система	Получение данных	Передача данных
ЭТРАН	Информация по заявкам на перевозку грузов, о перерабатывающих способностях станций/подъездных путей необщего пользования. Вагонные листы (в стадии разработки)	Откорректированный график погрузки по ГУ-12 с учетом прогноза продвижения груза для корректировки графика подачи и формирования (в стадии разработки)
ГИД-УРАЛ	График движения поездов	План подвода для отображения в графике ГИД-Урал
АСУВОП	График проведения окон	
АСПБ	Информация о брошенных поездах	План бросания поездов
АСУ СТ	Информация по дислокации вагонов на станции	
АСОУП-2	Вагонная и поездная модель	
ЕАСАПР	Информация по АОФ	

В апреле 2018 г. рабочей группой с участием автора были подведены промежуточные итоги опытной эксплуатации системы ДИЛС [68], обозначены основные недоработки и факторы, сдерживающие ее эффективность. Принимая во внимание тот факт, что за последние десять лет номенклатура грузов, прибывающих в порты, увеличилась в два раза, а внутри номенклатуры появилось деление на ассортимент, на первое место выходит *задача автоматического составления плана подвода в порты* в разрезе не только номенклатуры, но и в значительной мере – ассортимента. Ассортимент номенклатуры груза динамично расширяется, а система «не успевает» обновляться под новые данные. Было выявлено, что не все грузоотправители, работающие в АС ЭТРАН, указывали номера контрактов, марки грузов в железнодорожной накладной. В результате автоматический расчет плана подвода имел неточности в распределении грузов по районам порта.

Работа с ДИЛС включала ряд неавтоматизированных этапов (начальник станции вводит данные о грузе в систему (заказ), диспетчер ДЛЦ производит

анализ предварительного плана подвода и выполняет корректировку), при этом отсутствовало *динамичное обновление информации* о состоянии складов, погоде и пр., что влияло на качество составления плана.

Дальнейшее развитие инструментов логистического управления ПТТС во взаимодействии с железнодорожным транспортом может происходить как в рамках платформоцентрического, так и сетецентрического управления (рисунок 4.17). Современные инновационные концепции организации взаимодействия участников в ПТТС, развития технологий, направленных на максимальное использование пропускных и провозных способностей национального транспортного комплекса, находятся в области оптимизации транспортных процессов на базе различных методов моделирования, а также цифровых технологий совершенствования систем управления с использованием технологий искусственного интеллекта (ИИ) (рис. 4.18).

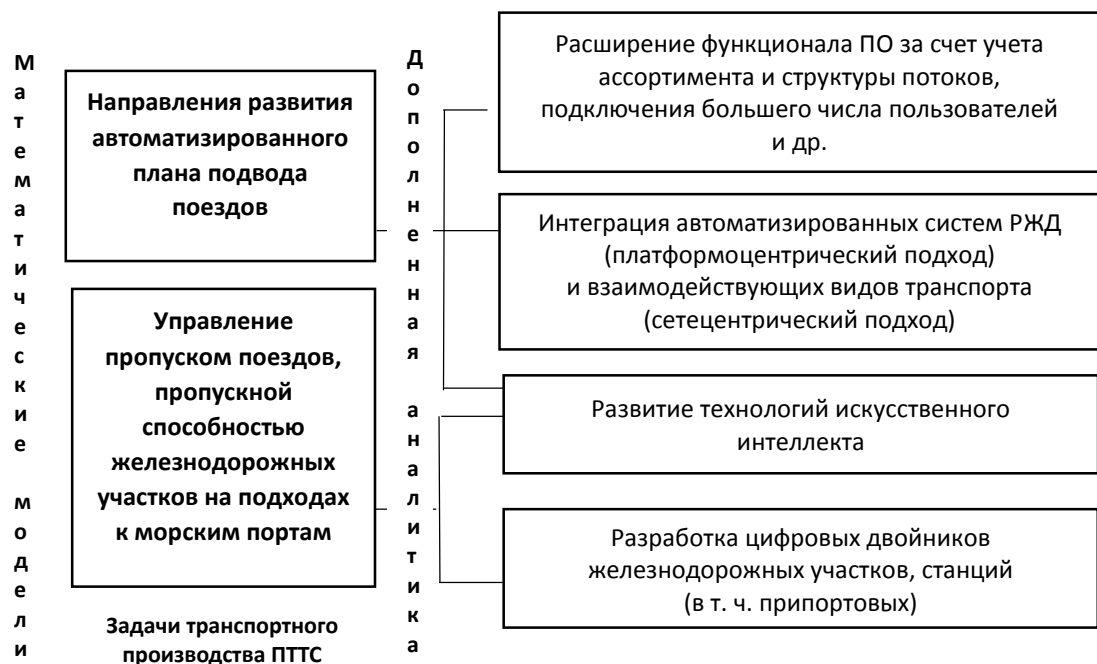
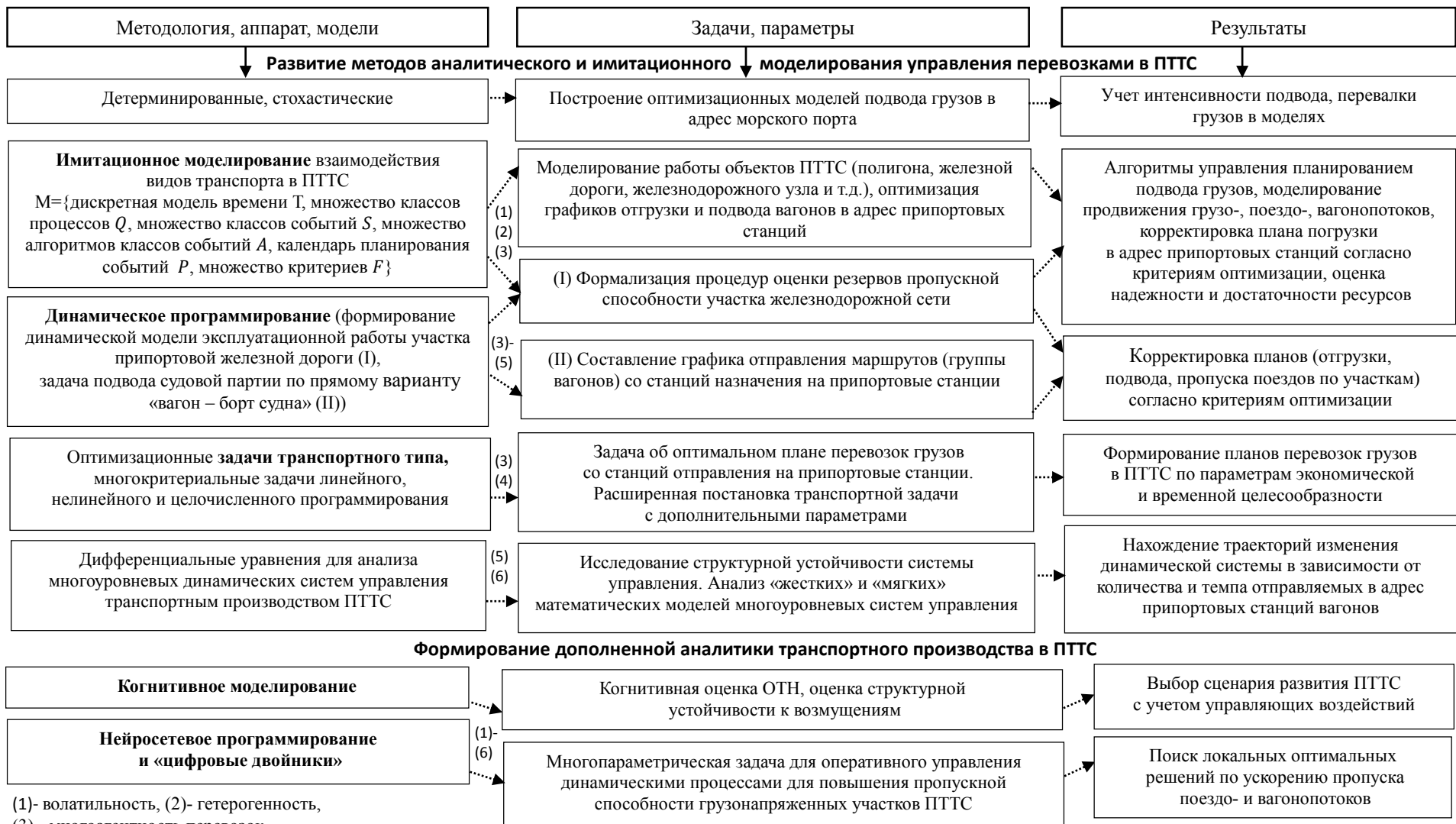


Рисунок 4.17 – Направления развития информационного обеспечения в задачах управления грузовыми железнодорожными перевозками в адрес морских портов



- (1)- волатильность, (2)- гетерогенность,
 (3) - многоагентность перевозок,
 (4) диверсификация услуг,
 (5) изменения ОТУ и (6) ОТН

Рисунок 2.19 – Развитие математических моделей и дополненной аналитики в задачах исследования ПТТС в условиях интеллектуализации и цифровизации производственно-транспортных процессов

Особенно это актуально для грузонапряженных участков сети, к которым относятся подходы к портовым комплексам, участки сети, входящие в систему МТК [393]. Не менее важную роль в оптимизации транспортного производства ПТТС выполняют математические и имитационные модели транспортных процессов взаимодействующих видов транспорта и контрагентов.

4.5 Методы аналитического и имитационного моделирования управления экспортными перевозками в железнодорожно-морском сообщении

4.5.1 Детерминированные и стохастические модели взаимодействия видов транспорта

Известные и нашедшие практическое применение в области решения транспортных задач математические модели можно разделить на две группы в зависимости от подхода: детерминированные и вероятностные (стохастические) (рисунок 4.18). С технологических позиций модели взаимодействия железнодорожного и морского транспорта могут быть представлены в виде как простейшей детерминированной модели, так и стохастических вариаций.



Рисунок 4.18 – Стохастичность в перевозочном процессе в железнодорожно-морском сообщении: факторы

1 Примером простейшей детерминированной модели и стохастических вариаций является модель подвода грузов в порт.

Рассмотрим модель подвода грузов для перевалки в судно вместимостью $W_w t$, при портовых складских емкостях $W_s t$. Известно:

α_g – интенсивность перевалки груза на судно в порту, т/сут;

β_g – интенсивность подвода груза в порт (портовый склад) железнодорожным транспортом, т/сут;

W_s – возможности хранения запаса в порту;

W_s^0 – имеющийся запас груза в порту.

Пусть $W_s^0 = W_s$, тогда $T = W_w / \alpha_g$ – время загрузки судна, и из очевидных условий

$$\alpha_g T = W_w \text{ и } W_s^0 + \beta_g T = W_w \quad (4.2)$$

можно получить следующие выводы:

– при отсутствии запасов в порту ($W_s^0 = 0$) для обеспечения непрерывной перевалки интенсивность подвода грузов β_g должна быть не меньшей чем интенсивность перевалки α_g ;

– интенсивность подвода грузов β_g для обеспечения непрерывности перевалки должна удовлетворять условию

$$\beta_g \geq \frac{W_w - W_w^0}{W_w} \alpha_g. \quad (4.3)$$

Пусть величины α_g, β_g – нормально распределенные случайные величины $a_\alpha = M(\alpha_g), \quad a_\beta = M(\beta_g), \quad \sigma_\alpha = \sqrt{D(\alpha_g)}, \quad \sigma_\beta = \sqrt{D(\beta_g)}$. Тогда условие «гарантированности» непрерывной перевалки груза будет иметь вид

$$a_\beta - 3\sigma_\beta \geq \frac{W_w - W_w^0}{W_w} (a_\alpha + 3\sigma_\alpha). \quad (4.4)$$

В случае, когда величины α_g, β_g представляют случайный процесс, процедура поиска решения переходят в плоскость ситуационного управления на основе оперативных прогнозов подвода грузов и процесса перевалки груза.

2 При рассмотрении детерминированной модели мониторинга и подвода груза в порт учитываем, что в основе модели имеется функциональная

зависимость между отдельными показателями. Рассмотрим припортовую станцию и порт в логистической цепи организации перевалки груза на судно, с подвозом груза железнодорожным транспортом. Груз располагается на полигоне сети в момент времени t в объемах $W_\tau(t)$, где $\tau = 0, 1, 2, \dots, n$ – время, за которое может быть доставлен груз в порт.

Тогда условие непрерывности организации перевалки груза можно определить по формуле

$$W_s^0 + \sum_{\tau=0}^t W_\tau(t) \geq \alpha_g t. \quad (4.5)$$

Регулирование грузопотока при колебаниях α_g и ограниченных возможностях хранения запаса в порту W_s приводит к изменению величин $W_\tau(t)$, т. е., как правило, увеличению запасов в пути. При этом выполнение условия

$$W_s^0 + \sum_{\tau=0}^t W_\tau(t) - \alpha_g t \leq W_s \quad (4.6)$$

является обязательным для непрерывности движения грузопотока по железнодорожной сети.

Пусть $\alpha_g(\tau)$ – объем перевалки груза на судно в момент времени τ . Тогда непрерывность движения грузопотока для перевалки в порту обеспечивают следующие условия:

$$W_s^0 + \sum_{\tau=0}^t W_\tau(t) \geq \sum_{\tau=0}^t \alpha_g(\tau), \quad (4.7)$$

$$W_s^0 + \sum_{\tau=0}^t (W_\tau(t) - \alpha_g(\tau)) \leq W_s, \text{ для всех } t = 0, 1, 2, \dots, n. \quad (4.8)$$

Таким образом, в детерминированной постановке параметрами управления подводом являются следующие:

1 Объем первоначальных запасов груза в портовых складах $W_s^0 \leq W_s$, который желателен в объеме $W_s^0 = W_s$, а при прочих условиях может быть определен из уравнения (4.2) при известных остальных параметрах.

2 Интенсивность подвода груза (β_g), которая зависит от грузовой и оперативной ситуации на полигоне – $W_\tau(t)$. В этом случае при выполнении условий (4.3), (4.5) или (4.7)–(4.8) управленческие решения по изменению $W_\tau(t)$ не требуются. При невыполнении условия (4.7) – недостатке грузопотока для

перевалки возникает задача ускорения потока, т. е. переопределение потока для момента времени t

$$W_{\tau}^H(t) = W_{\tau}(t) + \Delta W, \quad (4.9)$$

$$W_{\tau}^H(t+1) = W_{\tau}(t+1) - \Delta W, \text{ при } W_{\tau}(t+1) \geq \Delta W, \quad (4.10)$$

$$W_s^0 + \sum_{\tau=0}^{t-1} W_{\tau}(t) + W_{\tau}^H(t) \geq \sum_{\tau=0}^t \alpha_g(\tau). \quad (4.11)$$

3 Интенсивность перевалки груза $(\alpha_g, \alpha_g(t))$, которая зависит от внешних факторов (погода, задержки судов, отказ технических средств перевалки грузов и др.). Изменения $\alpha_g(t)$ в большую сторону, как правило, не происходят. Если все же имеют место, оперативная ситуация повторяет вышеприведенную (см. п. 2) – необходимость изменения интенсивности подвода грузов.

В случае уменьшения величины α_g или $\alpha_g(t)$ происходит заполнение склада ($W_s^0 = W_s$) и возникает необходимость корректировки потока на полигоне, т. е. в момент времени t имеем

$$W_s^0 + \sum_{\tau=0}^t (W_{\tau}(t) - \alpha_g(\tau)) > W_s. \quad (4.12)$$

Тогда следует переопределить (скорректировать) поток

$$\Delta W = W_s^0 + \sum_{\tau=0}^t (W_{\tau}(t) - \alpha_g(\tau)), \quad (4.13)$$

$$W_{\tau}^H(t) = W_{\tau}(t) - \Delta W, \quad (4.14)$$

$$W_{\tau}^H(t+1) = W_{\tau}(t+1) + \Delta W, \text{ при } W_{\tau}(t) > \Delta W, \quad (4.15)$$

$$W_s^0 + \sum_{\tau=0}^{t-1} W_{\tau}(t) + W_{\tau}^H(t) \geq \sum_{\tau=0}^t \alpha_g(\tau). \quad (4.16)$$

Теорию массового обслуживания при оптимизации транспортных процессов ПТТС можно рассматривать для разнообразного числа взаимодействующих элементов, например:

– для транспортно-логистической цепочки перевозки экспортных грузов в морские порты из точки A (станция погрузки) в точку B (припортовая станция) (рисунок 4.19), в которые включаются: процедуры оформления груза, погрузки, накопление и формирование состава, обработки его на попутных технических и грузовых станциях, накопительных пунктах и портах, движение по участкам железных дорог и другие операции.

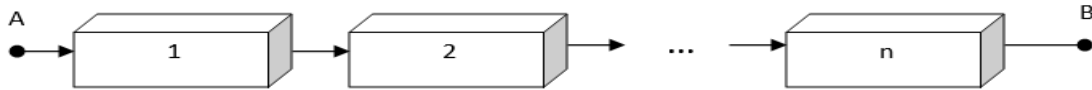


Рисунок 4.19 –Транспортно-логистическая цепочка перевозки экспортных грузов как система массового обслуживания

Каждый блок на рисунке 4.19 – это отдельный канал обслуживания. При анализе рассматриваются входные и выходные потоки, структура системы. Обработываемые и перемещаемые грузы (составы, вагоны) являются заявками. Вычисляются параметры каналов: среднее время обслуживания заявки, время ожидания обслуживания, длина очереди, время простоя системы и т. д.;

– для станции и морского порта. В авторском исследовании [394] обоснована необходимость развития методов математического моделирования работы железнодорожных станций в условиях увеличения объемов грузопотоков через составляющие элементы инфраструктуры МТК. Разработаны предложения по совершенствованию технологии работы конкретной припортовой станции в условиях выполнения ею дополнительных функций, с учетом неравномерности станционного перевозочного процесса и оценки изменений параметров транспортного коридора. Объектом исследования являлась станция Астрахань-II ПривЖД, расположенная в границах международного коридора «Север – Юг». Результаты математической модели дополняются технологическими предложениями по изменению плана формирования станции Астрахань-II для работы в помощь порту Оля по подборке судовых партий с целью максимально эффективного использования мощностей станции Астрахань-II и сокращения потребности в путевом развитии в порту Оля для сортировочной работы и, как следствие сокращения затрат на его развитие. В рамках соблюдения согласованного развития всех элементов транспортной инфраструктуры необходима оценка пропускной способности железнодорожных подходов к станции и установление окончательного комплекса мероприятий. Основные расчеты приведены в Разделе П4.9 Приложения 4.

4.5.2 Теоретические и практические аспекты имитационного моделирования транспортных процессов при взаимодействии железнодорожного и морского видов транспорта

Имитационное моделирование признается одним из ключевых методов расчета железнодорожных станций, полигонов и транспортных узлов [395–398]. Применение имитационного моделирования для транспортных задач при организации железнодорожно-морских перевозок довольно обширно. На рисунке 4.20 автором выделены наиболее распространенные области их применения.

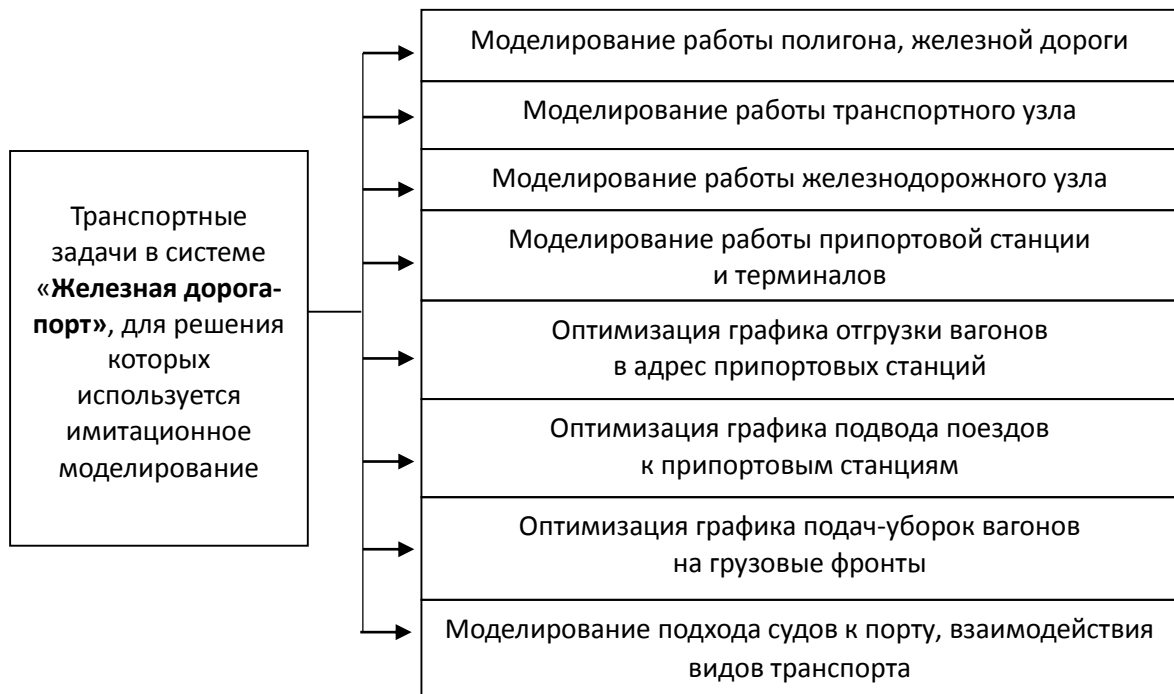


Рисунок 4.20 – Применение имитационного моделирования для транспортных задач при организации железнодорожно-морских перевозок

Эффективность применения имитационного моделирования для транспортных задач при организации железнодорожно-морских перевозок определяется тем, что исследование процессов, выполняемых для объектов ПТТС, требует больших затрат времени и средств. При этом при моделировании знания об исследуемом объекте ПТТС расширяются и уточняются, а исходная модель постепенно совершенствуется.

Методология имитационного моделирования процессов в транспортном узле. При разработке имитационной модели транспортного узла необходимо выбрать средства моделирования, осуществить процедуру моделирования структуры транспортного узла, разработать математические модели функционирования элементов, выполнить моделирование основных характеристик входных потоков транспортного узла [398,400]. В целом моделирование транспортных процессов в узле имеет ряд особенностей:

- заявки поступают в систему из нескольких источников (например, со стороны взаимодействующих видов транспорта: железной дороги, морского порта, автомобильного транспорта);
- необходимо учитывать влияние внешней среды на показатели функционирования системы (например, влияние погодных условий, форс-мажорных обстоятельств, ограничения погрузки);
- имеется потребность проведения границы в системе между необходимыми для технологических операций ресурсами и обслуживающими устройствами.

Формальную модель транспортных процессов в узле можно описать как

$$M = \{T, Q, S, A, P, F\}, \quad (4.17)$$

где $T = \{t_i\}, t \in Z \geq 0$ – дискретная модель времени;

Q – множество классов процессов (операции с грузами в транспортном узле и в порту согласно технологическим процессам);

S – множество классов событий (прибытие поезда, окончание технологической операции и т. п.);

A – множество алгоритмов классов событий (подготовительные дискретные действия с учетом перехода к новому поведению системы);

$P = \{\{t_i, S\}, U\}$ – календарь планирования событий. С помощью данного календаря описывается динамика системы, в него также поступают отметки о событиях с отдельными объектами модели. Планирование события предполагает явное задание момента его наступления или задание условия U его наступления через предикат (планирование события по условию);

F – множество критериев.

Наиболее часто в качестве объекта моделирования принимают припортовые железнодорожные станции, обслуживающие морские порты. В Разделе П4.10 Приложения 4 приведены теоретические и практические аспекты имитационного моделирования транспортных процессов припортовой станции (на примере станции Новороссийск) [398, 400].

Моделирование отгрузки и подвода груза к припортовой станции. Задача отгрузки и подвода грузов к припортовой станции является многокритериальной. Практически невозможно определить единственный критерий оптимизаций, который будет полностью отражать интересы всех участников перевозочного процесса. Подобные задачи принятия решения относятся к задачам многокритериальной оптимизации. Каждый критерий вносит свой вклад в общий оценочный вес поезда, который определяет очередность выбора поезда при формировании плана подвода.

Для моделирования процессов отгрузки и подвода вагоно- и поездопотоков к припортовой станции используется дискретно-событийный аппарат. Его функционал позволяет показать развитие системы во времени, когда состояния переменных меняются мгновенно в конкретные моменты времени и изменяют состояние системы. Выделен ряд таких последовательных состояний: погрузка груза (1), зарождение груза на станции (2), груз находится на полигоне припортовой дороги (3), груз находится в зоне ответственности припортовой станции (4), груз перегружен на судно (5). Набор таких состояний может дополняться. Граф переходов между состояниями для транзакций системы приведен ниже на рисунке 4.21.

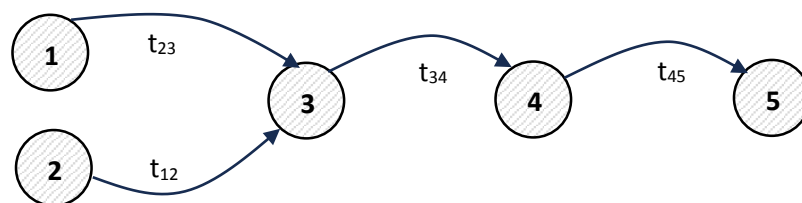


Рисунок 4.21 – Граф переходов между состояниями

Процедура моделирования включает ввод информации по погрузке на станциях зарождения груза на основе данных о погрузке в согласованных железной дорогой заявках грузоотправителей. С учетом статистических времен хода поездов со станции погрузки груза до стыковых станций железных дорог, далее до транспортных узлов (пунктов перевалки), постанционных технологических операций разрабатывается имитационная модель подвода грузов. После ввода начальных данных производится прогон модели, который позволяет смоделировать продвижение груза по полигону железной дороги и его выгрузку в порту.

В результате имитационного моделирования определяется N станций, которые образуют «всплеск», превышающий верхний предел нормы выгрузки на припортовой станции (*станции корректировки*). Задача сводится к корректировке (изменению) количества погруженных вагонов в адрес припортовой станции с целью уменьшения (или исключения) превышения нормы выгрузки на припортовой станции. Для разработки математических методов оптимального подвода грузов к припортовой станции определяются критерии оптимизации. Алгоритм управления погрузкой и планированием подвода грузов состоит из ряда шагов (рисунок 4.22).

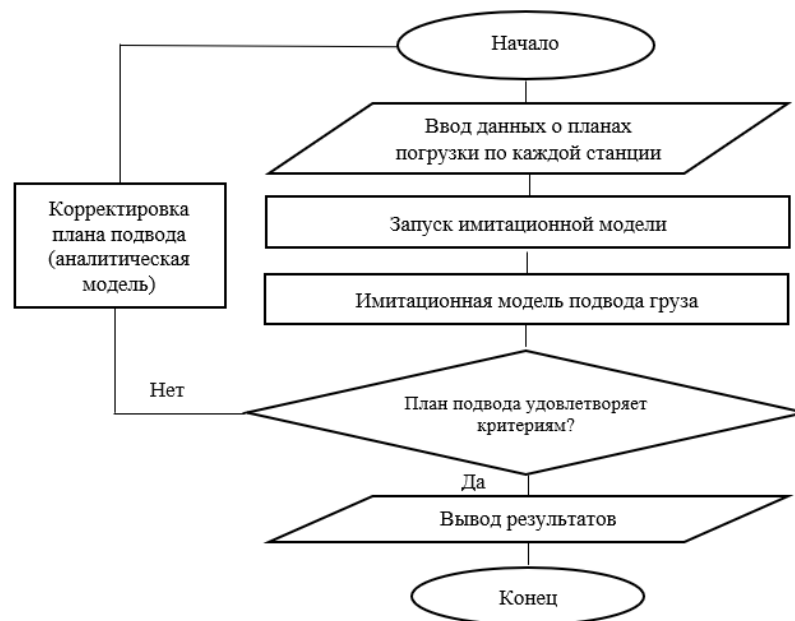


Рисунок 4.22 – Алгоритм управления планированием подвода грузов

Теоретические и практические аспекты имитационного моделирования отгрузки и подвода груза к припортовым станциям (постановка задачи отгрузки и подвода груза к припортовой станции, критерии оптимизации, этапы моделирования, алгоритмы организации процесса моделирования и структура программного комплекса) представлены в работах [359, 400, 401] и Разделе П4.11 Приложения 4.

Подобные программные решения позволяют регулировать погрузку на длинных маршрутах, обеспечат поддержку принятия решений в реализации планов погрузки экспортных грузов в железнодорожно-морском сообщении, позволяющих, не снижая объемы заявленных к перевозке грузов, обеспечить нормальное функционирование припортовых железных дорог.

4.5.3 Теоретические и практические аспекты методов динамического программирования в решении задачи подвода судовой партии по прямому варианту «вагон – борт судна»

Процесс организации поездо- и вагонопотоков в направлении морских портов можно описать операциями, которые носят многоэтапный характер. Отыскание решений в таких задачах часто проводится с применением методов динамического программирования. Динамические алгоритмы делят задачу на подзадачи и вычисляют их по очереди, шаг за шагом наращивая решения.

Приведем пример [8] использования метода динамического программирования в задаче управления погрузкой по «прямому» варианту вагон – борт судна (на примере перевозки зерновых грузов). При организации перевозки по прямому варианту необходимо применять свои (индивидуальные) регулировочные воздействия на темп погрузки и продвижения вагонов с тем, чтобы на станцию назначения в каждые сутки прибывало соответствующее плану выгрузки количество вагонов данного рода груза. Так, погрузка зерновых грузов для конкретной судовой партии может осуществляться с разных станций, при этом значительно варьируются число, категории поездов и маршруты продвижения. В районах местной работы (РМР), где погрузка грузов расплывена

по многим грузовым станциям нескольких участков, концентрация распыленных грузопотоков производится на одной станции для формирования маршрутов. Условно назовем такую станцию маршрутной базовой станцией (МБС), а грузовые станции, на которых зарождается и откуда поступает вагонопоток на МБС, образуют район, или «куст», погрузки (рисунок 4.23). Такое разнообразие вариантов затрудняет использование стохастических моделей и требует иного подхода к решению задачи.

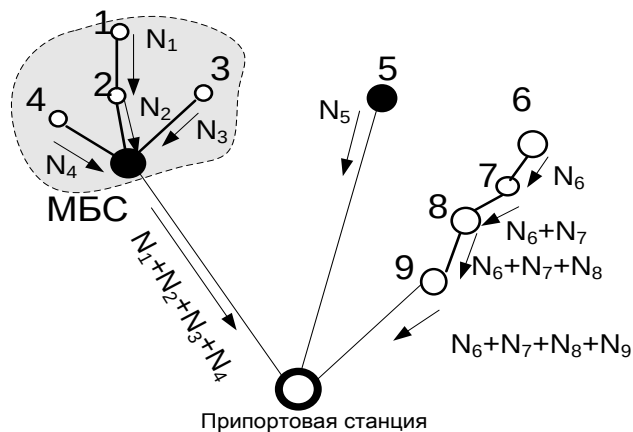


Рисунок 4.23 – Варианты продвижения вагонов

Учитывая существующую технологию планирования, необходимо на этапе согласования заявок разрабатывать транспортно-технологические схемы доставки грузов. Непосредственно для железнодорожного транспорта – это построение маршрутов продвижения каждой отправки согласно ПФП. За основу проектируемого маршрута продвижения отправки принимается базовая (принципиальная) ее конструкция, описывающая набор элементов.

К исходным данным для определения графика отгрузки вагонов со всех станций погрузки судовой партии относятся:

1 Множество станций полигона дороги, производящих отгрузку груза для данной судовой партии, $m_i \in M$, $i = 1, 2, \dots, |M|$.

2 Множество участков C с конкретными станциями Q , на которых можно сформировать или пополнить ступенчатые маршруты.

3 Множество технических станций, являющихся маршрутными базовыми станциями (J) с закрепленными станциями «куста», Z .

4 Время хода от закрепленных станций «куста» до маршрутной базовой станции, $t_{сб.п.}$.

5 Погрузочные мощности каждого грузоотправителя, $n_{ваг/сут.}$

6 Время на операции по прибытии в порт, $t_{оп.порт}^{приб.}$.

7 Перевалочные мощности зернового терминала, $n_{перераб.}$

8 Время хода от станций множества I до порта, t_x .

9 Время на операции по отправлению поезда со станций множества I , $t_{опер}^{отпр.}$.

10 Время хода между станциями множества Q , $t_{дв.}$

11 Δt – изменение времени перемещения вагона при его следовании в разборочном поезде.

12 Время подхода судна, $t_{подх.}$

13 Заявки грузоотправителей, $N_{ваг.}$

Подготовка исходной информации производится в следующей последовательности.

Этап 1. Выделяются станции:

1 Формирования отправительских маршрутов (d_i), $d_i \in D, i=1, 2, \dots |D|$.

2 Станции пополнения ступенчатых маршрутов (c_i) на закрепленных участках ($x_i y_j$), $c_i \in C, i=1, 2, \dots |C|$.

3 Маршрутные базовые станции (b_i), $b_i \in B, i=1, 2, \dots |B|$ и прикрепленные к МБС станции, образующие «куст погрузки» $p_i(b_i)$.

Этап 2. Анализируются заявки грузоотправителей, выделяются вагонопотоки, охваченные маршрутизацией, либо доставляемые другими категориями поездов. Рассчитывается число маршрутных поездов, либо определяется необходимость в вывозе вагонов со станций в других категориях поездов согласно ПФП по схеме, представленной на рисунке 4.24.

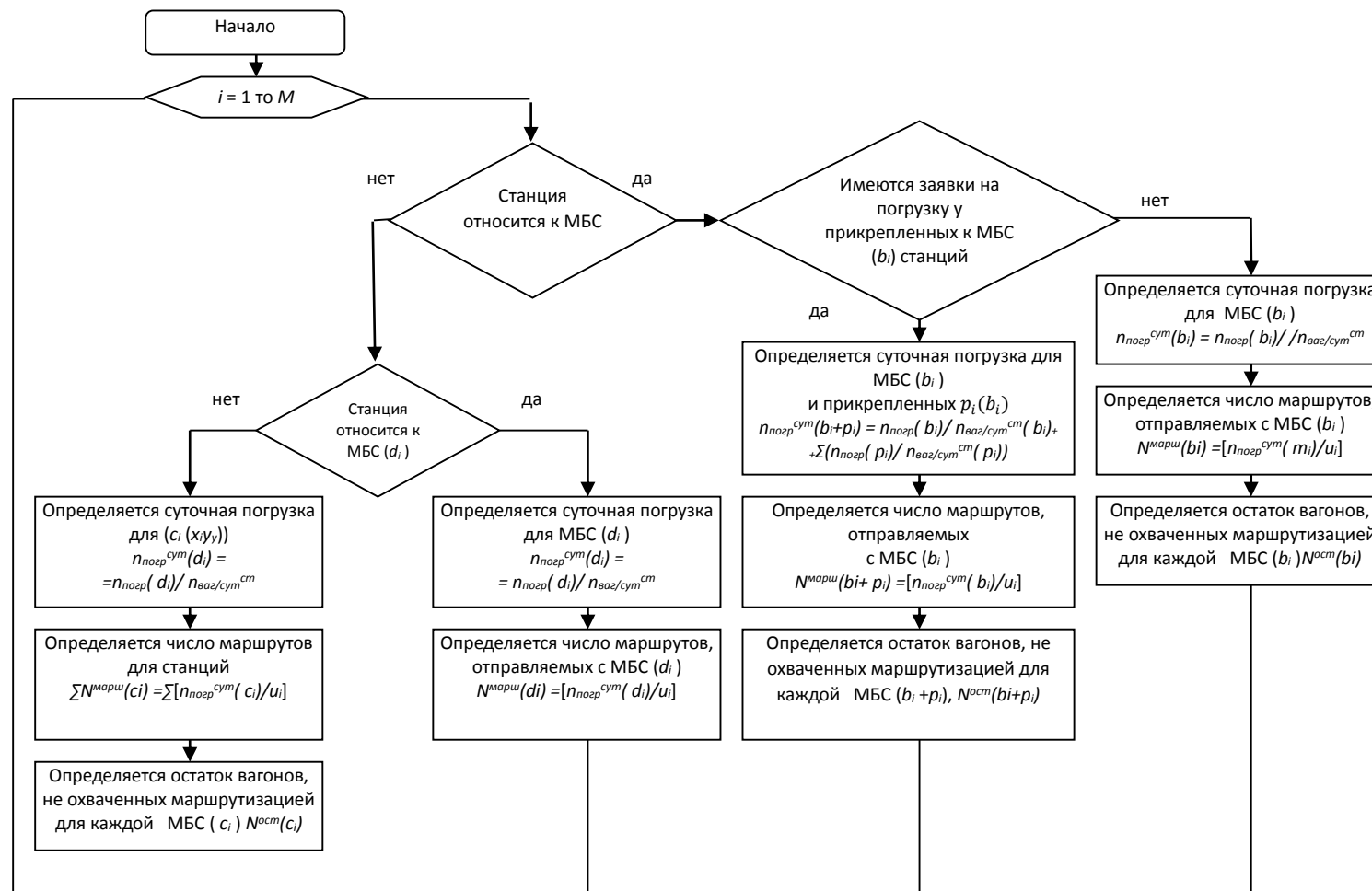


Рисунок 4.24 – Схема информационной базы расчетов плана подвода составов к припортовой станции

Этап 3. Для каждой станции определяются возможные моменты отправления, разрабатывается график вариантов подвода поездов на припортовую станцию и выполнения грузовых операций. После построения маршрутов продвижения отправок, определяются временные показатели каждого технологического этапа доставки грузов (затраты времени на продвижение вагонов по участкам и технологические операции на станциях). Результаты анализа исходной информации можно представить в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Результаты анализа исходной информации

Стан- ции	Число маршрутов	Вид отправки	Вагонопоток, не охваченный маршрутиза- цией	Способ достав- ки	Норматив- ное время хода, $t_x(m_i) = t_{ix}$
b_i	$N^{\text{марш}}(b_i)$	Отправительский маршрут	$N^{\text{ост}}(b_i)$	Согласн о ПФП и ГДП	$\sum t_{\text{дв}}^{3i}$
$b_i + p_i$	$N^{\text{марш}}(b_i + p_i)$	Ступенчатый маршрут	$N^{\text{ост}}(b_i + p_i)$		$\sum t_{\text{дв}}^{3i}$
d_i	$N^{\text{марш}}(d_i)$	Отправительский маршрут	$N^{\text{ост}}(d_i)$		$\sum t_{\text{дв}}^{3i}$
$c_i(x_i y_i)$	$N^{\text{марш}}(c_i)$	Ступенчатый маршрут	$N^{\text{ост}}(c_i)$		$\sum t_{\text{дв}}^{3i}$

В соответствии с требованиями организации производственного процесса «тянущего типа» в обратном порядке от момента начала выгрузки первой партии рассчитывается время дачи приказа на погрузку вагонов с учетом погрузочных возможностей каждого грузоотправителя.

Учитывая количество вагонов в подведенном маршруте и скорость перевалки, рассчитывается следующий момент подвода, на основании которого определяется время начала погрузки остальных вагонов, входящих в поезда выделенных категорий, рисунок 4.25.

Технология подвода судовой партии по прямому варианту без концентрации или с частичной концентрацией вагонов возможна только на полигонах небольшой протяженности, глубиной планирования до 3 суток (что соответствует внутридорожным перевозкам). Как показывает опыт, на полигонах большой протяженности, где глубина планирования составляет более 3–7 суток,

практически невозможно организовать подвод без предварительной концентрации вагонов на станциях накопления. В этом случае подвод судовой партии осуществляется с концентрацией вагонов на станциях накопления, подвод вагонов с которых устанавливается диспетчерами-логистами в соответствии с имеющимися нитками подвода и ситуацией на грузовых фронтах. В первую очередь нитки подвода выделяются под грузы, подводимые по прямому варианту.

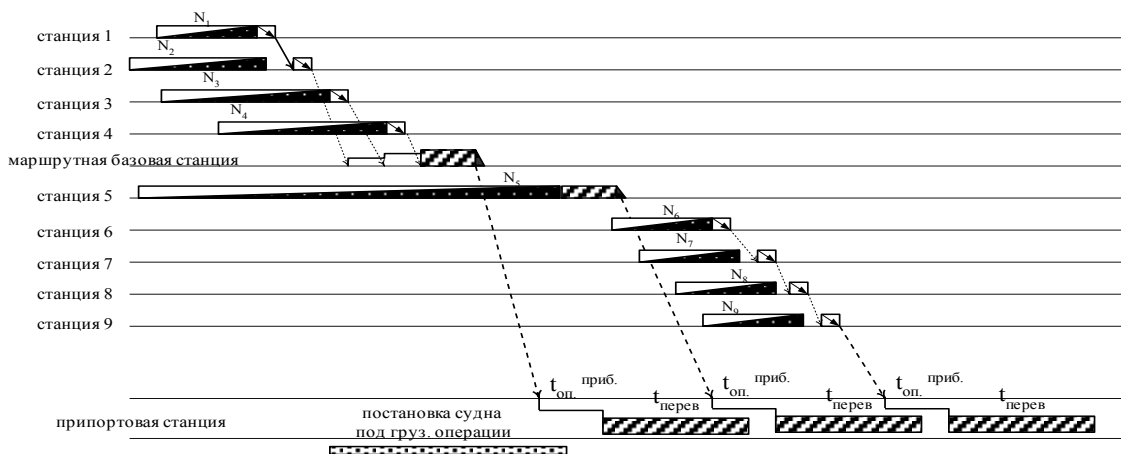


Рисунок 4.25 – Схематический график отгрузки и подвода судовой партии без предварительной концентрации

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.

Сформулированная задача представляет собой типичную задачу многоэтапного планирования, решение которой приведено в Разделе П4.12 Приложения 4. Общая сложность расчетов по алгоритму относит ее к неполиномиальным алгоритмам. Представленный алгоритм относится к комбинаторным, и, опуская доказательство, можно показать, что целевой функционал не является унимодальным, т. е. задача может иметь много

локальных оптимальных решений (многоэкстремальная). В представленном алгоритме решение улучшается последовательно, что, вообще говоря, не позволяет говорить о глобальном оптимуме задачи. Представленный алгоритм относится к классу эвристических алгоритмов. Однако алгоритм позволяет получить рациональное решение, которое удовлетворяет исследователя, обеспечивает больший эффект от его реализации, чем решения, получаемые традиционными способами.

4.5.4 Теоретические и практические аспекты задач транспортного типа для формирования плана мультимодальных грузоперевозок в припортовых транспортно-технологических системах

Математические модели, представляющие собой класс задач транспортного типа, в зависимости от набора рассматриваемых показателей относятся к задачам линейного, нелинейного и целочисленного программирования. Эти модели находят применение, в частности, в аналитике работы контрагентов в ПТТС при исследовании вопросов экономической и временной целесообразности тех или иных планов грузоперевозок. 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. Парадигму кооперативного принятия решений можно представить в форме оптимизационной задачи с набором показателей Π с использованием разных подходов [402, 403]:

– эгалитарного подхода с учетом принципа единогласия. Этот принцип реализуется посредством концепции оптимального по Парето решения многокритериальной задачи. В результате в рамках рассматриваемого набора показателей Π достигается соответствующий баланс интересов взаимодействующих агентов;

– утилитарного подхода, в соответствии с которым при решении ориентируются на наибольший суммарный доход от кооперации (т.е. в рамках всех кооперированных агентов).

Показатели плана перевозок могут быть:

– стоимостные, тогда целью является построение оптимизационной модели грузоперевозок в ПТТС, позволяющей учитывать интересы участников перевозочного процесса в рамках рассматриваемых стоимостных показателей. Простейшая, классическая форма транспортной задачи, предполагает минимизацию лишь одного стоимостного показателя;

– временные, например, общего времени осуществления плана перевозки в направлении припортовой станции (к примеру время подвода судовой партии).

Приведем пример. Пусть имеется ряд станций погрузки зерновых грузов, например, выделено 8 станций. Стоимостные характеристики исследуемого грузопотока, относящиеся к этим станциям и указанным выше станциям выгрузки, на основании которых строятся оптимизационные модели грузоперевозок на железнодорожном полигоне, приведены в таблице 4.9. Постановка первой задачи связана с нахождением плана перевозок, когда экспортеру зерновой продукции не важно с какой станции будет организована отгрузка железнодорожным транспортом и через какой порт. Однако, при этом важны стоимостные параметры по цене груза и стоимости перевозки до порта.

Таблица 4.9 – Стоимостные характеристики исследуемого грузопотока

№ п/п	Станция погрузки	Цена зерна на станциях погрузки, млн руб/маршрут p_i	Стоимость перевозки одного отправительского маршрута (50 вагонов) c_{ij} , млн руб.		
			Новороссийск	Туапсе	Тамань
1	Морозовская	43,84	1,97	2,28	2,13
2	Ремонтная	45,12	1,81	1,97	1,97
3	Белоглинская	45,12	1,33	1,51	1,45
4	Ипатово	49,60	1,69	1,75	1,88
5	Тимашевская	49,60	9,81	1,62	1,10
6	Изобильная	51,20	1,39	1,45	1,51
7	Благодарное	45,12	1,75	1,81	1,88
8	Аполлонская	43,84	1,81	1,57	1,97

Итак, имеется m станций погрузки и n припортовых станций выгрузки. На каждой i -й станции погрузки ($i = 1, 2, \dots, m$) организуются отправительские маршруты (отправки) с некоторым грузом, а на каждой j -й станции выгрузки ($j = 1, 2, \dots, n$) могут быть сформированы судовые партии, вмещающие заданное количество B таких маршрутов. Введем множество D , элементами которого являются всевозможные упорядоченные наборы $(a_i)_{i=1}^m$, где a_i – целые неотрицательные числа, удовлетворяющие условию:

$$\sum_{i=1}^m a_i = B. \quad (4.18)$$

В ситуации, когда $m = 8$ и $B = 25$, получаем, что множество D состоит из $\frac{32!}{25! 7!} = 3\,365\,856$ наборов.

Возвращаясь к транспортно-логистическим построениям, для каждой j -й станции выгрузки ($j = 1, 2, \dots, n$) рассмотрим введенное выше множество D , элементы которого будем представлять как всевозможные варианты распределения чисел a_i по m станциям погрузки (т. е. варианты распределения числа отправительских маршрутов, направляемых в адрес этой станции выгрузки). Далее на множество D будем накладывать ряд ограничений организационного характера, позволяющих также учитывать интересы рассматриваемых агентов. В частности, чтобы избежать существенных диспропорций в распределении чисел a_i по станциям погрузки, будем предполагать, что эти числа ограничены сверху той или иной константой.

Экономическую целесообразность и уровень организации процесса грузоперевозок будем оценивать в рамках эгалитарного подхода в теории благосостояния с точки зрения значений двух стоимостных показателей этого процесса. Поставим задачу о нахождении для каждой j -й станцией выгрузки ($j = 1, 2, \dots, n$) такого распределения числа отправительских маршрутов по m станциям погрузки $(a_i)_{i=1}^m \in D$, чтобы соответствующая перевозка в адрес этой станции оказалась оптимальной с точки зрения указанных показателей. Первый показатель является аналогом стоимостной целевой функции, рассматриваемой в

классической постановке транспортной задачи, и выражается целевой функцией вида:

$$C_j = \sum_{i=1}^m c_{ij} a_i, \quad (4.19)$$

где c_{ij} – стоимость перевозки одного отправительского маршрута на участке между i -й станцией погрузки ($i = 1, 2, \dots, m$) и j -й станцией выгрузки ($j = 1, 2, \dots, n$).

Второй стоимостный показатель не связан непосредственно ни с одной из станций выгрузки. Объяснением его введения является то обстоятельство, что цена груза, находящегося на разных станциях погрузки, может быть разной. Пусть p_i – стоимость груза (в одном составе), отправляемого с i -й станции погрузки ($i = 1, 2, \dots, m$). Положим

$$P = \sum_{i=1}^m p_i a_i. \quad (4.20)$$

Для каждого варианта распределения $(a_i)_{i=1}^m \in D$ числа маршрутов по m станциям погрузки целевой функцией P выражается стоимость всего груза, который (при этом варианте распределения) подлежит транспортировке в адрес какой-либо из станций выгрузки. Введением показателя (4.20) бизнес-процесс грузоперевозок дополняется внешней коммерческой составляющей, и логистическое содержание транспортной задачи приобретает новое качество.

В настоящем исследовании разработан авторский алгоритм нахождения вариантов распределения числа маршрутов по станциям погрузки, которые с точки зрения двух введенных выше показателей (4.19) и (4.20) являются в некотором смысле оптимальными. При этом постановка оптимизационной задачи соответствует представлению о корпоративной ответственности агентов [404] в том смысле, что полученное решение содержит условия, при которых достигается определенный баланс интересов этих агентов.

Постановка второй задачи связана с определением плана перевозок, когда экспортеру зерновой продукции не важно, с какой станции будет организована отгрузка железнодорожным транспортом и через какой порт, но важны временные параметры доставки груза по цене груза и стоимости перевозки до порта. Временные показатели выражаем целевыми функциями вида:

$$\tau_1^{(j)} = \max_{i=1, \dots, m} \{t_{ij} \operatorname{sgn} x_{ij}\} \quad (j = 1, 2, \dots, n), \quad (4.21)$$

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 $\tau_1^{(j)}$ называется 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 тех перевозок, которые осуществляются в направлении указанной станции выгрузки.

Будем рассматривать также «интегральную» (в рамках рассматриваемой части полигона) временную характеристику перевозочного процесса, которая выражается целевой функцией вида:

$$T = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{ij} x_{ij}. \quad (4.22)$$

Показатель T представляет собой качественно иную временную характеристику, нежели рассмотренные выше показатели. Этим показателем выражается суммарное время нахождения на полигоне всех маршрутов, участвующих в реализации плана перевозок (x_{ij}). Показатель T будем называть *суммарным временем* плана перевозок.

Отметим, что в большинстве исследований (в т.ч. ряде авторских [403]) в отличие от предложенного стоимостного показателя (4.19) рассматривается классический стоимостный показатель, выражаемый целевой функцией вида:

$$c = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}. \quad (4.23)$$

Здесь c_{ij} – стоимость перевозки одного маршрута на участке между i -й станцией погрузки ($i = 1, 2, \dots, m$) и j -й станцией выгрузки ($j = 1, 2, \dots, n$). Для каждого плана перевозок (x_{ij}) показатель c представляет собой стоимость перевозки всех маршрутов, участвующих в реализации этого плана.

С одной стороны, рассматриваемые задачи относятся к задачам транспортного типа. С другой же – к многокритериальным и многоэкстремальным задачам линейного и нелинейного целочисленного программирования. Разработанные алгоритмы и численный метод решения задач реализованы в среде системы компьютерной математики Maxima (Free Ware). Полная постановка

первой задачи, показатели, алгоритм решения и результат вычислительного эксперимента для конкретных данных приведены в Разделе П4.13 Приложения 4, второй задачи (на примере перевозки нефтепродуктов) – в авторской работе [403].

4.5.5 Исследование и формализация задач многоуровневого управления транспортным производством припортовых транспортно-технологических систем

Особенно сложные и экономически значимые задачи, относящиеся к составлению корректных совместных планов транспортной работы, графиков движения и планов подвода поездов и судов, координации работы различных видов транспорта и организации транспортного производства, возникают в процессе функционирования припортовых железных дорог. Поэтому одной из ключевых задач в вопросах ОТУ управления ПТТС является интеллектуализация процессов управления поездо- и вагонопотоками.

Известно, что в результате производственного процесса работы железнодорожного транспорта, т. е. процесса перевозок, как правило не создается нового продукта (в качестве исключения можно обозначить предоставление дополнительной услуги). В отличие от других отраслей материального производства продукция транспорта не существует самостоятельно вне производственного процесса. Поэтому особенностью железнодорожного транспорта является то, что его продукция – перемещение грузов и пассажиров – тот полезный эффект, который создается транспортом. В промышленности или сельском хозяйстве процессы производства продукта, его реализации и потребления разделены в пространстве, т. е. сначала продукт производят, затем его реализуют и потребляют. На транспорте эти процессы слиты воедино и совпадают во времени. Поэтому система управления и организация перевозочного процесса оказывает важнейшее влияние на производство транспортной продукции.

Высокий темп преобразований в организации транспортного производства ПТТС, происходящих каждый раз при смене парадигмы управления, ставит

целый ряд вопросов. Во-первых, как изменится организационно-технологическое управление при новой модели управления, например, полигонной? Во-вторых, будут ли добавлены (или сокращены) уровни управления? В-третьих, как изменятся функции управления? Далее, что можно сказать на счет границ управления? Проведенные исследования показали необходимость получения ответа на вопросы: «как изменится организационно-технологическая надежность транспортной системы?», а также «будет ли обеспечена устойчивость управления?».

Вопросы в процессе изучения транспортного производства ПТТС будут нарастать по мере перехода к цифровому производству и интеллектуализации процессов 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 и гибкость в части предлагаемых решений, что было показано в части развития когнитивных моделей в человеко-машинных комплексах принятия решений в управлении ПТТС («вопрос интуиции в оперативном решении»). Математически обоснованный механизм проверки указанной «гибкости» рассмотрим далее, обратившись к аппарату качественной теории дифференциальных уравнений динамических систем, основы применения которого для многоуровневых систем управления изложены в статье академика В. И. Арнольда [405].

В первую очередь, следует обратить внимание на объективную структурную сложность многоступенчатого управления. Именно, многоступенчатое управление, описываемое «жесткими» математическими моделями при числе уровней $n > 3$ неустойчиво. Отметим, что двухступенчатое управление ($n = 2$) приводит к периодическим колебаниям значений целевой функции, но не

приводит к их катастрофическому увеличению. При трех- и более ступенчатом управлении, описываемом «жесткими» математическими моделями, происходит катастрофическое увеличение значений целевой функции. В противоположность сказанному, уместно привести практический пример, когда реализуется принцип единоначалия поездного диспетчера в границах вверенного ему диспетчерского участка. Рассмотрим изложение указанных вопросов в общей их постановке В.И. Арнольдом [405].

Пусть производство какого-либо продукта x управляется некоторым руководителем первого ранга, принимающим решение о скорости производства:

$$\dot{x} = y. \quad (4.24)$$

В свою очередь, поведение руководителя y управляется руководителем второго ранга, принимающим решение о том, как нужно менять скорость производства:

$$\dot{y} = z. \quad (4.25)$$

В свою очередь, поведение руководителя второго ранга z управляется руководителем третьего ранга, и т. д. вплоть до генерального руководителя (ранга n). Генеральный руководитель в данной модели реализует обратную связь: его решение основывается не на желании выполнить приказ начальства (как у руководителей предыдущих рангов), а на интересах дела. Например, он может желать достичь уровня X величины x и будет влиять на руководителя предыдущего ранга в положительную сторону, если уровень x не достигнут, и в отрицательную – если он его превзойдет. Общая схема трехуровневого управления производством, выраженная в аналитическом виде, согласно исследованию В.И. Арнольда, представлена на рисунке 4.26.

Например, для $n = 3$ простейшая модель этого рода имеет вид

$$\begin{cases} \dot{x} = y, \\ \dot{y} = z, \\ \dot{z} = -k(x - X), \end{cases} \quad k > 0. \quad (4.26)$$

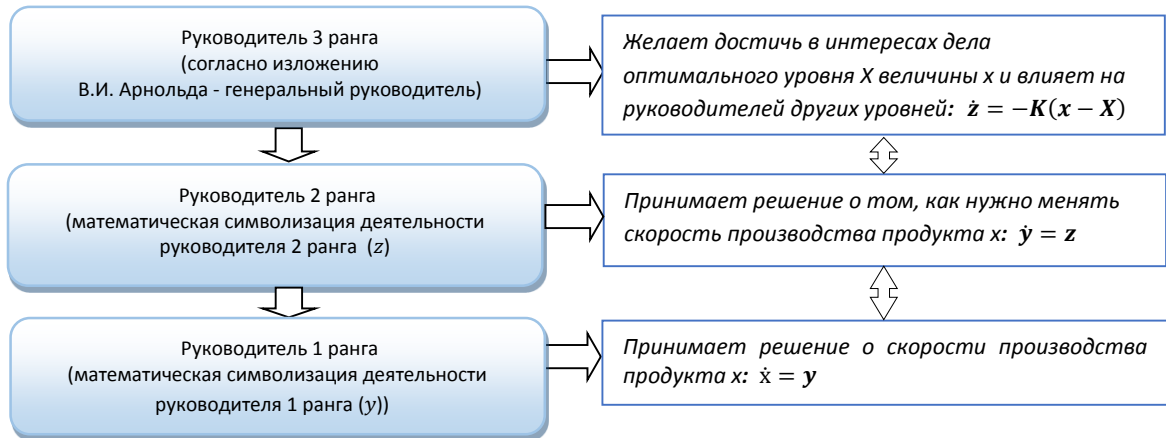


Рисунок 4.26 – Общая схема трехуровневого управления производством применительно к исследованиям В.И. Арнольда

Эту систему можно переписать в виде линейного дифференциального уравнения порядка n :

$$x^{(n)} = -k(x - X). \quad (4.27)$$

Уравнения этой (жесткой) модели легко решаются в явном виде. Устойчивость желаемого стационарного состояния ($x = X$, $y = z = \dots = 0$) определяется тем, отрицательны ли вещественные части корней λ характеристического уравнения

$$\lambda^n = -k. \quad (4.28)$$

Эти корни образуют на плоскости комплексного переменного λ вершины правильного n -угольника. Если $n > 3$, некоторые вершины обязательно лежат в (неустойчивости) правой полуплоскости ($\text{Re} \lambda > 0$). При $n = 1$ корень $\lambda = -k$ лежит в устойчивой полуплоскости, а при $n = 2$ корни $\lambda_{1,2} = \pm i\sqrt{k}$ лежат на границе устойчивости.

Отметим, что существующая система управления поездом- и вагонопотоками в адрес припортовых станций также является многоуровневой. На третьем (нижнем) уровне эта система представлена диспетчерским аппаратом припортовых станций. На втором (среднем) уровне – ДЦУП и ЛЦ, на первом (высшем) уровне – ЦД и ЦФТО, как основными участниками планирования

объемов перевозок грузов в смешанном сообщении в адрес припортовых станций. В рамках полигонной модели – двухуровневой (с включением логистического отдела в состав ЦД), что, согласно изложению В.И. Арнольда, делает систему более устойчивой.

Рассмотрим особенности трехуровневого управления. На первом уровне управления (ЦД) формулируются директивы, по большей части относящиеся к увеличению количества вагонов, направляемых в адрес припортовых станций. Функционирование второго уровня управления (подчиняющегося ЦД), наряду с основной задачей – увеличением количества направляемых на станции вагонов, проявляется также в частичной корректировке этого количества. Диспетчерский аппарат станции выгрузки, выполняющий функции третьего уровня управления, отслеживает текущую обстановку и, пользуясь возможностями транспортно-технологической системы, «разруливает на месте» ситуации, возникающие с прибывающими вагонами. Такая модель функционирует в условиях справочно-информационных систем без рассмотрения оптимизационных моделей.

Однако, исходя из опыта работы, руководство станции выгрузки имеет достаточно четкое представление об оптимальном количестве U вагонов, которое следует направлять в сутки в адрес станции (рисунок 4.27).

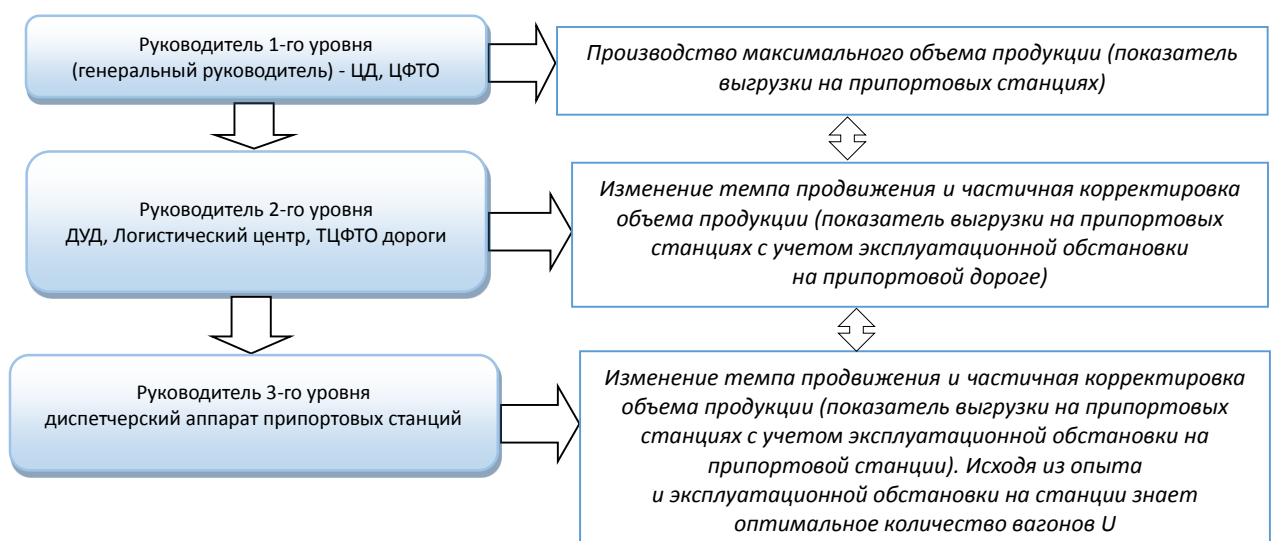


Рисунок 4.27 – Схема многоуровневой модели управления вагонопотоками в адрес припортовых станций

Особенностью принятия управленческого решения при оперативном управлении перевозками является то, что трудно достичь его оптимального значения, так как глубина перевозочного процесса во времени значительно больше периода оперативного управления. Эффективные решения на нижних в иерархии уровнях не достигнут цели, если на более высоком уровне были совершены просчеты. Как уже сказано, «жесткие» системы с тремя и более уровнями управления являются неустойчивыми. Для того чтобы построить устойчивую модель приведенной выше системы управления, возьмем за основу *двухуровневую конструкцию*, которую и будем рассматривать далее. Агрегирование уровней в целях моделирования может быть как реальным, так и виртуальным (рисунок 4.28).

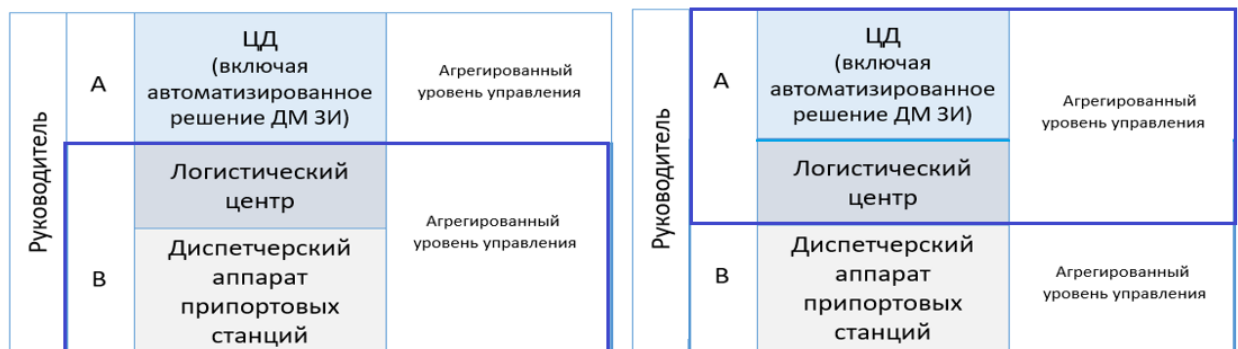


Рисунок 4.28 – Двухуровневая модель управления вагонопотоками в адрес припортовых станций, полученная путем агрегирования

Оценку влияния различных структур управления на устойчивость выполним на основе положений теории устойчивости решений обыкновенных дифференциальных уравнений. Ранее в теории дифференциальных уравнений и ее приложениях при использовании термина «динамическая система» подразумевалась некоторая механическая система, у которой имеется конечное множество степеней свободы. При этом в математическом плане речь идет об автономных системах обыкновенных дифференциальных уравнений. Построение предлагаемой математической модели процесса корректно, если в течение рассматриваемого промежутка времени не изменяется вид взаимосвязи между

компонентами решений рассматриваемой системы дифференциальных уравнений и производными этих компонент. Хорошо известно, что системы, у которых дифференциальные уравнения относятся к линейным с постоянными коэффициентами, находят повсеместное применение в технике, экономике и вообще в теории управления системами. При этом разнообразные задачи эксплуатационной науки получают с использованием теории динамических систем новые решения [406].

Возвращаясь к методологической основе разработанного математического подхода, сформулируем в общем виде его основную идею [407]. Она заключается в переходе от изначально создаваемых «жестких» математических моделей рассматриваемых процессов к «мягким» моделям и проведении сравнительного анализа получаемых результатов. Сначала строится исходная «жесткая» математическая модель рассматриваемой системы управления, которая в данном случае является системой управления процессом подвода вагонов в порты. В этой модели не предусмотрена возможность корректировки темпа подводимых вагонов, которая должна осуществляться, в первую очередь, в зависимости от эксплуатационного режима функционирования системы управления (см. главу 2). Затем, в том или ином виде, выполняется «смягчение» первоначально построенной 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. Цель и смысл такой модификации жесткой модели заключаются в том, чтобы для системы управления, функционирующей в рамках мягкой модели, обеспечить не только устойчивость по Ляпунову, но и асимптотическую устойчивость невозмущенного решения системы дифференциальных уравнений, описывающей эту модель.

Далее в качестве примера и объекта приложения двухуровневой модели будем рассматривать систему управления вагонопотоками, направляемыми в адрес припортовой станции Новороссийск СКЖД. При исследовании системы на

устойчивость в качестве оптимального определим значение ежесуточного объема (нормы) выгрузки $U = 1200$ ваг.

Система управления вагонопотоками в рамках «жесткой» модели.

Предполагается, что в адрес данной станции (или набора станций) выгрузки направляются некоторые грузы, количество u которых изменяется со временем t (сут.) и исчисляется в вагонах. Будем рассматривать двухуровневую систему 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 будем выражать переменной $v = v(t)$, которую зададим равенством

$$v = \dot{u}. \quad (4.29)$$

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

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

$$\dot{v} = -K(u - U). \quad (4.30)$$

Здесь K – некоторое положительное число, U – оптимальное количество вагонов, которое следует отправлять 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 (4.30), которая выступает как аналитический механизм реализации обратной связи между субъектами управления B и A , обратимся к дифференциальному исчислению. Если сказать кратко, то в случаях, когда значения u отличаются от оптимального значения U , правая часть равенства (4.30) задает знак скорости $\dot{v}$ изменения переменной v (которая, в свою очередь, является скоростью изменения количества u вагонов). Более подробно. Если $u < U$, то из равенства (4.30)

получаем, что $\dot{v} > 0$ (напомним, что $K > 0$). Следовательно, возрастает функция $v(t)$. Отсюда в силу равенства (4.29) 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. То есть убывает скорость возрастания функции $u(t)$. Таким образом, если $u > U$, то субъект B сдерживает чрезмерную активность субъекта A . Подведем итог выполненным аналитическим построениям и запишем построенную модель системы управления вагонопотоками в форме автономной системы обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \dot{u} = v, \\ \dot{v} = -K(u - U) \end{cases} \quad (4.31)$$

с двумя неизвестными функциями $u = u(t)$ и $v = v(t)$.

Для изучения системы (4.31) можно использовать различные подходы и методы, разработанные в теории дифференциальных уравнений (см., например, [407, 408]. Мы воспользуемся тем, что эта система сводится к линейному неоднородному обыкновенному дифференциальному уравнению 2-го порядка с постоянными коэффициентами:

$$\ddot{u} + Ku = KU \quad (4.32)$$

с одной неизвестной функцией $u = u(t)$. Отметим, что далее в соответствии с постановкой прикладной задачи для функций $u(t)$ и $v(t) = \dot{u}(t)$ будут введены начальные условия. С математической точки зрения, в настоящей работе исследуется на устойчивость при $t \rightarrow +\infty$ решение $u(t) \equiv U$ уравнения (4.32). Этому решению соответствует стационарное состояние рассматриваемой системы управления [407]. Общее решение уравнения (4.32) запишем в виде:

$$u(t) = C \sin(\sqrt{K}t + \beta) + U, \quad (4.33)$$

где числа C и β находятся из равенств:

$$C = \sqrt{C_1^2 + C_2^2}, \quad \cos \beta = \frac{C_1}{C}, \quad \sin \beta = \frac{C_2}{C}, \quad (4.34)$$

а C_1 и C_2 – произвольные вещественные постоянные.

Отметим, что система (4.31) относится к «жестким» математическим моделям [405].

Как известно [405], в двухуровневой системе управления устойчивость стационарного состояния, определяемого решением $u(t) \equiv U$ дифференциального уравнения (4.32), зависит от знака вещественных частей корней λ (вообще говоря, комплексных) характеристического уравнения

$$\lambda^2 + K = 0. \quad (4.35)$$

В силу положительности константы K уравнение (4.35) имеет два чисто мнимых (комплексно-сопряженных) корня $\lambda_{1,2} = \pm i\sqrt{K}$, которые лежат на границе устойчивости указанного решения [405].

Изложим полученные в рамках «жесткой» модели результаты исследования устойчивости системы управления вагонопотоками, направляемыми в адрес припортовой станции выгрузки Новороссийск. В настоящей работе исследования проводились в среде системы компьютерной математики Maxima (Free Ware). На рисунке 4.29 представлен график функции $u(t)$, являющейся решением уравнения (4.32), удовлетворяющим начальным условиям: $u(0) = 1300$ ваг. и $\dot{u}(0) = 100$ ваг/сут, в случае, когда $K = 1$. Отметим, что выявление значений параметра, отражающих возможности транспортно-технологической системы в отношении регулирования вагонопотоков, направляемых в адрес припортовых станций выгрузки, представляет собой предмет отдельного исследования. Представленный на рисунке 4.29 график иллюстрирует общее положение [405], согласно которому двухуровневое управление может приводить к периодическим колебаниям, но при этом не вызывать катастрофического нарастания этих колебаний (такое нарастание происходит в случае «жесткого» моделирования систем управления с тремя и более уровнями управления).

Проведем результаты эксперимента с изменением оптимального количества вагонов, отправляемых в сутки на станцию, $U = 1250$ ваг. в условиях изменения эксплуатационного режима.

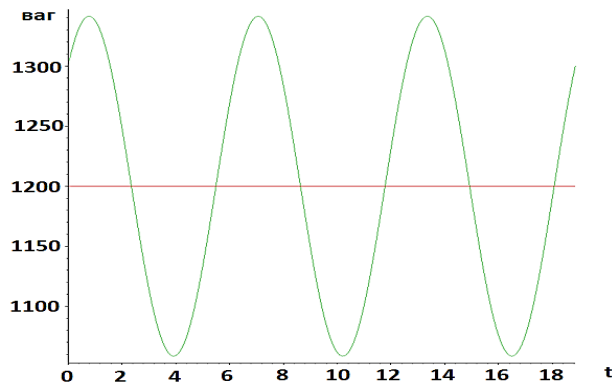


Рисунок 4.29 – График зависимости количества u вагонов от времени в случае «жесткой» модели

На рисунке 4.30 приведен график функции $u(t)$, представляющей собой решение уравнения (4.32) с начальными условиями $u(0) = 1350$ ваг. и $\dot{u}(0) = -100$ ваг/сут, когда $K = 1$.

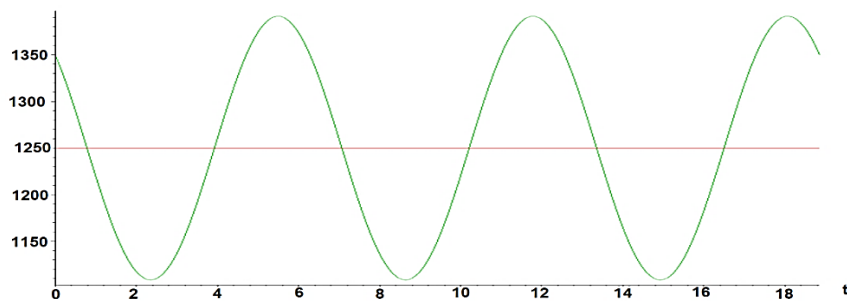


Рисунок 4.30 – График посуточного изменения количества u поступающих на станцию вагонов при «жестком» моделировании

Система управления вагонопотоками в рамках «мягкой» модели

Начнем с цитаты [405]: «Вывод: жесткую модель всегда надлежит исследовать на структурную устойчивость полученных при ее изучении результатов по отношению к малым изменениям модели (делающим ее мягкой)». Итак, займемся «смягчением» построенной в предыдущем разделе «жесткой» модели системы управления вагонопотоками, задаваемой системой дифференциальных уравнений (4.31). Будем рассматривать «мягкую» модель, которую запишем в виде следующей автономной системы обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{u} = v, \\ \dot{v} = -K(u - U) - \varepsilon v. \end{cases} \quad (4.36)$$

Отметим, что с присутствием слагаемого с коэффициентом $\varepsilon > 0$ в правой части второго уравнения системы (4.36) реакция субъекта управления B на изменения в «поведении» вагонопотоков становится более детализированной. Именно, величина $\dot{v}$ ускорения изменения количества вагонов, направляемых в адрес данной станции (набора станций), зависит не только от количества u этих вагонов, но также от скорости $\dot{u}$ изменения этого количества. Более подробно: если $\dot{u} > 0$ (т. е. вагонопоток в адрес данной станции увеличивается), то произведение εv положительно и тем самым величина $\dot{v}$ ускорения изменения количества вагонов становится меньше, чем в случае, когда используется «жесткая» модель. Если же $\dot{u} < 0$ (т. е. вагонопоток в адрес станции уменьшается), то произведение εv отрицательно и величина $\dot{v}$ становится больше, чем при использовании «жесткой» модели.

Перейдем к результатам, полученным для рассматриваемого проекта в рамках «мягкой» модели. На рисунке 4.31 представлен график функции

$$u(t) = 4e^{-\frac{t}{4}} \cos \frac{\sqrt{15}t}{4} + 1200, \quad (4.37)$$

которая является первой компонентой частного решения системы (4.36), удовлетворяющего начальным условиям: $u(0) = 1300$ ваг. и $v(0) = -25$ ваг/сут, в предположении, что $K = 1$ и $\varepsilon = 0,5$.

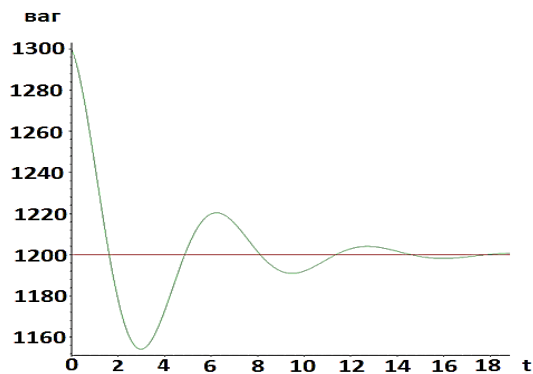


Рисунок 4.31 – График зависимости количества u вагонов от времени
в случае «мягкой» модели

Обратим внимание на то, что представленный на рисунке 4.31 график функции $u = u(t)$, которой описывается изменением со временем t (сут.) количества вагонов u , направляемых в адрес данной станции (набора станций) выгрузки, имеет отчетливо выраженную горизонтальную асимптоту $u = 1200$. Приведем еще один график в подтверждение устойчивости стационарного состояния $u(t) \equiv 1200$ ваг. рассматриваемой системы управления вагонопотоками. На рисунке 4.32 представлен график функции

$$u(t) = 1200 - 200e^{-\frac{t}{4}} \cos \frac{\sqrt{15}t}{4}, \quad (4.38)$$

которая является первой компонентой другого частного решения системы (4.36). При этом начальные значения существенным образом отличаются от предыдущих, а именно $u(0) = 1000$ ваг. и $v(0) = 50$ ваг/сут.

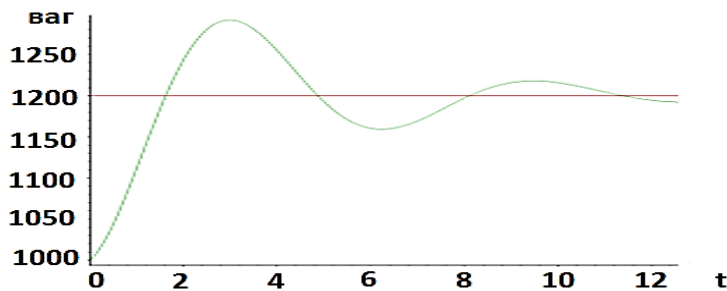


Рисунок 4.32 – График зависимости количества u вагонов для «мягкой» модели при других начальных условиях. Эксперимент 3

Итак, устойчивость указанного стационарного состояния подтверждается тем, что независимо от выбираемых начальных значений количество вагонов $u = u(t)$, направляемых в адрес данной станции (набора станций) выгрузки, при $t \rightarrow +\infty$ удовлетворяет условию $u(t) \rightarrow 1200$ ваг.

Таким образом, математически доказано, что в результате введения дополнительных связей между субъектами двухуровневого управления от неустойчивой «жесткой» модели можно перейти к «мягкой» модели системы управления вагонопотоками, управляя не только таким параметром, как «количество погруженных вагонов» (текущая практика), но и параметром «темп

продвижения этих вагонов». Отследить темп продвижения вагонов на уровне интуиции могут опытные диспетчеры и логисты, однако такую «гибкость» решения необходимо предусмотреть при создании интеллектуальных систем. Доказательная база возможности перехода системы в устойчивое состояние на конкретные сутки после возникновения такого возмущения приведена в данной методике.

Сравнительный анализ поведения траекторий динамической системы в зависимости от количества и темпа отправляемых в адрес припортовых станций вагонов с использованием *фазового портрета* приведен в Разделе П4.14 Приложения 4.

4.6 Выводы по четвертой главе

В рамках логистической парадигмы управления взаимодействием железнодорожного и морского видов транспорта развита методология организационно-технологического управления перевозками в ПТТС в условиях интеллектуализации и цифровизации производственных процессов при ограниченных пропускных способностях транспортной инфраструктуры, в части:

- выделения этапов развития структуры логистического управления железнодорожно-морскими перевозками на базе развития логистических центров в условиях новых вызовов и ограничений по пропуску грузопотоков в направлении морских портов;
- выделения ключевых технологических этапов и бизнес-процессов организации доставки грузов в системе «железная дорога – морской порт»;
- выявления изменений в указанных бизнес-процессах с учетом развития ОТУ и интеллектуализации управляющих воздействий;
- формирования требований к технологическим и бизнес-процессам организации перевозок в железнодорожно-морском сообщении в условиях интеллектуализации процессов управления и диверсификации транспортных услуг с целью повышения ОТН в ПТТС;

- развития системы управления производственными процессами «тянущего» типа в части структурированного подвода поездо- и вагонопотоков к припортовым станциям в условиях ограниченных пропускных способностей транспортной инфраструктуры железнодорожной ПТТС;

- оценки синергетических эффектов перехода к полигонной концепции управления железнодорожными перевозками в адрес морских портов, развития и интеграции информационных систем управления транспортным производством в ПТТС на базе платформоцентрического и сетецентрического подходов.

Развита концепция «Цифровая железная дорога» в части расширения дополненной аналитики управления экспортными перевозками в железнодорожно-морском сообщении за счет развития детерминированных и стохастических математических моделей взаимодействия видов транспорта и агентов в ПТТС и повышения устойчивости многоуровневого управления в условиях интеллектуализации процессов управления (при использовании теории СМО, имитационного моделирования, методов линейного программирования и др.).

Информатизация, интеллектуализация и цифровизация управления перевозочным процессом являются важнейшими направлениями качественной трансформации транспортного производства ПТТС. В дальнейшем необходимо сфокусировать внимание на разработке цифровых платформ, обеспечивающих повышение конкурентоспособности холдинга ОАО «РЖД» за счет выстраивания эффективных процессов, гибко адаптируемых к изменениям рыночных условий; разработке цифровых технологий для решения задач управления перевозочным процессом на основе предиктивной аналитики с использованием моделирования, самообучения, накопленных знаний и опыта специалистов, с созданием цифровых двойников объектов ПТТС. Ядром таких систем могут быть в том числе модели и методы искусственного интеллекта.

5 ЦИФРОВЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ В ПРИПОРТОВЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ: КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

5.1 Категорирование информационных систем оперативного управления перевозочным процессом в припортовых транспортно-технологических системах в развитии технологий интеллектуального управления

Железнодорожный транспорт изначально создавался как сложная макросистема, основанная на самых передовых технологиях и значительно опережающая в своем развитии другие отрасли [409], поэтому это один из наиболее продвинутых видов транспорта для реализации интеллектуальных и цифровых решений в национальной транспортной системе, для которой предпринимаются активные действия по реализации интеллектуального управления перевозками [410, 411]. Актуальность интенсификации развития искусственного интеллекта (ИИ), определенная в Национальной стратегии развития искусственного интеллекта на период до 2030 года, в управлении перевозками на железнодорожном транспорте обусловлена рядом факторов, в числе которых:

- исчерпание резервов пропускных и провозных способностей на грузонапряженных участках и направлениях, включая подходы к припортовым станциям;
- необходимость обеспечения конкурентоспособности национальной экономики в мировом разделении труда за счет уменьшения транспортно-логистических издержек;
- сложность управления перевозочным процессом в условиях многоагентности, многокритериальности и влияния большого числа внешних и внутренних факторов, обусловленные первыми факторами;

- потребность использования безлюдных и (или) малолюдных технологий управления, снижающих влияние человеческого фактора на принятие решения, в условиях роста когнитивных связей в перевозочном процессе;
- большая загрузка транспортной инфраструктуры вследствие отставления от движения грузовых поездов, что снижает маневренность на станциях и усложняет организацию поездной работы на железнодорожных участках;
- необходимость поэтапной реализации цифровых технологий на железнодорожном транспорте, определенной стратегическими программными документами железнодорожного транспорта, и другие.

Анализ современных исследований в области цифровой трансформации ПТТС [413] позволяет выделить основные эффекты от ускорения данных процессов:

- максимально полное удовлетворение запросов на перевозки грузов требуемого объема и в нужное время, осуществление их с необходимым уровнем качества;
- повышение эффективности и снижение операционных затрат компании ОАО «РЖД» и смежных видов транспорта;
- сокращение трудозатрат за счет автоматической разработки плана перевозок, плана подвода поездов и др. технологических документов с учетом оценки возникающих затруднений в процессе пропуска вагонопотоков с выявлением лимитирующих объектов инфраструктуры;
- развитие и расширение иммерсивного опыта на основе «цифровых двойников», позволяющих виртуально представить объект и прогнозировать его поведение;
- улучшение ключевых показателей эффективности KPI транспортных предприятий.

В качестве примера рассмотрим задачу планирования железнодорожных перевозок, которая является масштабной по своему содержанию и осуществляется на макроуровне (транспортная система страны, железнодорожная сеть, полигоны, ПТТС), мезоуровне (железные дороги, районы), микроуровне

(станции, предприятия). Для каждого из этих уровней используются различные системы поддержки принятия решений. Однако сложно планировать перевозки, когда во всех звеньях условия работы постоянно меняются. В этом случае образуется дефицит или избыток запасов, возрастают операционные расходы и т. п. Поэтому необходимо гибко реагировать в режиме реального времени на сбои в каждом звене или бизнес-процессе предприятия. Для реагирования необходимо выявить «узкие места», определить предельные уровни критических ресурсов и выработать адекватные меры реагирования на сбои [411].

Для компенсации негативного влияния сбоев используются резервы, содержание которых увеличивает расходы компаний. Поэтому при планировании резервов предпочтение отдается не «статичным» моделям, а интеллектуальным алгоритмам «машинного обучения», учитывающим фактическую динамику технологических и рыночных параметров. Здесь имеются возможности по развитию существующих информационных систем и систем поддержки принятия решений, в том числе за счет трансляции в их машинные блоки принятия решений естественного интеллекта специалиста-эксперта (см. главу 3) [412].

Транспортно-логистический рынок грузовых перевозок характеризуется показателями и параметрами на разных уровнях управления, которые должны быть выстроены по иерархическому принципу. По сути – это KPI, включающие на верхнем уровне транспортно-логистическую отрасль, на нижнем – предприятие конкретного вида транспорта и логистической сферы. Траектория движения к эффективной системе управления ПТТС должна проходить в несколько этапов, где каждый из шагов приводит к повышению (или как минимум – сохранению) эффективности субъектов (KPI).

Цифровая трансформация реализуется по двум принципиальным направлениям: первое – интегрированные логистические цепи, когда рассматривается объединение в логистическую цепь двух и более участников (рисунок 5.1), второе – цифровые технологии субъектов логистических цепей (рисунок 5.2).



Рисунок 5.1 – Развитие транспортно-логистической отрасли за счет цифровой интеграции (1-й вариант)



Рисунок 5.2 – Развитие транспортно-логистической отрасли за счет цифровой интеграции (2-й вариант)

В первом случае (см. рисунок 5.1) рассматриваются направления интеграции цифровых платформ в интересах экономики и населения с целью минимизации издержек и повышения качества и логистического сервиса. Во втором случае (см. рисунок 5.2) – внутрипроизводственные процессы, связанные с транспортировкой и логистикой в рамках конкретного предприятия (логистического, транспортного и производственного), требующие цифровой трансформации в первую очередь для повышения его эффективности.

Современные инновационные концепции организации взаимодействия участников ПТТС, совершенствования технологий, направленных на максимальное использование пропускных и провозных способностей национального транспортного комплекса, находятся в области развития цифровых технологий и совершенствования систем управления с использованием технологий искусственного интеллекта (ИИ).

Многоагентность системы организации перевозок и сложность организационно-технологических связей в реализации потоковых процессов на транспорте не позволяют говорить о скором и полноценном использовании технологий ИИ в управлении перевозочным процессом, т. к. требуется создание экспериментальной базы, анализ состояния проблемы и выработка направлений разрешения обозначенной проблемы для использования технологий ИИ в управлении ПТТС.

Тем не менее ИИ в современном мире представляет собой основной тренд развития управленческих решений во всех областях практики. На железнодорожном транспорте ИИ должен обеспечить прорыв в области не только автоматизации управления перевозками, но и взаимоотношений с клиентами, управления объектами инфраструктуры, надежностью, рисками, отказами и другими элементами и технологическими процессами (рисунок 5.3).

В то же время интегральным критерием эффективности железнодорожного транспорта является эффективность перевозочного процесса, достигаемая на основе максимального использования резервов и ресурсов, направленных на увеличение пропускной способности участков и станций сети [414].

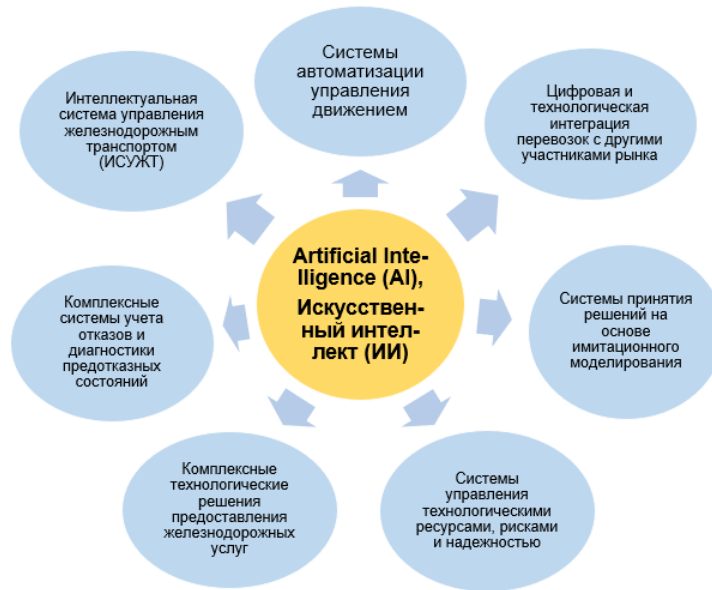


Рисунок 5.3 – ИИ как ресурсосберегающая технология на железнодорожном транспорте

В настоящее время цифровые технологии «продвигаются» в экономику и на транспорт при абсолютной поддержке, как программной, так и финансовой, органов государственного регулирования транспортной отрасли. Для железнодорожного транспорта и ОАО «РЖД» – технологического агрегатора цифровых научных проектов, эти решения представляют системное преимущество для развития операционного менеджмента. В пределах программы «Цифровая железная дорога» активно внедряются технологии искусственного интеллекта, среди которых следует выделить такие, как интеллектуальное управление движением, распознавание объектов на основе нейросетей, интеллектуальные логистические системы, системы предикативной аналитики, беспилотные транспортные средства.

Остановимся на вопросах интеллектуального (нейросетевого) моделирования и управления при организации процессов перевозок и транспортного производства. Темпы происходящих изменений в сфере современного транспортного производства очень высоки, поэтому важен переход к соединению логистики и «умного» производства, проблемная область которых раскрыта в работе [415]. С учетом исследования [416] кратко приведем основные положения предметной области.

Искусственные нейронные сети (ИНС) представляют собой модели, строящиеся аналогично естественным нейронным сетям головного мозга. Основной характерной чертой ИНС является способность к самообучению. Нейронные сети стали основной областью исследований в машинном обучении для решения сложных задач, таких как оптимизация, распознавание и идентификация. Существует ряд оптимизационных алгоритмов, позволяющих улучшить работу нейронной сети. Критерием оценки оптимизации, как правило, служит возможность ИНС решить задачу за заданное время. Применение той или иной архитектуры ИНС зависит от конкретной практической задачи, при этом нейросети постоянно совершенствуются.

Нейросетевое управление перевозочным процессом. Нейронные сети могут решить актуальную задачу оперативного управления перевозочным процессом. Поскольку за основу управления перевозочным процессом на железной дороге выбрано строгое соблюдение графика движения поездов (ГДП), то одной из задач нейросетевого управления будет обнаружение, предсказание и устранение нарушений ГДП. Интеллектуальные системы позволят железнодорожному транспорту более точно соблюдать график движения, оптимизировать пропускную способность, а также исключить негативный человеческий фактор, связанный с усталостью или невнимательностью.

Вторая задача – составление оптимального графика движения поездов, может быть интерпретирована как высокоразмерная задача по составлению расписания. Однако, помимо высокой размерности сети железных дорог, она имеет ряд собственных, индивидуальных параметров. Здесь необходим анализ сезонности, учет тяги и многопутности и прочих особенностей железнодорожного транспорта. Еще одной особенностью современной сети дорог является ведение поезда по адаптивному расписанию – здесь необходимо гибкое, но надежное и безопасное планирование.

Третья задача – связана с логистикой управляемого подвода грузов в адрес портов и предприятий (составление плана отгрузки, плана подвода поездов на припортовые станции и пр.).

Рассмотрим существующий зарубежный и отечественный опыт в области нейросетевого управления перевозочным процессом. Прежде всего, следует упомянуть европейскую систему управления железнодорожным транспортом ERTMS (European Railway Traffic Management System). В рамках ETCS ведется работа по разработке механизма искусственного интеллекта (ИИ) для поиска решений по оптимальному планированию графика движения с целью повышения пропускной способности железнодорожной сети и минимизации опозданий поездов.

Начиная с 2019 года ряд экспертов по интеллектуальным системам DB Netz и InstaDeer разрабатывают прототип системы автоматизированного диспетчерского управления перевозочным процессом и пропускной способностью CTMS (Capacity & Traffic Management System) с формированием базы по применению ИИ [417]. Ведется работа по созданию ядра ИИ системы CTMS. ИИ обучают с помощью имитационной модели реальной сети железных дорог, используя глубокое обучение подкреплением (Deep Reinforcement Learning). Здесь предусмотрено решение не только стандартных эксплуатационных задач, но и потенциально возможных – например, связанных с ростом интенсивности движения поездопотока.

Еще одним примером успешного применения цифровых технологий в управлении перевозочным процессом является японская автономная децентрализованная система управления движением поездов ATOS (Autonomous Decentralized Transport Operation Control System). В ATOS активно используется ИИ, который управляет скоростью движения состава, торможением и таким образом более эффективно расходует энергию (энергоэффективные алгоритмы). Разработчиком системы является японская железнодорожная компания JR [418].

В Китае оператором национальной сети железных дорог является китайская государственная компания China Railways, которая ведет множество исследований по применению технологий ИИ в области управления движением поездов. Система ИИ в режиме реального времени обрабатывает огромные объемы данных со всей страны и может предупреждать ремонтные бригады о

нештатных ситуациях в течение 40 минут с точностью до 95 %. Это позволяет своевременно обслуживать высокоскоростные железнодорожные линии [419]. Примеры применения ИНС в системах управления перевозочным процессом железнодорожного транспорта приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Зарубежный опыт применения ИНС в системах управления перевозочным процессом железнодорожного транспорта

№ п/п	Задачи	Решения
1	2	3
Стратегия изменения расписаний		
1	Оценка задержек в железнодорожной сети	Прогнозирование задержек в основном сосредоточено на прогнозировании задержек для каждого поезда на последующих станциях: нейросетевой подход на гетерогенных графах
2	Прогнозирование задержек с использованием данных о поездной работе и погоде на базе моделирования движения поездов	Разработана модель прогнозирования задержек поездов (FCLL-Net), сочетающая в себе полностью подключенную нейронную сеть (FCNN) и два компонента долговременной кратковременной памяти (LSTM) для учета операционных взаимодействий. Производительность FCLL-Net тестируется с использованием данных двух высокоскоростных железнодорожных линий в Китае
Развитие высокоскоростных железных дорог		
3	Обзор приложений искусственного интеллекта в системах высокоскоростных железных дорог	Обзор самых передовых технологий и приложений искусственного интеллекта в трех основных прикладных областях системы HSR: механическое производство и электрическое управление, связь и сигнальное управление, а также управление высокоскоростными железными дорогами
4	Создание гибридных моделей прогнозирования пассажиропотока на междугородних высокоскоростных железных дорогах	Разработаны и сравниваются три гибридные модели прогнозирования пассажиропотоков на междугородних высокоскоростных железных дорогах на основе нейронных сетей
Пропускная способность		
5	Создание модели для планирования движения поездов, ориентированных на предпочтения пассажиров, с учетом эксплуатационных расходов и ограничений пропускной способности	На этапе планирования пассажирские операторы разрабатывают расписания для обслуживания пассажирских рейсов и план движения поездов в поддержку этих расписаний. Разработана оптимизационная модель, которая минимизирует расходы на поездки пассажиров в рамках ограниченного бюджета, доступного для покрытия эксплуатационных расходов

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3
Цифровые двойники		
6, 7	Обзор концепций цифровых двойников (DTS) для улучшения качества продукции и оптимизации производственных процессов на железнодорожном транспорте: предварительные рекомендации и эталонная архитектура [420,421]	Внедрение «цифровых двойников» в железнодорожном секторе с уделением особого внимания роли технологий искусственного интеллекта (ИИ) как ключевых факторов, способствующих созданию услуг с добавленной стоимостью, и приложений, связанных с интеллектуальным принятием решений

В отечественном опыте нейросети развиваются для информационных инструментов ОАО «РЖД»:

- планируется создать единую модель железнодорожной сети компании, в которой будет не только отражаться текущая дорожная ситуация, но и строиться ряд прогнозных решений на базе «Единой интеллектуальной системы управления и автоматизации производственных процессов на железнодорожном транспорте» (ИСУЖТ) [422];

- имеется опыт построения нейронных сетей для управления и оптимизации движения. Так, в 2022 г. на базе МФТИ была разработана интеллектуальная система управления движением поездов ИСУДП «Прогноз». Данное решение базируется на основе нейросети, способной составить расписание движения в течение 5 секунд. Нейросеть учитывает более 30 параметров, включая вид груза, количество вагонов и др. Функционал системы включает также обнаружение и анализ конфликтных ситуаций [423];

- комплекс «Эльбрус-М», разработанный специалистами Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ) для планирования энергооптимального графика движения поездов, в том числе с проектом использования нейросетей.

В ряде исследований развивается методология применения технологий ИИ для управления грузопотоками при мультимодальных перевозках, планировании интермодальных маршрутов, формировании транспортно-логистических решений

[424–428] и расписаний, при моделировании работы станций и транспортных узлов [429, 430], транспортных предприятий [431], в энергетике [432], в задачах управления локомотивным комплексом [433]. Анализируя тренды развития ИИ и их влияния на перевозочный процесс, можно провести систематизацию задач и ожидаемых результатов, в том числе и для нужд совершенствования перевозочного процесса (ПП) (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Искусственный интеллект в технологиях и перевозочном процессе на железнодорожном транспорте

№ п/п	Решаемые задачи ИИ	Использование, результаты	Перевозочный процесс
1	2	3	4
1	Предиктивный и прескриптивный анализ	Анализ данных нейросетью, получение информации о будущих состояниях	Планирование перевозок, подвода поездов, максимальный пропуск поездов по участкам
2	Оценка качества моделей машинного обучения в реальной среде, в т. ч. в системах без участия пользователя	Автоматическая схема проверки валидности обучения разработанной нейросети	Формирование схемы проверки валидности обучения нейросети по типологии объектов
3	Интеллектуальное имитационное моделирование (ИИМ) поведения агентов рынка на основе моделей машинного обучения	ИИМ работы станции и объектов транспорта на основе моделей машинного обучения	ИИМ работы припортовой станции и участков сети
4	Предиктивное обслуживание оборудования на основе методов математического моделирования	Применение теории надежности по элементам и объектам инфраструктуры	Нейросети оценки состояния объектов ЖД инфраструктуры в условиях отказов
5	Оперативное прогнозирование, анализ потока данных в режиме реального времени и прогнозирование нештатных ситуаций	Учет нейросетью технологических операций, межоперационных простоев, прогнозирование и определение очередности работы с поездами	Нейросети описания состояния объектов (для управления по состоянию)
6	Адаптивное планирование и управление производственными процессами	Планирование производства на основе математических моделей и ретроспективных данных	Модели оптимального планирования и управления операционного уровня
7	ИИМ поведения агентов рынка на основе машинного обучения	ИИМ работы объектов и станции	ИИМ работы припортовой станции на основе моделей машинного обучения

Продолжение таблицы 5.2

1	2	3	4
8	Выявление аномалий производственных процессов и поиск их причин	Применение теории надежности по элементам инфраструктуры	Реализация системы управления по состоянию объектов и ПП
9	Контроль и обеспечение производственной безопасности	Четкое следование нормативным документам	Соблюдение требований транспортной безопасности
10	Визуализация производственных процессов	Наглядная модель работы станции, графики подвода	Визуализация для прескриптивного анализа ПП
11	Разметка данных при помощи ИИ	Определение «ценности» данных для управления и принятия решений	Оценка данных: срок доставки, номенклатура груза, приоритет, назначение, разметка по грузовым фронтам и др.
12	Управление данными при помощи ИИ	Анализ корпоративных информационных систем (КИС) на достоверность и непротиворечивость с использованием гетерогенных баз данных агентов	Оценка достоверности данных для нейросети и технологий ИИ
13	Автоматизация обучения нейронных сетей	Обучение без наставника	Работа нейросети и ИИ с КИС
14	Обучение в ходе деятельности или по аналогии (включая создание моделей)	Объекты со схожими параметрами и соответствующие им нейросети	Генерирование нейросетей объектов транспорта на базе существующих по данным из ИС

Как видно из анализа, многообразие направлений использования ИИ на железнодорожном транспорте имеет целью обеспечение перевозочного процесса с максимальным использованием мощностей и ресурсов объектов транспорта, согласованием технологических процессов участников транспортной работы, сокращением непроизводительных простоев в транспортно-технологических процессах, совершенствованием технологий текущего обслуживания объектов транспорта, предупреждением отказов и повышением безопасности. Примеры категорирования существующих информационных систем оперативного управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте по возможности трансляции в синтезируемые транспортные системы искусственного интеллекта приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Примеры категорирования существующих информационных систем оперативного управления перевозочным процессом по возможности трансляции в системы ИИ

№ п/п	Область охвата	Существующие информационные системы управления перевозками в ОАО «РЖД»	Задействованные эксперты
1	Сеть дорог	Динамическая модель загрузки инфраструктуры (ДМ ЗИ)	Работники Территориального центра фирменного транспортного обслуживания, отдела сроков доставки, разработки плана формирования и др.
2		ГИД УРАЛ ВНИИЖТ	Поездной диспетчер, работники отдела разработки графика движения поездов
3		АПК «Эльбрус»	Работник отдела разработки «окон», поездной диспетчер, машинист
3	Железная дорога	Автоматизированная система управления местной работой АСУ МР (АСУ СТ НП)	Диспетчер по регулированию вагонного парка
4	Железная дорога – порт	Дорожная информационно-логистическая система ДИЛС (ЕПМ, АСУ СТ НП)	Диспетчер логистического центра (отдела)
5	Станция	АСУ СТ НП	Маневровый диспетчер, дежурный по станции
6	Станция – грузовой фронт	АСУ СТ НП	Грузовой диспетчер, маневровый диспетчер, дежурный по станции

Дальнейшее исследование посвящено вопросам цифровизации железнодорожного транспорта в части его операционной деятельности.

5.2 Методические подходы к формализации объектов и процессов железнодорожного транспорта для разработки и внедрения интеллектуальных технологий управления перевозочным процессом

Распространение цифровых инноваций на железных дорогах и их апробация невозможны без оценки эффективности, выявления преимуществ и недостатков их применения на опытных полигонах. Принятие решений о внедрении тех или иных мероприятий для повышения пропускной способности должно осуществляться по результатам моделирования поездной обстановки на

различных участках железных дорог с максимально возможной детализацией всех объектов системы, например, в виде предиктивной цифровой модели («*цифрового двойника*») работы объекта, а также для выполнения расчетов режимов работы и определения целевых параметров системы. Основу предиктивной модели составляют математические модели. В этом научном направлении на сегодняшний день в отечественной и зарубежной практике мало решений, а интенсивность изменений в ПТТС является драйвером таких исследований.

С 1953 г. по настоящее время было разработано более 50 методик расчета и оценки использования пропускной способности и создано более 40 программных пакетов моделирования и оптимизации [434,435]. Современные расчеты пропускной способности железнодорожной инфраструктуры выполняются на основе Методики определения пропускной и провозной способности [436]. Также на рассмотрении находятся предложения о внесении изменений в Методику с учетом исследований влияния отказов технических средств, а также технологических нарушений и проведения строительных работ на пропускную способность инфраструктуры железнодорожного транспорта.

Критерием оценки использования пропускной способности основных сооружений и устройств служит допустимый коэффициент заполнения пропускной способности, который варьируется для различных категорий участков от 0,97 до 0,98. Анализ влияния различных параметров поездной работы на значение данного коэффициента и поиск дополнительных «скрытых» резервов пропускной способности являются направлениями данного исследования.

К настоящему времени создано около тысячи моделей станций и участков железных дорог. В основном это имитационное моделирование, на основании которого определяются необходимые длины блок-участков на станциях и подходах к ним (длины рельсовых цепей, места установки маршрутных светофоров) и др. В рамках данного исследования предлагается остановиться на вопросах интеллектуального (нейросетевого) управления перевозочным процессом.

Формализация процедур оценки пропускной способности участка железнодорожной сети опирается на следующие ключевые положения:

- пропускная способность зависит от параметров инфраструктуры и технико-эксплуатационной характеристики железнодорожного участка, активно влияющих на систему организации перевозочного процесса (число главных путей, количество станционных и приемоотправочных путей, вид тяги, серии локомотивов, весовые нормы и длина составов, средства связи по движению поездов, профиль железнодорожного пути и его элементов, надежность работы устройств и др.). К параметрам инфраструктуры, непосредственно не влияющим на пропускную способность участка, можно отнести объекты обслуживания подвижного состава, технологические процессы, не связанные с поездной работой (погрузка, выгрузка, отцепочный ремонт, экипировка и др.), а также их надежность функционирования;

- пропускная способность зависит от типа графика, от величины его исходных и расчетных элементов (перегонного времени хода, станционных интервалов и интервалов между поездами), принятых технологий (технологии подталкивания, виртуальной сцепки, организация соединенных поездов и др.);

- пропускная способность зависит от структуры поездопотока (грузовое, пассажирское, пригородное, скоростное), доли его составляющих в объеме движения, направлений, парности размеров движения и др.;

- пропускная способность зависит от принятых способов усиления пропускной способности, причем принимается вариант организации поездопотоков с «максимально» возможным графиковым пропуском;

- пропускная способность учитывает необходимость резервирования времени на выполнение технологических операций по текущему содержанию объектов инфраструктуры, а также времени для пропуска поездов специального назначения;

- пропускная способность рассчитывается с учетом перерабатывающих способностей станций, входящих в участок.

Иерархия параметров для оценки пропускной способности железнодорожного участка в соответствии с Методикой имеет вид, представленный на рисунке 5.4.



Рисунок 5.4 – Иерархия параметров для оценки пропускной способности железнодорожного участка [437]

На требуемую пропускную способность влияют разные факторы, которые также необходимо учитывать:

- структура потока, возможность перемещения «нитки» пассажирских поездов при ограниченных резервах;
- количество сдвоенных поездов на участке, их расположение на графике;
- количество «пакетов» и их расположение на графике;
- число местных поездов и их расположение на графике;
- количество поездов, пропущенных по технологии «виртуальная сцепка»;
- количество и продолжительность действующих предупреждений;
- наличие технических и технологических нарушений;
- количество отказов стационарных устройств и подвижного состава;
- наличие «окон» и др.

В соответствии с Методикой в общем виде пропускная способность перегона будет определяться по обобщенной формуле

$$N = \frac{T_{\text{пол}}}{T_{\text{пер}}},$$

где $T_{\text{пол}}$ – «полезное время» в сутках, используемое для движения поездов по участку;

$T_{\text{пер}}$ – период графика.

Алгоритм определения пропускной способности на однопутных и двухпутных участках имеет отличия. Так, на однопутном участке определяется максимальный, или ограничивающий, перегон (имеющий максимальное суммарное время движения поездов с учетом схемы движения (графика)), для которого выбирается схема прокладки поездов, обеспечивающая наименьший период графика. Например, для однопутного участка $A-D$ с промежуточными пунктами b , c определение пропускной способности участка производится по ограничивающему перегону, определенному с учетом наибольшего суммарного времени движения пары поездов из всех перегонов ($A-b$, $b-c$, $c-D$), рисунок 5.5. При этом двухпутные вставки (для однопутного участка), промежуточные станции играют роль буферов, принимающих «избыточный» объем поездопотока по участку для последующего продвижения поездов по графику.

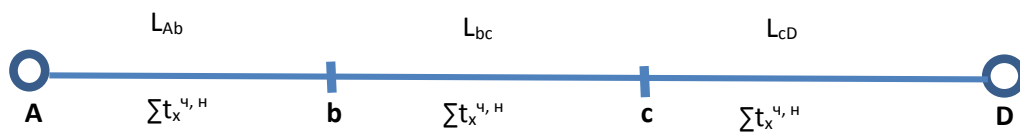


Рисунок 5.5 – Схема участка $A-D$

На двухпутном участке пропускная способность будет зависеть от межпоездного интервала. На время пропуска поезда в графике движения влияют еще потери времени, связанные с дополнительными операциями, обусловленными требованиями безопасности (станционными интервалами), предусмотренными схемой пропуска поездов.

Эти и другие факторы формируют параметрическое пространство организации движения поездов на участке и станции, которое позволяет рассчитать аналитически параметры пропускной способности участка при условии соблюдения всех регламентов и нормативов, имеющих отношение не только к перевозочному процессу, но и к технологии взаимодействия с контрагентами перевозочной компании.

Концептуальная модель приема, пропуска и отправления поездов в рамках интеллектуального управления железнодорожным участком и станцией

Учитывая вышеописанный принцип, рассмотрим формализованную модель организации движения поездов на участке без предварительной привязки к индикаторам и параметрам железнодорожного участка, представленным на рисунке 5.4.

В организации перевозочного процесса участвуют три стороны:

1 Железнодорожная инфраструктура (ЖИ), на которой обеспечивается движение «поездной группы».

2 Объект управления – «поездная группа» (ПГ), которая находится в состоянии покоя или движения.

3 Руководящее, регулирующее решение в лице «поездного диспетчера» (ДНЦ), который может разрешить/запретить конкретные изменения, переходы системы из одного состояния в другое, исходя из набора определенных регулировочных мероприятий ($R_1 \dots R_n$).

Поскольку объектом управления являются поездные группы (ПГ), представим еще процесс «Генерация ПГ», т. е. зарождение поездов на участке.

Рассмотрим представленные сущности для формализации перевозочного процесса.

«Инфраструктуру» представим в виде последовательных блоков (участков) $l = 1, 2, \dots, L$, каждый из которых в момент времени t может находиться в разных состояниях S :

$S_l^{-1}(t)$ – находится в процессе восстановления в результате отказа технических устройств или иной причины;

$S_l^0(t)$ – находится в состоянии готовности к работе (ожидания);

$S_l^1(t)$ – находится в состоянии активной загрузки (пропуска «поездной группы»).

Сущность «*инфраструктура*» имеет признаки, характеризующие состояния и переходы между ними, т. е. каждый блок l имеет характеристики, которые влияют на переходы между состояниями, а также возможные переходы между состояниями ПГ, такие как тип тяги, категория пути и другие.

Множество состояний элементов «*инфраструктуры*» участка обозначим множеством $\mathbf{S}(t) = \{S_l^{-1}(t), S_l^0(t), S_l^1(t)\}$.

«*Поездная группа*», следующая из начальной станции (l_1) на конечную станцию (l_2), в момент времени t может находиться в состояниях P :

$P_{l_1 l_2}^1(t, l)$ – находится в состоянии движения (изменения состояния) на блоке l ;

$P_{l_1 l_2}^0(t, l)$ – находится в состоянии ожидания команды и (или) изменения состояния на данном или смежном участке.

Сущность «*поездная группа*» имеет признаки, характеризующие ее параметры (вес поезда, длина, категория поезда и другие определяющие правила организации движения и управления ею). Эти признаки используются при описании алгоритма смены состояния поездной группы и ее влияния на параметры других сущностей.

Множество состояний ПГ на участке обозначим множеством $\mathbf{P}(t) = \{P_{l_1 l_2}^1(t, l), P_{l_1 l_2}^0(t, l)\}$.

«*Диспетчер*» может «принудительно» изменить регламентированный процесс организации движения своим решением, т. е. его решение направлено на изменение состояний блоков «*инфраструктуры*» и (или) «*поездной группы*» в момент времени t :

$D_l(t)$ – переключатель состояния «*инфраструктуры*» в режиме включено/выключено;

$D_{l_1 l_2}(t)$ – переключатель состояния «*поездной группы*» в режиме включено/выключено;

$d_{l_1 l_2}(t)$ – переключатель «скорости» изменения состояния «поездной группы» ПГ (изменение времени запаздывания смены состояний «поездной группы»).

Модель активного управления поездной работой на участке задается множеством решений «диспетчера» $\mathbf{D}(t) = \{D_l(t), D_{l_1 l_2}(t), d_{l_1 l_2}(t)\}$.

Указанные элементы (сущности) формализованной модели организации движения поездов на участке сведем в таблицу 5.4.

Таблица 5.4 – Элементы (сущности) формализованной модели организации движения поездов на участке при использовании технологий искусственного интеллекта (далее ИИ-модели)

Представление	Состояния	Описание состояния	Множество состояний
1	2	3	4
Железнодорожная инфраструктура (ЖИ)			
Последовательные блоки (участки) $l = 1, 2, \dots, L,$	$S_l^{-1}(t)$	находится в процессе восста- новления 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 готов- ности к работе (ожидания);	
	$S_l^1(t)$	находится в состоянии актив- ной загрузки (пропуска «поездной группы»).	
«Поездная группа» (ПГ)			
Поезд, локомотив с совокупностью признаков (вес, длина, категория и др.)	$P_{l_1 l_2}^1(t, l)$	находится в состоянии движе- ния (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 ожида- ния команды и (или) измене- ния состояния на данном или смежном участке.	
«Поездной диспетчер» (ДНЦ)			
ДНЦ данного или смежного участка	$D_l(t)$	Ввод состояния «инфра- структуры» 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 «поезд- ной группы» в соответствии с принятым регулировочным мероприятием ($R_1 \dots R_n$)	

«Генерация ПГ» может происходить по заданному графику поездообразования на границах участка либо формироваться случайным образом по вероятностным характеристикам вагоно- и поездопотоков, а именно:

а) для каждой станции (участка) $a \in [1, L]$ и момента времени определены $P_{a,j}^1(t, a)$ – поезд, отправляемый со станции a назначением на станцию (участок) j в соответствии с утвержденным графиком движения;

б) для каждой станции (участка) $a \in [1, L]$ на базе статистической информации определен случайный процесс зарождения поездного образования $P_{a,j}^1(t, a)$ момента времени, задаваемый вероятностью его генерации по определенному закону распределения $\xi_{a,j}^1(t, a)$.

Совокупность решений по генерации поездных групп обозначим $\xi(t)$.

Отдельным модулем работы с ПГ являются накопители-распределители, которые представляют разъезды, двухпутные вставки, станции и другие объекты, имеющие «самостоятельные» схемы их обработки. На первом этапе рассмотрим модель железнодорожного участка без таких объектов.

Математическая ИИИ-модель организации эксплуатационной работы железнодорожного участка и станции

Динамическая поездная модель на железнодорожном участке описывается множествами

$$\{S(t), P(t), D(t), \xi(t)\}.$$

Цель моделирования – оценить (достичь) максимальную пропускную способность участка железной дороги для реализации формируемых поездопотоков $\xi(t)$ на основе выбора управленческих решений $D(t)$ из набора регулировочных мероприятий для реализации поездопотоков $P(t)$ с использованием возможностей (состояний) объектов инфраструктуры $S(t)$.

Изменение состояний сущностей за единицу тактового времени Δt определяет регламентированный перевозочный процесс. Моменты времени, в которых может происходить смена состояний, определим через t_i , $i = 0, 1, 2, \dots, I$ для периода планирования $[0; T]$, где $T = \Delta t I$.

Смена состояний сущностей может определяться следующими соотношениями.

Состояния «инфраструктуры»

Участок открывается для работы после «переключения» его «диспетчером», т. е.

$$S_l^{-1}(t_i) = 1 - S_l^{-1}(t_{i-1})D_l(t_i). \quad (5.1)$$

Участок остается в состоянии ожидания работы, если не было ПГ в предшествующем участке или при нахождении в предшествующем участке ДНЦ не открыл движения, т. е.

$$S_l^0(t_i) = (1 - P_{l_1 l_2}^1(t_{i-1}, l - 1))D_{l_1 l_2}(t_i) + \\ + P_{l_1 l_2}^0(t_{i-1}, l - 1) \left(1 - D_{l_1 l_2}(t_i)\right), \quad (5.2)$$

На предшествующем участке находится ПГ, и «поездной диспетчер» не остановил движение, или ожидающему движения на предыдущем участке поезду ДНЦ разрешил движение, т. е.

$$S_l^1(t_i) = P_{l_1 l_2}^1(t_{i-1}, l - 1)(1 - D_{l_1 l_2}(t_i)) + P_{l_1 l_2}^0(t_{i-1}, l - 1)D_{l_1 l_2}(t_i). \quad (5.3)$$

Состояния ПГ

ПГ находится в состоянии движения, если следующий участок свободен (с учетом системы регулирования движения поездов), не было «команды» диспетчера на ее остановку, и следующий участок «свободен» т. е.

$$P_{l_1 l_2}^1(t_i, l) = P_{l_1 l_2}^1(t_{i-1}, l - 1)(1 - D_{l_1 l_2}(t_i))(1 - S_l^0(t_i)). \quad (5.4)$$

ПГ находится в состоянии ожидания движения, если следующий участок свободен, не было «команды» диспетчера на ее движение, или следующая по участку ПГ была остановлена «диспетчером», т. е.

$$P_{l_1 l_2}^0(t_i, l) = P_{l_1 l_2}^0(t_i, l - 1) \left(1 - D_{l_1 l_2}(t_i)\right) + P_{l_1 l_2}^1(t_i, l - 1)D_{l_1 l_2}(t_i). \quad (5.5)$$

Состояния «инфраструктуры» и «устройств»

Известно, что действия поездного диспетчера связаны с анализом поездной ситуации, состояния инфраструктуры и железнодорожных устройств на

соответствующих «участках» и для «поездных группах» (ПГ). Диспетчер изменяет характер движения, если обнаруживается определенный «отказ», приводящий к технологическому нарушению в организации движения поездов. Аналогично такой процесс происходит при запланированных или внеплановых «окнах».

Рассмотрим поток отказов такого рода как случайные параметры внешних воздействий на движение:

$$f_l(t) = \begin{cases} 1, & \text{если в момент времени } t \text{ на участке } l \text{ возник отказ;} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (5.6)$$

$$f_{l_1 l_2}(t) = \begin{cases} 1, & \text{если в момент времени } t \text{ в ПГ } (l_1 l_2) \text{ возник отказ;} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (5.7)$$

Процесс восстановления после отказа инфраструктуры и поездные группы будем считать случайным. Определим для инфраструктуры:

$$h_l(t) = \begin{cases} 1, & \text{если в момент времени } t \text{ устранен отказ на } l; \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (5.8)$$

Аналогичная функция для ПГ имеет вид:

$$h_{l_1 l_2}(t) = \begin{cases} 1, & \text{если в момент времени } t \text{ устранен отказ в ПГ } (l_1 l_2); \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (5.9)$$

Состояния – решения диспетчера по состоянию инфраструктуры и ПГ

Изменение состояния инфраструктуры (участка) при отказе по команде диспетчера, т. е.

$$D_l(t_i) = (1 - f_l(t)). \quad (5.10)$$

Изменение состояния ПГ при отказе по команде диспетчера, т. е.

$$D_{l_1 l_2}(t_i) = (1 - f_{l_1 l_2}(t)). \quad (5.11)$$

Изменение состояния инфраструктуры (участка) при восстановлении его работоспособности по команде диспетчера

$$D_l(t_i) = h_l(t). \quad (5.12)$$

Изменение состояния ПГ при восстановлении его работоспособности по команде диспетчера.

$$D_{l_1 l_2}(t_i) = h_{l_1 l_2}(t). \quad (5.13)$$

Для каждой ПГ определена $k_{l_1 l_2}$ (длина ПГ в участках). Для каждой ПГ существует $b_{l_1 l_2}$ такой, что

$$\prod_{b=b_{l_1 l_2}}^{b_{l_1 l_2}+k_{l_1 l_2}} P_{l_1 l_2}^1(t_i, b) = 1, \text{ для любого } t_i \in [0; T], \quad (5.14)$$

и

$$P_{l_1 l_2}^1(t_i, b) = 0, \text{ для } b \notin [b_{l_1 l_2}; b_{l_1 l_2} + k_{l_1 l_2}]. \quad (5.15)$$

Решения по обеспечению непрерывности ПГ достигаются проверкой изменений на каждом временном интервале Δt . Если изменения не нарушают условий (5.1)–(5.15), то соответствующие изменения состояния инфраструктуры и поездные группы могут реализовываться, т. е. изменения состояния подтверждаются. Изменения скорости движения поездной группы выполняются при ненулевых значениях $d_{l_1 l_2}(t)$.

Движение поездов осуществляется по графику, диспетчер не может физически дать требование на увеличение скорости движения (только если есть отклонение от графика по причине невыдержки машинистами установленного режима (опоздание)). Ускорение вне графика – также нарушение, оно приведет к более раннему прибытию на станцию и остановке у входного сигнала по неприему поезда. В ряде регулировочных мероприятий скорость (физическая) уменьшится, однако пропускная способность увеличится (при пропуске соединенных поездов).

$$d_{l_1 l_2}(t) = \begin{cases} -1, & \text{в момент времени } t \text{ в скорость ПГ } (l_1 l_2) \text{ увеличивается,} \\ 0, & \text{в момент времени } t \text{ в скорость ПГ } (l_1 l_2) \text{ не меняется,} \\ 1, & \text{в момент времени } t \text{ в скорость ПГ } (l_1 l_2) \text{ уменьшается.} \end{cases} \quad (5.16)$$

Железнодорожная станция

Железнодорожная станция на участке представляет собой линейный объект, который принимает поток ПГ и перерабатывает их в соответствии с заданным регламентом, технологическим процессом, назначением и классностью станции, пропуская их через элементы станционной инфраструктуры (пути, парки, горки и

др.). Каждый станционный элемент имеет свои характеристики, определяющие его возможности по переработке потока ПГ и параметры по пропуску ПГ при разных режимах загрузки. Ряд станций можно отнести к «генераторам» поездных групп, например технические станции, формирующие поезда.

Индивидуальность характеристик станций и технологических процессов в целом не позволяет универсально формировать цифровую модель станции. Тем не менее технологические процессы по переработке поездов разных категорий грузовых поездов для станций с типовым назначением и типовой схемой расположения парков и устройств можно описать.

Например, для сортировочной станции, включающей парк приема, сортировочные и отправочные, транзитные, технология работы будет определяться технологией и нормативами переработки поездов различных категорий (проследующих через станцию без переработки, с переработкой, поездов местного формирования). Формализованный процесс переработки поездов на железнодорожной станции можно представить как прием входящего потока ПГ и формирование новых ПГ на выходе со станции, причем интенсивность выходного потока зависит от загрузки станции поездами и вагонами («рабочим парком вагонов»). Причем интенсивность формирования ПГ прямо пропорциональна величине рабочего парка вагонов станции. Затруднения в станционной работе, связанные со сверхнормативным рабочим парком, можно также вносить в модель в виде уменьшения интенсивности формирования ПГ как процесс снижения маневренности станции. Уменьшение рабочего парка, напротив, может привести к увеличению простоя под накоплением, что также скажется на условиях взаимодействия станций и участков.

Таким образом, необходимо учесть, что технические станции являются «генератором» ПГ, т. е. их работа определяется $\xi(t)$.

Выбор индикаторов III-модели, определяющих оперативное управляющее решение в системе управления железнодорожным участком и станцией (In)

На первом этапе реализации концепции «Цифрового управления перевозочным процессом» за счет нейросетевого управления движением поездов,

следует выделить индикаторы «общего случая», многие из которых соответствуют показателям премирования диспетчеров поездных – руководителей движения на участке:

- уровень выполнения плана поездной и грузовой работы, рассчитанного с детализацией до ниток графика движения и скоординированного на вышестоящем уровне управления – $I_{\text{план}}$;
- отсутствие крушений и аварий поездов – $I_{\text{ав}}$;
- отсутствие остановок поездов у входного светофора с запрещающим показанием – $I_{\text{ост.вх.}}$;
- выполнение задания по средней участковой скорости движения грузовых поездов – $I_{\text{уч.ск.}}$;
- выполнение расписания движения пассажирских поездов – $I_{\text{расп.пас.}}$;
- выполнение расписания движения грузовых поездов – $I_{\text{расп.гр.}}$;
- отсутствие непредоставления / несвоевременного предоставления технологических «окон» по вине диспетчера – $I_{\text{гр. «окон»}}$;
- суммарное время задержек поездов (минимизация суммарного времени отставания поездов от графика) – $I_{\text{задерж.}}$;
- соблюдение приоритета пропуска поездов по участку [438] $I_{\text{приор.}}$ и др.

Данные индикаторы являются общими для всех диспетчерских участков, и по их выполнению можно судить об общей поездной обстановке на любой момент времени.

Вторая группа индикаторов формируется при возникновении технических и технологических нарушений.

Третья группа индикаторов связана с корректностью выполнения графика движения и пропуска поездов по участку при реализации ИИ-модели.

5.3 Использование «цифровых двойников» железнодорожных участков и элементов управления движением поездов в припортовых транспортно-технологических системах на основе искусственных нейронных сетей

С точки зрения создания модели работы железнодорожного участка «цифровой двойник» (ЦД) – это динамичная и саморазвивающаяся виртуальная копия физических объектов и процессов, характеризующаяся двунаправленной бесперебойной связью, которая позволяет обмениваться данными в реальном времени между физическим и цифровым миром [439]. С помощью технологии ЦД можно реализовать несколько сервисов (например, моделирование, мониторинг, прогнозирование). В отечественной практике железнодорожных перевозок цифровые двойники получили развитие в сфере грузовой и коммерческой работы [440], железнодорожной автоматики [441], в логистике [442] и задачах управления железнодорожными узлами и станциями [443-445], в т. ч. в развитии концепции «Цифровая железнодорожная станция». В нашем исследовании сгруппировано несколько задач по созданию ЦД и выбору элемента для нейросетевого управления, укрупненные блоки приведены на рисунке 5.6.

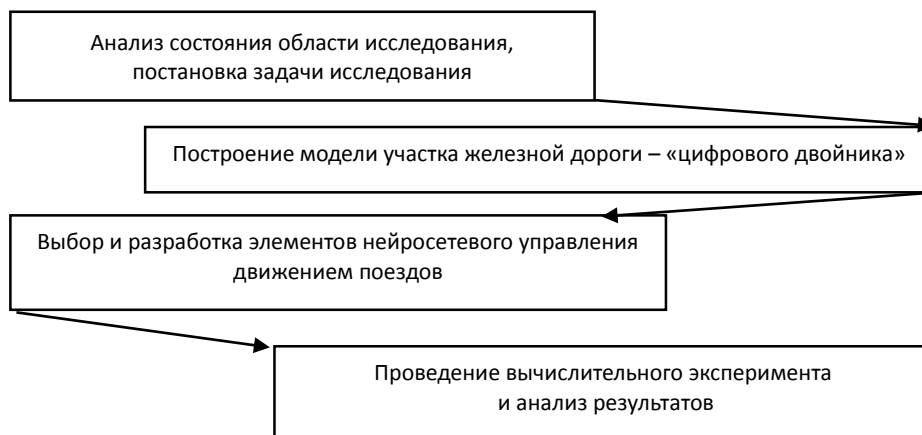


Рисунок 5.6 – Задачи разработки ЦД и выбора элементов нейросетевого управления движением поездов

Предполагается применение ИНС в комплексе с цифровыми моделями работы станции и ее элементов. При этом нейросети будут использоваться для

обучения не только реальные данные транспортных информационных систем, но и использовать данные цифровых моделей.

Современные концепции перехода к цифровым платформам управления предусматривают создание интеллектуальных помощников диспетчерского аппарата, полностью или частично замещающих определенные функции или операции. В этой области находятся технологии формирования «цифровых двойников» объектов железнодорожной инфраструктуры и нейросетевых алгоритмов управления перевозочным процессом.

В настоящем исследовании сгруппировано несколько задач, укрупненные блоки приведены на рисунке 5.7 [446]. За объект исследования взят реальный участок от станции Высочино до станции Тимашевская Северо-Кавказской железной дороги. Коэффициент пропускной способности на данном участке варьируется от 0,67 до 1,03 за анализируемый период (лето, зима) в зависимости от размеров движения (таблица 5.5).

Таблица 5.5 – Коэффициент заполнения пропускной способности
на исследуемом участке

Станция начала участка	Станция конца участка	Пропускная способность перегонов при параллельном графике		Пропускная способность перегонов при непараллельном графике				Коэффициент заполнения пропускной способности	Примечание
		Туда	Обратно	Грузовых поездов		Пассажирских поездов			
Станция 1	Станция 2	154	154	84	83	32	32	0,67	зима
Станция 1	Станция 2	154	154	28	27	59	59	1,03	лето

В качестве базы для выполнения разработки и проведения экспериментальных исследований используется разработанная в Ростовском государственном университете путей сообщения цифровая модель участка железной дороги ст. Высочино – ст. Тимашевская, в рамках действующего учебно-лабораторного комплекса «Виртуальная железная дорога» (УЛК «ВЖД»).

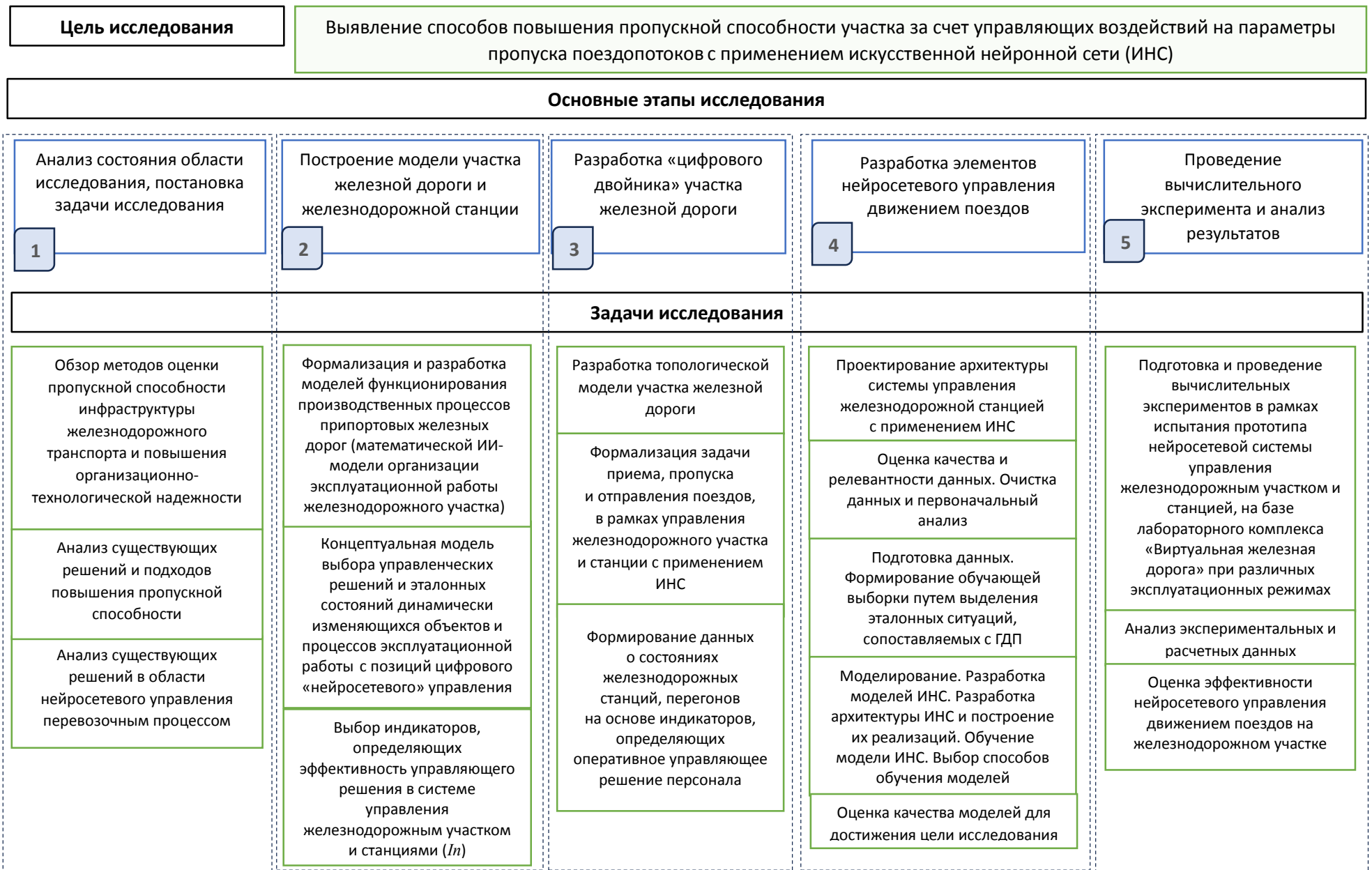


Рисунок 5.7 – Этапы разработки ЦД участка с элементами нейросетевого управления движением поездов

В рамках разработки системы управления железнодорожной станцией с применением ИНС необходимы постановка и решение следующих подзадач:

- анализ факторов, определяющих оперативное управляющее решение системы. Каждому из этих факторов необходимо привести в соответствие показатель, пригодный для подачи на входной слой нейронной сети;
- определение наборов выходных данных ИНС, на основании которых будет формироваться команда на построение маршрута следования поезда;
- выбор архитектуры (топологии) нейронной сети: количество входных сигналов, определяющее мощность (количество узлов) входного слоя, количество и тип выходных сигналов, определяющее мощность выходного слоя, определение количества скрытых слоев и числа нейронов в каждом из них, определение структуры и начальной величины весов связей между слоями, а также выбор функции активации узлов.
- выбор способа обучения ИНС;
- определение набора тренировочных данных для обучения ИНС;
- определение набора тестовых данных для верификации ИНС.

Предлагается архитектура системы управления железнодорожной станцией (участком), функциональная схема которой изображена на рисунке 5.8.

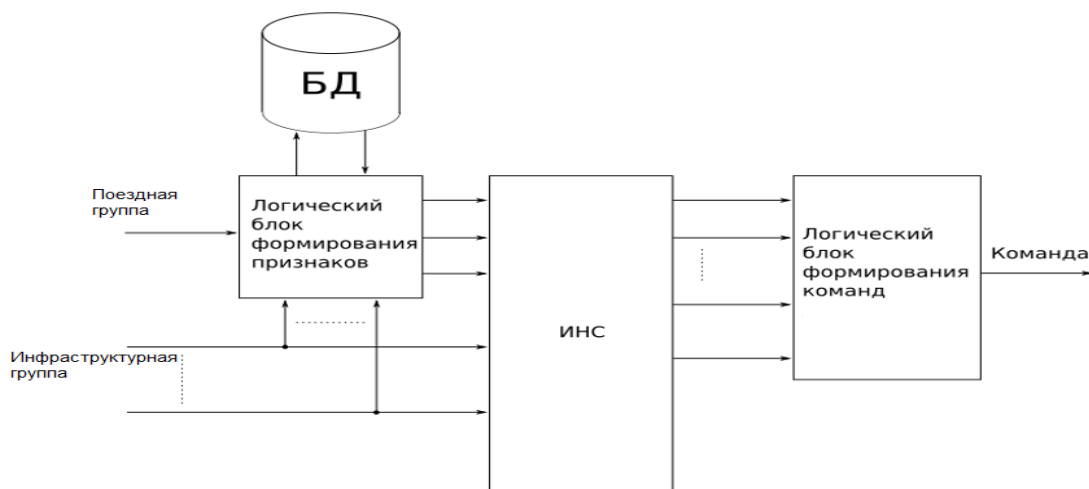


Рисунок 5.8 – Функциональная схема системы нейросетевого управления железнодорожной станцией/участком в режиме приема/пропуска поездов

Система управления имеет в своем составе детерминированные логические блоки, предназначенные для подготовки данных для ИНС – логический блок формирования признаков, а также для формирования команд на основании принятого ИНС решения. Формирование многопараметрической задачи оптимального управления динамическими процессами для оперативного повышения пропускной способности сводится к поиску локальных оптимальных решений по ускорению пропуска поездопотока по участку за счет управляющего воздействия на параметры пропуска поездопотока. Для нейросетевого программирования ключевыми элементами являются эталонные состояния динамически изменяющегося объекта – поездная ситуация на участке. В рамках представленной формализации модели железнодорожного участка следует указать «нормативные» интервалы изменения параметров поездной работы. Процесс нейросетевого управления будет заключаться в выработке последовательности действий (решений) поездного диспетчера по «улучшению» параметров поездной работы.

«Цифровой двойник» данного участка представляет собой комплекс учебно-лабораторных тренажеров, а также дополнительных вспомогательных программных продуктов, объединенных между собой по локально-вычислительной сети (рисунок 5.9). Реализуются следующие компоненты системы [447]:

- имитационная модель поезда: учебно-лабораторные тренажерные комплексы подвижных составов (УЛТК), такие как высокоскоростной электропоезд ЭВС2 «Сапсан» с дополнительным информационным выводом работы внутренних систем в реальном масштабе времени в процессе его работы, электропоезд ЭС1 «Ласточка», электровоз ЧС2Т, тепловоз 2ТЭ116;
- универсальный программный тренажер машиниста («Универсальное АРМ машиниста»);
- модель имитации движения поездного состава (Поезд-Бот);
- сервер управления поездами-ботами (моделями, имитирующими движения подвижных составов);



Рисунок 5.9 – Расположение и вид учебно-лабораторных тренажеров комплекса «Виртуальная железная дорога»

– интерфейс управления деловой игрой (формирование тренировки (деловой игры) – выбор сценария деловой игры и участников: поезда, управляемые человеком, и боты) представлен на рисунке 5.10;

Высочино-Тимашевская - Game Launcher

Меню

Игровое время

2024.03.18 20:45:00

Сценарий

Высочино-Тимашевская

Список поездов тренажеров

	№ поезда	Id	Имя	Род службы	Траектория	X_start (м)	Бот
1	02	50330001	evs2	Пассажирский локомотив	(2)2A(ORL)	80232	
2	2342	50330003	2et116	Грузовой локомотив	(4)4(ORL)	80272	
3	805	50330002	es1	Пассажирский локомотив	(1)1(WCH)	26903	

Список поездов ботов

	№ поезда	Id	Имя	Специализация	Траектория	X_start (м)	V_start (км/ч)	V_max (км/ч)	A_max (м/с^2)	Длина (м)	Тренажер
1	2301	50330004	Грузовой	Грузовой локомотив	(3)3(WCH)	26903	0	90	0.2	100	
2	2402	50330010	Грузовой	Грузовой локомотив	(4)4(WCH)	27028	0	90	0.2	100	
3	2404	50330011	Грузовой	Грузовой локомотив	(2)2A(VSP)	45825	0	90	0.2	100	
4	2406	50330012	Грузовой	Грузовой локомотив	(3)3(STM)	105631	0	90	0.2	100	
5	2408	50330013	Грузовой	Грузовой локомотив	h-top-2(B)	105631	0	90	0.2	100	
6	2410	50330014	Грузовой	Грузовой локомотив	h-top-2(B)	105631	0	90	0.2	100	
7	2871	50330005	Грузовой	Грузовой локомотив	(1)1(ORL)	79807	0	90	0.2	100	
8	2873	50330006	Грузовой	Грузовой локомотив	(2)2(ALB)	16605	0	90	0.2	100	
9	2875	50330007	Грузовой	Грузовой локомотив	(6)6(TMV)	16605	0	90	0.2	100	
10	2877	50330008	Грузовой	Грузовой локомотив	h-bottom-5(A)	16605	0	90	0.2	100	
11	2879	50330009	Грузовой	Грузовой локомотив	h-bottom-5(A)	16605	0	90	0.2	100	

Рисунок 5.10 – Интерфейс конфигурации и запуска сценария деловой игры

– тренажерный комплекс ДНЦ/ДСП, реализующий рабочие места дежурных по станции и поездных диспетчеров; тренажер энергодиспетчера, реализующий имитацию рабочего места энергодиспетчера, а также модель инфраструктуры электроснабжения участка железной дороги;

- БД, в которой хранится топологическая структура участка, его инфраструктуры, а также информация о поездах-ботах;
- НГД/ГИД – нормативный график движения, график исполненного движения;
- сервер ВЖД, в котором реализуются следующие процессы: построение топологии участка железной дороги; создание графа электрической схемы участка дороги; модуль связи с имитационной моделью поезда; симулятор контроллера имитационной модели поезда; алгоритм поиска возможных маршрутов по станции; модуль связи с пультом ДНЦ и пультом ДСП; модуль связи с АРМ Энергодиспетчера; расчет напряжения на секциях электрической схемы участка железной дороги; устройства СЦБ.

Перечисленные компоненты УЛК «ВЖД» взаимодействуют по локальной вычислительной сети, обеспечивая в реальном масштабе времени имитацию работы железнодорожного участка. На рисунках 5.11 и 5.12 представлены структура комплекса и схема межсетевого взаимодействия его компонентов.

Данные по топологической модели участка припортовой железной дороги приведены ниже и в Разделе П5.1 Приложения 5.



Рисунок 5.11 – Структура учебно-лабораторного комплекса «Виртуальная железная дорога»



Рисунок 5.12 – Схема локально-вычислительной сети комплекса

Основные принципы организации топологической модели участка железной дороги реализуются благодаря информации о взаимосвязанности объектов топологии (блок-участки, участки удаления, участки приближения, секции) посредством изолированных стыков, разделяющих изолированные участки, и стрелочных переводов. Так, информация о положении поезда на участке в рамках модели УЛК «ВЖД» базируется на относительном изменении дуговой координаты подвижной единицы. Данный подход обусловлен необходимостью обеспечить автономность тренажерного комплекса при проведении лабораторных работ, не предусматривающих включение его в систему УЛК «ВЖД». Требуется понимание структуры путевого развития станций и перегонов, а также использование топологической модели участка на стороне серверной части УЛК «ВЖД». Подобная структура позволяет учесть разность длин путей при разных положениях стрелочных переводов (рисунок 5.13).

Все путевое развитие участка разбивается на минимальные цельные отрезки (траектории), ограниченные соединителями – стрелочными переводами или изолированными стыками.

На рисунке 5.14 представлена UML-диаграмма классов реализации предложенной топологической модели.

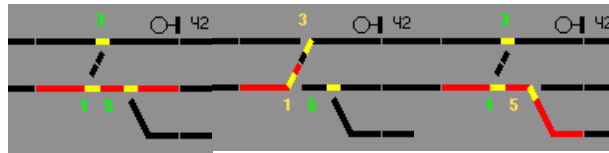


Рисунок 5.13 – Секция «1–5» в зависимости от положения стрелок «1–3» и «5»

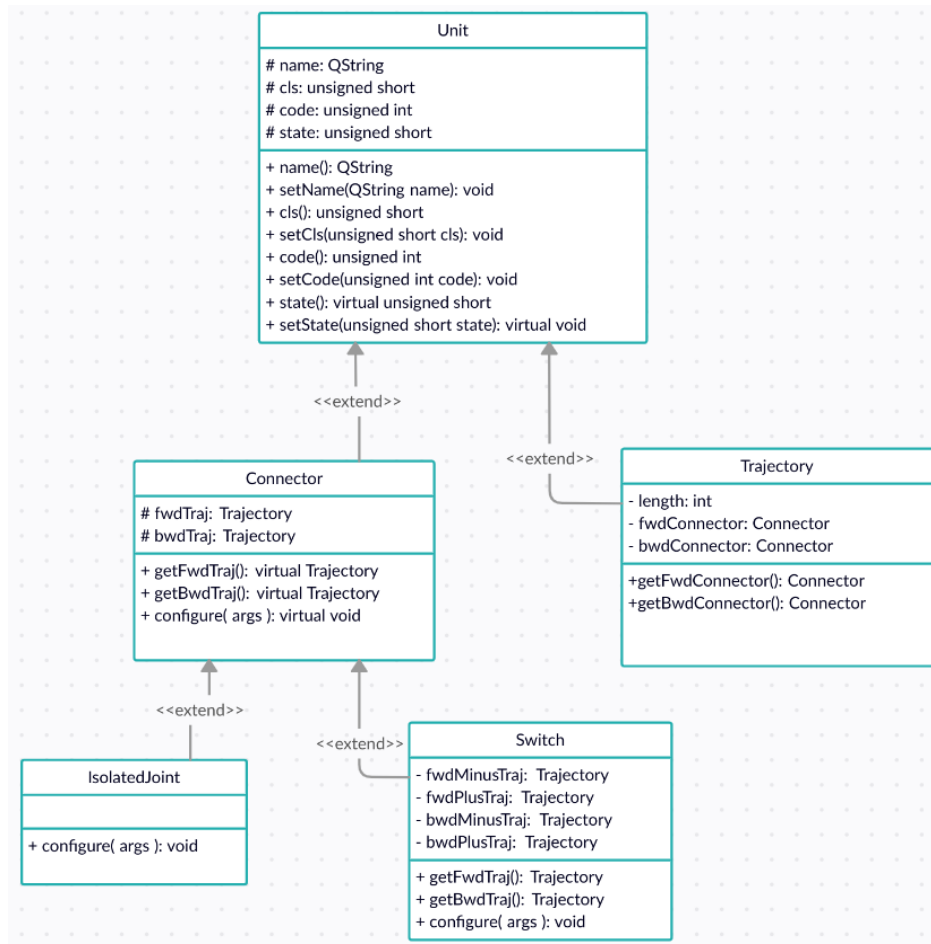


Рисунок 5.14 – UML-диаграмма классов реализации топологии

Основываясь на информации о взаимосвязанности траекторий, предоставляется возможность определения положения поезда на конкретном участке. Каждой траектории топологии ВЖД соответствует блок-участок пульта поездного диспетчера и пульта дежурного по станции.

Имеются блок-участки, каждому из которых соответствует несколько траекторий. Этой особенностью обладают секции, на которых расположены стрелочные переводы. На рисунке 5.15 представлена идея топологической взаимосвязанности.

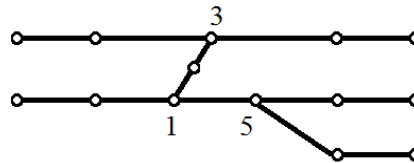


Рисунок 5.15 – Граф топологической взаимосвязанности

Данные об объектах путевого хозяйства и их исходные значения заполняются и хранятся в реляционной базе данных. Состояния светофоров и стрелочных переводов проецируются на интерфейс рабочих мест дежурного по станции и поездного диспетчера. Состоянию объекта топологии соответствует визуальное отображение на пультах (рисунок 5.16). Например, в системе ДЦ-Юг занятость блок-участка определяется красным цветом, если блок-участок свободен – черным. Блок-участки, по которым прокладывается маршрут (маршрут на прием/отправление/ пропуск или маневровые передвижения), отображаются желтым цветом. Приоритет выделения цветом секции зависит от ее занятости (красный цвет). Взаимосвязанность траекторий позволяет имитировать последовательное прохождение напряжения по рельсовым цепям, благодаря чему становится возможной организация программной имитации работы СЦБ.

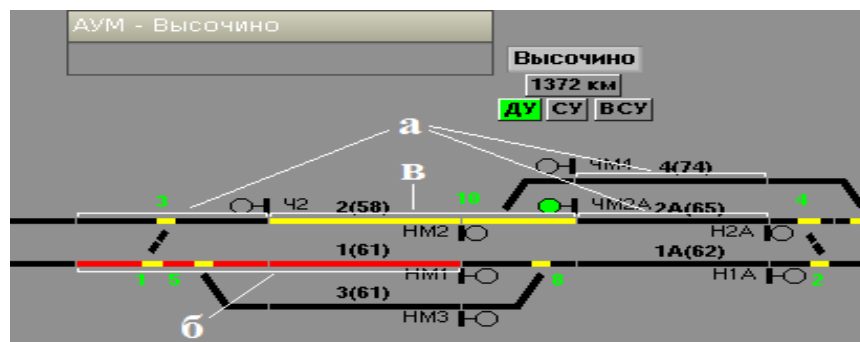


Рисунок 5.16 – Фрагмент пульта поездного диспетчера:

а – свободные блок-участки; *б* – занятые блок-участки;

в – проложен маневровый маршрут

Формирование данных о состоянии железнодорожной станции осуществляется логированием каждого изменившего свое состояние объекта инфраструктуры или действия поездного диспетчера или дежурного по станции.

Каждый объект имеет свои состояния и уникальные обозначения для идентификации его на всем полигоне (Приложение 5, Раздел П5.2).

Рабочие места дежурного по железнодорожной станции (ДСП), поездного диспетчера (ДНЦ). Интерфейсы пультов управления для дежурных представлены на рисунках 5.17 и 5.18 соответственно. Пульт предназначен для автоматизации процессов контроля и управления движением поездов на железнодорожном участке – предоставляет пользователю возможность построения маршрутов (открытие и закрытие маршрутов: прием, отправление, маршрут между путями по станции, сквозной пропуск), с открытием и закрытием сигналов соответствующих светофоров и переключением стрелок.

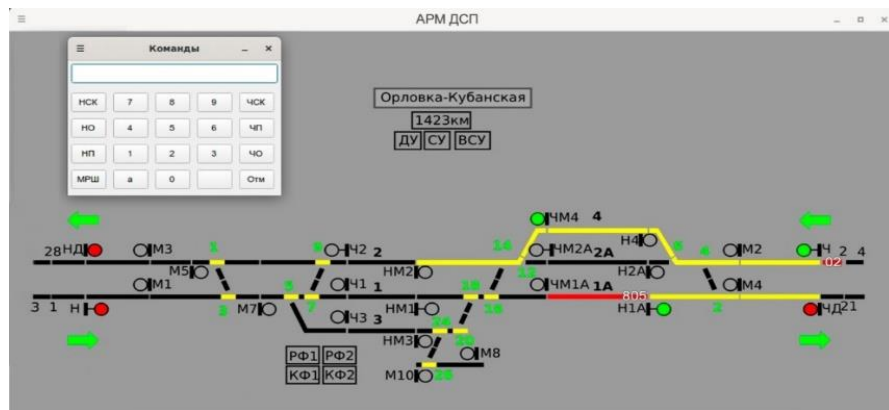


Рисунок 5.17 – Интерфейс пульта управления дежурного по железнодорожной станции

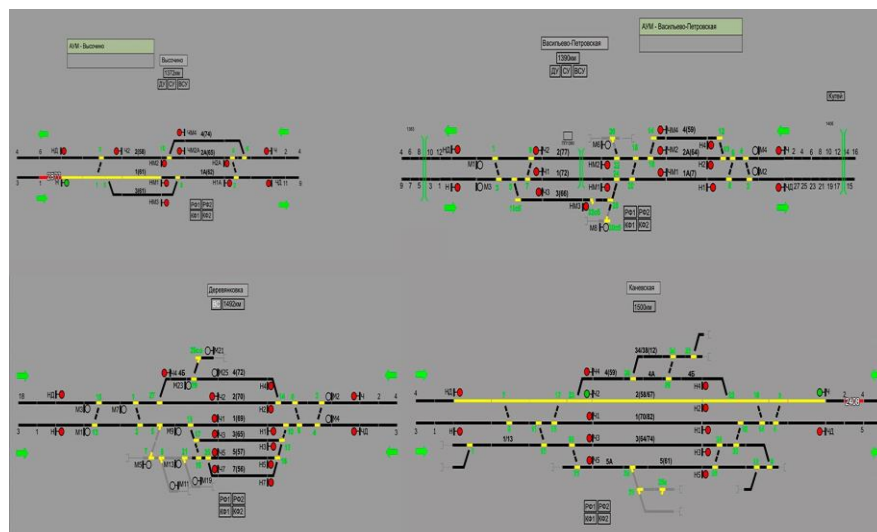


Рисунок 5.18 – Интерфейс пульта управления поездного диспетчера

Нормативный график движения и график исполненного движения НГД/ГИД. На рисунке 5.19 представлен график НГД/ГИД в системе УЛК «ВЖД» на основе проведенной деловой игры.

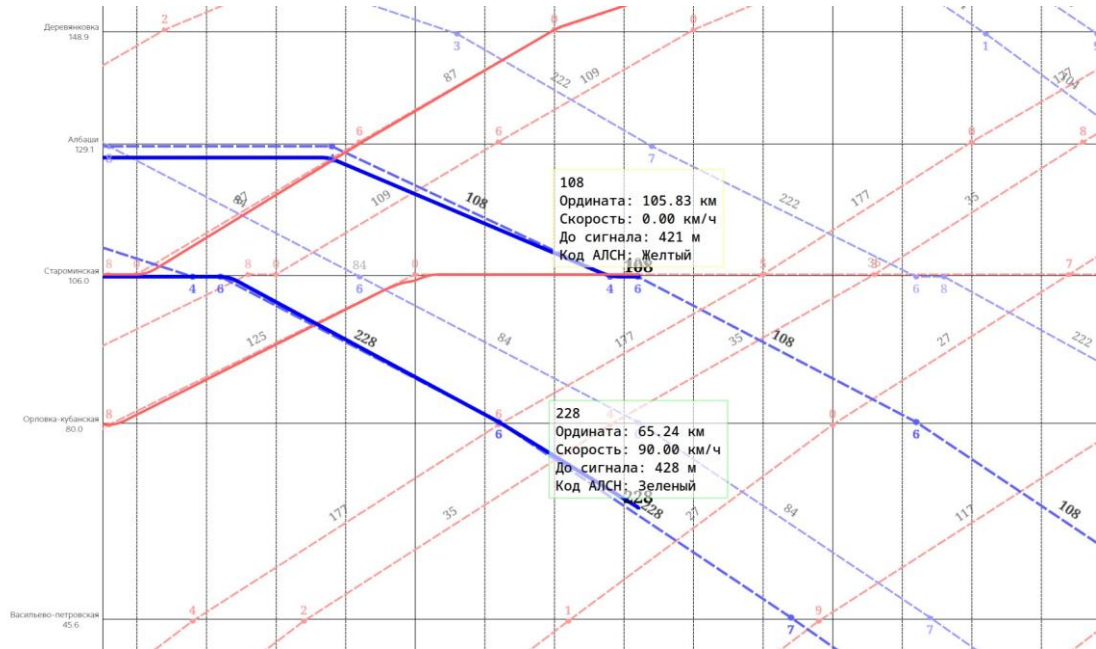


Рисунок 5.19 – Пример НГД/ГИД на основе проведенной деловой игры

АРМ «Энергодиспетчер». Схема электроснабжения участка, заранее подготовленная в виде SVG-файла, загружается из него, обрабатывается для построения структур, необходимых для управления схемой электроснабжения, затем растеризуется для вывода на окно интерфейса АРМ (рисунок 5.20).

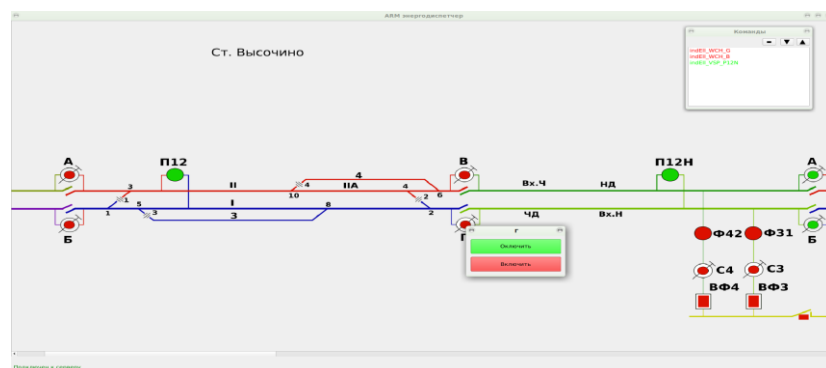


Рисунок 5.20 – Визуальное представление схемы электроснабжения ст. Высочино в АРМ «Энергодиспетчер». Выполнение команды отключения разъединителя

Разработка элементов нейросетевого управления движением поездов:

1) Подготовка и анализ данных.

Взаимодействие искусственной нейронной сети или модели (ИНС) происходит со следующими модулями и компонентами УЛК «ВЖД» (далее ВЖД):

1 Имитационная модель поезда:

- учебно-лабораторный тренажерный комплекс подвижного состава (УЛТК);
- модель имитации движения поездного состава (Поезд-Бот).

2 Сервер управления поездами-ботами (моделями, имитирующими движения подвижных составов).

3 База данных (БД) хранит топологическую структуру участка, его инфраструктуры, а также информацию о поездах-ботах.

Необходимо принять во внимание, что ВЖД обновляет информацию в соответствии с типами событий: освобождение/занятие блок-участка; подача команды управления; прибытие поезда; отправление поезда; проследование поезда. Анализ данных в БД позволил выявить наиболее значимые для дальнейшей работы признаки:

1) команды ДСП – таблица, в которой записываются все выполненные команды от каждого ДСП, с учетом «адекватности» (факта выполнения) команды;

2) запись ГИД поездов. Записывается номер поезда, его стартовое игровое время, и каждую секунду идет запись актуальных для этого поезда координат.

На основе этих таблиц выработаны признаки и введены новые для создания нейронной сети. Анализ данных сценариев работы участка на ВЖД показывает, что при длительности симуляции около одного часа мы получаем около 3000 записей об изменении состояния свыше 500 блок-участков, которые сгруппированы в наборы данных. В первый набор данных включены признаки, связанные с командами диспетчера, и введены следующие признаки: обозначение станции; текущее время; команда; факт выполнения команды. Во втором наборе данных собраны признаки состояния участка: текущее время; имя занимаемого/освобождаемого пути; состояние блок-участка; номер поезда; скорость поезда на участке.

На рисунке 5.21 приведен фрагмент графика исполненного движения, полученного при управлении движением диспетчерским аппаратом с выводом информации по основным параметрам движения. Функционал позволяет отслеживать параметры движения по каждой нитке графика. Тем самым формируется база для оценки различных управляющих воздействий на режимы пропуска с целью создания резервов пропускной способности грузонапряженных направлений. Проведенный анализ показывает, что особенностями задачи классификации являются малое количество целевых объектов (команд на управление поездами) в выборке, большое число признаков, разреженные данные.

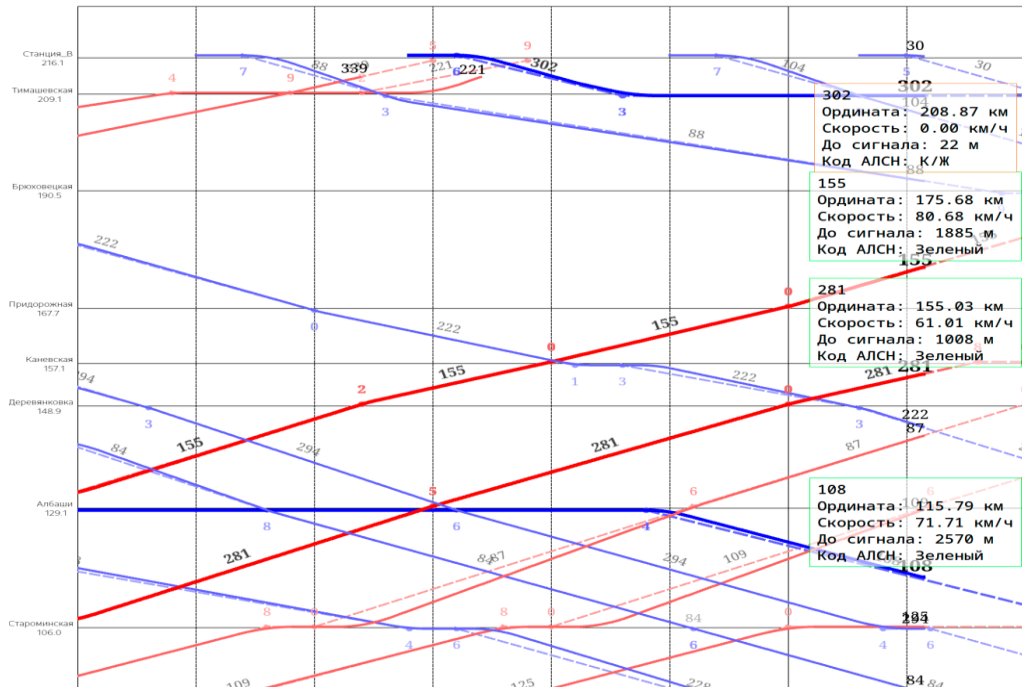


Рисунок 5.21 – График исполненного движения, полученный при управлении движением персоналом с выводом информации по основным параметрам движения

2) *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.

Примем в качестве признаков состояния участка приведенные к номинальным типам множества: 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 прибытия; S^7 – опоздание отправления.

Управление пропуском поездов удобно представить в понятиях обучения с подкреплением (Приложение 5, Раздел П5.3). В нашем случае 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.

3) Проведение вычислительного эксперимента и анализ результатов.

При организации движения поездов на участках ставится задача выполнения установленного нормативного графика движения поездов. В случае сбоев в перевозочном процессе поездным диспетчером принимаются решения по вводу в график опаздывающих поездов, ускорению продвижения поездо- и вагонопотоков.

Внедрение нейросетевого управления призвано облегчить работу диспетчерского аппарата путем делегирования части функций по принятию решений о пропуске поездов нейросети. С практической точки зрения очень важно, чтобы нейросетевое управление было оптимальным по отношению к заданному функционалу качества. При этом нейросеть должна обеспечить управление с учетом динамических ограничений в реальном масштабе времени, параметры которых не известны. Проведем вычислительный эксперимент с помощью написанной модели нейросети для управления движением поездов на участке в реальном масштабе времени на основе информации, которую

формирует система УЛК «ВЖД». Методика проведения вычислительного эксперимента заключается в управлении движением поездов на реальном участке железной дороги в рамках УЛК «ВЖД». Решение такой задачи будет происходить на основе той информации, которую модель нейронной сети получает от системы комплекса ВЖД:

- текущее положение поезда на участке (участка рельсовой цепи);
- занятие или освобождение данного участка;
- номер поезда;
- нахождение участка на станции или перегоне.

Для тестирования работы нейросети был использован «цифровой двойник» реального участка железной дороги, поэтому принятие всех решений нейросетью и выдача команды для построения маршрутов поездов происходят в автоматическом режиме. Процесс обмена данными с нейросетью на примере log-файла приведен в Разделе П5.4 Приложения 5.

4) Показатели качества перевозочного процесса на железнодорожном участке при применении нейросетевого управления железнодорожным участком и оценка адекватности модели.

На основании графика движения поездов определяются ресурсы пропускной и перерабатывающей способности инфраструктуры, поэтому важно определить систему оценки показателей качества перевозочного процесса. Задача расчета и оценки показателей качества перевозочного процесса на железнодорожном участке при применении нейросетевого управления находится в области малоисследованных направлений. Существует традиционно принятая система оценки качества разработки графика движения, а также система показателей оценки исполненного графика движения поездов (таблица 5.6).

Также для расчета участковой скорости определяют количество поездо-километров по пассажирскому и грузовому движению, количество поездо-часов по пассажирскому и грузовому движению.

Таблица 5.6 – Показатели оценки разработанного и исполненного ГДП

Система показателей качества разработки графика движения поездов	Система показателей оценки исполненного графика движения поездов
1	2
Количественные, качественные	
<i>количественные:</i>	<i>в процентном соотношении:</i>
Размеры погрузки, выгрузки	Количество грузовых поездов, отправленных по расписанию
Размеры движения поездов (количество пропущенных за сутки пассажирских и грузовых поездов)	Количество пассажирских поездов, отправленных по расписанию
Передача вагонов и поездов по стыковым пунктам дороги	Количество грузовых и пассажирских поездов, проследовавших по расписанию
Вагонооборот станций	Количество поездов, проследовавших с сокращением опозданий
Пробеги поездов	Количество проследовавших пассажирских поездов, прибывших на станцию назначения по расписанию
Качественные:	
Техническая скорость	Техническая скорость
Участковая скорость	Участковая скорость
Маршрутная скорость	
Коэффициент участковой скорости	
Среднесуточный пробег локомотивов	
Средний вес поезда	Средний вес поезда
Производительность локомотивов	Производительность локомотивов
Среднесуточный пробег локомотивов	
Оборот пассажирских составов	
Вспомогательные качественные показатели:	
Средняя стоянка транзитных поездов на сортировочных и участковых станциях	Средняя стоянка транзитных поездов на сортировочных и участковых станциях
Средний простой локомотивов на станциях их оборота	Средний простой локомотивов на станциях их оборота
Эксплуатационный и полный оборот локомотивов	Эксплуатационный и полный оборот локомотивов

Для оценки нейросетевого управления на первом этапе выбраны следующие показатели:

- количество грузовых поездов, отправленных по расписанию;
- количество пассажирских поездов, отправленных по расписанию;
- количество грузовых и пассажирских поездов, проследовавших по расписанию.

Для получения в результате нейросетевого управления пропуском поездов по железнодорожному участку графика исполненного движения производится оценка

качества перевозочного процесса. Приведем пример анализа для исполненного графика движения поездов (рисунок 5.22), полученного в результате нейросетевого управления пропуском поездов по участку при наличии ошибок (по форме таблицы 5.7). Указанная система показателей (см. таблицу 5.7) может дополняться. Нужно отметить, что в системе учета качества выполнения ГДП имеются также нормы отклонения времени от заложенного нормативным ГДП для поездов, отправленных с начальной станции и проследовавших по расписанию на участке (например, грузовой –30, +10 мин, пассажирский –5, +5 мин).

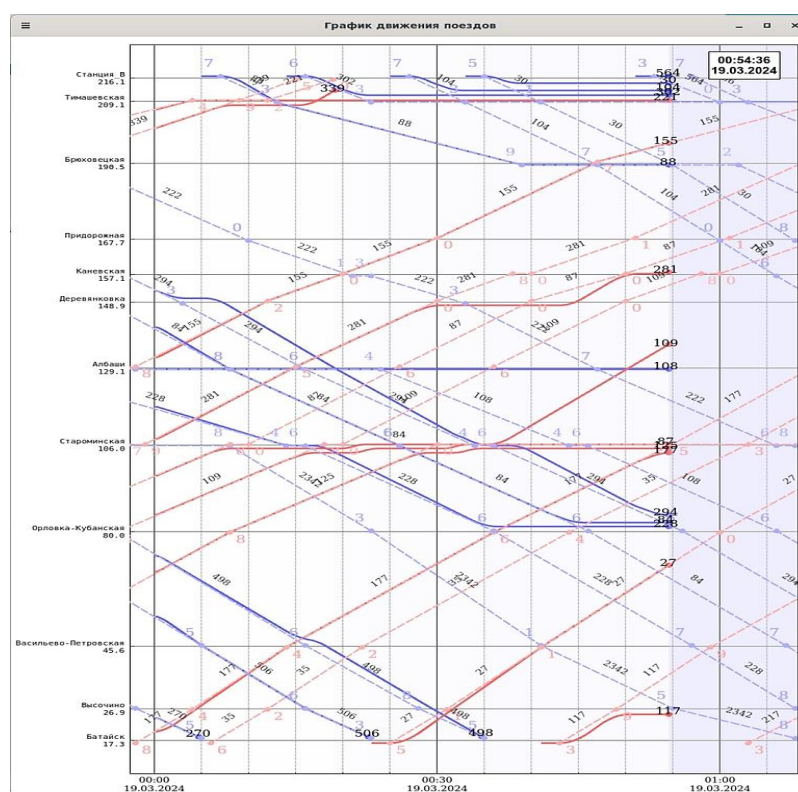


Рисунок 5.22 – Фрагмент исполненного ГДП при нейросетевом управлении пропуском поездов по участку (при наличии ошибок)

Таблица 5.7 – Фрагмент анализа графика исполненного движения (см. рисунок 5.22)

№ поезда	Отправление по расписанию	Проследование по расписанию	Прибытие по расписанию
177	да	нет	нет
27	да	да	да
498	да	нет	да
506	да	да	да
....			
234	нет	нет	нет

Выявлены технологические ошибки в организации движения при нейросетевом управлении, которые требуют их систематизации. Например, в ряде случаев маршрут прокладки поездов готовится на весь участок от начальной станции до конечной, тем самым происходит нарушение в приготовлении маршрутов для отправления и проследования последующих поездов. В настоящем исследовании произведен сбор и анализ 1070 графиков исполненного движения с применением нейросетевого управления пропуском поездов с учетом данных «цифрового двойника» железнодорожного участка.

Примеры графиков исполненного движения при нейросетевом управлении показали, что модель нуждается в доработках и обучении принятия решений по пропуску поездов (Приложение 5, Раздел П5.5). Причины возникновения программных неточностей в обучении нейросети требует дополнительных исследований. Однако, учитывая сторонний опыт создания подобных сетей, можно утверждать, что данная разработка на сегодняшний день показывает достаточно хорошие результаты. И если несколько лет назад алгоритмы работы нейросетей часто давали неудовлетворительные результаты, то сейчас они иногда превосходят результат работы классических алгоритмов. Вместе с тем растет и сложность нейросетей – растет количество слоев, усложняется архитектура.

Создание программных комплексов ИИ для управления ПТТС предполагает разработку отдельных модулей с подбором необходимых параметров настройки и программ самообучения и приоритетов решения задач на детализированных технологических цепочках процессной модели, их последующее объединение в общую нейросеть [374, 448].

5.4 Научно-методический комплекс прикладных программ с применением технологий искусственного интеллекта для подготовки оперативно-диспетчерского персонала припортовых железных дорог

Одним из наиболее заметных трендов трансформации транспортной отрасли является повсеместное проникновение цифровых технологий в

механизмы управления перевозочным процессом, поэтому для формирования кадрового обеспечения припортовых железных дорог предлагается интеграция лабораторных исследований и образовательного процесса. В настоящее время в обучении оперативно-диспетчерского аппарата ЦД и логистических отделов используется тренажерная база и разработанные на ее основе деловые игры. Представим области их применения в формате таблицы 5.8.

Таблица 5.8 – Деловые игры и тренажерная база для обучения оперативно-диспетчерского аппарата

№ п/п	Области	Научные исследования
1	Деловые игры и тренажерная база для оперативно-диспетчерского персонала	[449–454]
2	Деловые игры и тренажерная база для подготовки персонала ЛЦ и припортовых станций в области транспортной логистики	[455–456]
3	Программы подготовки кадров для промышленного железнодорожного транспорта	[457]
4	Деловые игры и тренажерная база по подготовке специалистов для эксплуатации ВСМ	[458]

Выделены основные недостатки современных тренажерных комплексов:

- малый охват тренажерной базы для подготовки специалистов Логистических центров (отделов);
- отсутствие интеграции с информационными системами ОАО «РЖД»;
- слабое межвузовское взаимодействие при подготовке персонала, например, в сфере обеспечения дистанционного формата использования тренажерной базы;
- отсутствие научно-методического комплекса прикладных программ с применением технологий ИИ для высшего технического транспортного образования.

Образовательные лабораторные полигоны целесообразно оборудовать адаптированными версиями внедряемых автоматизированных систем и технических средств. В процессе обучения инженеры, технический персонал, преподаватели и студенты железнодорожных вузов должны получать всесторонние знания в области технических и организационных дисциплин с

учетом действующих и перспективных разработок (в рамках проекта «Цифровая железная дорога», «Цифровая железнодорожная станция»). Железнодорожная индустрия нуждается в специалистах, способных быстро адаптироваться к изменениям и новым технологиям, поэтому учебные программы должны развивать у студентов гибкость мышления, умение работать в динамичной среде и быстро усваивать новые знания и навыки. Стоит отметить, что даже после внедрения ИИ и повышения уровня автоматизации процессов на железнодорожном транспорте диспетчерская функция, очевидно, претерпит серьезную трансформацию, но не будет полностью исключена из эксплуатационной работы.

Основы создания нейроцифровых, инженерно-образовательных экосистем университетов, сформированные в исследовании [459], в части создания когнитивного, научно-образовательного пространства могут рассматриваться и для железнодорожных вузов. Рассмотрим три сценария деловых игр при подготовке специалистов для логистических отделов (таблица 5.9).

Таблица 5.9 – Три сценария деловых игр при подготовке специалистов для логистических отделов (трехкомпонентная модель обучения)

1-й сценарий	2-й сценарий	3-й сценарий
<i>Ручное составление плана подвода. Решается задача составления плана подвода «вручную» в соответствии с исходными данными и НСИ</i>	<i>На базе автоматизированного составления плана подвода. Сравнивается с решением, полученным «вручную»</i>	<i>При нейросетевом управлении планом подвода поездов при использовании модулей программы ИНС_Подвод порта</i>

Например, по сценарию требуется организовать погрузку с ряда станций СКЖД на припортовую станцию Новороссийск (таблица 5.10). Подвод поездов на станцию Новороссийск осуществляется с двух направлений: Краснодарского и Тимашевского. Графиком движения поездов установлены нитки прибытия на станцию Новороссийск с этих направлений для подвода поездов с различными номенклатурами грузов и на разные причалы. Приоритетными при закреплении конкретных ниток графика являются грузы, обрабатываемые по прямому

варианту (в данном случае зерно и удобрения). Подвод поездов с такими грузами планируется на имеющиеся свободные нитки прибытия на припортовую станцию.

Таблица 5.10 – Исходные данные по погрузке судовой партии

Судно (тоннаж)	Дата ожид. подхода	Станция погрузки	Грузоотправитель	Итого план
				ваг
Нов-Транс-Груп НВРС пшеница Яре (Настюша) (30 тыс. т)	26.09.	Албаши	ООО «Албашский элеватор»	54
		Крыловская	ООО «Албашский элеватор»	55
		Белоглинская	ООО «Белоглинский элеватор»	36
		Величковка	ООО «Величковский элеватор»	41
		Ладожская	ООО «Ладожский элеватор»	50
		Малороссийская	ООО «Малороссийский элеватор»	103
		Степная	ООО «Степнянский элеватор»	57
		Уманская	ООО «Уманский элеватор»	102
Итого				498

В ходе деловой игры определяются временные контрольные точки поступления вагонов в составах поездов на крупные сортировочные и участковые станции, тяготеющие к районам погрузки грузов. Например, зная время подвода груза заданной номенклатуры на припортовую станцию Новороссийск, нормативное время хода по участкам и переработки по каждой станции, можно определить возможное время поступления вагонов в составе местных поездов на ст. Краснодар. Фрагмент схемы полигона дороги приведен на рисунке 5.23.

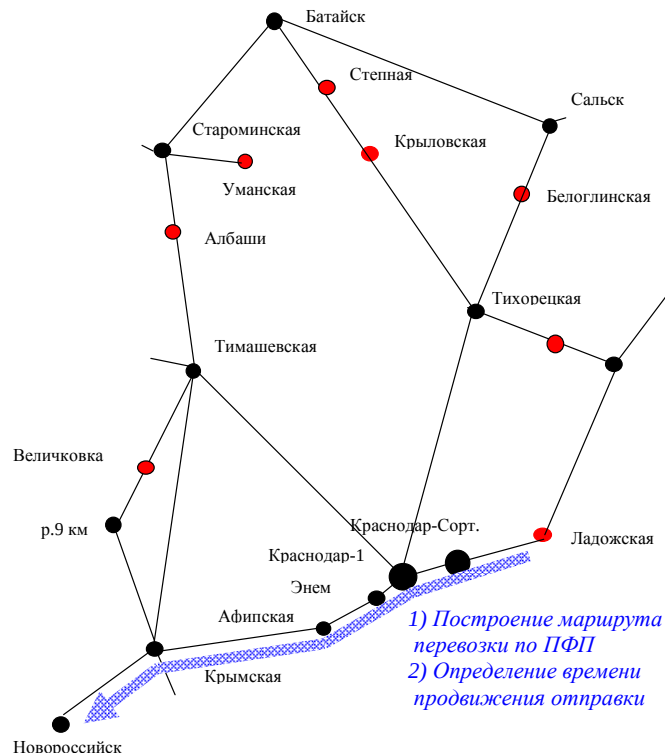


Рисунок 5.23 – Фрагмент схемы полигона дороги

В обратном порядке составляется план подвода вагонов уже со станции погрузки (ст. Ладожская) и формируется план отгрузки вагонов в зависимости от погрузочных возможностей грузоотправителя. Фрагмент графика подвода поездов на припортовую станцию для разных причалов приведен на рисунке 5.24.

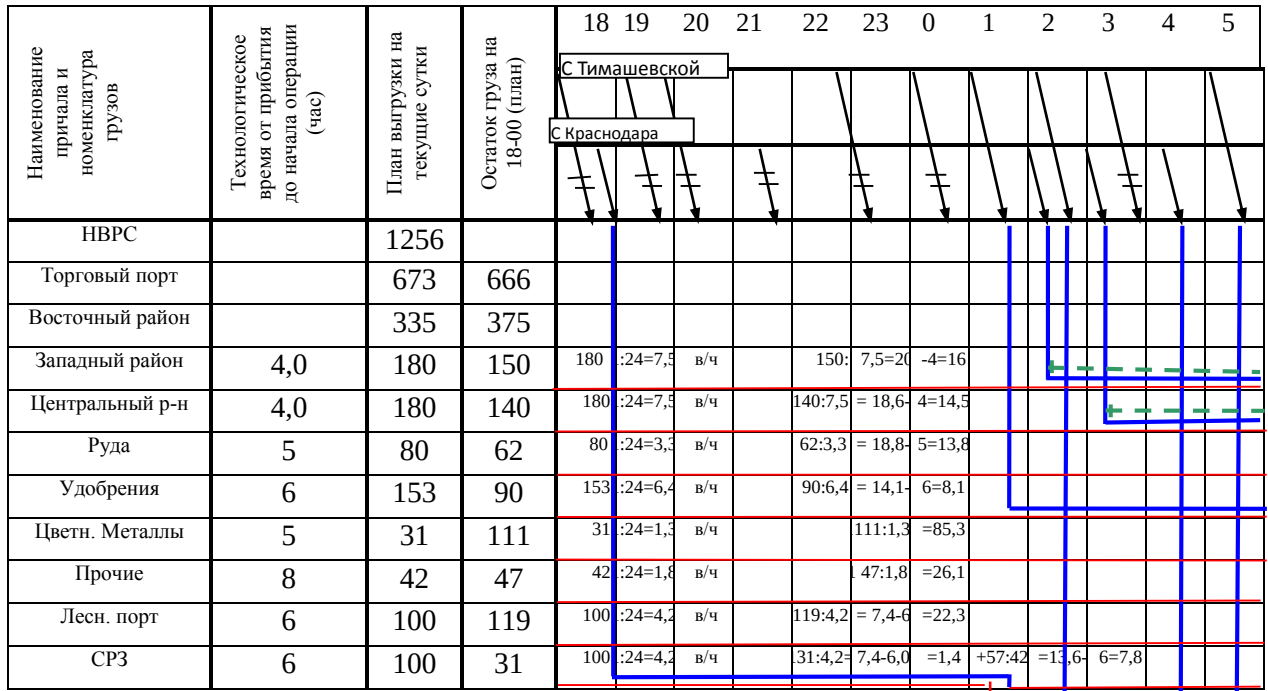


Рисунок 5.24 – Фрагмент графика подвода поездов к припортовой станции для различных причалов

Автоматизированное решение согласно алгоритму (см. главу 2) составлено в виде графика подвода поездов, а также в табличном виде (рисунок 5.25).

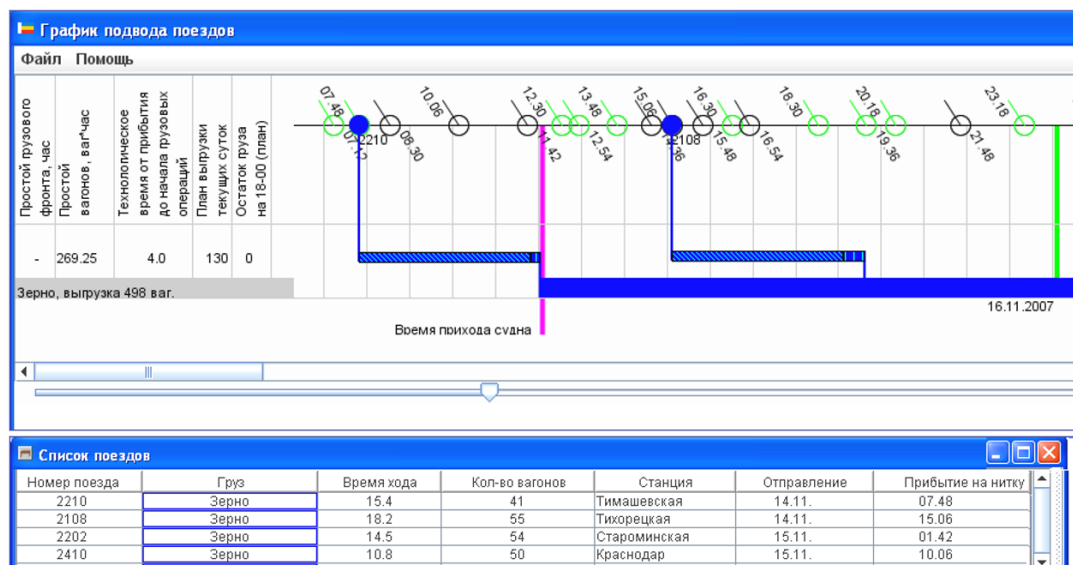


Рисунок 5.25 – Фрагмент графика подвода поездов

В третьем сценарии деловой игры предлагается оценить результаты работы научно-методического комплекса с применением технологий ИИ. Программа ИНС_ПОДВОД ПОЕЗДОВ_ПОРТ v.1 включает три модуля [460].

Первый модуль (1-я нейросеть) позволяет осуществить генерацию данных с учетом возможных вероятностных характеристик по параметрам подвода поездов и судовых партий. Алгоритм формирует данные на основании теории надежности и вероятности отказов элементов транспортной сети. Генерация данных включает в себя информацию о составе поездов, времени хода до припортовой станции, номенклатуре, признаке отправки и статусе отправки (наличие вагонов с истекающим сроком доставки, договорных поездов и прочее) груза, что является необходимой базой для обучения нейросети (Приложение 5, Раздел П5.6).

Второй модуль (2-я нейросеть) на основании сгенерированных данных, приближенных к реальной поездной обстановке, определяет очередность подвода поездов с учетом логистических принципов управления.

Третий модуль формирует план подвода для диспетчерского аппарата с учетом погодных условий, востребованности вагонов на терминалах порта и других параметров.

Программа ИНС_ПОДВОД ПОЕЗДОВ_ПОРТ v.1 может использоваться для проведения вычислительных экспериментов в рамках испытаний прототипа нейросетевых систем управления железнодорожными участками и станциями при различных эксплуатационных режимах и параметрах надежности работы железнодорожных объектов [460].

Аналогично подобные этапы обучения с применением технологий ИИ закладываются для подготовки оперативно-диспетчерского персонала припортовых железных дорог – дежурных по станции, поездных диспетчеров:

- 1) обучение на стандартных тренажерных комплексах АРМ ДНЦ/ДСП с ведением ГИД в ручном и автоматическом режиме;

- 2) на основе научно-методического комплекса прикладных программ с использованием ЦД железнодорожного участка и станций и ИНС с оценкой результатов нейросетевого управления.

Накопление данных для ИНС также происходит при активном участии специалистов в области организации управления движением (опытных поездных диспетчеров, дежурных по станции, дежурных и начальников районов управления), что обеспечивает повышение качества обучения ИНС.

5.5 Выводы по пятой главе

Сложность, многопараметричность и многоагентность в логистике управления ПТТС требуют привлечения технологий нейросетевого управления на базе анализа корпоративных информационных ресурсов. В работе проведено исследование нейросетевого управления движением поездов с применением математических моделей деятельности участка на базе «цифровых двойников».

Проведено концептуальное описание проблемной области для целей создания ИНС управления движением поездов, включающее аналитический обзор отечественных и зарубежных методических подходов моделирования перевозочного процесса, анализ параметров и методик расчета пропускных способностей участков железных дорог с учетом технического и технологического разнообразия, подходов совершенствования организации движения поездов, а также анализ существующих решений в области нейросетевого управления перевозочным процессом.

Построена формализованная модель участка припортовой железной дороги и станции для представления в нейросетевой модели управления движением поездов, представленная группами объектов блоками (участками) железной дороги, поездными группами, диспетчерским аппаратом, формирующим управляющие команды в перевозочном процессе. Модель представлена в виде дискретного процесса изменения состояний объектов в зависимости от состояний объектов и управляющих воздействий, направленных на обеспечение перевозочного процесса (графика движения поездов).

Моделирование нейросетевого управления движением поездов проведено на основе учебно-лабораторного комплекса «Виртуальная железная дорога».

Сформирована концепция разработки «цифрового двойника» грузонапряженного железнодорожного участка припортовой железной дороги со всеми регулируемыми параметрами организации движения поездов, с включением в модель практически всех активных (для реализации перевозочного процесса) дирекций (хозяйств и структурных подразделений) ОАО «РЖД». В роли полигона моделирования выступил существующий участок железной дороги от станции Высочино (по стыку станции Батайск) до станции Тимашевская СКЖД, являющийся одним из грузонапряженных участков на направлении к портам АЧБ.

В работе приводится описание ИНС во взаимодействии с модулями и компонентами УЛК «ВЖД», параметрами состояния объектов для анализа нейросетью и управления (поезд, участок, команды диспетчера и др.). Управление пропуском поездов в УЛК «ВЖД» представлено в понятиях обучения с подкреплением. Приводится модель обучения ИНС и выбора наиболее предпочтительной модели на основе оценки качества.

Проведен вычислительный эксперимент с разработанной моделью нейросети для управления движением поездов на участке в реальном масштабе времени на базе информации, формируемой системой УЛК «ВЖД». Полученные результаты и анализ графиков исполненного движения поездов по определенным индикаторам при диспетчерском управлении и при реализации нейросетью позволяют сделать вывод о возможности нейросетевого управления движением поездов.

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 – создания экспериментальной площадки, позволяющей для каждого поезда отслеживать скоростные характеристики пропуска по участку при ручном и нейросетевом управлении.

Предложена трехкомпонентная модель обучения оперативно-диспетчерского персонала припортовых железных дорог при использовании тренажерных комплексов в условиях развития концепции «Цифровая железная дорога».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненное диссертационное исследование представляет собой научно-квалификационную работу, направленную на разработку новых научно обоснованных решений для устойчивого развития ПТТС в условиях изменения следования грузопотоков, появления зон «напряженности» в пропуске поездо- и вагонопотоков в направлении морских портов.

В связи с указанным для устойчивого развития национальной транспортной системы критически необходимым стало развитие теоретических основ, методологической базы и информационного инструментария процессов организации транспортного производства в ПТТС страны с учетом повышения уровня организационно-технологической надежности, реализации полигонных принципов управления перевозочным процессом и интеллектуализации процессов управления. 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 сложных транспортных объектов и сформулированы базовые признаки такого подхода.

2 ПТТС имеют разнообразные производственные характеристики, задачи развития транспортно-логистической инфраструктуры, в связи с чем развита методология организации транспортного производства в ПТТС, основанная на региональных особенностях транспортной системы, развитии ОТУ и требованиях к повышению организационно-технологической надежности 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.

3 Развиты теоретические подходы 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 предлагается выполнять 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. Определены особенности построения когнитивных карт ПТТС. 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). Приведены результаты экспериментов импульсного моделирования развития ПТТС с учетом выделенных факторов и элементов системы.

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». Выполнена оценка синергетических эффектов перехода к полигонной концепции управления железнодорожными перевозками в адрес морских портов, развития и интеграции информационных систем управления транспортным производством в ПТТС на базе платформоцентрического и сетецентрического подходов.

6 Развита стохастические и детерминированные математические задачи и модели взаимодействия видов транспорта и управления транспортным производством в ПТТС. Исследованы проблемы устойчивости многоуровневых систем управления поездом- и вагонопотоками в адрес припортовых станций в условиях интеллектуализации управляющих воздействий.

7 Сложность, многопараметричность и многоагентность в логистике управления ПТТС требуют привлечения технологий нейросетевого управления на базе анализа корпоративных информационных ресурсов. В работе проведено исследование нейросетевого управления движением поездов с применением математических моделей деятельности участка, построенных на базе «цифровых двойников». Проведено концептуальное описание проблемной области для целей создания ИНС управления движением поездов, включающее аналитический обзор отечественных и зарубежных методических подходов моделирования перевозочного процесса, анализ параметров и методик расчета пропускных способностей участков железных дорог с учетом технического и технологического разнообразия, а также анализ существующих решений в области нейросетевого управления перевозочным процессом.

8 Развита методологические аспекты моделирования транспортных процессов на грузонапряженных направлениях припортовых железных дорог с применением технологий искусственного интеллекта при взаимодействии железнодорожного и морского транспорта в ПТТС. Формализованы и разработаны модели функционирования производственных процессов припортовых железных дорог в условиях волатильности перевозок и оценки резервов пропускных способностей железнодорожных направлений на подходах к морским портам на принципах интеллектуализации и цифровизации управляющих воздействий. ИИ-модель представлена в виде дискретного процесса изменения состояний объектов в зависимости от состояний объектов и управляющих воздействий, направленных на обеспечение перевозочного процесса (графика движения поездов).

9 Развита 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 – создания экспериментальной площадки, позволяющей для каждого поезда отслеживать скоростные характеристики пропуска по участку при ручном и нейросетевом управлении.

10 Предложена трехкомпонентная модель обучения оперативно-диспетчерского персонала припортовых железных дорог при использовании тренажерных комплексов в условиях развития концепции «Цифровая железная дорога».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. – Текст : электронный // Гарант. Информационно-правовое обеспечение. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403056321> (дата обращения: 03.06.2025).

2 **Хусаинов, Ф. И.** Перевозки грузов железнодорожным транспортом в 2022 году: экономико-статистический обзор / Ф.И. Хусаинов // Вестник транспорта. – 2023. – № 4. – С. 2–13.

3 **Осьминин, А. Т.** Основные факторы и условия перехода на полигонную систему управления / А. Т. Осьминин, Е. А. Сотников // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 5. – С. 22–27. – ISSN 0044-4448.

4 **Зубков, В. Н.** Организация и управление перевозками на припортовых железных дорогах: цели, проблемы и концепции / В. Н. Зубков, А. Г. Черняев, Е. А. Чеботарева // Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте : материалы Международной научно-практической конференции. – Одесса : Черноморье, 2010. – Т. 2, № 2. – С. 21–28.

5 **Чеботарева, Е. А.** Теория и методология организации транспортного производства в припортовых транспортно-технологических системах : монография / Е. А. Чеботарева ; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов-на-Дону : [б. и.], 2020. – 213 С. – ISBN 978-5-907295-22-3.

6 **Зубков В. М.** Исследование взаимодействия и оптимизации обработки судов и вагонов в морских портах : автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.22.17 / В. М. Зубков. – Владивосток, 1973. – 32 с.

7 **Солоп, И. А.** Причинно-следственный анализ выполнения надежности доставки грузов железнодорожным транспортом в адрес потребителей Южного региона и портов Азово-Черноморского бассейна. – Текст : электронный / И. А. Солоп // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 3 (50). – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5082 (дата обращения: 04.06.2025).

8 **Чеботарева, Е. А.** Логистикоориентированная организация местной работы на припортовой дороге в условиях роста экспортных перевозок : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.22.01 / Е. А. Чеботарева. – Ростов-на-Дону, 2008. – 245 с

9 Большая советская энциклопедия / главный редактор А. М. Прохоров. – 3-е изд. – Т. 1–30. – Москва : Советская энциклопедия, 1969–78.

10 **Левин, Б. А.** Железнодорожный транспорт России: проблемы и пути развития / Б. А. Левин // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. – 2003. – № 2 (7). – С. 14–16. – ISSN 2227-1120.

11 **Владимиров, С. А.** Об основных направлениях развития мировой транспортной системы и логистики. – Текст : электронный / С. А. Владимиров // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2016. – № 1. – С. 2–8. – URL: <http://eet-journal.ru/upload/iblock/1f2/9t3gxgjb6vx070j9idtu2n7tp9k8gfv6.pdf> (дата обращения: 03.06.2025).

12 **Степанов, А. Л.** Эволюция портов и экспедиторской деятельности – основа логистики / А. Л. Степанов // Эксплуатация морского транспорта. – 2007. – № 4 (50). – С. 6–9. – ISSN 1992-8181.

13 Review of Maritime Transport 2014 // UN Trade & Development (UNCTAD) [сайт]. – URL: <https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2014> (дата обращения: 03.06.2025)

14 **Сухов, Р. А.** Тенденции развития морской торговли и усиление влияния мультимодальных узлов мира. – Текст : электронный / Р. А. Сухов // Студенческий научный форум – 2017 : IX Международная студенческая научная конференция. – URL: <https://scienceforum.ru/2017/article/2017037660> (дата обращения: 06.06.2025).

15 **Потапов, М. А.** Экономическое развитие Восточной Азии: текущее состояние и перспективы / М. А. Потапов // Россия и АТР. – 2020. – № 3. – С. 95–109. – DOI 10.24411/1026-8804-2020-10037.

16 **Прокопьев, В. Е.** Морской порт как предприятие морского транспорта: особенности развития и управления в современных условиях / В. Е. Прокопьев // Транспортное дело России. – 2008. – № 2. – С. 49–53. – ISSN 2072-8689.

17 World Port Ranking 2023 – Top 10 Busiest Port Europe and Asia // Shipsgo Blog [сайт]. – URL: <https://blog.shipsgo.com/world-port-ranking> (дата обращения: 06.06.2025).

18 **Кузнецова С.** Путь на Восток: развитие евразийских транспортных коридоров. Аналитический доклад / С. Кузнецова // Сфера. Нефть и газ. – 2024. – № 1 (93). – С. 46–51.

19 **Лесникова, Е. Е.** Разворот логистики на Восток: причины и направления развития / Е. Е. Лесникова, Е. М. Бондаренко // Интеллектуальный потенциал Сибири : материалы 31-й Региональной научной студенческой конференции : в 7 ч. – Новосибирск, 2023. – С. 375–378. – ISBN 978-5-7782-5035-2.

20 **Сорокин, Д. В.** Развитие железнодорожного транспорта в системе международных транспортных коридоров на примере МТК «Север – Юг» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 2.9.9 / Д. В. Сорокин. – Ростов-на-Дону, 2024. – 215 с.

21 **Кизляк, О. П.** К вопросу обоснованного выбора международного транспортного коридора в современных условиях / О. П. Кизляк, Г. И. Никифорова, Т. Г. Сергеева // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XII Международной научно-практической конференции, посвященной 160-летию Белорусской железной дороги. В 2 ч. Ч. 2. – Гомель, 2022. – С. 121–125. ISBN 978-985-891-071-6.

22 **Маркова, В. В.** Формирование логистических цепей и информационных потоков при едином операторе в условиях МТК «Север – Юг» / В. В. Маркова, Г. С. Михайлов, А. В. Новичихин // Политранспортные системы : материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Новосибирск, 2024. – С. 538–543.

23 **Толкачева, Е. В.** Роль международного транспортного коридора «Север – Юг» в развитии международной торговли Евразийского региона / Е. В. Толкачева, П. И. Лукашук, А. А. Воронов // Экономика устойчивого развития. – 2025. – № 1 (61). – С. 303–305. – ISSN 2079-9136.

24 **Лондарь, В. А.** Модели принятия решений с применением инструментов искусственного интеллекта при планировании интермодальных маршрутов / В.А. Лондарь, Н. Ю. Лахметкина // Логистика и управление цепями поставок. – 2024. – Т. 21, № 1 (110). – С. 52–61. – ISSN 2587-6775.

25 Применение инструментов качества для повышения эффективности работы международных транспортных коридоров / И. М. Басыров, П. М. Мезенцева, А. И. Гвоздкова, Е. А. Новосельцева // Техник транспорта: образование и практика. – 2024. – Т. 5, № 1. – С. 89–104. – DOI 10.46684/2687-1033.2024.1.89-104.

26 **Прокофьев, М. Н.** Перспективы транспортного коридора «Север – Юг» / М. Н. Прокофьев, М. М. У. Тохиров // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17, № 5 (84). – С. 200–213. – DOI 10.30932/1992-3252-2019-17-5-200-213.

27 Перспективы использования инновационного подвижного состава для скоропортящихся грузов в МТК «Север – Юг» / О. А. Ворон, А. А. Патенян, А. С. Долгополов [и др.] // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 2 (67). – С. 147–153. – ISSN 1818-5509.

28 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. – DOI 10.46973/0201-727X_2023_1_63.

29 **Chebotareva, E. A.** Use of Heavy Traffic and Reduction of Intertrain Interval to Form a Network of Alternative Railway Routes along the North-South Transport Corridor / E. A. Chebotareva, E. V. Ryazanova, S. M. Nauruzbaev // AIP Conference Proceeding. – 2024. – Vol. 3243 (1). – DOI 10.1063/5.0247337.

30 Перевозки по МТК «Север – Юг» имеют потенциал возрасти в 2 раза к 2030 году // ПортНьюс – Информационно-аналитическое агентство [сайт]. – URL: <https://portnews.ru/news/336640> (дата обращения: 06.06.2025)

31 Рекордный грузопоток на Севморпути в 2024 году ожидает Минвостокразвития // Российский морской регистр судоходства [сайт]. – URL: <https://rs-class.org/feed/detail.php?ID=7848> (дата обращения: 06.06.2025)

32 Паламарчук, Г. И. Тенденция развития Северно-морского пути и Арктической зоны / Г. И. Паламарчук, И. А. Смирнова, А. Ю. Яркова // Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития : материалы VII Международной научно-исследовательской конференции. В 3 ч. Ч. 1. – Оренбург, 2024. – С. 228–232. – ISBN 978-5-6049599-4-7.

33 Тарасов, В. В. Порт Найба – логистический проект арктической зоны Республики Саха (Якутия) и ключевой хаб на Северном морском пути / В. В. Тарасов, А. С. Синицына, В. Б. Мурзин // Логистика. – 2024. – № 1 (206). – С. 38–45. – ISSN 2219-7222.

34 Спицина, Д. В. Оценка экспорта высокотехнологичной продукции Российской Федерации в страны БРИКС и ЕАЭС / Д. В. Спицина // Вестник университета (Вестник ГУУ). – 2023. – № 1. – С. 161–169. – DOI 10.26425/1816-4277-2023-1-161-169.

35 Оценка взаимной торговли России со странами БРИКС / Е. И. Ковалева, Ю. Л. Растопчина, Ю. Н. Божков, А. Н. Брежнев // Индустриальная экономика. – 2023. – № 2. – С. 14–19. – DOI 10.47576/2949-1886_2023_2_14.

36 Проблемы развития транспортной отрасли в условиях процессов глобализации и регионализации / П. В. Куренков, И. А. Солоп, Е. А. Чеботарева, С. А. Сафронов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2023. – № 7. – С. 3–6 DOI 10.36535/0236-1914-2023-07-1.

37 Итоги второго саммита Россия – Африка. РИА новости. 29.07.2023 // РИА Новости [сайт]. – URL: <https://ria.ru/20230729/afrika1887052293.html?ysclid=lnhj85zbw3198670083> (дата обращения: 06.06.2025)

38 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. – DOI 10.52375/20728689_2023_6_52.

39 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. – ISSN 2079–1364.

40 Социально-экономическое положение России // Федеральная служба государственной статистики [сайт]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/osn-01-2023.pdf> (дата обращения: 06.06.2025).

41 Транспорт в России // Федеральная служба государственной статистики [сайт]. – URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Transport_2022.pdf (дата обращения: 06.06.2025).

42 Транспорт в России // Федеральная служба государственной статистики [сайт]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport> (дата обращения: 06.06.2025).

43 **Галабурда, В. Г.** Критерии оценки эффективности и качества работы различных видов транспорта / В.Г. Галабурда, Д. С. Проскурин // Экономика железных дорог. – 2013. – № 5. – С. 86–95. – ISSN 1727-6500.

44 Информационный бюллетень о позициях ОАО «РЖД» в международных научных рейтингах. – 2023. – № 4 [сайт]. – URL: https://newlib.rgups.ru/site/assets/files/2959/informatcionnyi_biulleten_4_kv_2024.pdf (дата обращения: 06.06.2025).

45 **Седякин, В. П.** Развитие путей сообщения как фактор геополитики и регионального туризма: методологические вопросы и современное состояние / В. П. Седякин, П. А. Гелюх, А. А. Локтев // Наука и техника транспорта. – 2021. – № 2. – С. 13–21. – ISSN 2074-9325.

46 Холдинг «РЖД» в мире: информационный бюллетень. – 2021. – URL: https://www.omgups.ru/innov/presentations/inf_blt.pdf (дата обращения: 06.06.2025).

47 Обзор работы грузового железнодорожного транспорта. – Текст : электронный // Союз операторов железнодорожного транспорта (СОЖТ) [сайт]. – URL: <https://railsovet.ru/upload/iblock/d0c/9b2tx6i2zwc4u7x8lsvwuojs6qh1rd.pdf> (дата обращения: 04.06.2025).

48 Росстат – Внешняя торговля // Федеральная служба государственной статистики [сайт]. – URL: https://rosstat.gov.ru/statistics/vneshnyaya_torgovlya (дата обращения: 06.06.2025)

49 Доля Азии в экспорте РФ превысила 70% // Коммерсантъ [сайт]. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6508829> (дата обращения: 06.06.2025)

50 Экспорт и импорт РФ в 1995–2016, 2018–2023 гг. // Федеральная таможенная служба [сайт]. – URL: <https://customs.gov.ru> (дата обращения: 06.06.2025).

51 X издание справочника «Морские порты России». – Москва : ООО «Издательский дом Магистраль», 2022. – 508 С. – Текст : электронный. – URL: https://invest.nashsever51.ru/public/uploads/mediastore/%D0%9C%D0%BE%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5_%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D1%8B_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8_2022.pdf?t=1685522002 (дата обращения: 06.06.2025).

52 Грузооборот российских портов вырос на 5 % // Коммерсантъ [сайт]. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6454421> (дата обращения: 06.06.2025).

53 Подпрограмма «Морской транспорт» Федеральной целевой программы «Развитие транспортной системы России (2010–2021 годы)» : Постановление Правительства РФ от 05.12.2001 № 848 (ред. от 20.09.2017, с изм. от 12.10.2017) «О Федеральной целевой программе Развитие транспортной системы России (2010–2021 годы)» // Судебные и нормативные акты РФ [сайт]. – URL: https://sudact.ru/law/postanovlenie-pravitelstva-rf-ot-05122001-n-848/federalnaia-tselevaia-programma-razvitie-transportnoi_2podprogramma-morskoi-transport-federalnoi-tselevoi_3/ (дата обращения: 03.06.2025).

54 Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года : утвержден Распоряжением Правительства РФ от 30.09.2018 № 2101-р. – Текст : электронный. – URL: https://russianhighways.ru/upload/iblock/7c6/ot-30.09.2018-_2101_r.pdf (дата обращения: 03.06.2025).

55 Динамика количественных показателей грузооборота и мощности морских портов России // Ассоциация морских торговых портов [сайт]. – URL: <https://www.morport.com/rus/content/statistika-0> (дата обращения: 04.06.2025).

56 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. – ISSN 0044-4448.

57 **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. – С. 175–184. – ISSN 2664-5025.

58 **Kreutzberger, E.** The challenge of appropriate hub terminal and hub-and-spoke network development for seaports and intermodal rail transport in Europe / Ekki Kreutzberger, Rob Konings // Research in Transportation Business & Management. – June 2016. – Vol. 19. – P. 83–96. – DOI 10.1016/j.rtbm.2016.05.003.

59 Правительство с 2025 г. перезапустит поддержку экспортеров через механизм КППК // Интерфакс [сайт]. – URL: <https://www.interfax.ru/russia/965224> (дата обращения: 01.06.2025).

60 **Даниловский, В. Е.** Международный торговый и логистический потенциал страны с учетом роли регионов в ВЭД / В. Е. Даниловский, А. Д. Иванова, А. В. Новичихин // Современные тенденции развития транспортной отрасли : материалы Международной научно-практической конференции. – Нижний Новгород, 2024. – С. 408–413. – EDN WDJNQD.

61 **Покровская, О. Д.** Развитие логистической транспортной системы России в условиях санкций / О. Д. Покровская // Бюллетень результатов научных исследований. – 2023. – № 3. – С. 58–72. – DOI 10.20295/2223-9987-2023-3-58-72.

62 Альтернативная логистика Российской Федерации в условиях западных санкций / О. Д. Покровская, А. А. Воробьев, А. А. Мигров, М. В. Шевердова, В. И. Ульяницкая, А. А. Власенский // International Journal of Advanced Studies. 2022. – Т. 12, № 4. – С. 111–134. – DOI 10.12731/2227-930X-2022-12-4-111-134.

63 **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. – DOI 10.46973/0201–727X_2023_113.

64 Мамаев, Э. А. Моделирование региональных транспортных систем в условиях конкуренции : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук : 05.22.01 / Мамаев Энвер Агапашаевич. – Москва, 2006. – 48 с.

65 Петров, М. Б. Методология организации региональной транспортной системы : автореферат диссертации на соискание ученой степени : 05.22.01 / Петров Михаил Борисович. – Москва, 2004. – 48 с.

66 Колесников, М. В. Разработка концепции, моделей и механизмов организационного управления железнодорожной транспортной системой : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук : 05.22.01 / Колесников Максим Владимирович. – Ростов-на-Дону, 2013. – 328 с.

67 Батури́н, А. П. Принципы и подходы к генерации вариантов организации местной работы / А. П. Батури́н, С. О. Ждакаев // Кочневские чтения – 2023: современная теория и практика эксплуатационной работы железных дорог : труды II Международной научно-практической конференции. – Москва, 2023. – С. 67–71. – ISBN 978-5-907818-04-0.

68 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. – ISSN 0201-727X.

69 Батури́н, А. П. Рациональные параметры плана-графика местной работы железнодорожных участков / А. П. Батури́н, С. О. Ждакаев // Вестник транспорта Поволжья. – 2023. – № 5 (101). – С. 55–66. – ISSN 1997-0722.

70 Левин, Д. Ю. Оптимизация местной работы / Д. Ю. Левин, И. Н. Шапкин, Е. О. Дмитриев // Железнодорожный транспорт. – 2016. – № 9. – С. 38–44. – ISSN 0044-4448.

71 Гришкова, Д. Ю. Разработка мероприятий по сокращению времени простоя местного вагона на железнодорожной станции / Д. Ю. Гришкова //

Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 1 (68). – С. 5–12. – DOI 10.52170/1815-9265_2024_68_5.

72 **Зубков, В.Н.** Теория и методология организации местной работы на припортовой железной дороге : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук : 05.22.01 / Зубков Виктор Николаевич. – Ростов-на-Дону, 2011. – 334 с.

73 **Рыбин, П. К.** Особенности развития припортовых железнодорожных узлов: оптимизация инфраструктурных решений и технология взаимодействия видов транспорта / П. К. Рыбин, М. В. Четчуев // Бюллетень ученого совета АО «ИЭРТ». – 2022. – № 7. – С. 68–71. – ISSN 2500-3283.

74 **Четчуев, М. В.** Теоретические основы проектирования путевого развития станций временного отстоя вагонов в районах массовой выгрузки / М. В. Четчуев, А. Н. Иванков // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов : межвузовский сборник научных статей. – 2024. – № 1 (6). – С. 160–164. – ISSN 2664-5025.

75 **Кузнецов, А. Л.** Обоснование концепции «сухого» порта / А. Л. Кузнецов, В. Н. Щербакова-Слюсаренко // Транспортное дело России. – 2013. – № 4. – С. 77–80. – ISSN 2072-8689.

76 **Кузнецов, А. Л.** Порт и железная дорога: проблемы технологических взаимоотношений / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко // Системный анализ и логистика. – 2013. – № 9. – С. 17–20. – eISSN 2077-5687.

77 Система «морской порт – “сухой” порт» : монография / Д. С. Муравьев, А. Н. Рахмангулов, Н. А. Осинцев, С. Н. Корнилов, А. В. Цыганов, О. А. Копылова. – Москва : ИНФРА-М, 2022. – 176 С. – ISBN 978-5-16-017155-5.

78 **Рахмангулов, А. Н.** Оценка направлений развития систем «морской порт – “сухой” порт» методом имитационного моделирования / А. Н. Рахмангулов, Д. С. Муравьев // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 3 (31). – С. 54–72. – DOI 10.20291/2079-0392-2016-3-54-72.

79 **Безусов, Д. С.** Развитие методов инфраструктурно-технологического взаимодействия в региональной железнодорожной припортовой транспортной

системе : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 2.9.1 / Безусов Данил Сергеевич. – Ростов-на-Дону, 2023. – 413 с.

80 Обоснование этапности развития железнодорожных станций и узлов : монография / Ю. И. Ефименко, П. К. Рыбин, Л. А. Олейникова, М. В. Четчуев [и др.]. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2018. – 243 с. – ISBN 978-5-7641- 1137-7.

81 **Аков, Р.** Основы исследования операций / Р. Аков, М. Сасиени. – Москва : Мир, 1971. – 534 с.

82 **Бакаев, А. Л.** Экономико-математические модели планирования и проектирования транспортных систем / А. Л. Бакаев. – Киев : Техника, 1973. – 129 с.

83 **Бусленко, Н. П.** Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – Москва : Наука. 1978. – 400 с.

84 **Вентцель, Е. С.** Введение в исследование операций / Е. С. Вентцель. – Москва : Советское радио, 1964. – 432 с.

85 **Канторович, Л. В.** Применение математических методов в вопросах анализа грузопотоков / Л. В. Канторович, М. К. Гавурин // Проблемы повышения эффективности работы транспорта. – 1949. – С. 110–138.

86 **Левин, Б. Ю.** Нелинейные сетевые транспортные задачи / Б. Ю. Левин, В. Н. Лившиц. – Москва : Транспорт, 1971. – 227 с.

87 **Арсёнов, В. И.** Оценка вариантов развития транспортной сети с помощью методов линейного программирования / В. И. Арсёнов // Транспорт ИКТП. – 1967. – Вып. 3 – С. 5–20.

88 **Сотников, И. Б.** Взаимодействие станций и участков железных дорог / И. Б. Сотников. – Москва : Транспорт, 1976. – 268 с.

89 **Лябах, Н. Н.** Системы массового обслуживания: развитие теории, методология моделирования и синтеза : монография / Н. Н. Лябах, М. А. Бутакова. – Ростов-на-Дону, 2004. – 199 с. – ISBN 5-88814-147-X.

90 О технологии расчета систем железнодорожного транспорта / П. А. Козлов, В. П. Козлова, О. В. Осокин, Н. А. Тушин // Транспорт Урала. – 2022. – № 3 (74). – С. 3–9. – DOI 10.20291/1815-9400-2022-3-3-9.

91 **Кузнецов, А. Л.** Использование теории катастроф в прогнозировании направления развития порта / А. Л. Кузнецов, А. В. Галин // Сборник научных

статей национальной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова». Т. 1. – Санкт-Петербург, 2022. – С. 295–301. – ISBN 978-5-9509-0470-7.

92 **Лябах, Н. Н.** Перспективные задачи интеллектуализации процессов управления припортовыми транспортно-технологическими системами / Н. Н. Лябах, Е. А. Чеботарева // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию БелИИЖТа – БелГУТа. В 2 ч. Ч. 1. – Гомель, 2023. – С. 153–155. – ISBN 978-985-891-127-0.

93 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.

94 **Рыбин, П. К.** Модель поддержки принятия решений при оперативном регулировании подвода поездов к припортовым станциям / П. К. Рыбин, Р. В. Горин // Бюллетень результатов научных исследований. – 2019. – № 4. – С. 69–79.

95 **Ламехов, В. А.** Анализ применения нейро-нечетких сетей для прогнозирования временных рядов на железнодорожном транспорте / В. А. Ламехов, Е. К. Коровяковский // РИЛТТРАНС-2021 : сборник трудов Четвертой международной научно-практической конференции. В 2 ч. / под редакцией А. А. Краснощека, П. К. Рыбина. – Санкт-Петербург, 2022. – С. 95–103.

96 **Ламехов, В. А.** Алгоритм построения прогнозной модели транспортно-логистической деятельности на основе применения нечетких нейронных сетей / В. А. Ламехов, Е. К. Коровяковский // Бюллетень результатов научных исследований. – 2022. – № 3. – С. 137–150.

97 **Козлов, П. А.** Проблема организации единой транспортной системы / П. А. Козлов, Н. А. Тушин, В. С. Колокольников // Цифровая трансформация транспорта. Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2018. – Т. 14, № 3. – С. 748–755. – ISSN 2411-1473.

98 Единая транспортная система : учебник для вузов / В. Г. Галабурда, В. А. Персианов, А.А. Тимошин [и др.] ; под редакцией В. Г. Галабурды. – 2-е изд. – Москва : Транспорт, 2001. – 302 с.

99 **Макеев, В. А.** Экономика транспорта региона / В. А. Макеев. – Ростов-на-Дону : СКНЦ ВШ, 2001. – 226 с.

100 Единая транспортная система : учебник для вузов / В. Г. Галабурда, В. А. Персианов, А. А. Тимошин [и др.] ; под редакцией В. Г. Галабурды. – Москва : Транспорт, 1996. – 295 с.

101 **Резер, С. М.** Управление транспортным комплексом / С. М. Резер. – Москва : Наука, 1988. – 328 с.

102 **Зенкова, Т. Ю.** Формирование производственно-транспортной системы на предприятиях черной металлургии (на примере Дальнего Востока РФ) : диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук : 08.00.05 / Зенкова Татьяна Юрьевна. – Комсомольск-на-Амуре, 2005. – 206 с.

103 **Комов, И. В.** Теоретические вопросы кластеризации региональной экономики как фактор повышения ее конкурентоспособности / И. В. Комов // Вестник российских университетов. Математика. – 2013. – Т. 18, Вып. 2. – С. 627–631. – ISSN 1810-0198.

104 **Краснощек, А. А.** Мировые тенденции развития морских портов, припортовых железнодорожных узлов и подходов к ним / А. А. Краснощек, А. Ю. Панычев, П.К. Рыбин // Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах : сборник трудов Второй международной научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 4–6 октября 2017 г.). – Санкт-Петербург : ООО «АРТ-ЛАЙН», 2018. – 303 с.

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

106 Повышение эффективности работы транспортно-технологической системы / М. Ю. Карелина, Ю. Н. Ризаева, В. В. Баев, М. В. Пупышев, В. И.

Карагодин, О.Н. Дидманидзе // Транспортное дело России. – 2024. – № 2. – С. 192–196. – ISSN 2072-8689.

107 **Рахмангулов, А. Н.** Методологические основы организации функционирования железнодорожных промышленных транспортно-технологических систем : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук : 05.22.01 / Рахмангулов Александр Нельевич. – Москва, 2013. – 373 с.

108 **Брагина, А. Н.** Мультимодальные перевозки – инструмент повышения конкурентоспособности предприятий / А. Н. Брагина, А. М. Индиева // Инновационный транспорт-2016: специализация железных дорог : материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 60-летию основания УрГУПС. – Екатеринбург : УрГУПС, 2017. – С. 806–811.

109 **Дрю, Д.** Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Дрю. – Москва : Транспорт, 1972. – 424 с.

110 **Галабурда, В. Г.** Оптимальное планирование грузоперевозок / В. Г. Галабурда. – Москва : Транспорт, 1985. – 256 с.

111 **Галабурда, В. Г.** Внетранспортный эффект работы железных дорог / В. Г. Галабурда, А. П. Абрамов // Железнодорожный транспорт. – 2002. – № 3. – С. 58–62. – ISSN 0044-4448.

112 **Баушев, А. Н.** Математическая модель многофазных железнодорожных грузоперевозок / А. Н. Баушев, А. Т. Осьминин, Л. А. Осьминин // Математическое моделирование. – 2013. – Т. 25, № 10. – С. 108–122. – ISSN 0234-0879.

113 **Осьминин, А. Т.** Оценка эффективности маршрутизации с мест погрузки / А. Т. Осьминин, В. М. Грошев, О. А. Никифорова // Железнодорожный транспорт. – 2008. – № 1. – С. 62–65. – ISSN 0044-4448.

114 **Покровская, О. Д.** Особенности продвижения блок-трейн и контейнерных поездов по терминальной сети Санкт-Петербургского узла / О. Д. Покровская // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2021. – Т. 18, № 1. – С. 34–51. – DOI 10.20295/1815-588X-2021-1.

115 **Никифорова, Г. И.** Исследование взаимодействия железнодорожного и морского транспорта в сфере контейнерных перевозок / Г. И. Никифорова, Н. Б. Федорова // Технологии построения когнитивных транспортных систем : материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – 2021. – С. 54–59.

116 **Никифорова, Г. И.** Взаимодействие железнодорожного и морского транспорта при передаче контейнеропотока на основе принципов логистики : автореферат диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.22.08 / Никифорова Гузель Ислямовна. – Санкт-Петербург, 2005. – 26 с.

117 **Осьминин, А. Т.** Пути дальнейшего совершенствования расчетов плана формирования вагонов с контейнерами / А. Т. Осьминин, И. И. Осьминина, Л. А. Осьминин // Интеллектуальные системы на транспорте : сборник материалов Первой международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2011. – С. 232–237. – ISBN 978-5-7641-0065-4.

118 **Осьминин, А. Т.** Организация контейнерных перевозок-продуктовый подход / А. Т. Осьминин // РЖД-Партнер. – 2010. – № 1–2. – С. 173–174.

119 **Чернюгов, А. Д.** Расчет плана формирования вагонов с контейнерами в международном сообщении / А. Д. Чернюгов, А. Т. Осьминин, Л. А. Осьминин // Железнодорожный транспорт. – 2009. – № 4. – С. 32–37. – ISSN 0044-4448.

120 **Малышев, Н. В.** К вопросу роботизации тыловых контейнерных терминалов / Н. В. Малышев, Е. К. Коровяковский // Бюллетень результатов научных исследований. – 2020. – № 1. – С. 15–25. – DOI 10.20295/2223-9987-2020-1-15-25.

121 **Юдникова, Е. С.** Особенности и перспективы развития транзитных контейнерных перевозок по Северному морскому пути / Е. С. Юдникова, Н. М. Бедашов // Russian Journal of Logistics & Transport Management. – 2021. – Т. 6. № 5. – С. 113–118. – eISSN 2313-7002.

122 **Апатцев, В. И.** Предложения по совершенствованию организации регулярного грузового движения на сети ОАО «РЖД» для повышения

эффективности контейнерных перевозок / В. И. Апатцев, И. М. Басыров // Наука и техника транспорта. – 2024. – № 2. – С. 67–70. – ISSN 2074-9325.

123 **Басыров, И. М.** Инновационная технология терминальной переработки контейнеров / И. М. Басыров, Д. И. Кочнева, Х. Чан // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 2 (54). – С. 108–116. – DOI 10.20291/2079-0392-2022-2-108-116.

124 **Левин, С. Б.** Цифровые технологии при контейнерных перевозках / С.Б. Левин, Л. Н. Поспелова, А. Ю. Крутова // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2020. – № 5. – С. 29–31. – DOI 10.36535/0236-1914-2020-05-5.

125 О двухъярусной перевозке контейнеров / С. П. Вакуленко, Д. Ю. Роменский, К. А. Калинин, А. А. Хатьянов, М. И. Тимерин // Железнодорожный транспорт. – 2023. – № 12. – С. 6–9. – ISSN 0044-4448.

126 Новые подходы к организации переработки контейнеропотоков / С. П. Вакуленко, А. М. Насыбуллин, Л. Р. Айсина, А. В. Колин, Д. Ю. Роменский // Железнодорожный транспорт. – 2022. – № 11. – С. 4–11. – ISSN 0044-4448.

127 **Бессонова, Н. В.** Развитие контейнерных перевозок как одно из приоритетных направлений роста экономики / Н. В. Бессонова, И. М. Самойлова // Вестник транспорта Поволжья. – 2024. – № 2 (104). – С. 45–50. – ISSN 1997-0722.

128 **Кол, С. Н.** Развитие контейнерных и контрейлерных перевозок / С. Н. Кол // Железнодорожный транспорт. – 2016. – № 6. – С. 28–30. – ISSN 0044-4448.

129 **Москвичев, О. В.** Развитие логистики перевозки грузов контейнерными поездами: новые аспекты, требования, решения / О. В. Москвичев, Е. Е. Москвичева, Д. В. Васильев // Транспорт Урала. – 2025. – № 1 (84). – С. 60–65. – ISSN 1815-9400.

130 **Москвичев, О. В.** Методология организации функционирования контейнерно-транспортной системы на основе клиентоориентированности : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук : 05.22.01 / Москвичев Олег Валерьевич. – Москва, 2019. – 415 с.

131 **Числов, О. Н.** Вариант моделирования транспортного рынка контейнерных перевозок / О. Н. Числов, В. М. Задорожний // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 5. – С. 116–119. – ISSN 1818-5509.

132 **Гладунов, В. А.** Анализ целесообразности загрузки порожних полувагонов контейнерами / В. А. Гладунов, Е. М. Бондаренко // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2022. – Т. 1. – С. 115–117.

133 **Корнеев, М. В.** Анализ существующих и предлагаемых способов размещения и крепления крупнотоннажных контейнеров в универсальных железнодорожных полувагонах / М. В. Корнеев, П. С. Бурдяк // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 2 (69). – С. 71–79. – ISSN 1815-9265.

134 **Шерстобитова, О. Б.** Имитационное моделирование при развитии контейнерных перевозок / О. Б. Шерстобитова, Е. Д. Псеровская, Д. А. Басманов // Железнодорожный транспорт. – 2024. – № 7. – С. 30–32. – ISSN 0044-4448.

135 **Псеровская, Е. Д.** Исследование возможностей использования инструмента имитационного моделирования ANYLOGIC в организации работы контейнерного терминала / Е. Д. Псеровская, О. Б. Шерстобитова, Д. А. Басманов // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 4 (60). – С. 71–83. – DOI 10.20291/2079-0392-2023-4-71-83.

136 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.

137 **Кузнецов, А. Л.** Расчет параметров контейнерного порта методами теории массового обслуживания и имитационного моделирования / А. Л. Кузнецов, А. Д. Семенов // Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем» (ИКМ МТМТС-2023) : труды Седьмой

международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург, 2023. – С. 110–116. – ISBN 978-5-605-00318-2.

138 Сравнительный анализ показателей эффективности автоматизированных и неавтоматизированных контейнерных терминалов / А. Л. Кузнецов, А. В. Галин, В. Н. Щербакова-Слюсаренко, Г. Б. Попов // Морские интеллектуальные технологии. – 2021. – № 1-1 (51). – С. 76–83.

139 **Кузнецов, А. Л.** Имитационное моделирование в задачах анализа операций в морских портах / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, В. Н. Щербакова-Слюсаренко // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2018. – Т. 10, № 2. – С. 259–274. – DOI 10.21821/2309-5180-2018-10-2-259-274.

140 Теоретические основы проектирования цифровой системы контейнерных грузовых автомобильных перевозок / А. В. Терентьев, С. А. Евтюков, А. А. Носков, С. М. Грушецкий, Д. С. Орлов // Грузовик. – 2023. – № 8. – С. 16–19. – DOI 10.36652/1684-1298-2023-8-16-19.

141 **Кузнецов, А. Л.** Эволюция показателей, характеризующих эксплуатационную работу портов и терминалов / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, В. Н. Щербакова-Слюсаренко // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2017. – Т. 9, № 5. – С. 909–924. – DOI 10.21821/2309-5180-2017-9-5-909-924.

142 Модуль оперативной корректировки назначений плана формирования поездов / А. Т. Осьминин, И. И. Осьминина, А. П. Бадецкий, О. А. Медведь // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2016) : труды Пятой международной научно-технической конференции. – Москва, 2016. – С. 86–89. – EDN XXASAZ.

143 **Осьминин, А. Т.** Многоагентная система расчета адаптивного плана формирования поездов / А. Т. Осьминин, А. П. Бадецкий // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2015) : труды Четвертой научно-

технической конференции с международным участием. – Москва, 2015. – С. 61–65. – EDN BFBKNK.

144 **Бадецкий, А. П.** Метод адаптации плана формирования поездов к суточной неравномерности вагонопотоков : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.22.08 / Бадецкий Александр Петрович. – Санкт-Петербург, 2013. – 16 с.

145 **Кабанов, А. В.** Переход на автоматическое согласование заявок на перевозки / А. В. Кабанов, А. Т. Осьминин // Железнодорожный транспорт. – 2023. – № 5. – С. 4–11. – ISSN 0044-4448.

146 **Осьминин, А. Т.** О разработке интеллектуальной системы управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте / А. Т. Осьминин // Наука 1520 ВНИИЖТ: Загляни за горизонт : сборник материалов научно-практической конференции АО «ВНИИЖТ». – Щербинка, 2021. – С. 139–147. – ISBN 978-5-6040531-9-5.

147 **Осьминин, А. Т.** Оптимизация порожних вагонопотоков в современных условиях / А. Т. Осьминин, Д. М. Вербов, А. А. Шатохин // Железнодорожный транспорт. – 2022. – № 4. – С. 4–11. – ISSN 0044-4448.

148 Перспективы исследований транспортно-технологических параметров узловых пунктов концентрации и распределения припортовых вагонопотоков / В. М. Задорожний, О. Н. Числов, М. В. Колесников, М. В. Бакалов, А. О. Полунина // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 1 (85). – С. 72–81. – DOI 10.46973/0201-727X_2022_1_72.

149 **Козлов, П. А.** Модель оптимизации управления парками вагонов разных собственников / П. А. Козлов, И. П. Владимирская, Н. А. Тушин // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2010. – № 3 (39). – С. 93–98. – ISSN 0201-727X.

150 Вариант решения задачи об оптимизации распределения порожних вагонопотоков в припортовых транспортных системах / О. Н. Числов, В. А. горизонт, В. М. Задорожний, Т. В. Богачев // Современные проблемы проектирования, применения и безопасности информационных систем. :

материалы XVII Межрегиональной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону : РГЭУ (РИНХ), 2017. – С. 146–152. – ISBN 978-5-7972-2333-7.

151 **Югина, О. П.** Особенности работы железнодорожного полигона с порожним вагонопотоком / О. П. Югина, Л. С. Жарикова // Транспорт Урала. – 2022. – № 1 (72). – С. 24–29. – DOI 10.20291/1815-9400-2022-1-24-29.

152 Распределение вагонопотоков операторской компании в припортовых транспортных узлах методом экономико-географического разграничения / О. Н. Числов, В. А. Богачев, В. М. Задорожний, Т. В. Богачев // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2016. – Т. 13, № 3 (48). – С. 302–313. – ISSN 1815-588X.

153 **Бородина, Е. В.** Разработка рациональной системы обслуживания портовых комплексов железнодорожным транспортом в припортовых железнодорожных узлах / Е. В. Бородина, Е. С. Прокофьева, С. Е. Бадамбаева // Наука и техника транспорта. – 2020. – № 1. – С. 52–59. – ISSN 2074-9325.

154 **Осьминин, А. Т.** Развитие информационной логистики организации подвода грузов к южным портам / А. Т. Осьминин, А. В. Волков, Д. Г. Кучинский // Транспорт и логистика: стратегические приоритеты, технологические платформы и решения в глобализованной цифровой экономике : сборник научных трудов III Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2019. – С. 288–291. – ISBN 978-5-88814-817-4 : 510 экз.

155 **Тушин, Н. А.** Построение систем «автодиспетчер» для управления подводом массовых грузов крупным потребителям : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.22.08 / Тушин Николай Андреевич. – Екатеринбург, 2004. – 24 с.

156 **Чеботарева, Е. А.** Развитие системы планирования и организации железнодорожных перевозок в адрес морских портов / Е. А. Чеботарева, В. В. Чеботарев // Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития : материалы Международной научно-практической конференции. – Одесса, 2013. – с. 69-75.

157 **Gooley, T. B.** The Geography of Logistics / T. B. Gooley // Logistics Management and Distribution Report. – 1998 (Jan.). – P. 63–65.

158 **Richardson, H. L.** Select the Best Port for Your Needs / H. L. Richardson. – Transportation & Distribution. – 1991. – Vol. 32 (10). – P. 79–81.

159 **Robinson, A. E.** Inland Ports and Supply Chain Management International Business Association's / A. E. Robinson // Eighth Annual Conference: On Global Perspectives. – Cancun, Mexico, 1999.

160 **Farzadmehr, M.** AI-powered solutions assessment in port and maritime sector / M. Farzadmehr. – Antwerp, Belgium, 2025. – 191 p.

161 **Поттгофф, Г.** Теория транспортных потоков / Г. Поттгофф. – Берлин, 1962. – 343 с.

162 **Белов, И. В.** Моделирование экономических процессов на железнодорожном транспорте / И. В. Белов, А. Б. Каплан, А. М. Макаровичкин ; под редакцией И. В. Белова, А. М. Макаровичкина. – Москва : Транспорт. 1977. – 246 с.

163 **Задорожний, В. М.** Развитие методов распределения порожних вагонопотоков припортовой транспортно-технологической системы в конкурентных условиях : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.22.01 / Задорожний Вячеслав Михайлович. – Ростов-на-Дону, РГУПС, 2018. – 229 с.

164 **Числов, О. Н.** Пример моделирования взаимодействия видов транспорта в Новороссийском узле / О. Н. Числов, Н. М. Луганченко // Тихомировские чтения: наука и современная практика технологии перевозочного процесса : материалы Международной научно-практической конференции. – Гомель, 2023. – С. 318–321. – ISBN 978-985-891-116-4.

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

166 **Моеренкова, Е. С.** Технология искусственного интеллекта как актуальный тренд развития железнодорожного транспорта / Е. С. Моеренкова,

А. П. Бадецкий // Актуальные вопросы инженерного предпринимательства в условиях Индустрии 4.0. : сборник трудов студенческой научно-практической конференции с международным участием / под редакцией М. А. Дроздовой, О. Д. Покровской. – Москва, 2023. – С. 266–274. – DOI 10.29039/02120-0.

167 **Бутыркин, А. Я.** Использование предиктивной аналитики в процессах моделирования и машинного обучения на транспорте / А.Я. Бутыркин, В.А. Гелис, Е.Б. Куликова // Железнодорожный транспорт. – 2021. – № 11. – С. 50–54. – ISSN 0044-4448.

168 **Воробьев, Е. А.** Проблемы машинного обучения / Е. А. Воробьев, В. Н. Шмаль. – Текст: электронный // Дневник науки. Электронный научный журнал. – 2021. – № 5 (53). – URL: https://dnevniknauki.ru/images/publications/2021/5/technics/Vorobyev_Shmal.pdf (дата обращения: 04.06.2025).

169 Развитие архитектуры интеллектуальных транспортных систем / Е. О. Андреев, С. В. Жанказиев, В. В. Зырянов, А. С. Павлов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2024. – Т. 18, № 1. – С. 38–43. – DOI 10.36724/2072-8735-2024-18-1-38-43.

170 **Чеботарева Е.А.** Организация и функционирование припортовых транспортно-технологических систем в условиях изменения структуры и объемов перевозок / Е.А. Чеботарева // В сборнике: 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.

171 **Волкова, В. Н.** Теория систем и системный анализ : учебник для вузов / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. – 3-е изд. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 562 С. – ISBN 978-5-534-14945-6.

172 **Кузьминов, А. Н.** Методология ценологического анализа социально-экономических систем : монография / А. Н. Кузьминов. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2009. – 257 С. – ISBN 978-5-88814-250-9.

173 **Блауберг, И. В.** Системный подход / И. В. Блауберг, В. Н. Садовский, Э. Г. Юдин // Новая философская энциклопедия – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Мысль, 2010. – ISBN 978-5-244-01115-9.

174 **Котлер, Ф.** Стратегический менеджмент по Котлеру. Лучшие приемы и методы / Филип Котлер, Роланд Бергер, Нильс Бикхофф // The Quintessence of Strategic Management: What You Really Need to Know to Survive in Business. – Москва : Альпина Паблишер, 2012. – 144 с. – ISBN 978-5-9614-2213-9.

175 **Майсак, О. С.** SWOT-анализ: объект, факторы, стратегии. Проблема поиска связей между факторами / О. С. Майсак // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 1 (21). – С. 151–157. – ISSN 2074-1707.

176 **Горелова, Г. В.** Когнитивный подход к имитационному моделированию сложных систем / Г. В. Горелова // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 3. – С. 239–250. – ISSN 1999-9429.

177 **Числов, О. Н.** Вариант оценки этапности развития припортовых станций на направлениях южнороссийских транспортных коридоров / О. Н. Числов, Д. С. Безусов, С. Г. Заяц // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2014. – № 2. – С. 153–163. – ISSN 1818-5509.

178 **Алибеков, Б. И.** Перспективы цифровых технологий управления на железнодорожном транспорте / Б. И. Алибеков, Э. А. Мамаев // Транспорт: наука, образование, производство (Транспорт-2021) : сборник трудов Международной научно-практической конференции. Т. 4 : Технические и экономические науки. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2021. – С. 16–20. – ISBN 978-5-907295-43-8.

179 **Кузьминов, А. Н.** Алгоритм разработки ценологической эталонной модели в интеллектуальном анализе / А. Н. Кузьминов, Л. В. Сахарова, Н. В. Бухов // Информатизация в цифровой экономике. – 2023. – Т. 4. № 2. – С. 153-166.

180 **Бородин, А. Ф.** Проблемы комплексного развития железнодорожной инфраструктуры в припортовых транспортных узлах / А. Ф. Бородин // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2017. – № 4 (71). – С. 45–50. – ISSN 1994-831X.

181 Оценка воздействия изменения климата и климатических рисков в транспортных системах / Д. В. Капский, Н. А. Филиппова, Ю. В. Трофименко, С. В. Богданович, Ю. В. Буртыль. – Москва, 2023. – ISBN 978-5-94385-204-6.

182 **Домнина, О. Л.** Моделирование процессов распространения загрязнения при аварии сухогрузных судов / О. Л. Домнина, И. В. Липатов // Научные проблемы водного транспорта. – 2022. – № 71. – С. 239–252. – ISSN 2713-1858.

183 **Ивахнюк, С. Г.** Социальные проявления как триггеры возникновения чрезвычайных ситуаций и сценариев их взаимной трансформации / С. Г. Ивахнюк, С. В. Шарапов, Ю. Д. Моторыгин // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2024. – № 2 (70). – С. 60–73.

184 **Пластинин, А. Е.** Оценка размера вреда, причиненного почве, при разливах нефти с судов / А. Е. Пластинин // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2015. – № 3. – С. 74–83.

185 Анализ повышения транспортной безопасности и влияния на окружающую среду при реконструкции Байкало-Амурской железнодорожной магистрали / Д. С. Алтынов, Л. В. Дергачева, Т. А. Финоченко, И. А. Яицков // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – № 4. – С. 198–216.

186 **Финоченко, В. А.** Технологии защиты окружающей среды от воздействия железнодорожного транспорта / В. А. Финоченко, Т. А. Финоченко // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 1 (54). – С. 62–64. – ISSN 1818-5509.

187 **Зарифьян, А. А.** Перспективные направления развития экологически чистого тягового подвижного состава / А. А. Зарифьян // Транспорт: наука, образование, производство : сборник трудов Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону, 2021. – С. 198–201.

188 Обоснование новой методики прогноза экологических последствий техногенных чрезвычайных ситуаций (пожаров и взрывов) с опасными грузами на

железнодорожном транспорте / В. И. Медведев, С. А. Бессоненко, М. Е. Корягин, М. Д. Сурков // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 3 (70). – С. 40–48.

189 **Осинцев, Н. А.** Систематический обзор исследований в области зеленой и устойчивой логистики / Н. А. Осинцев, А. Н. Рахмангулов // Вестник Томского государственного университета. Экономика. – 2024. – № 68. – С. 7–39.

190 **Бородин, А. Ф.** Проблемы автоматизации решения задач использования и развития железнодорожной инфраструктуры и перевозочных ресурсов / А. Ф. Бородин // Бюллетень ученого совета АО «ИЭРТ». – 2016. – № 1. – С. 62–72.

191 **Трофименко, Ю. В.** Актуальные направления научных исследований в области «зеленых технологий» для транспорта / Ю. В. Трофименко // Химия и инженерная экология – XXIV : сборник трудов Международной научной конференции (школа молодых ученых), посвященной Году научно-технологического развития в Республике Татарстан. – Казань, 2024. – С. 4–8.

192 **Христофоров, А.М.** Совершенствование транспортной системы региона : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 08.00.05 / Христофоров Анатолий Михайлович. – Чебоксары, 2008. – 225 с.

193 **Францев, С. М.** Организационно-производственные структуры транспорта : учебное пособие / С. М. Францев. – Пенза : ПГУАС, 2016. – 116 с.

194 Россия. География транспорта. Морской транспорт [сайт]. – URL: <https://bigenc.ru/c/rossiia-geografiia-transporta-morskoi-transport-939cce> (дата обращения 05.06.2025).

195 **Серяпова, И. В.** Экономическая оценка задержек вагонов с экспортными грузами на подходах к морским портам: диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук : 08.00.05 / Серяпова Ирина Вениаминовна. – Москва, 2005. – 202 с.

196 О перспективах развития грузовой и коммерческой работы в Мурманском транспортном узле / А. Ю. Попадюк, Н. С. Комовкина, Д. А. Серикова, Н. Д. Саликова // Железнодорожный транспорт. – 2021. – № 6. – С. 26–32. – ISSN 0044-4448.

197 **Числов, О.Н.** Принципы формирования системы оценки показателей инфраструктуры транспортного узла / О.Н. Числов, Е.Е. Мизгирева, С.А. Колошин // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. – 2024. – № 1 (6). – С. 164-169.

198 **Числов, О. Н.** Принципы формирования комплексного критерия оценки структуры транспортного узла / О. Н. Числов, Е. Е. Мизгирева // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 1 (93). С. 122–131. – DOI 10.46973/0201-727X_2024_1_122.

199 **Костенко, В. В.** Прогнозирование грузовых перевозок припортового региона на основе анализа тенденций развития терминально-логистической инфраструктуры / В. В. Костенко, А. Г. Филиппов, А. Н. Иванков // Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах : сборник трудов в двух частях. – Санкт-Петербург, 2023. – С. 116–123.

200 Разработка методики определения границ полигонов управления перевозочным процессом с учетом принципов клиентоориентированности, а также технических, технологических, организационных, социальных и других факторов. Шифр 1.286 РТП, – Москва 2016. – 119 с.

201 **Осьминин, А. Т.** Научные подходы к расчету границ полигонов управления перевозочным процессом и реализации полигонных технологий / А.Т. Осьминин // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО РЖД. – 2017. – № 2. С. 42–56. – EDN ZEIGUL.

202 **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. – ISSN 0201-727X.

203 **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. – ISSN 0201-727X.

204 **Чеботарева, Е. А.** Развитие полигонных принципов управления перевозочным процессом на железнодорожных направлениях / Е. А. Чеботарева // Транспорт: наука, образование, производство (Транспорт-2016): труды Международной научно-практической конференции. Т. 3: Технические науки. – Ростов-на-Дону: РГУПС, 2016. – С. 291–294. – ISBN 978-5-88814-447-3.

205 Концепция формирования полигонной модели управления экспортными перевозками в адрес портов Азово-Черноморского бассейна в условиях роста грузопотоков / Е. А. Чеботарева, В. Н. Зубков, В. Н. Погорелов, И. А. Солоп // East European Scientific Journal (Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe). – Warszawa, 2016. – № 3 (31). – С. 71–76.

206 **Чеботарева, Е. А.** Возможности внедрения укрупненных полигонных технологий на сети дорог ОАО «РЖД» / Е. А. Чеботарева, В. В. Чеботарев // Транспорт-2015: труды Международной научно-практической конференции, апрель 2015 г. В 4 ч. Ч. 1: Экономические и технические науки. – Ростов-на-Дону: РГУПС, 2015. – С. 38–39. – ISBN 978-5-88814-411-4.

207 **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. – ISSN 0044-4448.

208 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. – ISSN 0201-727X.

209 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. – ISSN 2072-8689.

210 **Козлов, П. А.** Организационные подходы и модели оптимизации / П. А. Козлов, О. В. Осокин, Н. А. Тушин // Мир транспорта. – 2011. – Т. 9. № 5 (38). – С. 18–23. – ISSN 1992-3252.

211 Анализ и меры по сокращению оборота вагона на Северо-Кавказской железной дороге / В. Н. Зубков, Н. Н. Мусиенко, О. А. Ворон, И. Д. Долгий // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 2 (90). – С. 197–205. – ISSN 0201-727X.

212 **Чеботарева, Е. А.** Анализ рынка грузовых перевозок с учетом приоритетных сегментов операционной деятельности железнодорожного транспорта / Е. А. Чеботарева // Транспорт и логистика: стратегические приоритеты, технологические платформы и решения в глобализованной цифровой экономике : сборник трудов III Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2019. – С. 452–456. – EDN RMPVWU.

213 **Роменский, Д. Ю.** Перспективы перераспределения экспортных грузопотоков между железнодорожным и речным транспортом на восточном полигоне / Д. Ю. Роменский, К. А. Калинин, М. В. Роменская // Логистика – евразийский мост : материалы XVI Международной научно-практической конференции. – Красноярск, 2021. – С. 154–158.

214 Исследование факторов восстановления грузовых речных перевозок на единой глубоководной системе России / С. В. Железнов, И. В. Липатов, А. А. Лисин, Ю. Н. Уртминцев // Научные проблемы водного транспорта. – 2021. – № 69. – С. 197–208. – DOI 10.37890/jwt.vi69.22.

215 Оценка баланса провозной способности полигонов сети железных дорог / А. Ф. Бородин, В. В. Панин, М. А. Агеева, А. Ю. Соколов, С. Ю. Кириллова, Е. О. Дмитриев, А. А. Кравченко // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2022. – Т. 81, № 2. – С. 158–169. – DOI 10.21780/2223-9731-2022-81-2-158-169.

216 **Зубков, В. Н.** Совершенствование организации и управления перевозками на припортовых железных дорогах / В. Н. Зубков, А. Г. Черняев,

Е. А. Чеботарева // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2011. – № 2. – С. 33–39. – ISSN 1818-5509.

217 **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. – DOI 10.46973/0201-727X_2022_1_108.

218 **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. – ISSN 0044-4448.

219 **Бородин, А. Ф.** Комплексные решения проблем развития инфраструктуры и перевозочных ресурсов / А. Ф. Бородин // Мир транспорта. – 2017. – Т. 15, № 1 (68). – С. 6–17. – ISSN 1992-3252.

220 **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. – DOI 10.36535/0236-1914-2022-01-5.

221 **Сирина, Н. Ф.** Анализ влияния внешних и внутренней систем на пропускную способность участков железных дорог восточного полигона / Н. Ф. Сирина, А. Г. Сахаров // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 1 (89). – С. 119–125. – DOI 10.46973/0201-727X_2023_1_119.

222 **Дмитренко, А. В.** Оценка влияния веса и длины грузовых поездов на пропускную и провозную способности горловин приема сортировочных станций / А. В. Дмитренко, Н. Б. Попова, Ю. В. Голень // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 4 (55). – С. 57–64.

223 **Сирина, Н. Ф.** Выбор оптимального варианта формирования и регулирования соединенных поездов / Н. Ф. Сирина, П. Е. Раевская // Вестник

Уральского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 1 (61). – С. 53–61. – DOI 10.20291/2079-0392-2024-1-53-61.

224 Этапы развития вождения соединенных поездов и поездов повышенной массы и длины / В. В. Зубков, Н. Ф. Сирина, П. Е. Раевская, Н. В. Раевский // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 1 (89). – С. 76–85. – DOI 10.46973/0201-727X_2023_1_76.

225 **Goverde, R. M. P.** Railway line capacity consumption of different railway signalling systems under scheduled and disturbed conditions / R. M. P. Goverde, F. Corman, A. D'Ariano // Journal of Rail Transport Planning & Management. – August 2013. – Vol. 3, Iss. 3. – P. 78–94. – DOI 10.1016/j.jrtpm.2013.12.001 6.

226 **Ljubaj, I.** The Possibility of Utilising Maximum Capacity of the Double-Track Railway by Using Innovative Traffic / I. Ljubaj, T. J. Mlinarić // Organisation Transportation Research Procedia. – 2019. – Vol. 40. – P. 346–353. – DOI 10.1016/j.trpro.2019.07.051.

227 **Wang, X.** Robust optimal predictive control of heavy haul train under imperfect communication / Xi Wang, Shukai Li, Tao Tang // ISA Transactions. – August 2019. – Vol. 91. – P. 52–65. – DOI 10.1016/j.isatra.2019.01.029 9.

228 Establishing Line Throughput with Regard to the Operation of Longer / J. Siroky, P. Siroka, M. Vojtek, R. Divoky // Trains Transportation Research Procedia. – 2021. – Vol. 53. – P. 80–90. – DOI 10.1016/j.trpro.2021.02.011.

229 **Kendra, M.** Changes of the Infrastructure and Operation Parameters of a Railway Line and Their Impact to the Track Capacity and the Volume of Transported Goods / M. Kendra, M. Babin, D. Barta // Procedia – Social and Behavioral Sciences. – 2012. – Vol. 48. – P. 743–752. – DOI 10.1016/j.sbspro.2012.06.1052 11.

230 **Odolinski, K.** Railway line capacity utilisation and its impact on maintenance costs / K. Odolinski, H. Boysen // Journal of Rail Transport Planning & Management. – May 2019. – Vol. 9. – P. 22–33, – DOI 10.1016/j.jrtpm.2018.12.001 12.

231 **Pascariu, B.** Railway freight node capacity evaluation: a timetable-saturation approach and its application to the Novara freight terminal / B. Pascariu, N.

Coviello, A. D'Ariano // *Transportation Research Procedia*. – 2021. – Vol. 52. – P. 155–162. – DOI 10.1016/j.trpro.2021.01.017 13.

232 Extending UIC 406-based capacity analysis – New approaches for railway nodes and network effects / N. Weik, J. Warg, I. Johansson, M. Bohlin, N. Nießen // *Journal of Rail Transport Planning & Management*. – September 2020. – Vol. 15. – DOI 10.1016/j.jrtpm.2020.100199 14.

233 **Jensen, L. W.** Determination of infrastructure capacity in railway networks without the need for a fixed timetable *Transportation Research* / L. W. Jensen, M. Schmidt, O. A. Nielsen // *Part C: Emerging Technologies*. – 2020. – Vol. 119. – Article no. 102751. – DOI 10.1016/j.trc.2020.102751 15.

234 **Rosell, F.** A model that assesses proposals for infrastructure improvement and capacity expansion on a mixed railway network / F. Rosell, E. Codina // *Transportation Research Procedia*. – 2020. – Vol. 47. – P. 441–448. – DOI 10.1016/j.trpro.2020.03.119 16.

235 Capacity Assessment in Railway Networks / R. Borndörfer, T. Klug, L. Lamorgese, C. Mannino, M. S. T. Reuther // *Handbook of Optimization in the Railway Industry. International Series in Operations Research & Management Science*. – Springer, Cham, 2018. – Vol. 268. – P. 25–45. – DOI 10.1007/978-3-319-72153-8_2. 17.

236 **Burdett, R. L.** Optimisation models for expanding a railway's theoretical capacity / R. L. Burdett // *European Journal of Operational Research*. – 2016. – Vol. 251. – P. 783–797. – DOI 10.1016/j.ejor.2015.12.033.

237 **Cansu, U. Ö.** Influence of Signalling Systems on the Capacity of Railways by Lines and Nodes Assessment Methods / U. Ö. Cansu, K. Stefano // *Transportation Research Procedia*. – 2023. – Vol. 69. – P. 321–327.

238 Improving single-track railway line capacity using extended station switch point area / J. Bulíček, P. Nachtigall, J. Šíroký, E. Tischer // *Journal of Rail Transport Planning & Management*. – 2022. – Vol. 24. – Article no. 100354. – DOI 10.1016/j.jrtpm.2022.100354

239 **Jensen, L. W.** Determination of infrastructure capacity in railway networks without the need for a fixed timetable / L. W. Jensen, M. Schmidt, O. A. Nielsen //

Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2020. – Vol. 119. – Article no. 102751. – ISSN 0968-090X.

240 **Kozan, E.** A railway capacity determination model and rail access charging methodologies / E. Kozan, R. L. Burdett // Transportation Planning and Technology. – 2005. – Vol. 28, No. 1. – DOI 10.1080/0308106052000340378.

241 Методика увеличения пропускной способности линии при росте объема перевозок / Г. М. Грошев, А. В. Сугоровский, А. А. Грачев, А. С. Аль-Шумари, Ж. Я. Абдуллаев // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2019. – № 5 (84). – С. 26–29. – ISSN 1994-831X.

242 **Батурин, А. П.** Современные системы интервального регулирования движения поездов железных дорог мира / А. П. Батурин, А. П. Осипов // Мир транспорта. – 2023. – Т. 21, № 2 (105). – С. 18–26. – ISSN 1992-3252.

243 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.

244 Комплексное развитие полигонов железнодорожной сети на основе инновационных технико-технологических решений / А. Ф. Бородин, Г. Г. Горбунов, С. А. Зинченко [и др.] // Наука 1520 ВНИИЖТ: Загляни за горизонт : сборник материалов научно-практической конференции АО «ВНИИЖТ». – Щербинка, 2021. – С. 28–37. – ISBN 978-5-6040531-9-5.

245 **Батурин, А. П.** Принципы формирования и технология организации движения в условиях применения подвижного блок-участка с АЛСН / А. П. Батурин, А. П. Осипов // Кочневские чтения – 2023: современная теория и практика эксплуатационной работы железных дорог : труды II Международной научно-практической конференции. – Москва, 2023. – С. 72–75.

246 **Батурин, А. П.** Проблемы оценки эффективности системы автоблокировки с подвижными блок-участками в части определения станционных и межпоездных интервалов / А. П. Батурин, А. П. Осипов // Академик Владимир

Николаевич Образцов – основоположник транспортной науки : труды Международной научно-практической конференции, посвященной 125-летию университета. – Москва : РУТ, 2021. – С. 309–315. – DOI 10.47581/2022/Obrazcov.43

247 **Мишарин, А. С.** Оценка перспективы сокращения межпоездных интервалов за счет применения новых технологий интервального регулирования / А. С. Мишарин, Н. Г. Шабалин, С. В. Бушуев // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2024. – № 2 (111). – С. 11–17. – ISSN 1994-831X.

248 **Бессоненко, С. А.** Оценка эффективности интервального регулирования движения поездов / С. А. Бессоненко, Е. В. Климова, Н. И. Осипов // Транспорт Урала. – 2023. – № 3 (78). – С. 35–45. – DOI 10.20291/1815-9400-2023-3-35-45.

249 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. – ISSN 1992-3252.

250 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.

251 Принципы построения и модели системы автоматического управления вторым локомотивом при виртуальной сцепке / Л. А. Баранов, П. Ф. Бестемьянов, Е. П. Балакина, О. Е. Пудовиков // Автоматика на транспорте. – 2022. – Т. 8, № 4. – С. 377–388.

252 **Панк, Р. В.** Оценка эффективности интервального регулирования движения поездов / Р. В. Панк // Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта. – 2023. – № 1 (8). – С. 11–17.

253 **Бушуев, С. В.** Технические решения повышения пропускной способности станции при использовании технологии виртуальной сцепки / С. В. Бушуев, Н. С. Голочалов // Транспорт Урала. – 2023. – № 3 (78). – С. 46–55.

254 **Бушуев, С. В.** Повышение пропускной способности участка железной дороги с применением технологии виртуальной сцепки / С. В. Бушуев, К. В. Гундырев, Н. С. Голочалов // Автоматика на транспорте. – 2021. – Т. 7, № 1. – С. 1–20.

255 **Куренков, П. В.** Подвижные блоки-участки и виртуальные сцепки как инновационные составляющие / П. В. Куренков, И. А. Солоп, Е. А. Чеботарева // Логистика. – 2021. – № 1. – С. 4–8.

256 **Бушуев, С. В.** О методах повышения провозной и пропускной способности участков железных дорог / С. В. Бушуев // Инновационный транспорт. – 2024. – № 4 (54). – С. 71–75. – DOI 10.20291/2311-164X-2024-4-71-75.

257 **Колокольников, В. С.** Влияние структуры поездопотока на пропускную способность станции и перегонов / В. С. Колокольников, Т. А. Фалалеева // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 1 (93). – С. 79–89. – DOI 10.46973/0201–727X_2023_4_79.

258 **Иванов-Толмачев, И. А.** Будущее железнодорожной сети на направлении Центр – Юг / И. А. Иванов-Толмачев, К. С. Яникеев / Фёдор Петрович Кочнев – выдающийся организатор транспортного образования и науки в России : труды Международной научно-практической конференции. – Москва, 2021. – С. 111–116. – ISBN 978-5-907420-53-3.

259 **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. – ISSN 0044-4448.

260 **Zubkov, V. N.** Capacity and Traffic Management on a Heavy-Traffic Railway Line / V. N. Zubkov, E.V. Ryazanova, E.A. Chebotareva [et al.]. // Advances in Intelligent Systems and Computing : TransSiberia: VIII International Scientific Siberian Transport Forum, May 22-27, 2019, Novosibirsk, Russia. – 2020. – Т. 1116 AISC, Vol. 2. – P 934-949. DOI 10.1007/978-3-030-37919-3_92.

261 **Zubkov, V. N.** 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.

262 **Бородин, А. Ф.** Использование ресурсов железнодорожной сети: результативность планирования и управления / А. Ф. Бородин, Р. В. Шиндеров, Р. Г. Строченков // Транспорт Урала. – 2024. – № 3 (82). – С. 3–10.

263 **Козлов, П. А.** Транспортные системы: теория, моделирование, расчет, оптимизация / П. А. Козлов. – Москва : Открытые системы, 2022. – 324 с.

264 Эффективные параметры оперативного планирования и диспетчерского управления поездной работой / А. Ф. Бородин, Т. А. Громова, Е. А. Алексевнин, Р. Т. Мерзликин // Железнодорожный транспорт. – 2023. – № 9. С. 10–18. – ISSN 0044-4448.

265 **Кравченко, А. А.** Методы обеспечения перевозочных возможностей транспортной инфраструктуры на основе оценки маневренности подразделений железнодорожной сети : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 2.9.4 / Кравченко Артем Андреевич. – Екатеринбург, 2024. – 160 с.

266 Расчет возможностей железнодорожной инфраструктуры для пропуска объемов перевозок грузов и порожних вагонов / А. Ф. Бородин, Е. А. Лаханкин, А. А. Кравченко, С. В. Рыбаков [и др.] // Логистика и управление цепями поставок. – 2024. – Т. 21, № 2 (111). – С. 47–60.

267 **Левин, Д. Ю.** Теория оперативного управления перевозочным процессом : монография / Д. Ю. Левин. – Москва : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 625 с. – ISBN 978-5-89035-547-8.

268 Повышение и использование перевозочной мощности полигонов сети: эффективные стратегия и тактика / А. Ф. Бородин, В. В. Панин, Е. А. Лаханкин, А. Ю. Соколов, Е. О. Дмитриев, А. А. Кравченко // Железнодорожный транспорт. – 2022. – № 7. – С. 8–16. – ISSN 0044-4448.

269 **Бородин, А. Ф.** О методических принципах организации взаимодействия железнодорожных направлений и узлов / А. Ф. Бородин //

Тихомировские чтения: Синергия технологии перевозочного процесса : материалы Международной научно-практической конференции / под общей редакцией А. А. Ерофеева. – Гомель, 2021. – С. 34–38.

270 **Долгий, А. И.** Интеллектуальный мониторинг перевозочных процессов на основе динамического метода главных компонент / А. И. Долгий, С. М. Ковалев, А. Н. Гуда // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 2 (90). – С. 240–251. – DOI 10.46973/0201-727X_2023_2_240.

271 О предиктивной бизнес-модели железнодорожных перевозок ОАО «РЖД» / А. Ф. Бородин, В. В. Панин, Е. А. Лаханкин, Е. В. Панин, Р. Ф. Сайбаталов // Бюллетень ученого совета АО «ИЭРТ». – 2020. – № 5. – С. 5–14.

272 **Пленкин, С. А.** Разработка методики перераспределения вагонопотоков (на примере Северо-Западного полигона) / С. А. Пленкин, А. В. Новичихин // Бюллетень результатов научных исследований. – 2023. – № 3. – С. 73–84. – DOI 10.20295/2223-9987-2023-3-73-84.

273 **Серова, Д. С.** Мероприятия по снижению последствий отставления поездов от движения / Д. С. Серова, Е. Н. Тимухина, Т. Н. Каликина // Транспорт Урала. – 2024. – № 1 (80). – С. 61–66.

274 **Аношкин, К. В.** Анализ задержанных грузовых поездов в пути следования на припортовые станции Северо-Кавказской железной дороги и меры по снижению их числа / К. В. Аношкин, В. Н. Зубков, Н. Н. Мусиенко // Транспорт: наука, образование, производство (Транспорт-2021): сборник трудов Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2023. – С. 113–117. – ISBN 978-5-907295-43-8.

275 **Тимухина, Е. Н.** Анализ причин отставления от движения грузовых поездов на полигоне Свердловской железной дороги / Е. Н. Тимухина, Н. В. Кашеева, М. М. Аманов // Инновационный транспорт. – 2023. – № 1 (47). – С. 82–84. – DOI 10.20291/2311-164X-2023-1-82-84.

276 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.

277 Единый технологический процесс на транспорте / В. И. Образцов, И. К. Кичигин, П. И. Лисевич, В. Р. Лифанов, Д. П. Марек – Москва – Ленинград : АН СССР, 1944. – 76 с.

278 Постановление ЦК КПСС. О трудовом содружестве коллективов моряков, железнодорожников, автомобилистов и речников в Ленинградском транспортном узле (извлечение). 21 марта 1978 г. // Электронная библиотека исторических документов (ЭБИД) [сайт]. – URL: <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/446653> (дата обращения: 05.06.2025).

279 **Елисеев, С. Ю.** Построение и оптимизация функционирования международных транспортно-логистических систем : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук : 05.02.22 / Елисеев Сергей Юрьевич. – Москва, 2006. – 293 с.

280 **Суходольцев, П. А.** Особенности организации взаимодействия железнодорожного и морского транспорта на примере порта Гамбург / П. А. Суходольцев, П. К. Рыбин // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы : сборник трудов LXXIV Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Санкт-Петербург, 2014. – С. 186–188.

281 **Телегина, В. А.** Взаимодействие видов транспорта при грузовых перевозках / В. А. Телегина. – Хабаровск : ДВГУПС, 2013. – 90 с.

282 Особенности технологии работы станций примыкания и путей необщего пользования в едином технологическом процессе / С. П. Вакуленко, Н. П. Журавлев, А. А. Сидраков, М. Ю. Савельев // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. – 2022. – № 1 (4). – С. 52–55.

283 **Вакуленко, С. П.** Совершенствование взаимодействия грузоотправителя и перевозчика в морских портах / С. П. Вакуленко, Н. П. Журавлев, А. А. Сидраков // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. 2020. № 1 (2). С. 20-29.

284 **Куренков, П.В.** Перспективы развития железнодорожного транспорта в условиях проблем глобализации и регионализации мировой экономики / П.В. Куренков, И.А. Солоп, Е.А. Чеботарева // Тенденции и перспективы развития финансов в условиях цифровизации: сборник трудов I Международной научно-практической интернет-конференции. – Донецк, 2024. – С. 219-223.

285 **Бакалов, М. В.** Ресурсоориентированное развитие транспортной системы Южного региона : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.22.01 / Бакалов Максим Владимирович. – Ростов-на-Дону, 2019. – 178 с.

286 **Краснощек, А. А.** Единый комплексный технологический процесс Усть-Лужского транспортного узла / А. А. Краснощек, А. Ф. Бородин, П. К. Рыбин // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 4. – С. 34–41.

287 **Бородина, Е. В.** Переработка вагонопотоков в припортовых железнодорожных узлах / Е. В. Бородина, А. Р. Демкина // Федор Петрович Кочнев – выдающийся организатор транспортного образования и науки в России : труды Международной научно-практической конференции. – Москва, 2021. – С. 66–71. – ISBN 978-5-907420-53-3.

288 **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.

289 Технология организации движения поездов на подходах к портам Азово-Черноморского бассейна. – Москва. 2022 [сайт]. – <http://iedt.ru/projects/289> (дата обращения: 06.06.2025)

290 Техничко-технологические модели управления перевозочным процессом / А. Ф. Бородин, В. В. Панин, Е. С. Максимова, Е. А. Лаханкин // Железнодорожный транспорт. – 2021. – № 7. – С. 23–27. – ISSN 0044-4448.

291 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.

292 **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.

293 **Зубков, В. Н.** Резерв увеличения пропускной способности / В. Н. Зубков, А. Г. Черняев, Е. А. Чеботарева // Железнодорожный транспорт. – 2024. – № 6. – С. 10–13 – DOI 10.34925/EIP.2024.165.4.096.

294 Update criteria for selecting service providers for railway transportation enterprises / S. P. Vakulenko, V. L. Belozero, 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.

295 **Прокофьев, М. Н.** Совершенствование технологии ускоренных грузовых перевозок железнодорожным транспортом : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.22.08 / Прокофьев Михаил Николаевич. – Москва, 2018. – 24 с.

296 **Лесникова, Е. Е.** Грузовой «шаттл» как способ повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта при перевозке грузов на небольшие расстояния / Е. Е. Лесникова, Е. М. Бондаренко // Исследование и развитие рельсового и автомобильного транспорта : сборник трудов Международной научно-практической конференции. – Екатеринбург, 2024. – С. 171–173.

297 **Псеровская, Е. Д.** Повышение эффективности услуги по ускоренной доставке грузов в направлении Дальнего Востока / Е. Д. Псеровская, А. С. Ким, О.А. Кузьмина // Транспорт Урала. – 2019. – № 2 (61). – С. 32–37.

298 **Зубков, В. В.** Особенности формирования стратегии развития кластеров комплексной транспортной услуги / В. В. Зубков, Н. Ф. Сирина //

Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 3 (87). – С. 116–125. – DOI 10.46973/0201-727X_2022_3_116.

299 **Мамаев, Э. А.** 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.

300 **Чеботарева, Е. А.** Развитие логистического управления в транспортной системе на примере создания компании ОАО «РЖД-Логистика» / Е. А. Чеботарева // Транспорт-2011 : труды Всероссийской научно-практической конференции, май 2011 г. В 3 ч. Ч. 1 : Естественные и технические науки. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2011. – С. 283–285.

301 **Чеботарева, Е. А.** Перспективы преобразования ОАО «РЖД» в оператора комплексных логистических услуг / Е. А. Чеботарева, М. Ю. Скорченко // Транспорт-2014 : труды Международной научно-практической конференции, апрель 2014 г. В 4 ч. Ч. 1 : Технические и экономические науки. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2011. – С. 87–89.

302 **Верескун В. Д.** Развитие теоретических основ организационно-технологической надежности и повышения эффективности функционирования производственных объектов железнодорожного транспорта : дисертация на соискание ученой степени доктора технических наук : 05.02.22 / Верескун Владимир Дмитриевич. – Новосибирск, 2010. – 375 с.

303 Оценка выполнения сроков доставки грузов на юге России / П. В. Куренков, И. А. Солоп, Е. А. Чеботарева, В. Т. Волов // Экономика железных дорог. – 2023. – № 7. – С. 13–25.

304 **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.

305 **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. Научный информационный сборник. – 2023. – № 7. – С. 10–17.

306 **Рахмангулов, А.Н.** Имитационные модели в цифровых двойниках железнодорожных станций/ А. Н. Рахмангулов, П.Н. Мишкурлов, Д.В. Александрин // Академик Владимир Николаевич Образцов – основоположник транспортной науки : труды Международной научно-практической конференции, посвященной 125-летию университета. – Москва, 2021. – С. 574–582.

307 Грузовые перевозки. РЖД. Раскрытие информации. Инфраструктура. Форма 9г-8. 2022 год // ОАО «РЖД». [сайт]. – URL: https://company.rzd.ru/ru/9388/page/15689?text_search=&form_id=25&year=2022 (дата обращения: 05.06.2025).

308 Совершенствование системы планирования перевозок грузов в условиях цифровой трансформации ОАО «РЖД» (на примере КБШ и ДВЖД) / И. Г. Белозерова, А. Т. Осьминин, Н. С. Ошкина, С. В. Матченко // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – 2023. – № 3 (36). – С. 5–14.

309 **Апатцев, В. И.** Идеология интеллектуального управления сложными транспортными системами / В.И. Апатцев, М.Г. Лысиков, А.М. Ольшанский / Наука и техника транспорта. 2014. № 2. С. 62-64.

310 **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.

311 **Чебоксаров А. Н.** Основы теории надежности и диагностика : курс лекций / А. Н. Чебоксаров. – Омск : СибАДИ, 2012. –76 с.

312 **Абдуллаев, К. И. О.** Организационно-технологическая надежность строительства линейно-протяженных сооружений (на примере тоннелей метрополитена) : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.02.22 / Абдуллаев Касум Исрафил Оглы. – Москва, 2003. – 156 с.

313 Оценка организационно-технологической надежности процессов производства и сервиса АПК в условиях неопределенности. – Текст : электронный

// Современные проблемы науки и образования. Сетевое издание. – 2014. – № 6. – ISSN 2070-7428. – URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16965> (дата обращения: 05.06.2025).

314 **Квинт, М.Ю.** Оценка организационно-экономической надежности управленческих решений в путевом хозяйстве железнодорожного транспорта : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук : 08.00.05 / Квинт Марина Юрьевна. – Новосибирск, 2011. – 23 с.

315 **Верескун, В. Д.** Организационно-технологическая надежность и эффективность функционирования производственных объектов железнодорожного транспорта : монография / В. Д. Верескун. – Новосибирск : СГУПС, 2010. – 254 с. – ISBN 5-93461-425-8.

316 **Шепилова, Е. Г.** Методология и инструменты развития транспортных вузов : монография / Е. Г. Шепилова. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2017. – 219 с. – ISBN 978-5-88814-544-9.

317 ГОСТ Р 27.102-2021 Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения : национальный стандарт Российской Федерации : введен в действие с 01.01.2022. – Москва : Российский институт стандартизации, 2021. – 36 с.

318 **Новиков, Д. А.** Теория управления организационными системами / Д. А. Новиков. – 4-е изд., испр. и доп. – Москва : ЛЕНАНД, 2022. – 500 с. – ISBN 978-5-9710-9459-3.

319 **Козлов, П. А.** Повышение функциональной надежности транспортных систем / П. А. Козлов, Н. А. Тушин, М. А. Чернин // Наука и техника транспорта. – 2010. – № 2. – С. 72–75. – ISSN 2074-9325.

320 **Тимухина Е. Н.** Технологические сбои, проблемы расчета и обеспечения функциональной надежности железнодорожных станций / Е. Н. Тимухина // Транспорт: наука, техника, управление. – 2012. – № 1. – С. 29–32. – ISSN 0236-1914.

321 **Тимухина, Е. Н.** Повышение устойчивости взаимодействия производства и транспорта / Е. Н. Тимухина, Н. Е. Окулов // Транспорт Урала. – 2014. – № 2 (41). – С. 7–11.

322 **Тимухина, Е. Н.** Функциональная надежность – теоретические основы и принципы расчета / Е. Н. Тимухина, Н. В. Кашеева // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2012. – Т. 2, № 1. – С. 98–108.

323 **Бородин, А. Ф.** Управление эксплуатационной работой железнодорожных направлений / А. Ф. Бородин // Труды ВНИИАС. – Москва : ВНИИАС, 2006. – Вып. 6. – 320 с.

324 **Бородин, А. Ф.** Методы оценки показателей надежности в прикладных задачах управления перевозочным процессом / А. Ф. Бородин, К. Ю. Николаев, А. А. Сухов // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2019) : труды Восьмой научно-технической конференции. – 2019. – С. 110–114.

325 **Тимухина, Е. Н.** Повышение функциональной надежности железнодорожных станций при технологических сбоях : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук : 05.22.08 / Тимухина Елена Николаевна. – Екатеринбург : УрГУПС, 2012. – 45 с.

326 Указ Президента Российской Федерации от 07.07.2011 № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации». – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/33514> (дата обращения: 10.06.2025).

327 **Хорьков, С. А.** Ценозы, системы и их модели : монография / С. А. Хорьков, Ф. И. Маврикиди. – Ижевск : Издательский центр «Удмуртский университет», 2021. – 92 с.

328 **Горелова, Г. В.** Системный анализ и когнитивное моделирование в изучении сложных систем / Г. В. Горелова // XIV Всероссийское совещание по проблемам управления : сборник научных трудов. – Москва, 2024. – С. 3730–3734.

329 **Апатцев В. И.** Оценка уровня организации транспортного производства / В. И. Апатцев // Мир транспорта. – 2013. – Т. 11, № 3 (47). – С. 6–11. – ISSN 1992-3252.

330 **Лябах, Н. Н.** Системы массового обслуживания: развитие теории, методология моделирования и синтеза : монография / Н. Н. Лябах, М. А. Бутакова. – Ростов-на-Дону : ЮНЦ РАН, РГУПС, 2004. – 200 с. – ISBN 5-88814-147-X.

331 **Кудряшова, Э. Е.** Методы и модели проектирования информационных систем : монография / Э. Е. Кудряшова. – Москва : Академия естествознания, 2009. – 128 с. – ISBN 978-5-91327-071-9.

332 **Козлов, П. А.** Теоретические основы, организационные формы, методы оптимизации гибкой технологии транспортного обслуживания заводов черной металлургии : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук : 05.22.12 / Козлов Петр Алексеевич. – Липецк, 1986. – 390 с.

333 **Дорофеев, А. Н.** Реализация концепции «цифровых двойников» для управления транспортно-логистической компанией / А. Н. Дорофеев, В. М. Курганов // Автомобильные перевозки и транспортная логистика: теория и практика : сборник научных трудов кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте» (с международным участием) / под научной редакцией Е. Е. Витвицкого. – Омск, 2020. – С. 26–32. – ISBN 978-5-00113-160-1.

334 Проблемы создания цифровых двойников промышленных железнодорожных станций / А. Н. Рахмангулов, П. Н. Мишкурлов, О. Г. Мишанихин, Д. В. Александрин // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования : тезисы 80-й Международной научно-технической конференции. – Магнитогорск, 2022. – С. 27. – ISBN 978-5-9967-2464-2.

335 **Vereskun, V. D.** Modeling of Intuition in Human-Machine Decision-Making Complexes in the Management of Transport Systems / V. D. 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.

336 **Вумек, Дж. П.** Бережливое производство. Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании / Джеймс П. Вумек, Т. Даниел Джонс. – Москва : Альпина Паблишер, 2011. – ISBN 978-5-9614-1654-1.

337 **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. – ISSN 0201-727X

338 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. – ISSN 2072-8689

339 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. A. 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.

340 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.

341 Чеботарев В.В. Организация работы диспетчерского аппарата на направлениях с большой интенсивностью смешанного движения / В.В. Чеботарев // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2014. – №2. – С.153-142.

342 Методика определения оптимальных границ диспетчерских участков : утверждена Распоряжением ОАО «РЖД» от 02.03.2020 № 452/р. – URL: <http://railwaykanaries.ru/index.php?act=attach&type=post&id=28490> (дата обращения: 04.06.2025).

343 Collective Intelligence Formation of Transport Complexes Management Based on the Application of the Theory of Active Systems / N. Lyabakh, M. Kolesnikov, Y. Shapovalova, V. Shapovalov // Proceedings of the Fifth International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (IITI’21).

IITI 2021. Lecture Notes in Networks and Systems. – Springer, Cham., 2021. – Vol 330. – DOI 10.1007/978-3-030-87178-9_63.

344 **Юнг, К. Г.** Тэвистокские лекции. Аналитическая психология: ее теория и практика / К. Г. Юнг ; перевод с английского В. И. Менжулина. – Москва : АСТ, 2009. – 252 с.

345 **Vereskun, V. D.** Integrated Approach to Modeling the Objects of Complex Technical Systems / V. D. Vereskun, A. E. Kolodenkova, E. R. Muntyan // Lecture Notes in Networks and Systems : 5th International Scientific Conference on Intelligent Information Technologies for Industry, IITI 2021, Sochi, 30 September – 04 October 2021. – 2022. – Vol. 330. – P. 199–204. – DOI 10.1007/978-3-030-87178-9_20.

346 **Лябах, Н. Н.** Разработка интеллектуальной системы мониторинга технического состояния устройств и объектов сортировки составов и автомата советчика по их техническому обслуживанию / Н. Н. Лябах, Я. М. Гибнер // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2016): труды V Научно-практической конференции с международным участием. – Москва, 2016. – С. 173–175.

347 **Лябах, Н. Н.** Автомат-советчик прогнозируемого технического обслуживания подвижных объектов железнодорожного транспорта / Н. Н. Лябах, А. С. Сарьян // Транспорт: наука, техника, управление. – 2018. – № 8. – С. 12–15.

348 **Белов, Н. Н.** Компьютерное моделирование процессов интуиции / Н. Н. Белов // Перспективы развития информационных технологий. – 2010. – № 2. – С. 15–20.

349 **Попов, А. Ю.** Моделирование опыта с помощью сетей Байеса как метод исследования интуиции / А. Ю. Попов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Психология», выпуск 14. – 2011. – № 29. – С. 4–11. – ISSN 2071-3053.

350 **Комиссаров, Г. Г.** «Известное-неизвестное»: модели перехода границы и их компьютерный анализ : тезисы доклада / Г. Г. Комиссаров, Г. С. Авакянц, М. А. Мазо // Современная химическая физика : XII симпозиум. – Туапсе, 2000. – 93 с.

351 **Чеботарева, Е. А.** Когнитивное моделирование развития припортовых транспортно-технологических систем (ПТТС) / Е. А. Чеботарева // Транспортное дело России. – 2024. – № 5. – С. 184–189. – ISSN 2072-8689

352 **Kosko, B.** Fuzzy Thinking : the New Thinking of Fuzzy Logic / Bart Kosko New York : Hyperion, 1993. – 310 p. – ISBN 0-7868-8021-X.

353 **Atkin, R. H.** Polyhedral Dynamics and the Geometry of Systems / R.H. Atkin, J. Casti // RR-77 – International Institute for Applied Systems Analysis. – Laxenburg, Austria. – March, 1977.

354 **Горелова, Г. В.** Моделирование архитектуры и динамики геополитических регионов современного мира: когнитивный подход (зона «Черноморье – Кавказ – Каспий») : монография / Г. В. Горелова, В. Н. Рябцев. – Ростов-на-Дону, 2014. – 573 с.

355 **Нуреев, Р.** Теории развития: кейнсианские модели становления рыночной экономики / Р. Нуреев // Вопросы экономики. – 2000. – № 4. – С. 145–158. – ISSN 0042-8736. – EDN WEPHPB.

356 **Кузнецов, А. Л.** Соотношение общей, транспортной, порто-ориентированной и порто-центрированной логистики / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко // Порто-ориентированная логистика – 2018 : материалы 2-й Международной научно-практической конференции. 1–2 ноября 2018 г. – Санкт-Петербург : Изд-во ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова, 2018. – С. 6–16. – ISBN 978-5-9509-0330-4.

357 **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 ; ФГБОУ ВПО РГУПС. – Ростов-на-Дону : [б. и.], 2013. – 187 с. – ISBN 978-5-38814-351-3.

358 **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. – ISSN 0201-727X.

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

360 Анализ структуры поездопотоков и вагонопотоков, поступающих в адрес российских портов финского залива / П. К. Рыбин, Н. В. Ершиков, Н. С. Комовкина, Д. В. Путилина // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2018. – Т. 15, № 3. – С. 478–486. – ISSN 1815-588X.

361 **Ахмедов, Р. Р.** Особенности структуры вагонопотоков в портах на полигоне Октябрьской железной дороги / Р. Р. Ахмедов, П. К. Рыбин // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы : сборник трудов LXXIV Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2014. – С. 154–158. – EDN THGTCL.

362 **Зубков, В. Н.** Внедрение принципов lean-производства («бережливого производства») на припортовых железных дорогах / В. Н. Зубков, Е. А. Чеботарева // Транспорт-2011 : труды Всероссийской научно-практической конференции. В 3 ч. Ч. 1 : Естественные и технические науки. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2011. – С. 252–254. – EDN WDGSUH.

363 **Кабанов А. В.** Переход на автоматическое согласование заявок на перевозки / А. В. Кабанов, А. Т. Осьминин // Железнодорожный транспорт. – 2023. – № 5. – С. 4–11. – ISSN 0044-4448.

364 **Осьминин, А. Т.** О формировании требований к составляющим комплексной транспортной услуги / А. Т. Осьминин // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 6. – С. 4–13. – ISSN 0044-4448.

365 **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. – ISSN 0201-727X.

366 **Югина О. П.** О новой системе нормирования показателей использования железнодорожного подвижного состава / О. П. Югина, Л. С. Жарикова // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». – 2021. – № 3–4. – С. 45–56. – ISSN 2304-9642.

367 **Осьминин, А. Т.** Оптимизация порожних вагонопотоков в современных условиях / А. Т. Осьминин, Д. М. Вербов, А. А. Шатохин // Железнодорожный транспорт. – 2022. – № 4. – С. 4–11. – ISSN 0044-4448.

368 **Чеботарева, Е.А.** Современные задачи оптимизации режимов управления грузо- и вагонопотоками на полигонах припортовых железных дорог / Е.А. Чеботарева, В.А. Богачев // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию БелИИЖТа – БелГУТа. В 2 ч. Ч. 1. – Гомель, 2023. – С. 188-189. – ISBN 978-985-891-127-0.

369 **Кабанов, А. Б.** Научный подход к планированию железнодорожных грузовых перевозок / А. Б. Кабанов, А. Т. Осьминин // Железнодорожный транспорт. – 2022. – № 8. – С. 12–16. – ISSN 0044-4448.

370 Алгоритмы оптимизации процесса согласования заявок на перевозки грузов по сети российских железных дорог / А. Н. Баушев, В. С. Сафронов, А. Т. Осьминин, В. А. Садчикова // Вестник транспорта Поволжья. – 2022. – № 5 (95). – С. 52–66. – ISSN 1997-0722.

371 **Куренков, П.В.** Теоретические аспекты управления транспортным производством припортовых железных дорог / П.В. Куренков, Е.А. Чеботарева, В.А. Богачев, Т.В. Богачев // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2025. – № 5. – С. 32-39.

372 **Шипулин, А. В.** Методы моделирования бизнес-процессов транспортно-логистической компании / А. В. Шипулин, С. В. Высотский, Б. Е. Горохов // Инновационный транспорт. – 2024. – № 4 (54). – С. 18–26. – ISSN 2311-164X.

373 **Осьминин, А. Т.** Развитие системы организации вагонопотоков с учетом политики клиентоориентированности / А. Т. Осьминин // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО РЖД. – 2017. – № 5–6. – С. 27–39. – ISSN 2304-9642.

374 **Шапкин, И. Н.** Интеллектуальные системы в организации эксплуатационной работы / И. Н. Шапкин, А. Н. Вдовин // Железнодорожный транспорт. – 2023. – № 6. – С. 4–8. – ISSN 0044-4448.

375 **Аветикян, М. А.** Единый каталог услуг холдинга «РЖД» как ключевой элемент цифровой железной дороги / М. А. Аветикян, В. В. Цыганов, С. А. Савушкин // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 8. – С. 7–11. – ISSN 0044-4448.

376 **Верескун, В. Д.** Клиентоориентированное формирование и развитие комплексной транспортной услуги на железнодорожном транспорте / В. Д. Верескун, Э. А. Мамаев // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». – 2020. – № 3–4. – С. 22–30. – ISSN 2304-9642.

377 **Покровская, О. Д.** Принципы реализации комплексных транспортно-логистических услуг на железнодорожном транспорте и требования к ним / О. Д. Покровская // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2020. – Т. 17, № 3. – С. 288–303. – ISSN 1815-588X.

378 **Цыганов, В. В.** Каталог услуг в адаптивном организационном управлении транспортными структурами / В. В. Цыганов, С. А. Савушкин // Транспорт: наука, техника, управление. – 2017. – № 12. – С. 3–10. – ISSN 0236-1914.

379 **Цыганов, В. В.** Конструирование комплексной транспортной услуг / В. В. Цыганов, С. А. Савушкин, В. Г. Горбунов // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2018. – № 2 (6). – С. 60–65. – ISSN 2587-6309.

380 **Кужель, А. Л.** На основе полигонных технологий управления перевозочным процессом / А. Л. Кужель, И. Н. Шапкин, А. Н. Вдовин // Железнодорожный транспорт. – 2018. – № 6. – С. 8–11. – ISSN 0044-4448.

381 Организация перевозочного процесса на участке с интегрированной распределенной архитектурой системы управления для полигонных технологий / А. Б. Никитин, Н. А. Журавлева, А. А. Корниенко, И. В. Кушпиль, Д. В. Копытов // Автоматика на транспорте. – 2023. – Т. 9, № 4. – С. 333–341.

382 **Колокольников, В. С.** Структурно-функциональная оптимизация полигонов на сети железных дорог : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук : 05.22.08 / Колокольников Виталий Сергеевич. – Екатеринбург, 2021. – 36 с.

383 **Кужель, А. Л.** Эффективность продвижения вагонопотоков при переходе на полигонные технологии / А. Л. Кужель, И. Н. Шапкин, А. Н. Вдовин // Железнодорожный транспорт. – 2016. – № 8. – С. 4–10.

384 **Козлов, П. А.** От Кузбасса до Усть-Луги – единая модель / П. А. Козлов, И. О. Набойченко, В. Ю. Пермикин // Железнодорожный транспорт. 2016. № 3. С. 26-29. – ISSN 0044-4448.

385 Роль современных систем железнодорожной автоматики и телемеханики в развитии полигонных технологий управления движением поездов / А. Б. Никитин, С. В. Бушуев, К. В. Гундырев, Д. В. Копытов, И. В. Швырев // Железнодорожный транспорт и технологии : сборник трудов Международной научно-практической конференции. – Екатеринбург, 2024. – С. 128–133.

386 На основе логистической модели управления / А. Г. Черняев, В. Н. Зубков, Э. А. Мамаев, Е. А. Чеботарева // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 11. – С. 9–16. – ISSN 0044-4448.

387 **Чеботарева, Е. А.** Возможности внедрения укрупненных полигонных технологий на сети дорог ОАО «РЖД» / Е. А. Чеботарева, В. В. Чеботарев // Транспорт-2015 : труды Международной научно-практической конференции, апрель 2015 г. В 4 ч. Ч. 1 : Экономические и технические науки. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2015. – С. 38–39.

388 **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; РГУПС. – Ростов н/Д, 2008. – 262 с.

389 **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. – ISSN 0201-727X.

390 **Голубева, Е. В.** Совершенствование интермодальных перевозок в Южном регионе : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.22.01 / Голубева Екатерина Владимировна. – Ростов-на-Дону, 2005. – 232 с.

391 Научно-технический совет ОАО «РЖД» одобрил концепцию «Цифровой железной дороги» // ОАО «РЖД» [сайт]. – 30.11.2017. – URL: <https://www.rzd.ru/ru/9284/page/3102?id=56885> (дата обращения : 05.06.2025).

392 **Никифорова, Г. И.** Исследование информационного взаимодействия железнодорожного и морского транспорта в логистических цепях доставки груза / Г. И. Никифорова // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2022. – Т. 19, № 1. – С. 82–89. – DOI 10.20295/1815-588X-2022-19-1-82-89.

393 **Числов, Н. Н.** Проблемы развития станций, морских портов и подходов к ним в Азово-Черноморском бассейне / Н. Н. Числов, О. Н. Числов, В. Л. Люц // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2008. – № 1 (29). – С. 101–108. – ISSN 0201-727X.

394 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.

395 **Тимухина, Е. Н.** Использование имитационного моделирования для определения оптимальных параметров и элементов транспортной системы / Е. Н. Тимухина, А. А. Кощеев // Интеграция образовательной, научной и воспитательной деятельности в организациях общего и профессионального

образования : материалы IX Международной научно-практической конференции. – Екатеринбург : УрГУПС, 2007. – С. 222–224. – EDN YOJOPN.

396 Методы гибридной технологии имитационного моделирования при выборе вариантов реконструктивных мероприятий по развитию железнодорожных направлений и крупных узлов / А. Ф. Бородин, А. А. Кравченко, К. Ю. Николаев, А. С. Петров, А. А. Сухов, Е. Н. Тимухина, В. С. Колокольников // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2021) : труды XIV Международной конференции. – Москва, 2021. – С. 963–971. – DOI 10.25728/4783.2021.67.10.001.

397 **Козлов, П. А.** Об имитационном моделировании и имитационных системах / П. А. Козлов, В. С. Колокольников, Е. В. Копылова // Транспорт Урала. – 2019. – № 1 (60). – С. 3–6. – DOI 10.20291/1815-9400-2019-1-3-6.

398 **Ломаш, Д. А.** Автоматизация взаимодействия железной дороги и морского порта на основе мультиагентной оптимизации и имитационного моделирования : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.13.06, 05.22.01 / Ломаш Дмитрий Алексеевич. – Ростов-на-Дону, 2004. – 187 с.

399 **Dorigo, M.** The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents / M. Dorigo, V. Maniezzo, A. Colomi // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part B. – 1996. – Vol. 26, No. 1. – P. 29–41.

400 **Чеботарева, Е. А.** Прогнозирование поступления экспортных грузопотоков в адрес припортовых станций на основе использования имитационной модели / А. Г. Черняев, Д. А. Ломаш, Е. А. Чеботарева // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2012. – № 3. – С. 149–156.

401 **Зубков, В. Н.** Развитие технологии продвижения экспортных грузов на основе совершенствования системы управления поездопотоками в границах Южного региона / В. Н. Зубков, Е. А. Чеботарева // Транспорт: наука, образование, производство (Транспорт-2017) : сборник трудов Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2017. – С. 324–328. – ISBN 978-5-907295-66-7.

402 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.

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

404 **Мулен, Э.** Кооперативное принятие решений: Аксиомы и модели: пер. с англ./ Э. Мулен. – Москва : Мир, 1991. – 464 с.

405 **Арнольд, В. И.** «Жесткие» и «мягкие» математические модели / В. И. Арнольд. – 2-е изд. – Москва : МЦНМО, 2008. – 32 с. – ISBN 978-5-94057-427-9.

406 **Мозгрин, С. В.** Метод исчисления прогнозного времени следования порожних вагонов под погрузку с использованием дифференциальных уравнений первого порядка / С. В. Мозгрин, П. А. Минаков // Транспортное дело России. – 2023. – № 3. – С. 91-94. – ISSN 2072-8689.

407 **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. – DOI 10.20291/2079-0392-2023-4-4-12.

408 **Петровский И. Г.** Лекции по теории обыкновенных дифференциальных уравнений / И. Г. Петровский ; под редакцией А. Д. Мышкиса, О. А. Олейник. – Изд. 7-е, испр. – Москва : МГУ, 1984. – 296 с.

409 Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» : утверждена Распоряжением Правительства РФ от 28 июля 2017 г. № 1632-р. Текст : электронный // Гарант.ру. Информационно-правовой портал [сайт]. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71634878> (дата обращения: 05.06.2025).

410 Долгосрочная программа развития ОАО «РЖД» до 2025 года : утверждена Распоряжением Правительства РФ от 19.03.2019 № 466р. – Текст :

электронный // ГАРАНТ. Информационно-правовое обеспечение [сайт]. – URL: <https://base.garant.ru/72200764/?ysclid=mc4sequfr57892355> (дата обращения: 05.06.2025).

411 Анализ данных при планировании перевозок / О. Н. Ларин, Ц. Моононхуу, С. Баасан, А. Оюунгарав // Интеллектуальные транспортные системы : материалы II Международной научно-практической конференции. – Москва, 2023. – С. 238–242. – DOI 10.30932/9785002182794-2023-238-242.

412 **Розенберг, И. Н.** Человеко-машинные системы в транспортной сфере / И. Н. Розенберг, В. Я. Цветков // Наука и технологии железных дорог. – 2021. – Т. 5, № 3 (19). – С. 3–8. – eISSN 2587-5752.

413 **Пугачев, И. Н.** Совершенствование транспортной системы страны и ее регионов, посредством цифровой трансформации транспортной отрасли России / И. Н. Пугачев, А. В. Казарбин // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2023. – Т. 20, № 6 (94). – С. 762–772.

414 **Осьминин, А. Т.** Увеличение пропускных и провозных способностей за счет повышения эффективности перевозочного процесса и транспортного обслуживания / А. Т. Осьминин // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО РЖД. – 2018. – № 2. – С. 14–31.

415 **Башмаков, И. А.** Соединение логистики и умного производства / И. А. Башмаков, В. М. Гурьянов, А. С. Макоева // Логистические системы в глобальной экономике. – 2021. – № 11. – С. 72–75.

416 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.

417 DB Netz и InstaDeep: искусственный интеллект для системы диспетчерского управления. – Текст : электронный // Железные дороги мира. [сайт]. – 23.12.2022. – URL: <https://zdmira.com/news/db-netz-i-instadeep-iskusstvennyj-intellekt-dlya-sistemy-dispetcherskogo-upravleniya> (дата обращения: 05.06.2025).

418 **Космин, В. В.** Железные дороги Японии: научные исследования и разработки / В. В. Космин // Техник транспорта: образование и практика. – 2020. – № 1(4). – С. 339–344. – DOI 10.46684/2687-1033.2020.4.339-344.

419 **Ке, Q.** Research on Automatic Operation Control Algorithm of High Speed Train Based on Artificial Neural Network / Qian Ke, Yan Zhanga // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 677. – Article no. 042046. – DOI 10.1088/1757-899X/677/4/042046.

420 Towards AI-assisted twins for smart railways: preliminary guideline and reference architecture / L. De Donato, R. Dirnfeld, A. Somma [et al.] // Journal of Reliable Intelligent Environments. – 2023. – Vol. 9, No. 3. – P. 1–15. – DOI 10.1007/s40860-023-00208-6.

421 **Bao, L.** Review of digital twin for intelligent transportation system / L. Bao, Q. Wang, Y. Jiang // International conference on information control, electrical engineering and rail transit (ICEERT). 2021. – P. 309–310. – DOI 10.1109/ICEERT53919.2021.00064.

422 **Матюхин, В. Г.** О текущем состоянии проекта ИСУЖТ и реализации технологии интервального регулирования на его платформе / В. Г. Матюхин, В. И. Уманский, А. Б. Шабунин // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2019): труды Восьмой научно-технической конференции. – Москва, 2019. – С. 3–7. – EDN GJUQEW.

423 Российские разработчики научили нейросеть оптимизировать ж/д движение // РИА Новости [сайт]. – URL: <https://ria.ru/20220521/neyroset-1789873044.html?ysclid=luzil0d02j24939321> (дата обращения: 05.06.2025)

424 **Бадецкий, А. П.** Применение методов искусственного интеллекта для управления грузопотоками в мультимодальном сообщении / А. П. Бадецкий // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». – 2021. – № 1. – С. 38.

425 **Лондарь, В. А.** Модели принятия решений с применением инструментов искусственного интеллекта при планировании интермодальных

маршрутов / В. А. Лондарь, Н. Ю. Лахметкина // Логистика и управление цепями поставок. – 2024. – Т. 21, № 1 (110). – С. 52–61.

426 **Нейро-нечеткое моделирование транспортно-логистических процессов** / О. Н. Числов, Н. Н. Лябах, М. В. Бакалов, В. М. Задорожний, М. В. Колесников // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2022. – № 10. – С. 23–27. – DOI 10.36535/0236-1914-2022-10-4.

427 **Мамаев, Э. А.** Искусственный интеллект в реализации транспортно-логистических решений / Э. А. Мамаев, А. Н. Гуда // Транспорт и логистика: Технологии устойчивого развития : материалы VIII Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону, 2024. – С. 190–192.

428 **Третьяков, Г. М.** Применение технологий машинного обучения для автоматизации процессов планирования и управления грузовыми перевозками на железной дороге / Г. М. Третьяков, Н. Н. Мазько, А. В. Варламов // Современные наукоемкие технологии. – 2024. – № 4. – С. 88–100.

429 **Батурин, А. П.** Интеллектуальное управление работой станции / А. П. Батурин, А. С. Гершвальд // Мир транспорта. – 2012. – Т. 10, № 5 (43). – С. 80–85. – ISSN 1992-3252.

430 **Числов, О. Н.** Особенности нейросетевого моделирования инфраструктурно-технологического взаимодействия в транспортных узлах / О. Н. Числов // Транспорт: наука, образование, производство (Транспорт-2022) : сборник трудов Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2022. – С. 260–264. – ISBN 978-5-907295-66-7.

431 **Москвичев, О. В.** Использование нейронной сети для учета и анализа показателей работы транспортного предприятия / О. В. Москвичев, С. А. Леонова, Д. В. Васильев // Мир транспорта. – 2023. – Т. 21, № 2 (105). – С. 39–46. – ISSN 1992-3252.

432 **Бойчук, А. А.** Применение нейронных сетей для диагностики устройств контактной сети: современные подходы и перспективы / А. А. Бойчук, А. Г. Галкин // Инновационный транспорт. – 2024. – № 2 (52). – С. 10–12.

433 **Федотов, М. В.** О предрейсовом контроле локомотивов с использованием интеллектуального анализа данных / М. В. Федотов, Ю. В. Бабков, В. В. Грачев // Железнодорожный транспорт. – 2023. – № 6. – С. 25–29. – ISSN 0044-4448.

434 **Kontaxi, E.** Techniques and Methodologies for Railway Capacity Analysis: Comparative Studies and Integration Perspectives / E. Kontaxi, S. Ricci // 3rd International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis. RailZurich. – 2009. – P. 1051–1080.

435 **Браништов, С. А.** Методы оценки пропускной способности железных дорог. Ч. 2 : Параметрические модели, оптимизация, моделирование / С. А. Браништов, Д. А. Тумченко, А. М. Ширванян // Информационно-управляющие системы. – 2014. – № 6. – С. 68–74.

436 Методика определения пропускной и провозной способностей инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования : утверждена приказом Минтранса России от 18.07.2018 № 266. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_304639/ (дата обращения: 04.06.2025).

437 **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. – DOI 10.20295/1815-588X-2025-1-60-74.

438 Математическая модель действий поездного диспетчера при регулировании движения поездов / А. Б. Васильев, А. П. Бадецкий, А. В. Решина, Д. С. Румянцев // Вестник транспорта Поволжья. – 2014. – № 4 (46). – С. 81–86. – ISSN 1997-0722.

439 **Барричелли, Б. Р.** Обзор цифровых двойников: определения, характеристики, приложения и последствия проектирования / Б. Р. Барричелли, Э. Э. Казираги, Д. Фогли // IEEE Access. – 2019. – Vol. 7. – P. 167653–167671. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2953499>.

440 **Михайлов, Г. С.** Конкретизация технологий цифровых двойников и теней в грузовой и коммерческой работе на железнодорожном транспорте / Г. С. Михайлов, А. В. Новичихин // Исследование и развитие рельсового и автомобильного транспорта : сборник трудов Международной научно-практической конференции. – Екатеринбург, 2024. – С. 202–205.

441 **Тарасов, Е. М.** Анализ перспектив интеграции цифровых двойников на основе мониторинга состояния с использованием машинного обучения в аппаратуру железнодорожной инфраструктуры / Е. М. Тарасов, И. С. Бредун // Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте : материалы V Всероссийской научно-практической конференции. – Самара, 2023. – С. 12–14.

442 **Майоров, А. В.** Цифровые двойники и их экономически целесообразное использование в сфере логистики / А. В. Майоров, Н. Ю. Егорова // Техник транспорта: образование и практика. – 2024. – Т. 5, № 2. – С. 173–178. – DOI 10.46684/2687-1033.2024.2.173-178.

443 Имитационные модели в цифровых двойниках железнодорожных узлов / А. Н. Рахмангулов, С. Н. Корнилов, П. Н. Мишкурин, Д. В. Александрин // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 3 (55). – С. 43–59. – DOI 10.20291/2079-0392-2022-3-43-59.

444 **Розенберг, И. Н.** Разработка платформы цифровых двойников инфраструктурных объектов / И. Н. Розенберг, А. Н. Шабельников, И. А. Ольгейзер // Железнодорожный транспорт. – 2019. – № 9. – С. 26–29. – ISSN 0044-4448.

445 Цифровая железнодорожная станция – от концепции к реальному внедрению / В. Е. Андреев, А. И. Долгий, В. В. Кудюкин [и др.] // Автоматика, связь, информатика. – 2023. – № 9. – С. 2–6. – ISSN 3034-3194.

446 **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. – ISSN 2073-7432.

447 **Chebotareva, E. A.** Development of the concept of using digital twins of railway sections and neural network control of train traffic / E. A. Chebotareva // Scientific research of the SCO countries: synergy and integration : Proceedings of the International Conference. – Beijing, 2025. – С. 120–127.

448 Ерофеев А.А. Оценка влияния внедрения интеллектуальных систем на надежность системы управления перевозочным процессом /А.А. Ерофеев // Проблемы безопасности на транспорте сборник трудов XII Международной научно-практической конференции, посвященной 160-летию Белорусской железной дороги. – Гомель, 2022. – С. 20-25.

449 **Кукушкина, Я. В.** Деловые ролевые игры в профессиональной подготовке оперативно-диспетчерского персонала / Я. В. Кукушкина, И. Ю. Романова // В сборнике: III Бетанкуровский международный инженерный форум. Сборник трудов. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2021. – С. 231–234. – ISBN 978-5-7641-1708-9.

450 Использование системы «Эльбрус-учебный» для подготовки студентов по специальности «Эксплуатация железных дорог» / С. П. Вакуленко, М. И. Мехедов, Д. Ю. Роменский, К. А. Калинин, А. Д. Ершов // Железнодорожный транспорт. – 2023. – № 4. – С. 50–54. – ISSN 0044-4448.

451 **Бородина, Е. В.** Подготовка специалистов по управлению движением поездов с использованием современных тренажерных и программных комплексов / Е. В. Бородина, В. К. Сергиенко // Тенденции развития железнодорожного транспорта и управления перевозочным процессом : материалы Международной юбилейной научно-технической конференции, посвященной 95-летию кафедр «Железнодорожные станции и транспортные узлы», «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте». – Москва : РУТ, 2020. – С. 155–165. – ISBN 978-5-902928-59-1.

452 **Козлов П. А.** Интеллектуальный тренажер для диспетчеров / П. А. Козлов, О. В. Осокин, Н. А. Тушин // Мир транспорта. – 2012. – Т. 10, № 3 (41). – С. 180–183. – ISSN 1992-3252.

453 **Шабельников, А. Н.** Горочный тренажер на базе цифрового двойника / А. Н. Шабельников, В. И. Хабаров, И. А. Ольгейзер // Автоматика, связь, информатика. – 2020. – № 10. – С. 8–10. – ISSN 3034-3194.

454 Современные технологии подготовки специалистов в области эксплуатации железнодорожного транспорта. Глава 6 // В кн. : Новый уровень образования : монография / [авт. кол.]. – Одесса, 2018 – С. 70–88. – ISBN 978-617-7414-43-7. – DOI 10.30888/978-617-7414-43-7.0-013.

455 **Краснощек, А. А.** Система опережающей подготовки кадров на примере Усть-Лужского транспортного узла / А. А. Краснощек, А. Ю. Панычев, П. К. Рыбин // Железнодорожный транспорт. – 2016. – № 5. – С. 27–32. – ISSN 0044-4448.

456 **Куренков, П.** Актуальные проблемы подготовки профильных специалистов в свете перспектив развития полимодальности в транспортной логистике / П. Куренков, С. Левин, Н. Филиппова // Логистика. – 2021. – № 11 (180). – С. 36–40.

457 **Дудкин, Е. П.** Программа подготовки кадров для промышленного железнодорожного транспорта / Е. П. Дудкин, Б. А. Ковбаса, Е. Ю. Мокеичев // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2007. – № 12 (12). – С. 76–78. – ISSN 1994-831X.

458 Опыт и перспективы подготовки специалистов для высокоскоростного движения / Л. А. Баранов, П. Ф. Бестемьянов, А. А. Выгнанов, А. Н. Фиронов // Автоматика, связь, информатика. – 2024. – № 4. – С. 26–28. – ISSN 3034-3194.

459 Индустрия 5.0/6.0 и интеллектуальная экономика: основы создания нейро-цифровых, инженерно-образовательных экосистем университетов / А. В. Бабкин, И. В. Либерман, П. М. Клачек, С. И. Корягин // Интеллектуальная инженерная экономика и Индустрия 5.0 (ЭКОПРОМ) : сборник трудов Международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург : Политех-Пресс, 2024. – С. 23–33. – DOI 10.18720/IEP/2024.4.

460 **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 ; опубл. 26.03.2025.

461 Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года : утвержден Распоряжением Правительства РФ от 30 сентября 2018 г. № 2101-р // Гарант.ру. Информационно-правовой портал. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71975292/?ysclid=mc4ku5vagu857207744> (дата обращения: 04.06.2025).

462 Технология работы Северо-Кавказского отдела логистики перевозок и информационного анализа (СКАВ ЛП) на основании положения о службе организации логистики перевозок и выполнения сроков доставки грузов (от 19 ноября 2024 года № ЦД-1228).

463 **Давыдов, Б. И.** Методы, модели и алгоритмы снижения технических и экономических рисков в процессе текущего управления движением поездов : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук : 2.9.4 / Давыдов Борис Израильевич. – Хабаровск, 2022. – 258 с.

464 **Блюмин, С.Л.** Введение в математические методы принятия решений / С.Л. Блюмин, И.А. Шуйкова // Липецк: ЛГПИ, 1999. – 100 с.

465 **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. – DOI 10.52170/1815-9265_2024_72_35.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Раздел III.1

Таблица П1.1 – Грузооборот морских портов России, млн т

Год	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<i>Порты России, грузооборот, млн т</i>	286,0	364,0	406,9	421,0	451,0	454,6	496,4	525,9	535,4	565,5	589,0	623,4	676,7	721,9	787,0	816,5	840,3	820,8
Арктический бассейн	26,4	35,2	38,3	38,4	36,2	40,5	53,1	51,1	41	38,7	46,2	35	35,4	49,7	74,2	92,7	104,8	96
Мурманск	14,8	24,8	28	26,3	24,6	24,8	35,3	32,8	25,5	23,7	31,4	21,9	22	33,4	51,7	60,7	61,9	56,1
Варандей			0,6	0,5	0,57	1,9	7,4	7,5	4	3,1	5,4	5,9	6,6	8	8,2	7	7,2	4,9
Архангельск	3,1	5,5	6,47	5,3	5,3	4,68	3,25	3,67	4,3	5,2	4,4	4,2	3,8	2,6	2,4	2,8	2,7	3,3
Сабетта							новый							2,8	8	17,75	27,7	27,8
Дудинка						2,88	1,06	1,09	1,1	1,1			1,2	1,2	1,24			3
Канадалакша	1,02	0,34	0,34	0,25	0,65	0,96	1,06	0,86	0,9	0,7					0,8	1,6		0,9
Витино	5,7	3,7	1,63	4,76	3,95	4,4	4,4	4,3	4,2	3,8	2,3							
Эвбекинот	0,12	0,25	0,13	0,15	0,11	0,1	0,12	0,13	0,13	0,1						0,1		0,1
Балтийский бассейн	76,4	116,9	141,4	154,3	174,3	175	170,8	177,2	185,7	207,2	215,8	223,4	230,7	236,6	247,5	246,3	256,4	241,5
Приморск	17,7	44,5	57,3	65,96	74,2	75,6	79,2	77,6	75,1	74,8	63,93	53,7	59,6	64,4	57,6	53,5	61	49,3
Усть-Луга	0,44	0,8	0,7	3,77	7,14	6,76	10,4	11,78	22,7	46,8	62,7	72,2	87,9	93,4	103	98,7	103,9	102,6
Большой порт СПБ	42	51,3	57,6	54,3	59,5	60	50,4	58	60	57,8	58	61,1	51,1	48,6	53,6	59,3	59,8	59,9
Высоцк	2,4	5,2	10,4	13,8	16,5	16	17,3	14,8	13,5	13,6	16,2	17,4	17,5	17,1	17,5	18,8	19,4	18,6
Калининград	12,7	13,8	14,6	15,15	15,6	15,4	12,4	13,83	13,3	12,7	13,7	13,9	12,7	11,7	13,8	14,05	11,06	10,4
Выборг															1,54	1,93	1,21	0,7
Азово-Черноморский бассейн	113,4	130,9	149,7	149,1	149,2	149,4	170,1	169,4	172,9	176,7	174,4	194,5	232,9	244,0	269,5	272,2	258,1	252,0
Новороссийск	85,5	97,8	113	113,2	114	113	124	116,7	116	117	116,3	122	127	131	147	154,9	156,8	141,8
Туапсе	17,7	20,2	21,4	21,3	19,7	19,4	18,4	18,6	19,4	17,7	17,7	22,1	25,2	25,2	26,6	25,6	25,2	26,8
Ростов-на-Дону							6,16	7,71	10,4	11,1	10,8	10,4	11,6	12,9	14,9	16,7	15,6	17,8
Тамань			новый			0,01	0,1	0,25	1,2	3,52	9,5	10,2	12,3	13,5	14,9	14,1	15	22
Азов							4,7	4,3	4,8	5,1	5,45	6,3	7,1	6,6	8,54	12,9	10,4	10,08
Порт-Кавказ	6,9	9,2	7,1	7,2	6,4	7,76	8,6	9,4	8,26	10,2	8,75	10,2	30,5	33,2	35,3	30,1	20,9	21,9
Керчь												3,3	7,8	9,6	9,5	7	3,4	2,5
Ейск			2,8	3,3	4,35	3,85	4,3	3,56	4	3,6	3,88	4	3,9	4	4,64		4,28	4,2
Сочи	0,2	0,2	0,2	0,4	0,5	0,5	0,4	2,7	2,45	2,8	2,02							
Таганрог			1,76	1,65	2,1	1,4	1,3	1,3	1,3	1,5	1,4	1,16	1,5	1,07	1,59	2,78	2,83	2,9
Темрюк	1	0,6	1	1,15	1,35	2,3	2,1	1,94	2,35	2,28	1,94	2	2,5	2,9			4,43	4,1
Каспийский бассейн	7,4	11,5	10,4	10,3	12,6	9,8	10,0	10,9	10,5	10,0	7,8	7,9	6,7	6,1	4,0	4,8	7,4	8,1
Махачкала	3,55	5,84	5,05	5,49	6,26	6,39	5,27	4,86	5,4	6	5,2	5	3,8	3,3	1,4	2,5	4,7	5
Астрахань	3,76	5,49	5,13	4,5	5,76	2,57	3,93	5	4,65	3,2	2,5	2,7	2,6	2,6	2,3	1,9	2,2	2,5
Оля	0,07	0,13	0,17	0,29	0,64	0,87	0,78	1,05	0,56	0,8	0,32				0,27		0,52	0,6
Дальневосточный бассейн	62,3	69,7	68,8	69,1	79,0	79,9	91,7	117,5	125,4	134,4	144,8	162,5	171,0	185,5	191,7	200,5	213,5	223,2
Порт Восточный	15,8	20,8	20,2	20,5	21,7	20,6	18,9	35,68	38,4	42,5	48,3	57,8	65,2	68,5	59,2	69,7	73,5	77,5
Ванино	7,4	7	8,7	9,5	10,3	14,5	14,5	17,3	19,1	20,3	23,8	26,2	26,8	30,2	29,2	29,5	31,4	33,5
Находка	14	16,7	14,1	13,4	13,4	15,2	15,8	15,3	15	16,9	18,4	20,7	21,3	23,3	24,2	24,3	25,6	26,8
Пригородное			новый				0,2	10,6	16,3	16,3	16,3	16,1	16	16,4	17,4	17	16	16,4
Владивосток	11,3	11,6	10,2	7,8	8,5	9,5	9,9	11,18	11,8	13,2	14,5	15,3	12,9	14,3	16,9	21,2	23,9	24,7
Де-Кастри	1,7	1,77	1,95	3,5	11,6	9,77	8,44	7,35	8,1	7,4	7	8,2	10,5	11,5	10,8	12,6	13,6	13,2
Посьет	1,3	1,8	2,6	2	2,5	3,9	4,5	4,67	5,3	5,8	5,6	6,7	6,5	8,2	7,7	7,1	7,7	7,2
Шахтерск	0,7	0,5	0,7	0,5	0,7	0,9	0,78	1,06	1,57	1,7			3,7	4	6,2			10,7
Магадан	1	1	1,06	1,1	1,07	1,09	1	1,13	1,2	1,3			1,16	1,26	1,4	1,4		1,63
Петропавловск-Камчатский	1,5	1,5	1,8	1,9	1,85	2	2,5	2,27	2,4	2,6					1,68	1,87		1,4
Холмск	2,34	2	2,18	2,17	2,1	2	1,64	1,87	2,2	1,88		0,35			1,3	2,5		1,4

Характеристика МТК, проходящих через территорию России

Система МТК на территории России включает два евроазиатских коридора (Транссиб и «Север – Юг»), панъевропейские транспортные коридоры № 1, № 2 и № 9, а также коридоры Приморье-1 и Приморье-2, связывающие северо-восточные провинции Китая через российские морские порты Приморского края с портами стран Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР), Северный морской путь (СМП) – перспективный маршрут в рамках Северного морского транзитного коридора (СМТК) (рисунок П1.1).



Рисунок П1.1 – Россия в системе Евразийских транспортных коридоров [18]

Транссиб является ключевым средством обеспечения транзита между Дальним Востоком, Сибирью и Европейской частью России [18], а МТК «Восток – Запад» является стратегически-значимым маршрутом для транснациональной торговли между Европейским Союзом и странами АТР (Азиатско-Тихоокеанский регион – прежде всего Китай). Поступление грузопотоков на российскую

транспортную сеть имеет несколько вариантов, среди них и вариант через морские порты Дальневосточного бассейна (Владивосток, Находка, Восточный, Ванино, Советская Гавань, Посыет), с дальнейшей перевалкой на железнодорожный транспорт. Панъевропейский транспортный коридор № 2 в системе МТК на территории России включен в состав Транссиба. Участок панъевропейского транспортного коридора № 9 (граница Финляндии – Санкт-Петербург – Москва) включен в состав коридора «Север – Юг» (таблица П.1.2) [18].

Таблица П1.2 – Характеристика МТК, проходящих через территорию России

Коридор	Страны - участницы	Начало МТК	Конец МТК	Протяженность, км	Взаимодействующие (преимущественные) виды транспорта
Евразийские коридоры					
«Север – Юг»	Россия, Иран, Индия, Армения, Азербайджан, Казахстан, Оман, Сирия, Узбекистан	Санкт-Петербург	Мумбаи	7200 км	Железнодорожный, автомобильный, водный
Транссиб	Россия	Москва	Владивосток	9288 км	Железнодорожный
СМТК	Россия	Порт Мурманск	Порт Владивосток	10503 км	Водный
Вкл. СМП	Россия	Карские Ворота	Бухта Провидения	5600 км	Водный
Коридоры «Приморье»					
Приморье-1	Россия Китай	Харбин	Порты АТР	500 км	Железнодорожный, автомобильный, водный
Приморье-2	Россия Китай	Хунчунь	Порты АТР	360 км	Железнодорожный, автомобильный, водный
Панъевропейские коридоры					
№1	Россия Финляндия Эстония Латвия Литва Польша	Хельсинки	Варшава (Гданьск)	550 ж/д 445 авт	Железнодорожный, автомобильный,
№2	Россия Германия Польша Беларусь	Берлин	Нижний Новгород	2313 ж/д 2200 авт	Железнодорожный, автомобильный,
№9	Россия Финляндия Украина Беларусь Молдова Румыния Болгария Греция Литва	Хельсинки	Александруполис	6500 км	Железнодорожный, автомобильный, водный, авиационный

Таблица П1.3 – Характеристика коридора «Север – Юг»

Маршрут	Элементы маршрута	Взаимодействующие виды транспорта, схемы транспортировки
Транскаспийский маршрут	порты Астрахань, Махачкала	Доставка грузов судами смешанного плавания «река-море» из центральных районов России в иранские порты на побережье Каспийского моря с последующей доставкой грузов автомобильным или железнодорожным транспортом в порты Персидского залива
Восточный маршрут	Пограничный переход Теджен – Серахс	Прямое железнодорожное сообщение через Казахстан, Узбекистан и Туркменистан с выходом на железнодорожную сеть Ирана по действующему пограничному переходу Теджен – Серахс
Западный маршрут	Порт Астрахань, Махачкала, пограничный переход Самур	Перевозка через Астрахань, Махачкалу и Самур, затем по территории Азербайджана до проектируемой пограничной станции Астара. По территории Ирана транзит будет осуществляться по железнодорожной линии Астара – Решт – Казвин, которая в настоящее время находится на этапе строительства. После завершения строительства участка Астара – Решт станет возможным организовать перевозку контейнеров в иранский порт Бендер-Аббас с перегрузкой контейнеров или перестановкой вагонных тележек на станции Астара. До ввода в эксплуатацию железнодорожного участка Решт – Астара доставка грузов по территории Ирана полностью или частично осуществляется с использованием автомобильного сообщения

Развитие МТК «Север – Юг» может способствовать развитию регионов России, которые впоследствии смогут использовать его транспортный потенциал для своего экономического, логистического и социального развития [20,30].

Производственные показатели железнодорожного транспорта

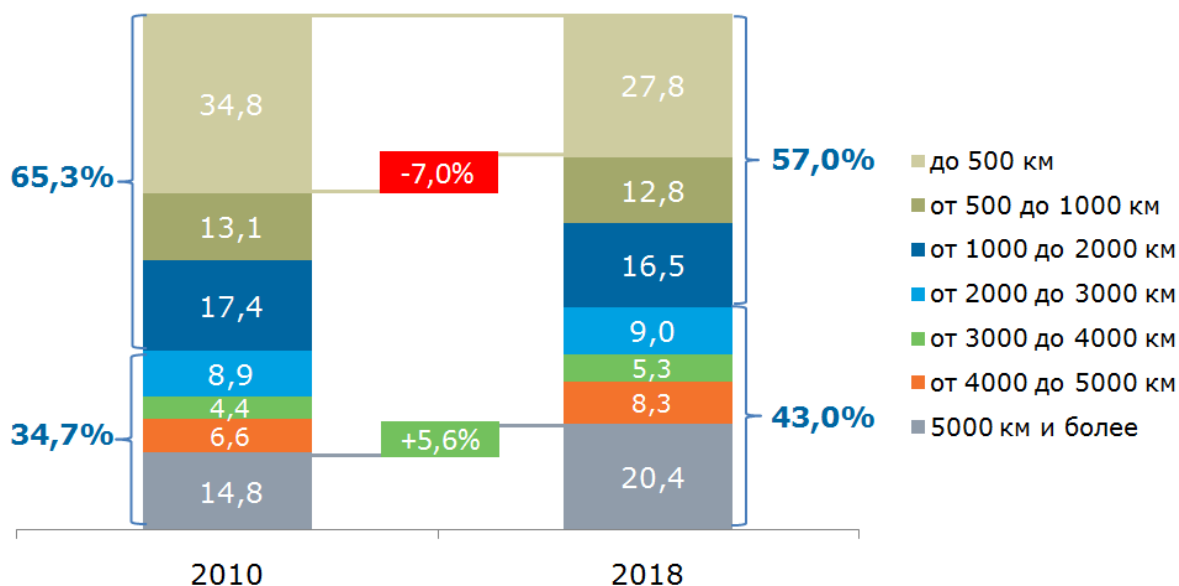


Рисунок П1.2 – Структура грузовых перевозок на сети РЖД по поясам дальности, 2018 г., %

Таблица П1.4 – Объем погрузки основных видов грузов на железнодорожном транспорте [40]

Номенклатура	2006	2010	2014	2018	2022
каменный уголь	287 548	286 291	315 411	374 891,9	354 409,2
кокс	11 345	12 579	11 806	11 252,0	10 144,2
нефть и нефтепродукты	228 310	252 706	256 453	236 642,1	216 164,9
руда железная и марганцевая	108 350	101 908	108 619	116 776,9	115 263,9
руды цветных металлов и серное сырье	24 748	25 392	19 279	19 658,0	17 960,7
черные металлы	79 981	72 760	71 828	78 110,7	66 285,7
лом черных металлов	26 639	20 931	16 652	15 960,5	12 869,5
химические и минеральные удобрения	42 883	45 487	49 236	59 192,5	60 504,5
строительные грузы	201 681	142 528	141 087	124 034,0	133 946,1
цемент	38 238	33 364	35 518	25 077,8	24 874,5
лесные грузы	64 155	41 461	38 713	45 694,0	31 415,3
зерно и продукты перемола	22 714	18 116	20 612	29 719,2	27 172,3
комбикорма	1 491	1 035	953	928,7	925,1
импортные грузы	10 980	10 770	9 502	9 751,3	18 066,3
Прочие	162006	140441	131263	143815,1	146353,3

Товарная структура экспорта Российской Федерации и группы стран по внешней торговле

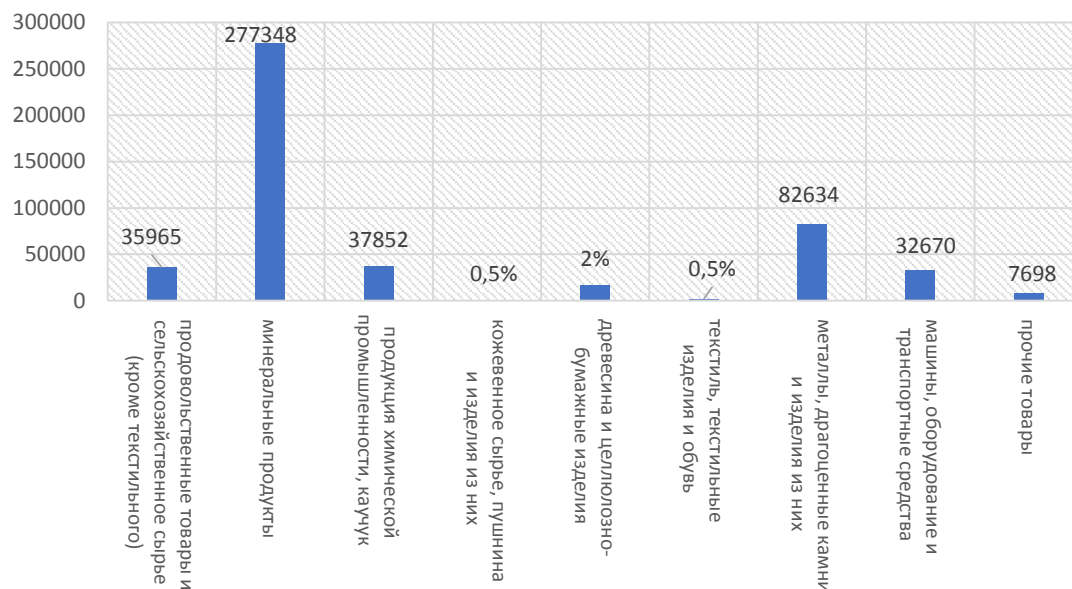


Рисунок П1.3 – Товарная структура экспорта Российской Федерации [42]

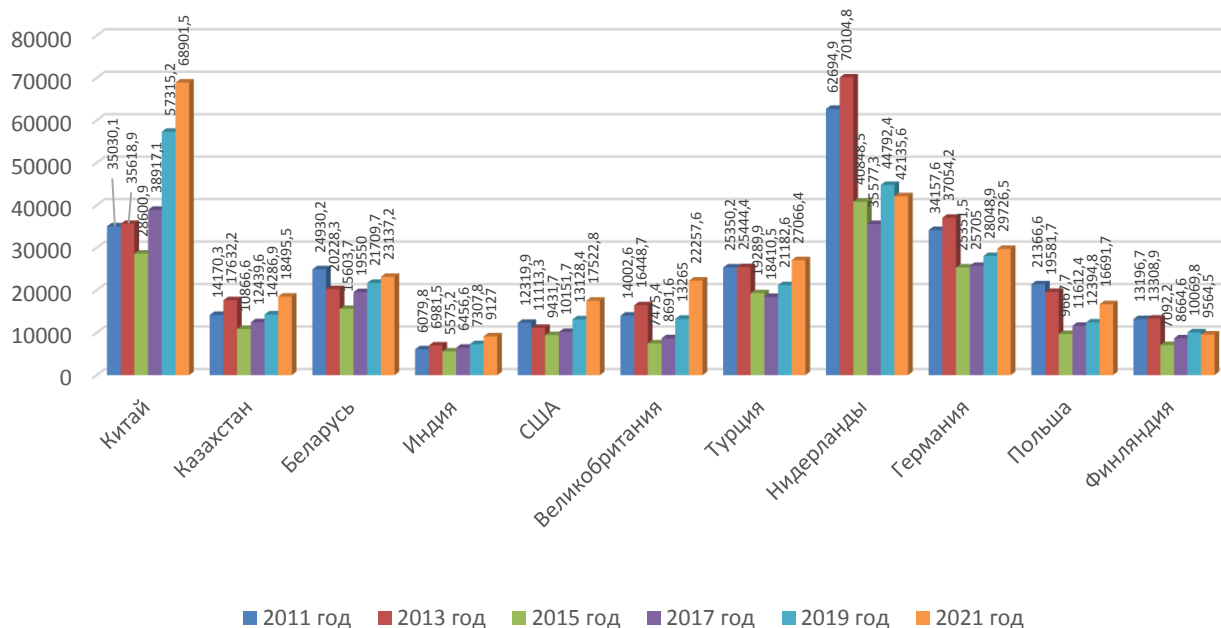


Рисунок П1.4 – Экспорт товаров из РФ до 2021 года, млн долл США [41,50]

Таблица П1.5 – Группы стран по внешней торговле Российской Федерации
(по данным ФТС, 2021 г.)

№	Группа стран	Страны-партнеры
1	СНГ	Азербайджан, Армения, Казахстан, Киргизия, Беларусь, Республика Молдова, Россия, Таджикистан, Туркмения, Узбекистан, Украина.
2	ОЭСР	Страны Организации экономического содействия и развития: (Австралия, Австрия, Венгрия, Германия, Испания, Италия, Бельгия, Греция, Дания, Словакия, Словения, Латвия, Литва, Польша, Португалия, Финляндия, Франция, Чешская Республика, Эстония, Израиль, Турция, Ирландия, Исландия, Канада, Колумбия, Новая Зеландия, Коста-Рика, Люксембург, Мексика, Нидерланды, Норвегия, Республика Корея, Соединенное Королевство (Великобритания), США, Чили, Швейцария, Швеция, Япония.
3	ЕС	Страны Европейского союза (ЕС-28): Австрия, Бельгия, Болгария, Венгрия, Германия, Испания, Италия, Кипр, Латвия, Литва, Греция, Дания, Ирландия, Люксембург, Мальта, Нидерланды, Польша, Португалия, Румыния, Словакия, Словения, Соединенное Королевство (Великобритания), Финляндия, Франция, Хорватия, Чешская Республика, Швеция, Эстония.
4	АТЭС	К странам Азиатско-Тихоокеанского экономического сотрудничества (АТЭС) относятся: Австралия, Бруней-Даруссалам, Вьетнам, Индонезия, Китай, Россия, Канада, Малайзия, Мексика, Новая Зеландия, Папуа-Новая Гвинея, Гонконг, Перу, Республика Корея, Сингапур, США, Таиланд, Тайвань (Китай), Филиппины, Чили, Япония.
5	ОПЕК	Страны-экспортеры нефти: Алжир, Ангола, Венесуэла, Ирак, Исламская Республика Иран, Катар, Кувейт, Ливия, Нигерия, Объединенные Арабские Эмираты, Саудовская Аравия, Эквадор.
6	ЕврАзЭС до 2015 г., с 2015 г. страны ЕАЭС.	страны Евразийского экономического сообщества (ЕврАзЭС): Беларусь, Казахстан, Россия, Киргизия, Таджикистан, страны Евразийского экономического союза ЕАЭС относятся: Армения, Беларусь, Казахстан, Киргизия, Россия.

**Увеличение мощностей морских портов Российской Федерации (до 1,3 млрд т),
включая порты Дальневосточного, Северо-Западного, Волго-Каспийского
и Азово-Черноморского бассейнов, согласно Комплексному плану
модернизации и расширения магистральной инфраструктуры
на период до 2024 года**

Таблица П1.6 – Увеличение мощностей морских портов (до 1,3 млрд. тонн) [461]

№	Мероприятие	Характеристика результата	Период проекта
1	2	3	4
1	Реализованы мероприятия по развитию портовой инфраструктуры Арктического бассейна	Увеличение мощности российских морских портов на 64,7 млн т	2018–2024 гг.
2	Реализованы мероприятия по комплексному развитию Мурманского транспортного узла, в т. ч. осуществлено строительство угольного терминала «Лавна» и объектов федеральной собственности	Увеличение мощности российских морских портов на 18 млн т, или 27,8 % прироста по бассейну (5 % общего прироста)	2018–2022 гг.
3	Строительство и реконструкция объектов портовой инфраструктуры за счет внебюджетных источников финансирования в морском порту Диксон (угольный терминал Чайка), Пайяхского и Северо-Пайяхского месторождения (нефтяной терминал Таналау)	Увеличение мощности российских морских портов на 10 млн т, или 15,5 % прироста по бассейну (2,8 % общего прироста)	2019–2021 гг.
4	Реализованы мероприятия по развитию портовой инфраструктуры Дальневосточного бассейна	Увеличение мощности российских морских портов на 130,7 млн т (36,6 % общего прироста)	2019–2024 гг.
5	Осуществлено строительство специализированного угольного перегрузочного комплекса в бухте Мучке, Хабаровский край, в т. ч. объектов федеральной	Увеличение мощности российских морских портов на 24 млн т, или 18,4 % прироста по бассейну (6,7 % общего	2015–2022 гг.

Продолжение табл. П1.6

1	2	3	4
	собственности (подводные гидротехнические сооружения, объекты безопасности мореплавания)	прироста)	
6	Реализованы мероприятия по развитию транспортного узла «Восточный – Находка»	Увеличение мощности российских морских портов на 31 млн т, или 16,8 % прироста по бассейну (6,2 % общего прироста)	2019–2024 гг.
7	Реализованы мероприятия по развитию портовой инфраструктуры Северо-Западного (Балтийского) бассейна	Увеличение мощности российских морских портов на 53,8 млн т (15,1 % общего прироста)	2019–2024 гг.
8	Осуществлено строительство морского международного грузопассажирского района в г. Пионерский, Калининградская область	Увеличение мощности российских морских портов на 3 млн т, 250 тыс. пассажиров, или 5,6 % прироста по бассейну (0,8 % общего прироста)	2017–2019 гг.
9	Реализованы мероприятия по развитию портовой инфраструктуры Волго-Каспийского (Каспийского) бассейна	Увеличение мощности российских морских портов на 1 млн т (0,3 % прироста)	2019–2024 гг.
10	Реализованы мероприятия по развитию портовой инфраструктуры Азово-Черноморского бассейна	Увеличение мощности российских морских портов на 103,9 млн т (29,1 процента общего прироста)	2019–2024 гг.
11	Создан сухогрузный район морского порта «Тамань»	Увеличение мощности российских морских портов на 62 млн т, или 59,7 % прироста по бассейну (17,4 % общего прироста)	2019 - 2024 годы

Увеличение пропускной способности подходов к морским портам

Таблица П1.7 – Увеличение пропускной способности автомобильных и железнодорожных подходов к морским портам [461]

№	Мероприятие	Характеристика результата	Период проекта
1	Осуществлено развитие автодорожных подходов к морским портам Азово-Черноморского, Каспийского, Балтийского, Дальневосточного бассейнов, а также бассейнов Западной и Восточной Арктики (осуществлена реконструкция автомобильных дорог А-290 Новороссийск – Керчь, А-181 «Скандинавия», Р-21 «Кола», Р-217 «Кавказ» и др.)	Завершена реконструкция 308 км автомобильных дорог федерального значения на подъездах к морским портам. Увеличена пропускная способность реконструированных участков до 20 тыс. единиц/сутки	2019–2024 гг.
2	Выполнены приоритетные мероприятия по развитию железнодорожной инфраструктуры Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожных магистралей с развитием пропускных и провозных способностей	Увеличена суммарная провозная способность магистралей до 182 млн тонн; увеличена суммарная наличная пропускная способность магистралей до 129 пар грузовых поездов в сутки	2019–2024 гг.
3	Осуществлено строительство железнодорожной линии Селихин – Ныш с переходом пролива Невельского	Обеспечено развитие железнодорожной инфраструктуры для осуществления грузовых перевозок в сообщении с островом Сахалин в объеме до 36,9 млн т	2019–2024 гг.
4	Осуществлено развитие и обновление железнодорожной инфраструктуры на подходах к портам Азово-Черноморского бассейна	Провозная способность участков на подходах к портам увеличена до 125,1 млн т	2019–2024 гг.

Приложение 2

Раздел П2.1

Ретроспективный анализ погрузки по сети железных дорог экспортных грузов через порты с железных дорог России (тыс. т)

Припорт. станции	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Белое Море	1750,6	3706,5	3957,4	4504,6	4327,3	4298,5	4275,9	3843,8	1982,4	0,0	0,0
Кола	1301,9	531,9	678,5	287,3	444,8	1100,1	868,8	1187,1	707,7	260,9	1065,4
Мурманск	15889,0	15422,4	14177,3	14663,0	14709,9	12881,9	14719,6	15812,0	18272,3	18536,7	17398,8
Выборг	633,8	875,7	790,0	1065,8	1012,7	761,6	789,1	1001,0	1223,6	1232,2	1163,3
Высоцк	10510,2	12614,0	15574,8	14988,7	15758,9	13887,2	12113,5	13423,6	14863,7	16147,9	15071,9
С.-Петербург	22904,2	22086,3	24607,4	23979,0	23777,4	25777,4	24065,5	22956,3	22962,5	25767,2	23924,0
Лужская	498,0	3844,0	6526,8	6266,1	8633,8	10155,8	20002,0	29953,2	32534,7	40465,9	46255,3
Кандалакша, Комс.-Мурманский	284,4	921	1513,9	1332,6	2135,8	2064,1	2402,2	1663,3	1637,3	1458,1	1333,8
ИТОГО ОКТ.Ж.Д.	53975,9	60257,1	68023,9	67293,2	71140,9	71709,7	80544,5	91176,5	95496,7	105117,2	107423,9
Калининград	5529,8	5279,5	6149,0	5521,2	3282,7	3611,1	3701,1	2502,2	2308,4	1672,0	1676,9
Балтийский Лес	3996,4	3894,4	3331,7	2835,5	2520,0	3269,6	2127,1	2462,1	2296,8	1663,2	1206,1
Балтийск	922,7	1668,8	1415,2	851,7	207,6	467,6	337,8	773,9	630,7	113,5	96,3
ИТОГО КЛГ.Ж.Д.	10448,9	10889,6	10944,3	9210,7	6010,3	7363,7	6166,0	5739,5	5261,2	3496,0	2992,8
Архангельск	4447,4	3061,7	3150,4	2619,2	1597,4	1709,2	1742,2	2911,3	3264,1	2744,9	1802,0
ИТОГО СЕВ.Ж.Д.	4447,4	3061,7	3150,4	2619,2	1597,3	1709,2	1742,3	2911,2	3264,1	2744,9	1802,0
Азов	1358,2	632,0	1801,2	1865,4	1513,0	1709,9	1487,4	1762,2	1371,8	979,2	874,8
Таганрог	1318,5	1253,8	1455,7	1376,7	2112,7	2339,5	2255,6	1741,3	1474,3	1350,2	1482,7
Ростов	114,2	213,7	244,8	99,6	244,3	265,6	142,8	204,1	152,3	224,8	207,8
Усть-Донецк	1170,8	1397,3	1153,1	85,1	538,8	1209,7	884,4	974,0	485,8	266,9	20,3
Ейск	1247,2	1875,2	2335,5	1565,1	1133,4	1446,9	1403,9	897,5	1020,5	827,0	1106,3
Заречная	186,8	154,7	245,4	340,2	584,9	1128,1	1255,0	1124,0	1103,1	840,9	829,1
Новороссийск	23407,7	22653,9	21703,1	21310,2	28037,7	22984,3	24094,0	25823,5	25498,4	29054,6	30893,9
Грушевая	8574,3	7465,0	7205,4	6701,1	7493,2	7796,4	6550,5	7308,9	5786,6	7112,3	8554,6
Темрюк	668,6	732,1	802,2	2350,6	1370,6	1214,0	1498,7	1513,6	1322,2	1029,0	1305,3
Кавказ	1804,9	2338,0	2723,1	2181,4	2425,4	2272,6	1967,3	1711,0	1358,6	1282,4	1093,0
Туапсе	11696,1	11510,2	9922,7	9681,4	9443,1	8723,2	10421,3	11869,2	12221,8	13533,4	15197,5
Махачкала	1145,6	1228,5	1416,8	1320,9	951,0	525,6	483,5	204,7	3,8	39,7	73,3
Вышестеблиевская	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,1	830,2	4494,0	6060,7
ИТОГО СКАВ.Ж.Д.	52692,9	51454,4	51009,0	48877,7	55848,3	51615,8	52444,4	55168,3	52637,6	61035,8	67699,3
ВСЕГО ПРИВ.Ж.Д. (порты Оля, Кутум, Трусово, Новолесная, Правый Берег)	2534,3	2371,8	3820,5	2477,1	2943,7	3827,3	2971,1	1073,8	466,0	529,8	473,2
Ванино	3941,1	4558,6	4141,1	4886,3	10491,1	12256,0	14284,8	15727,8	19307,1	22298,7	22038,9
Владивосток	3692,9	1397,7	1487,9	2325,4	4496,4	3092,6	2217,4	2195,0	1231,8	1648,7	1856,3
Мыс Астафьева	3047,1	3451,0	3411,2	4060,5	4839,6	3558,1	3878,2	4781,4	6391,6	7008,4	7314,7
Находка	3010,6	2443,4	1860,0	2662,1	3014,7	3131,8	3298,3	3399,1	4140,5	5025,1	5597,5
Крабовая	4285,5	2983,3	4476,0	4838,0	5826,1	5414,7	4958,0	4609,6	4196,3	3970,4	4703,3
Находка-Восточная	16655,2	17539,4	18938,0	17414,6	16577,9	17161,5	20172,1	22780,1	22698,4	28876,9	31651,9
Посьет	1624,8	1414,8	1739,2	3030,1	3274,5	3454,7	4158,2	4484,3	4173,1	5181,3	5202,5
Советская Гавань, Мыс Чуркин, Хмыловский, Рыбники, Блюхер	1655,7	2407	1812,4	1252	1627,6	17330,6	17811,6	17827,4	5983,7	3577,5	2826,1
ИТОГО ДВОСТ.Ж.Д.	39571,8	37584,3	38224,6	40607,8	50149,4	65417,2	70783,5	75876,8	68122,5	77587,0	81191,4
Итого Россия	164016,1	165905,0	175238,1	171591,4	188593,2	202610,7	215666,9	232545,7	226194,1	251624,8	261847,7

Интерактивная номенклатурная карта морских портов РФ



Таблица П2.1 – Характеристика портов Южного региона

№	Параметр	Описание
1	2	3
Порт Новороссийск		
1	Описание	Глубоководный порт с круглогодичной навигацией. Порт принимает суда самых различных типов, тоннажа и назначения и способен перерабатывать практически все виды грузов. Общая длина причалов Новороссийского порта 8,3 км
2	Маршруты	Новороссийский морской порт находится на пересечении международных транспортных коридоров, которые связывают Россию со странами Средиземноморья, Ближнего Востока, Африки, Южной и Юго-Восточной Азии, Северной и Южной Америки, является конечным пунктом ответвлений ряда международных транспортных магистралей - Транссиба, транспортного коридора «Север-Юг», международного транспортного коридора № 9
3	Номенклатуры грузов	Зерно, уголь, минеральные удобрения, лесоматериалы, нефть и нефтепродукты, контейнеры, пищевые и химические грузы и др.
4	Грузооборот (по данным 2024 года)	164,8 млн тонн
5	Грузовые районы	Новороссийский морской торговый порт (НМТП), Судоремонтный завод, Лесной порт, зерновой и мазутный терминалы, комбинат Хлебопродуктов и Цемкомбинат. На 2017 год в порту функционировало 89 причалов общей протяжённостью 15627 метров. Его пропускная способность по данным того года составляла 208793 тысяч тонн в год, в том числе 160688 тысяч тонн наливных грузов, 37509 тысяч тонн сухих грузов и 883 тысячи контейнеров в двадцатифутовом эквиваленте (TEU). Три грузовых района – Восточный, Центральный и Западный, пассажирский район и нефтегавань «Шесхарис». 30 августа 2019 в Юго-Восточном грузовом районе порта Новороссийск открыт глубоководный причал группы компаний «Дело» на контейнерном терминале «НУТЭП». Причал № 38 способен принимать океанские контейнеровозы до 10 000 TEUs.
Туапсинский порт		
1	Описание	Многоцелевой, открытый для навигации круглый год, осуществляющий работу круглосуточно
2	Маршруты	К порту выходят грузопотоки центральных и южных регионов европейской части России, Урала и южной части Западной Сибири
3	Номенклатуры грузов	Опасные грузы 3–5, 9 классов опасности, нефти и нефтепродукты, навалочные (уголь, руды и др.), генеральные грузы, минеральные удобрения, сельскохозяйственная продукция и др.
4	Грузооборот (по данным 2024 года)	21,4 млн тонн
5	Грузовые районы	ОАО «Туапсинский морской торговый порт» (ТМТП), зерновой комплекс, комплекс глубоководного причала ООО «РН-Туапсенефтепродукт» для перегрузки нефтепродуктов в порту Туапсе – причал № 1а, 1б, балкерный терминал ООО «Туапсинский балкерный терминал» (ТБТ). Общая протяженность причального фронта 5735,04 п.м.
Махачкала		
1	Описание	Незамерзающий порт России на Каспии с круглогодичной навигацией
2	Маршруты	Махачкалинский морской торговый порт является важным стратегическим связующим звеном транспортной системы Юга России с государствами Средней Азии, Ираном, Закавказьем, другими странами региона.
3	Номенклатуры грузов	Генеральные, минерально-строительные и наливные грузы, контейнерные
4	Грузооборот (по данным 2024 года)	3,2 млн тонн
5	Грузовые районы	Имеет сухогрузную гавань с перегрузочным комплексом мощностью 3 млн. тонн в год, причалы для генеральных, навалочных грузов и контейнеров мощностью до 1,2 млн. тонн в год, железнодорожный и автопаромный терминал мощностью 1,3 млн. тонн, зерновой терминал мощностью 0,5 млн. тонн в год. На шести причалах общей протяженностью более 900 метров одновременно можно обрабатывать шесть судов
Порт Кавказ		
1	Описание	Построен в 1953 году, основное назначение – обслуживание Керченской переправы. Распад СССР привел к утере Россией портов Керчь и Ильичевск, поэтому порт получил более динамичное развитие как терминал по перевалке колесной техники и накатных грузов
2	Маршруты	Порт обеспечивает связь с международными морскими маршрутами

Продолжение таблицы П2.1

1	2	3
3	Номенклатуры грузов	Нефть и нефтепродукты, химические вещества и удобрения, зерновые и др. грузы
4	Грузооборот (по данным 2024 года)	23 млн тонн
5	Грузовые районы	Имеет 10 причалов. Площадь территории морского порта 46,5 г. Порт принимает суда длиной до 150 метров и с осадкой до 6 метров.
Порт Темрюк		
1	Описание	Начал свою деятельность в 1908 году, располагается в устье впадения реки Кубань в Азовское море. Начиная с 2001 года включен в перечень морских портов России. С технической позиции имеет ограничения по дедейте используемых судов – максимальная осадка судов по входному каналу до 4,8 м; а также территориальные ограничения со стороны береговой линии
2	Маршруты	Обеспечение экспорта нефтепродуктов и др. номенклатур грузов в страны Черноморского и Средиземноморского бассейнов, а также каботажных перевозок
3	Номенклатуры грузов	Светлые и вязкие нефтепродукты, зерновые и сыпучие пищевые грузы, химические и др.
4	Грузооборот (по данным 2024 года)	3,3 млн тонн
5	Грузовые районы, терминалы	Имеет 20 причалов, длина причального фронта 2502,08 метров. Порт способен принимать суда с осадкой 4,6 метров. Пропускная способность грузовых терминалов – 9400 тыс. тонн в год
Порт Тамань		
1	Описание	Начало строительства – 2004 год в районе посёлка Волна между мысом Железный Рог и мысом Панагия. Длина подъездного железнодорожного пути от станции Вышестеблиевская до перегрузочного комплекса – 36 км
2	Маршруты	Порт имеет стратегическое значение благодаря своему выгодному географическому положению, позволяя эффективно связывать Азово-Черноморский регион с международными морскими торговыми путями
3	Номенклатуры грузов	Нефтепродукты, сжиженные углеводородные газы, пищевые наливные грузы, насыпные зерновые грузы и др.
4	Грузооборот (по данным 2024 года)	28,1 миллионов тонн в год с прогнозируемым грузооборотом порта в 2025 г – 93,8 млн. т. При этом на долю автомобильного транспорта приходится 8 млн т/год, на долю железнодорожного – 85,8 млн т/год
5	Грузовые районы	Терминалы для перевалки нефти и нефтепродуктов, сжиженных углеводородных газов, аммиака, зерна, угля, удобрений, железной руды, серы, изделий из стали, контейнерных грузов.
Порт Азов		
1	Описание	Международный с круглогодичной навигацией. Порт принимает суда типа «река-море» грузоподъемностью 3000-5200 тонн (с осадкой до 4-х метров). Глубина у причалов 4,5 – 8,5 метров.
2	Маршруты	Из Центральной России, Сибири, Урала и Центральной Азии в страны Средиземноморья, Каспийского бассейна, в том числе водным транспортом через Волго-Донскую систему внутренних водных путей России.
3	Номенклатуры грузов	Лесные грузы, нефтепродукты, каменный уголь, металлопродукция, зерновые грузы, руда, удобрения, минерально-строительные, тарно-штучные грузов, глинозем, цемент и др.
4	Грузооборот (по данным 2024 года)	0,5 млн тонн
5	Грузовые районы	Имеет два грузовых района. Начато проектирование третьего грузового района для перевалки сжиженного углеводородного газа (СУГ). Перегрузочный комплекс Азовского порта включает 11 причалов
Порт Таганрог		
1	Описание	Круглогодичная навигация за счет использования ледоколов. Обрабатываются суда грузоподъемностью до 10 тыс. тонн.
2	Маршруты	Из Центральной России, Сибири, Урала и Центральной Азии в страны Средиземноморья, Каспийского бассейна, в том числе водным транспортом через Волго-Донскую систему внутренних водных путей России.
3	Номенклатуры грузов	Сухие и нефтеналивные грузы, грузов в 20 и 40-футовых контейнерах
4	Грузооборот (по данным 2024 года)	2 млн тонн

Продолжение таблицы П2.1

1	2	3
5	Грузовые районы, терминалы, причалы	7 причалов общей протяженностью причальной линии 1143 м и максимальной осадкой 5 м
Порт Ейск		
1	Описание	Морской порт Ейск был открыт в 1993г., ледовый период ноябрь (декабрь) – февраль (март). Порт расположен в юго-восточной части Таганрогского залива Азовского моря
2	Маршруты	Специализируется на перевалке экспортно-импортных грузов в направлении портов Черноморского и Средиземноморского бассейнов
3	Номенклатуры грузов	Продукция деревообработки, строительные, каменный уголь, сера и др.
4	Грузооборот (по данным 2024 года)	5,3 млн тонн
5	Грузовые районы, терминалы, причалы	Шесть операторов морских терминалов: ОАО «Ейский морской порт»; ОАО «Ейский портовый элеватор»; ООО «Директория-новый морской порт»; ООО «Ейск-порт-Виста»; ООО «Ейск-Приазовье-Порт»; ЗАО «Азовская судоремонтная компания». ОАО «Ейский морской торговый порт» имеет 8 грузовых причалов общей протяженностью 1300 метров и способен принимать суда грузоподъемностью до 7000 тонн класса «река – море» и осадкой до 4,2 метра. Емкость складских площадей составляет 76,5 м², из них: площадь открытых складов 70,2 тыс. м², площадь крытых складов 6,3 тыс. м².
Ростовский морской порт		
1	Описание	Получил статус морского порта в 2010 г., является замерзающим портом
2	Маршруты	Порт играет ключевую роль в обеспечении транспортных и логистических операций, соединяя внутренние водные пути России с Азовским и Черным морями.
3	Номенклатуры грузов	Зерновые грузы, нефтепродукты, пищевые грузы наливом, каменный уголь, контейнерные грузы
4	Грузооборот (по данным 2024 года)	15,4 млн тонн
6	Грузовые районы, терминалы, причалы	Порт располагает 56 причалами и причальной стенкой длиной 9350,95 м, пропускная способность грузовых терминалов 17917,2 тыс. тонн в год. Максимальные габариты судов, заходящих в порт (осадка, длина, ширина в метрах): 4,1/142/18. Общее количество стивидоров - 24. Структурно состоит из портовых сооружений, относящихся к АО «Ростовский порт», ООО «Ростовский морской мультимодальный порт» и собственных причалов других компаний
Волгодонский речной порт		
1	Описание	Порт принимает суда типа «река-море» грузоподъемностью до 5000 тонн
2	Маршруты	Порт пяти морей, связанный водным путём с Белым и Балтийским морями на севере, Каспийским на востоке, Азовским и Черным на юге.
3	Номенклатуры грузов	Уголь, зерно, металл и строительные и др. грузы.
4	Грузооборот (по данным 2024 года)	636 тыс. тонн
6	Грузовые районы, терминалы, причалы	Имеет 3 механизированных грузовых и один пассажирский причал, открытые и закрытые складские помещения общей площадью 42,6 тыс. м²
Усть-Донецкий порт		
1	Описание	Входит в группу компаний Азово-Донское пароходство. Порт находится в 146 км от г. Ростов-на-Дону. По внутренним водным путям РФ (р. Дон и р. Северский Донец) в порт могут заходить каботажные суда и суда «река-море» грузоподъемностью до 5000 тонн. Глубина акватории 4 метра
2	Маршруты	Прямые отправки в порты Средиземного моря, порты Персидского залива, Индию и Китай с перегрузкой на рейде порта Кавказ, в крупнотоннажные морские суда
3	Номенклатуры грузов	Сера, каменный уголь, строительные материалы, уголь, чёрные металлы, тарно-штучные и другие. В настоящее время активно прорабатывается вопрос привлечения лесных грузов. Порт не только переваливает грузы, но и занимается реализацией на внутренний рынок минеральных удобрений, щебня, пиломатериалов
4	Грузооборот	276,7 тыс. тонн
6	Грузовые районы, терминалы, причалы	Порт располагает 9 механизированными причалами, общей протяженностью 1155 метров. Имеет 16 складов общей площадью 49,5 тыс. м². Порт имеет зерноперегрузочный комплекс. Оборудован 19 кранами, грузоподъемностью от 5 до 27,5 тонн. С 2014 года порт ввел в эксплуатацию комплекс по перевалке зерновых грузов, а также осуществлял перевалку труб большого диаметра, предназначенных для подводной части газопровода Южный поток.

Производственные показатели СКЖД

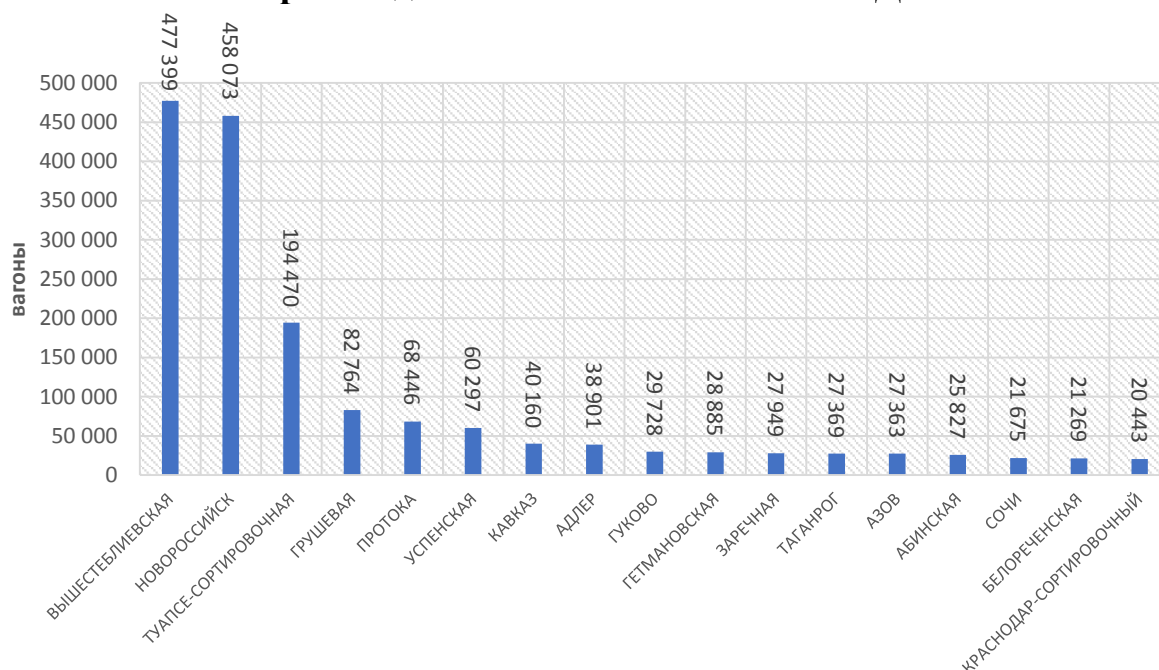


Рисунок П2.1 – Станции СКЖД с наибольшим количеством выгруженных вагонов за 11 мес. 2023 г.

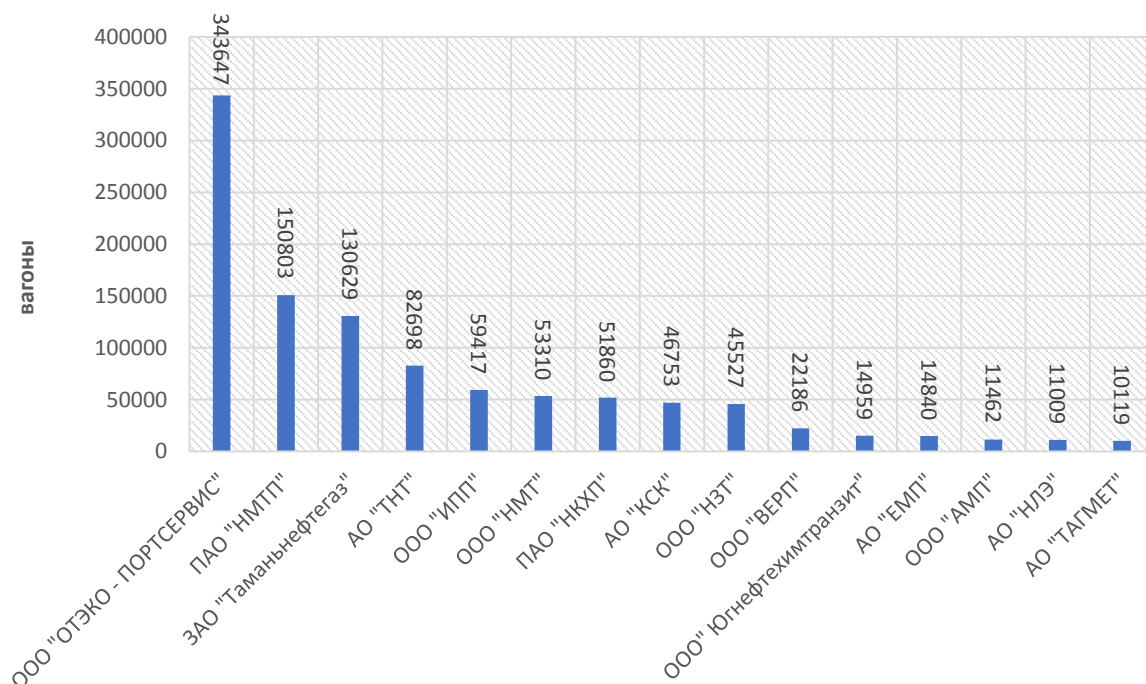


Рисунок П2.2 – Грузополучатели с наибольшим количеством выгруженных вагонов за 2023 г. (11 мес.)

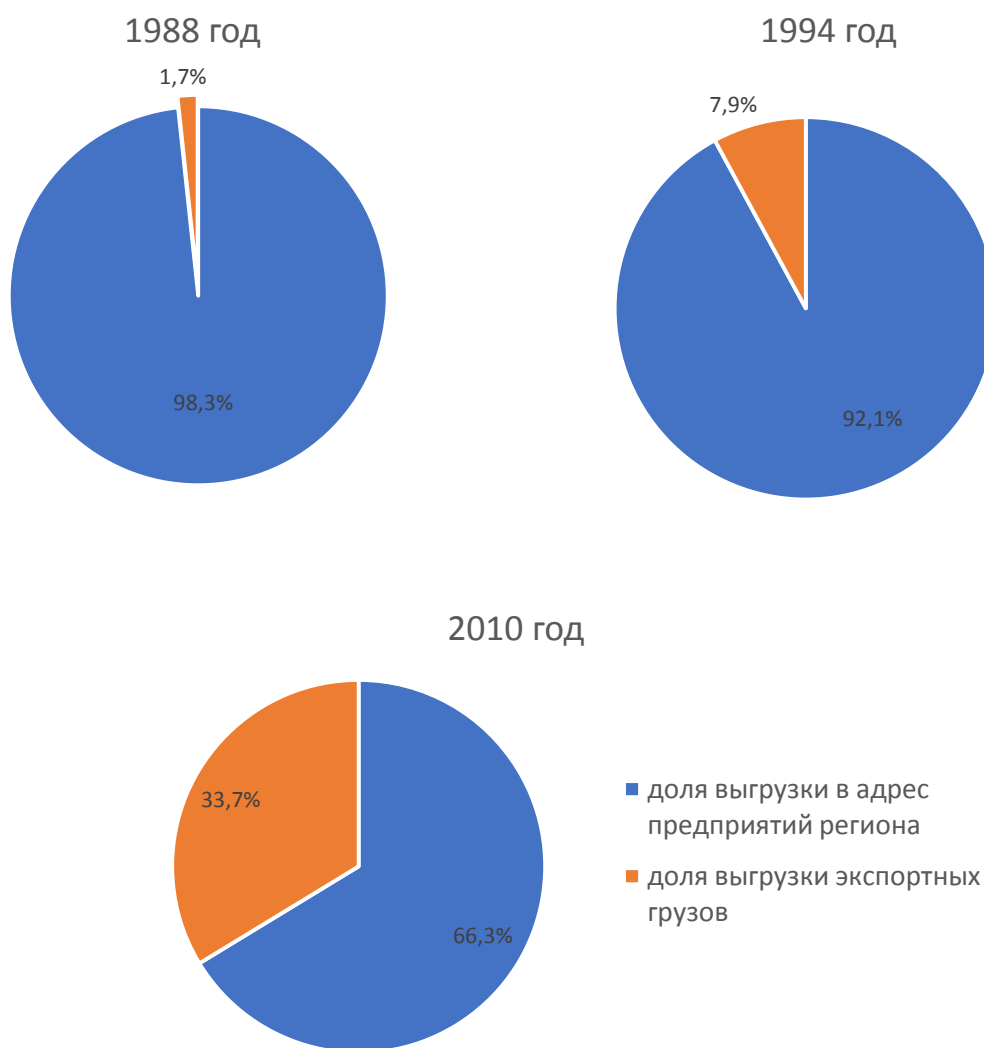
Ретроспективный анализ местной работы на СКЖД

Рисунок П2.3 – Доли выгрузки на СКЖД, обслуживающей порты и предприятия Южного региона [4, 207]

Факторы, влияющие на объемы транспортной работы Северо-Кавказской железной дороги

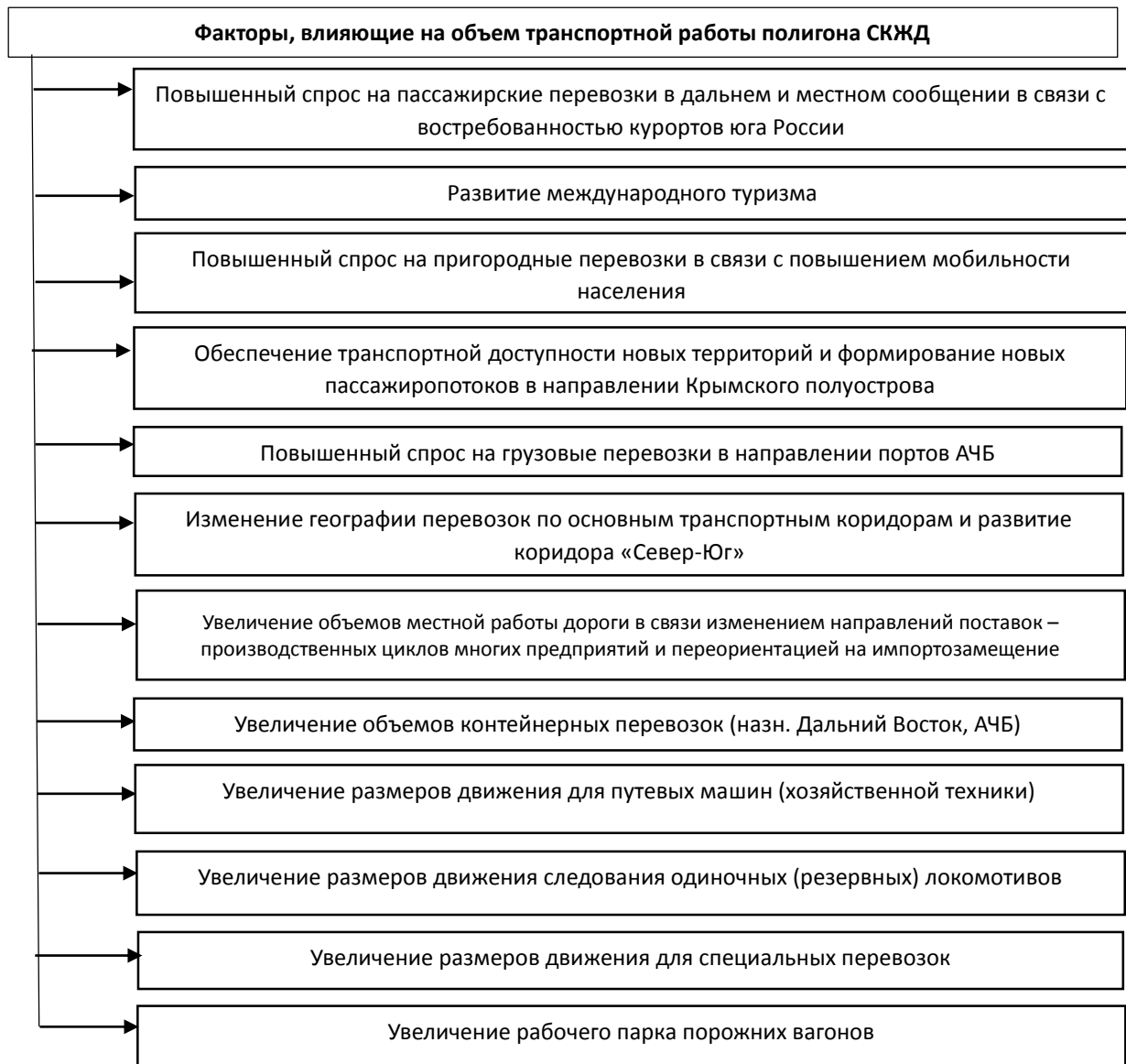


Рисунок П2.4 – Факторы, влияющие на объемы транспортной работы [209]

Приложение 2

Раздел П2.7

**Мероприятия по развитию железнодорожной инфраструктуры
на подходах к портам Азово-Черноморского бассейна до 2035 года**

Таблица П2.2 – Мероприятия по развитию железнодорожной инфраструктуры
на подходах к портам АЧБ

Мероприятия до 2030 г.	Мероприятия до 2035 г.
Строительство 445,5 км дополнительных главных путей на участках: Ея – Ровное, Абинская – Крымская, Афипская – Северская, Северская – Ильская, Чинары – Чилипси, Чилипси – Кривенковская, Аксарайская II – Малый Арал, Тимашевская – Кирпильский (2-й этап), Фанагорийская – Афапостик, Эриванский – Абинская, Ахтырская – Эриванский, Хабль – Ахтырская, Ильская – Хабль, Гостагаевская – Юровский, Белореченская – Пшихская, Комсомольская – Тверская, Киевская – Вышестеблиевская. Развитие и реконструкция 24 станций: Волжский, им. М. Горького (1–3-й этапы), Краснодар I, Тимашевская (1–2-й этапы), Сальск, Ивановский, Саратов, Тихорецкая, Капустин Яр, Цимлянская, Аксарайская II, Юровский, Куберле, Горячий Ключ, Варениковская, Анапа, Ртищево, Самур II, Кинель, Дема, Сызрань I, Оренбург, Пугачевск, Терса-Вольская). Строительство мостового перехода через р. Кубань на участке Краснодар (Краснодар I) – Энем I. Усиление устройств энергоснабжения	Строительство 838,3 км дополнительных главных путей на участках: Гумрак – Колоцкий, Гречаная – Рзд. 9 км, Пугачевск – Ершов, Урбах – Кайсацкая, Астрахань – Кизляр, Кизляр – Червленая-Узл., Ахтуба – Верхний Баскунчак, Прохладная – Стодерева, Гречишкино – Кавказская. Строительство 372 км новых линий. Реконструкция 20 станций: Вышестеблиевская, Гречаная, Козырьки, Гречишкино, Кавказская, Армавир, Тихорецкая, Зеленчук, Минеральные Воды, Георгиевск, Прохладная, Червленая-Узл., Кизляр, Верхний Баскунчак, Морозовская, Красный Кут, Ершов, Ртищево, Красногвардеец II. Строительство 5 мостовых переходов. Электрификация более 2400 км путей.

Приложение 2

Раздел П2.8

**Результаты расчета железнодорожного тарифа и доходов ОАО «РЖД»
от перевозки ожидаемого вагонопотока в адрес портов юга России
(для ряда припортовых станций СКЖД)**

Таблица П2.3 – Оценка ожидаемых доходов при реализации мероприятий по усилению инфраструктуры на участке Тимашевская – Разъезд 9 км [220]

Пункт назначения	Станция поступления (зарождения) вагонопотока	Номенклатура груза	Недополученные доходы					
			Повагонные отправки			Маршрутные отправки		
			Кол-во ваг	Инфрастр. сост.	Сумм. доход	Кол-во ваг	Инфрастр. сост.	Сумм. доход
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кавказ	Котельниково	Нефтегрузы	51	58666	2991966	195	56906	11 096 670
		Прочие	-	-	-	68	33996	2 311 728
	Краснодар-Сорт.	Нефтегрузы	8	31715	253720	-	-	-
		Прочие	5	23092,4	115462	-	-	-
	Афипская	Нефтегрузы	-	-	-	65	42533,3	2 764 664,5
Ново-российск	Котельниково	Лесные	24	26925	646200	-	-	-
		Нефтегрузы	33	52292	1725636	65	46540	3 025 100
		Прочие	25	39546,2	988655	136	36382,5	4 948 020
		Руда	25	26225,3	655632,5	198	24127,3	4 777 205,4
		Удобрения	8	31243	249944	128	29680,9	3 799 155,2
		Черн. мет.	37	57522	2128314	71	54645,9	3 879 858,9
		Зерно	41	31484	1290844	-	-	-
	Афипская	Нефтегрузы	-	-	-	65	23416,7	1 522 085,2
	Краснодар-Сорт	Нефтегрузы	7	29714,2	207999,4	-	-	-
		Удобрения	-	-	-	64	24016,8	1 537 075,2
		Зерно	136	19951,6	2713418	118	16958,9	2 001 150,2
	Сохрановка	Лесные	5	27509	137545	-	-	-
		Прочие	-	-	-	68	45604,4	3 101 099,2
		Удобрения	21	33899	711879	-	-	-
		Чер. мет	45	60385	2717325	71	53743	3 815 753
		Зерно	70	33899	2372930	59	31187	1 840 033
		Руда	-	-	-	66	22957	151 516
		Зерно	7	23715	166005	-	-	-
	Батайск	Черн. Мет.	-	-	-	71	38846	2 758 066
		Зерно	28	16715	468020	-	-	-
	Тимашевская	Зерно	28	16715	468020	-	-	-
Темрюк					2375814			4 180 700
Вышестеблиев-ская					5260272			86 051 122
Крым					3920046			13 761 582
Итого					32097627			157 322 584

Ожидаемые доходы в случае реализации мероприятий по усилению инфраструктуры определяются согласно Прейскуранту № 10 – 01 «Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые российскими железными дорогами». Для назначений: Темрюк, Вышестеблиевская, полуостров Крым расчеты приведены в сокращенном виде. Результаты расчетов железнодорожного тарифа по всем номенклатурам грузов, выгружаемых в рассматриваемых портах, и доходов ОАО «РЖД» от перевозки ожидаемого грузопотока, приведены в таблице П2.3 в графах 5,6, 8, 9.

Ввиду широкой номенклатуры грузов, следующих в порты Южного региона, и сложностью установления размеров дополнительно согласованных грузопотоков по каждой номенклатуре и пункту назначения, предлагается установить среднюю оплату за пользование инфраструктурой при перевозке грузов, которая будет использоваться для установления суммарного дохода в случае освоения всего грузопотока, и размера сокращения дохода в случае неосвоения 26% заявленного грузопотока. Тогда средняя оплата за пользование инфраструктурой при перевозке грузов по СКЖД составит:

$$I_{\text{ср}} = \frac{\sum(n_{\text{поваг}} \cdot I_{\text{поваг}}) + \sum(n_{\text{марш}} \cdot I_{\text{марш}})}{n_{\text{поваг}} + n_{\text{марш}}} = \frac{32097627 + 157322584}{1029 + 5240} = 30\,215,4 \text{ руб.}$$

Отсюда при неосвоении 26 % ожидаемого вагонопотока за год недополученный доход ОАО «РЖД», который можно получить благодаря строительству третьего пути на участке Тимашевская – Разъезд 9 км и освоению дополнительных объемов перевозок в адрес портов Азово-Черноморского бассейна, составит:

$$D_{\text{год}} = 365 \cdot 0,26 \cdot (n_{\text{поваг}} + n_{\text{марш}}) \cdot I_{\text{ср}} = 365 \cdot 0,26 \cdot (1029 + 5240) \times \\ \times 30215,4 \approx 17,9 \text{ млрд руб.}$$

Для оценки эффективности рассматриваемого проекта необходимо выполнить сравнительные расчеты эксплуатационных расходов на содержание участка пути в случае его строительства.

Анализ динамики выгрузки и рабочего парка припортовой железной дороги (на примере СКЖД)

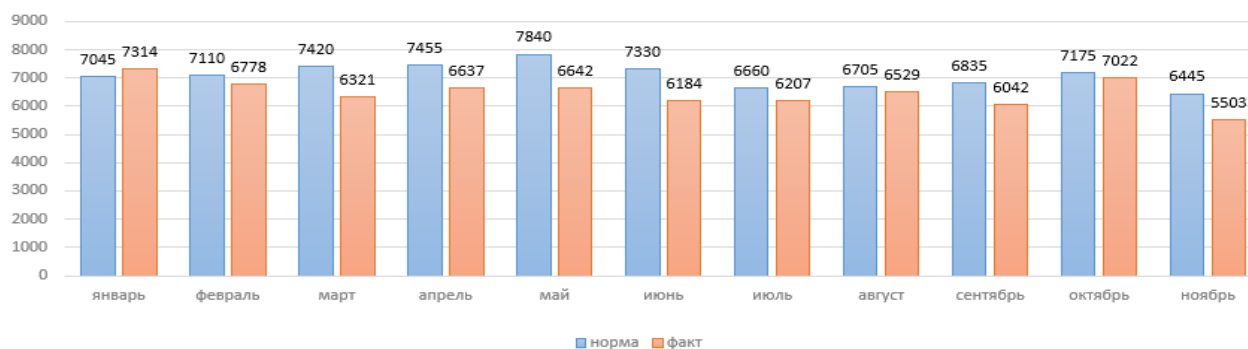


Рисунок П2.5 – Выгрузка вагонов по СКЖД, ваг. в ср. в сут. (11 мес. 2023 г.)

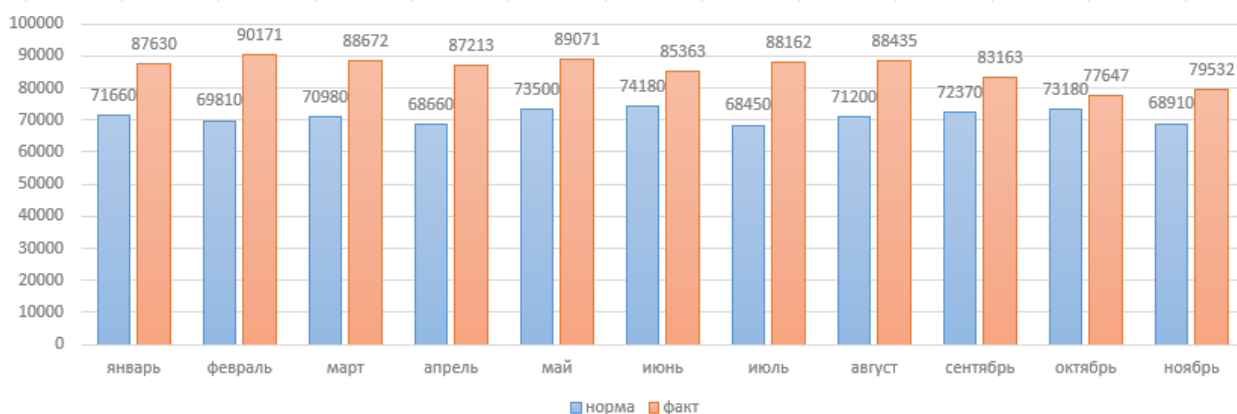


Рисунок П2.6 – Рабочий парк вагонов по СКЖД, (11 мес. 2023 г.)

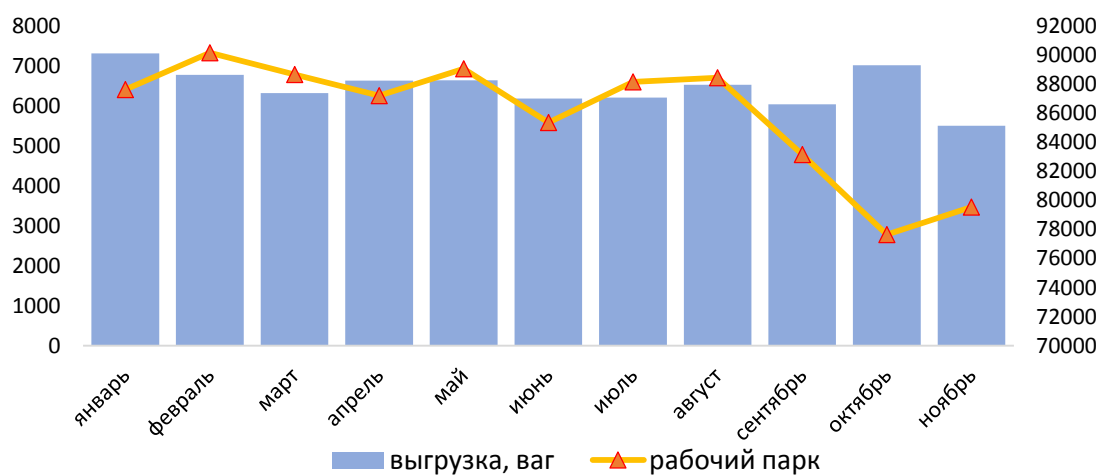


Рисунок П2.7 – Анализ взаимозависимости показателя выгрузки
от наличия вагонного парка на дороге

Формы взаимодействия разных видов транспорта

Таблица П2.4 – Формы взаимодействия разных видов транспорта

ФОРМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАЗНЫХ ВИДОВ ТРАНСПОРТА	
Технологическая	Техническая
– организация перевозок грузов несколькими видами транспорта по согласованным совмещенным контактным графикам движения подвижного состава; – эксплуатация подвижного состава и погрузочно-разгрузочных механизмов при переработке грузов по единому технологическому процессу для обеспечения минимальных простоев вагонов, автомобилей и судов под грузовыми операциями; обеспечения ритмичной погрузки, выгрузки грузов, маневровой работы в соответствии с объемом перевозок; – применение согласованных норм обеспечения перевалочных пунктов подвижным составом и погрузочно-разгрузочными механизмами; – создание необходимых условий для максимального развития наиболее эффективных бесперегрузочных перевозок; – внедрение прямого варианта перегрузки грузов с одного вида транспорта на другой, минуя стадию их складского хранения; – оперативное планирование работы транспортных предприятий в узлах; – согласование груженых вагонопотоков, направляемых грузовладельцами в адрес операторов морских терминалов	– согласование пропускной и перерабатывающей способности систем и устройств, по которым следуют потоки грузов; – увязка параметров подвижного состава и контейнеров по габаритам, грузоподъемности, вместимости в целях эффективного использования перегрузочных средств; – создание стыкуемых технических средств связи для работников различных видов транспорта, управляющих перевозочным процессом, перевалкой грузов во внутритранспортных узлах
Экономическая	Информационная
– разработка стратегии развития транспорта; – разработка и согласование планов-прогнозов спроса на транспортные услуги; – определение объемов смешанных перевозок по регионам; – определение размеров инвестиций и способов субсидирования; – разработка единой методической основы определения эксплуатационных расходов, себестоимости перевозок, эффективности капитальных вложений, производительности труда, показателей транспортной обеспеченности предприятий и регионов; – обоснование и согласование показателей учета транспортных затрат и доходов при смешанных перевозках; – обоснование эффективности совместных проектов транспортного обслуживания клиентуры; – проведение платежных операций между перевозчиками разных видов транспорта; – унификация плановых и отчетных показателей работы видов транспорта	– создание единой информационной среды транспортного комплекса и аналитических информационных систем для поддержки управления развитием и регулирования процессов функционирования транспортного комплекса, – развитие АСУ взаимодействующих видов транспорта, – развитие интеллектуальных и цифровых технологий, – развитие цифровых платформ

Анализ составности поездов по прибытии и отправлении по станции Новороссийск

В период 2018–2020 гг. на полигоне СКЖД были разработаны и реализованы мероприятия по повышению эффективности эксплуатационной работы, такие как формирование и пропуск тяжеловесных поездов на выделенных направлениях; формирование и отправление длинносоставных поездов и ППД на выделенных направлениях; работа локомотивных бригад на удлинённых плечах обслуживания. В целях выполнения указанных мероприятий было организовано движение соединённых поездов на участке станция Батайск – станция Новороссийск и движение поездов повышенной длины до 120 условных вагонов в обратном направлении. Реализация указанных мероприятий повлияла на составность грузовых поездов по прибытии и отправлении по станции Новороссийск (рисунок П2.8).

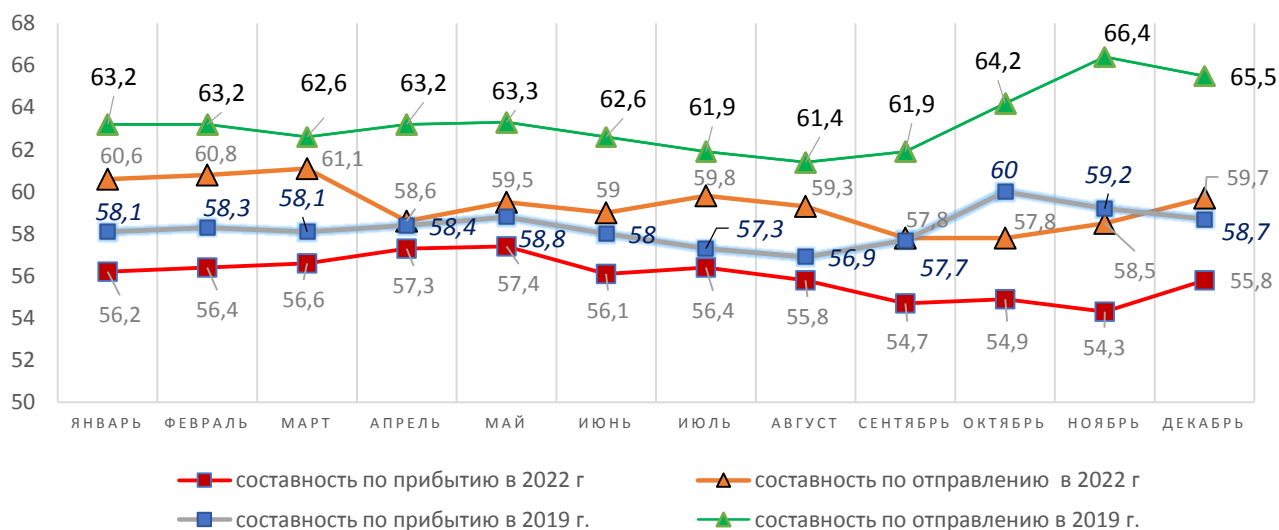


Рисунок П2.8 – Составность по прибытии и отправлении и среднесуточное количество отправляемых поездов повышенной длины в 2019 и 2022 гг. (помесячно) по станции Новороссийск [293]

В 2021 году мероприятия по повышению эффективности эксплуатационной работы были переработаны. Общее количество организационно-технологических мероприятий было в целом увеличено, но по заданию пропуска ППД для конкретных направлений уменьшено, что сразу отразилось на эффективности эксплуатационной работы станции Новороссийск (рисунок П2.9).



Рисунок П2.9 – Составность по прибытии и отправлению по станции Новороссийск за период 2018–2023 гг. [293]

Анализ средней составности поездов в 2019 и 2021 годах показывает, что по прибытию значение снижено на 1,6 вагона, а по отправлении на 2,4 вагона, это привело к завышению парка порожнего вагона на станции Новороссийск, что в свою очередь отразилось на своевременности освобождения грузовых фронтов припортовых терминалов от подвижного состава после осуществления грузовых операций. Так, уменьшение числа отправляемых со станции Новороссийск поездов повышенной длины (рисунок П2.10) отразилось на составности (рисунок П2.11).



Рисунок П2.10 – Количество ППД, отправленных со станции Новороссийск за период 2018–2023 гг., поездов в среднем в сутки [292, 293]

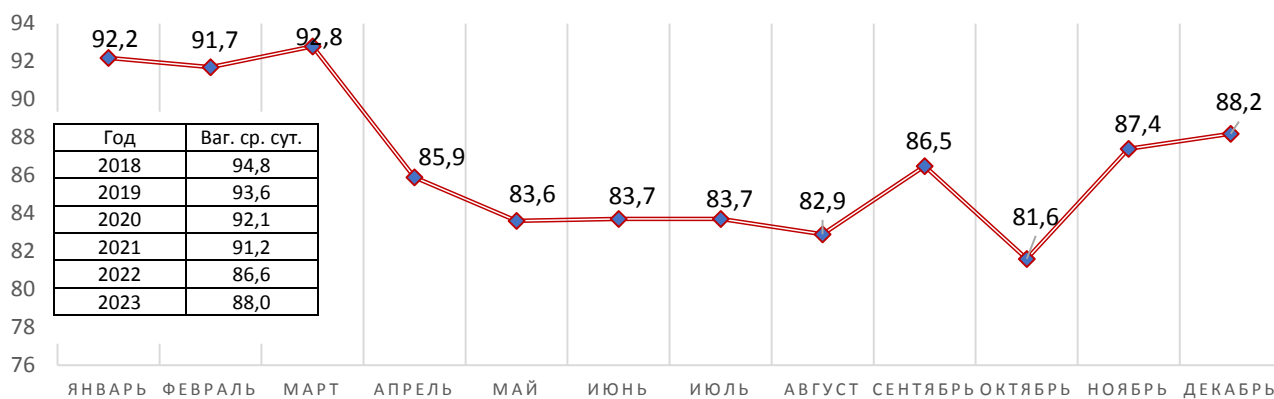


Рисунок П2.11 – Составность отправленных ППД в 2022 году (помесячно) и за 6 лет по станции Новороссийск [293]

Несвоевременное отправление вагонов со станции Новороссийск усугубляется недостаточным количеством отправочных путей в парке «Нижний», ограниченной пропускной способностью чётной и нечётной горловин этого парка, а также недостаточной перерабатывающей способностью сортировочных и маневровых средств. (Справочно: перерабатывающая способность профилированной вытяжки четной горловины – 741 вагон в сутки, со стороны нечётной горловины – 1197, при потребной перерабатывающей способности по формированию грузовых поездов на отправление со станции Новороссийск более 1300 вагонов на каждое сортировочное устройство).

Анализ отправляемого вагонопотока и доли вагонов в ППД.

Отправление поездов повышенной длины со станции позволяет эффективнее использовать тяговый подвижной состав, особенно в условиях, когда операции по выгрузке значительно превышают операции по погрузке. Появляется возможность высвободить тяговый подвижной состав. На примере станции Новороссийск: был высвобожден 821 поездной электровоз переменного тока в течении 2020 года и 571 в течение 2023 года.

Так же появляется возможность отправления дополнительного объёма подвижного состава без задействования дополнительных тяговых ресурсов (рисунок П2.12).

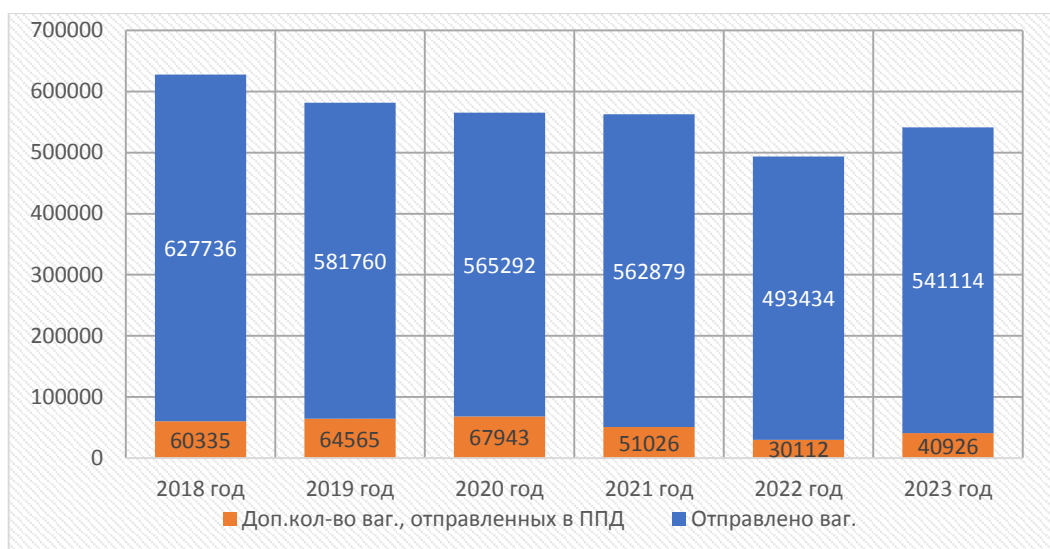


Рисунок П2.12 – Доля дополнительного подвижного состава, отправленного ППД в период с 2018 по 2023 г. со станции Новороссийск [293]

Предъявление претензионных требований, связанных с несвоевременной доставкой грузов и порожних вагонов

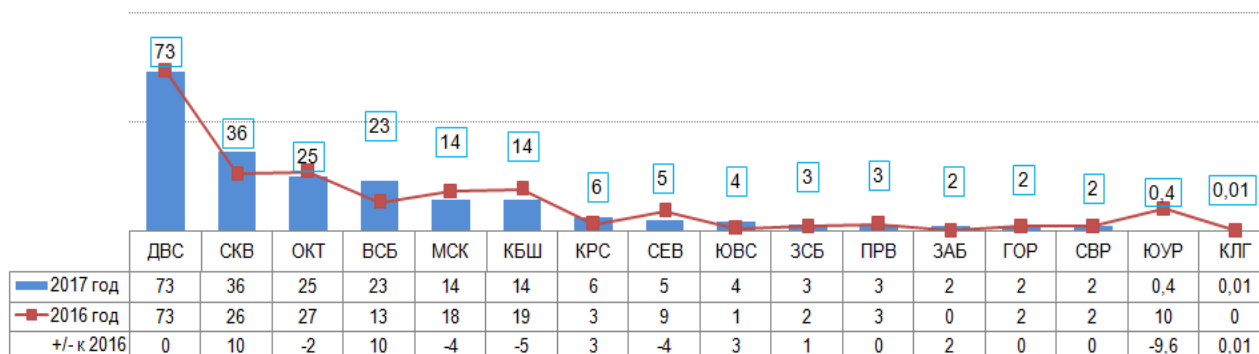


Рисунок П2.13 – Предъявление претензионных требований, связанных с несвоевременной доставкой грузов и порожних вагонов в местном сообщении (2016–2017 гг.) [68]

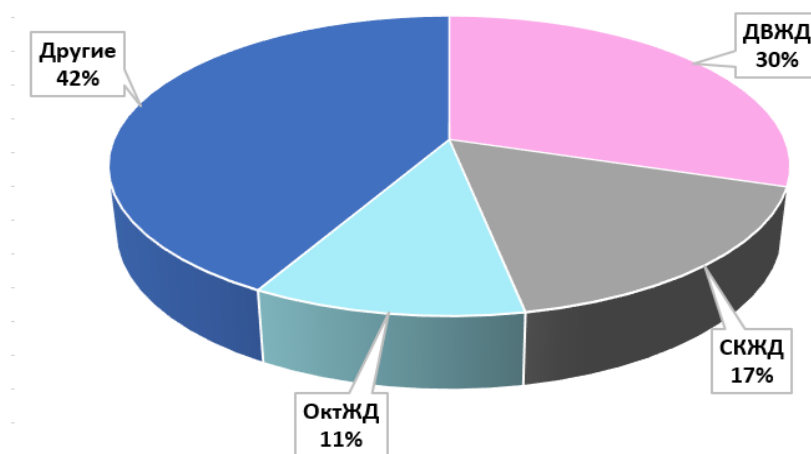


Рисунок П2.14 – Суммы предъявления претензионных требований в процентном соотношении по железным дорогам (2021 г.)

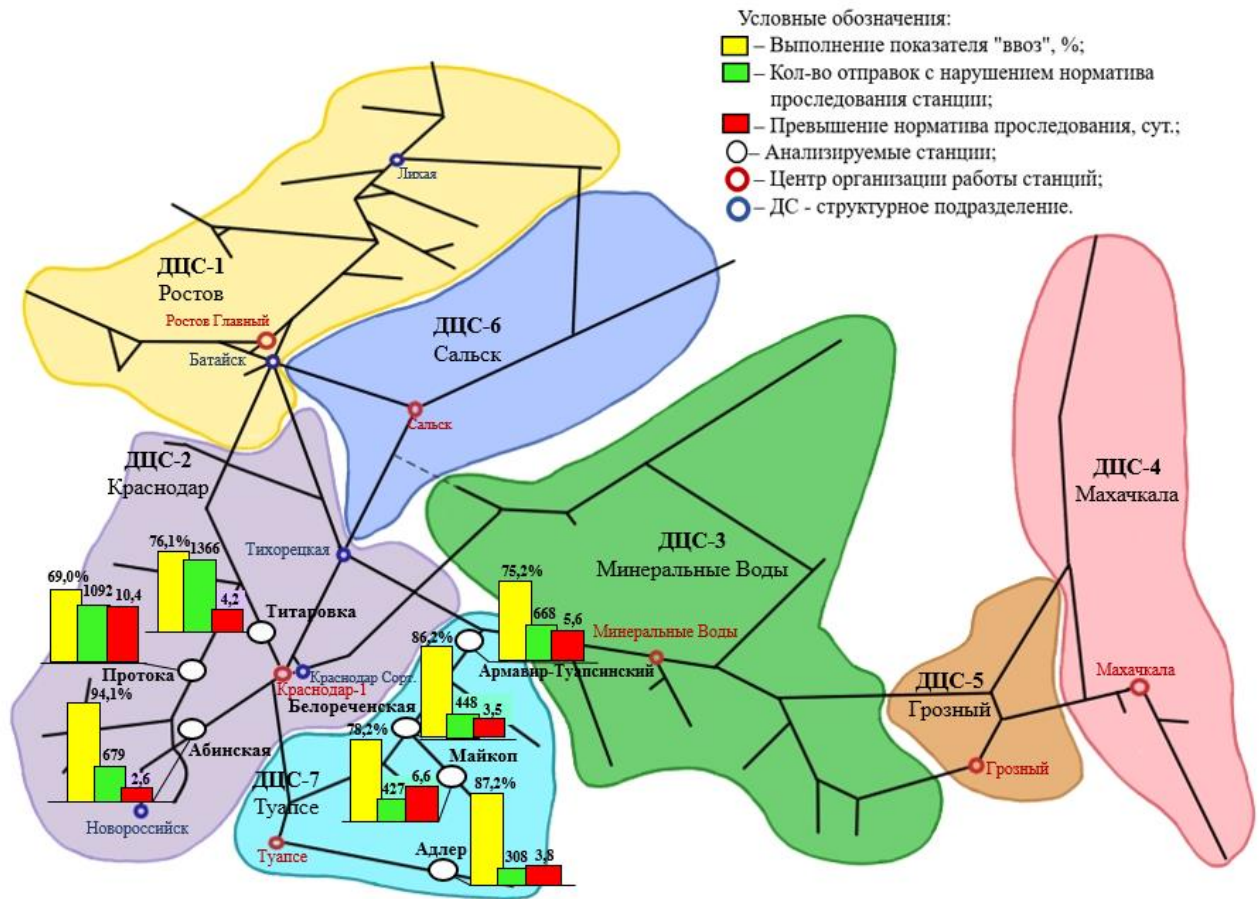


Рисунок П2.15 – Выполнение грузевых отправок по виду сообщения «ввоз» на СКЖД (интерактивный анализ за 2021 год)

Приложение 2

Раздел П2.13

Таблица П2.5 – Раскладка по причинам технологических нарушений
для припортовой железной дороги

Причины	Кол-во случаев,	Доля, %
<i>Нарушения технического характера</i>		
А. Нарушения при приготовлении маршрутов приема и отправления (при диспетчерской централизации)	14	0,25
В. Другие причины	5	0,09
Всего	19	0,33
<i>Особая технологическая необходимость</i>		
С. Изменение плана подвода поездов к станции	641	11,26
Д. Напряженная эксплуатационная обстановка на диспетчерском участке	257	4,52
Е. Неверное восприятие информации о поездной обстановке на станции и подходах к ней	87	1,53
Ф. Невыполнение требований технологической документации при эксплуатации автоматизированных систем	76	1,34
Г. Недостаточная подготовка поездных диспетчеров	66	1,16
Н. Неправильная обработка поездных документов, нарушение их комплектности	33	0,58
И. Некачественное планирование «подвязки» локомотивных бригад под поезда	28	0,49
Ж. Некачественное планирование «подвязки» локомотивов под поезда	25	0,44
К. Другие причины (менее 25 случаев)	190	3,34
Всего	1422	24,65
<i>Особая технологическая необходимость</i>		
Л. Задержки, связанные с наличием подвижного состава, требующего ограничения скорости	2123	37,30
М. Изменение объемов поездопотоков из-за перенаправления на параллельные ходы в связи с проведением ремонтных работ	1249	21,94
Н. Перенос на станции диспетчерского участка дополнительных объемов эксплуатационной работы	228	4,01
О. Перестановка групп вагонов в составе группового поезда для их подборки на пути	158	2,78
Р. Посадка и высадка работников ОАО «РЖД»	81	1,42
Q. Производство отцепок/прицепов для обеспечения нормы длины и веса поездов	31	0,54
Р. Другие причины (менее 25 случаев)	60	1,05
Всего	3930	69,04
<i>Внешние причины (факторы)</i>		
С. Воздействие низких температур, требующих ограничения скорости	191	3,36
Т. Задержки, связанные с деятельностью сотрудников правоохранительных органов	147	2,58
У. Резкие перепады температур, влияющих на работу контактной сети	2	0,04
Всего	340	5,97
Всего по причинам	5692	100

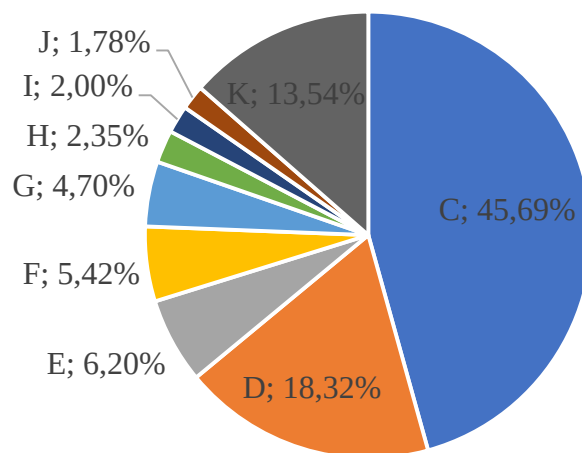


Рисунок П2.16 – Структура нарушений технологического характера

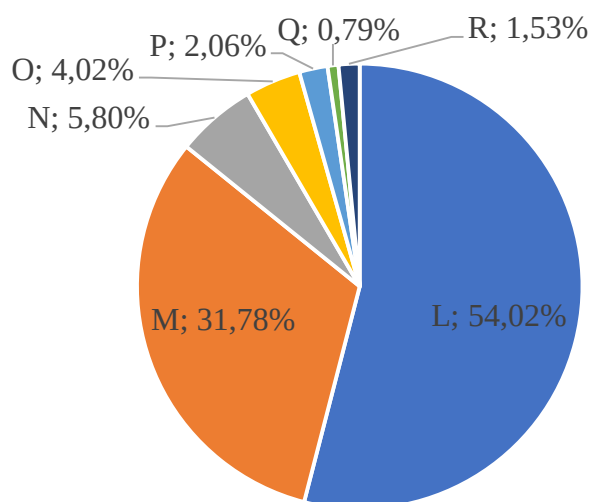


Рисунок П2.17 – Структура нарушений, вызванных особой технологической необходимостью

Результаты когнитивного моделирования

Таблица ПЗ.1 – Моделирование управляющих воздействий по трем вершинам (задание возмущений в вершины «Инвестиции», «Система управления и организация транспортного производства ПТТС», «Риски»). Эксперимент по сценарию 3.

Шаг Вершина	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
V1. Организационно-технологическая надежность ПТТС	0.0	0.0	2.0	1.0	1.0	7.0	14.0	24.0	39.0	94.0	238.0
V2. Состояние транспортной системы страны	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0	2.0	2.0	16.0	31.0	48.0
V3. Погодные и климатические условия	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
V4. Государственная политика в области транспорта	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0	2.0	2.0	16.0	31.0	48.0	98.0
V5. Кадровое обеспечение	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	4.0	7.0	12.0	35.0	79.0	133.0
V6. Рынок транспортных услуг	0.0	0.0	-1.0	0.0	4.0	3.0	5.0	24.0	46.0	87.0	167.0
V7. Инвестиции	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	4.0	7.0	5.0	11.0	46.0	86.0
V8. Региональное развитие	0.0	0.0	-1.0	-1.0	3.0	6.0	4.0	10.0	45.0	85.0	134.0
V9. Состояние региональной транспортной системы	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0	2.0	2.0	16.0	31.0	48.0	98.0
V10. Экономика	0.0	0.0	1.0	3.0	2.0	2.0	16.0	31.0	48.0	98.0	225.0
V11. Уровень безопасности	0.0	0.0	-1.0	-1.0	1.0	2.0	4.0	13.0	25.0	58.0	117.0
V12. Риски	0.0	1.0	1.0	-1.0	0.0	0.0	-6.0	-13.0	-23.0	-38.0	-93.0
V13. Система управления и организация транспортного производства ПТТС	0.0	1.0	0.0	1.0	4.0	3.0	8.0	20.0	32.0	82.0	145.0
V14. Объем транспортной работы	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	5.0	10.0	19.0	48.0	85.0	181.0
V15. Международные связи	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0	2.0	2.0	16.0	31.0	48.0

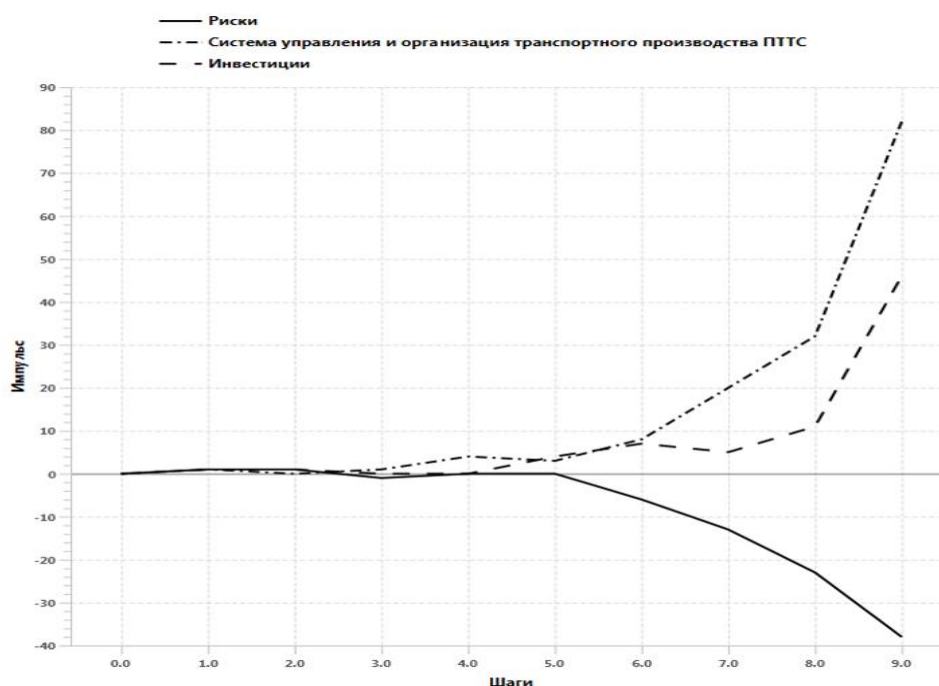


Рисунок ПЗ.1 – Прогноз развития ПТТС по трем вершинам (V₇, V₁₂, V₁₃) при когнитивном моделировании (сценарий 3)

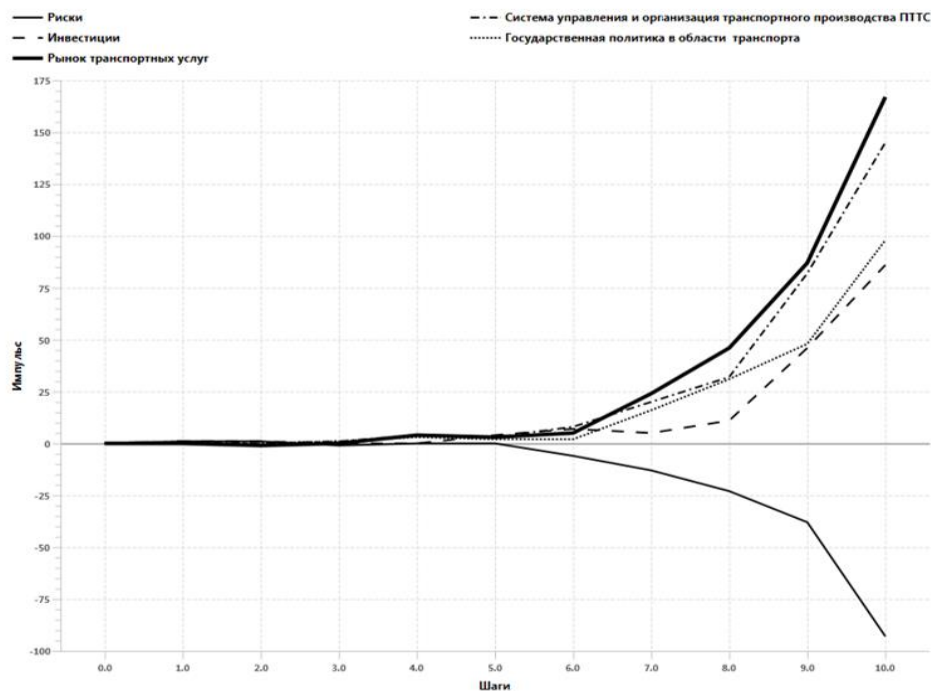


Рисунок П3.2 – Прогноз развития ПТТС по пяти вершинам ($V_4, V_6, V_7, V_{12}, V_{13}$) при когнитивном моделировании (сценарий 3)

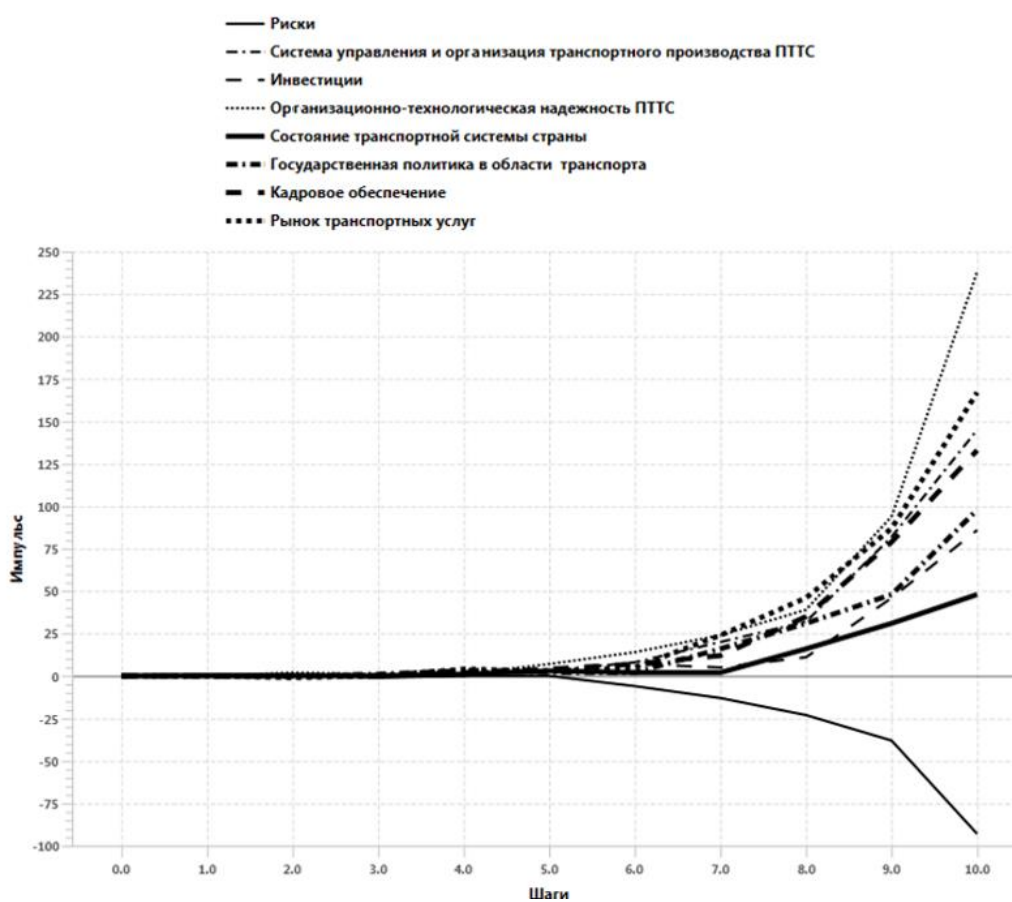


Рисунок П3.3 – Прогноз развития ПТТС по восьми вершинам ($V_1, V_4, V_5, V_6, V_7, V_9, V_{12}, V_{13}$) при когнитивном моделировании (сценарий 4) (анализ категории «Организационно-технологическая надежность ПТТС»)

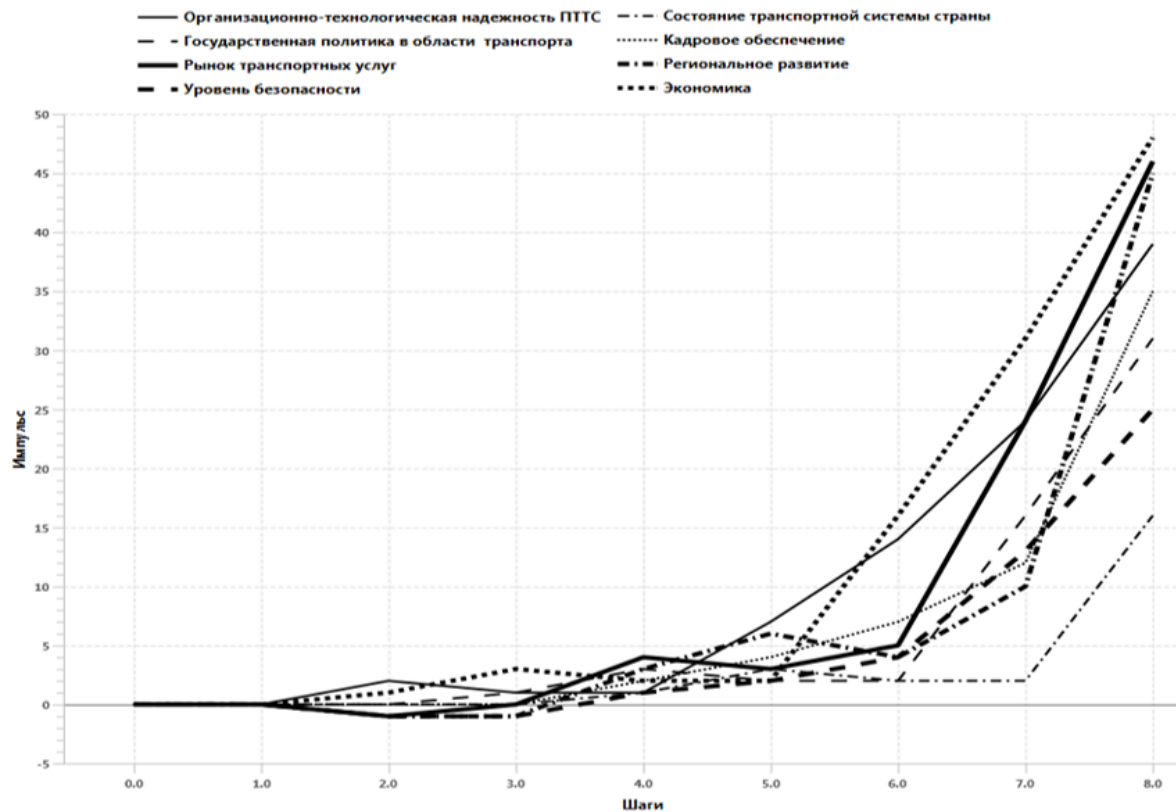


Рисунок ПЗ.4 – Прогноз развития ПТТС по восьми вершинам ($V_1, V_4, V_5, V_6, V_8, V_9, V_{10}, V_{11}$) при когнитивном моделировании (сценарий 4) (анализ категории «Организационно-технологическая надежность ПТТС»)

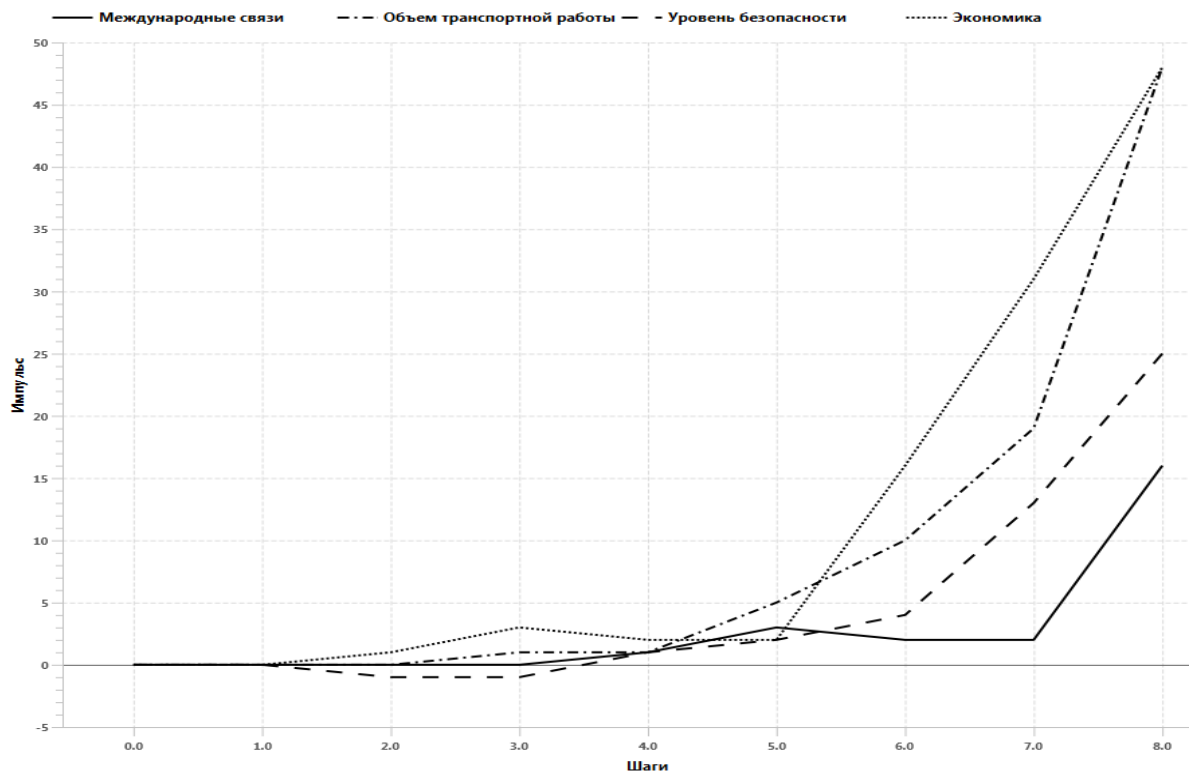


Рисунок ПЗ.5 – Прогноз развития ПТТС по четырем вершинам ($V_{10}, V_{11}, V_{14}, V_{15}$) при когнитивном моделировании (сценарий 5)

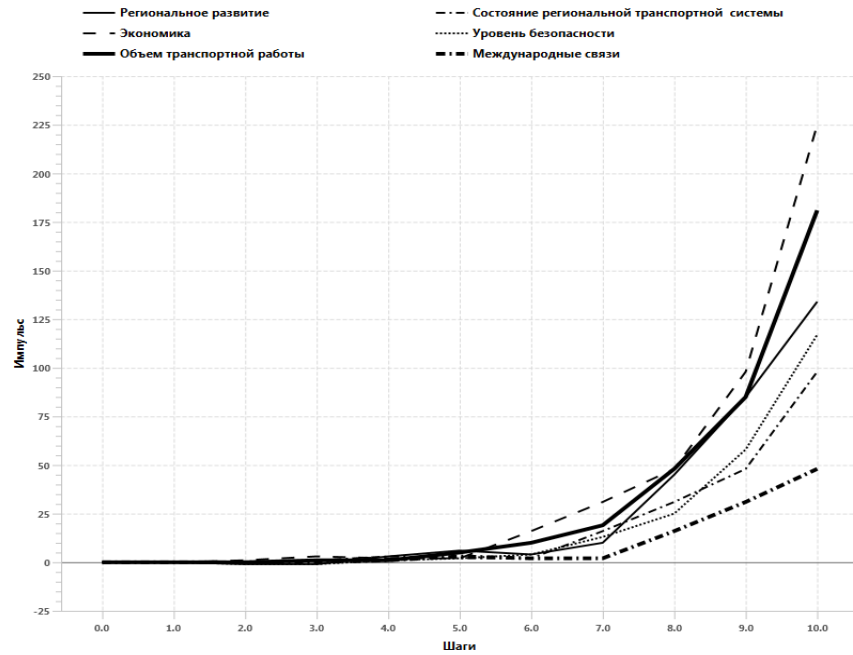


Рисунок ПЗ.6 – Прогноз развития ПТТС по шести вершинам ($V_8, V_9, V_{10}, V_{11}, V_{14}, V_{15}$) при когнитивном моделировании (пример устойчивого развития ПТТС)

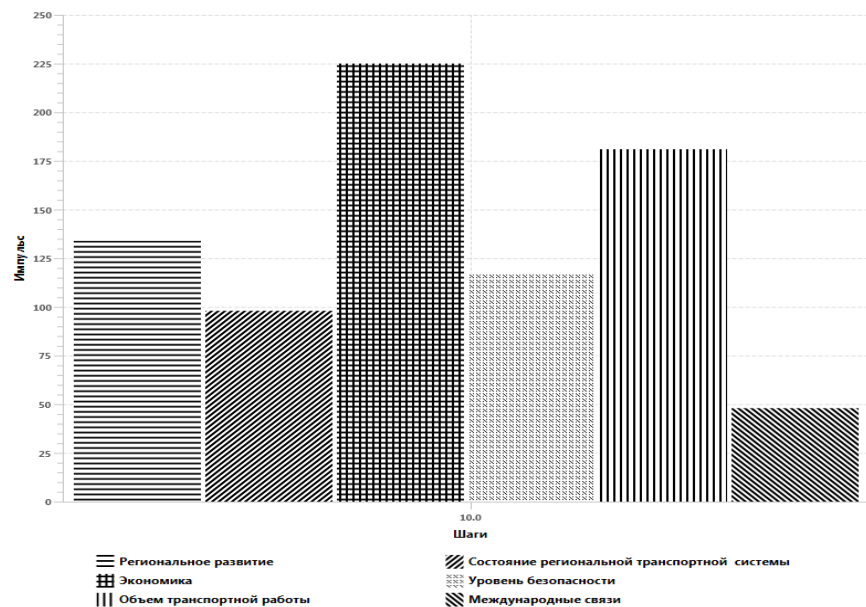


Рисунок ПЗ.7 – Визуализация по шагам моделирования. Прогноз развития ПТТС по шести вершинам ($V_8, V_9, V_{10}, V_{11}, V_{14}, V_{15}$) при когнитивном моделировании (пример устойчивого развития ПТТС)

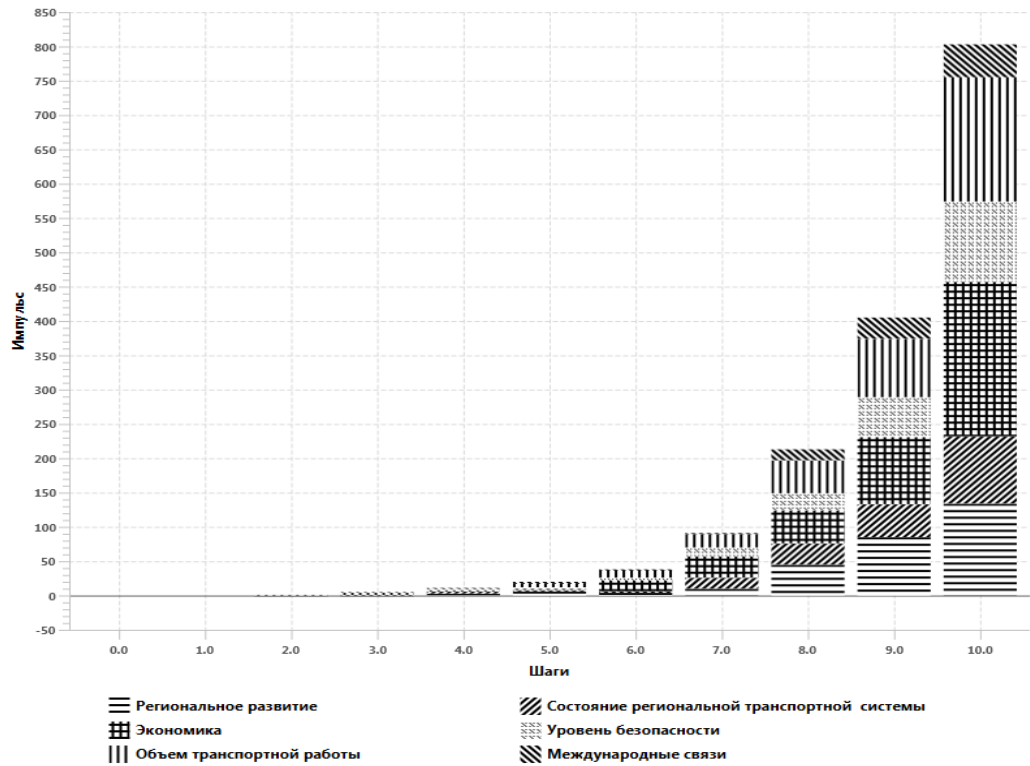


Рисунок ПЗ.8 – Визуализация по шагам моделирования. Прогноз развития ПТТС по шести вершинам ($V_8, V_9, V_{10}, V_{11}, V_{14}, V_{15}$) при когнитивном моделировании (пример устойчивого развития ПТТС)

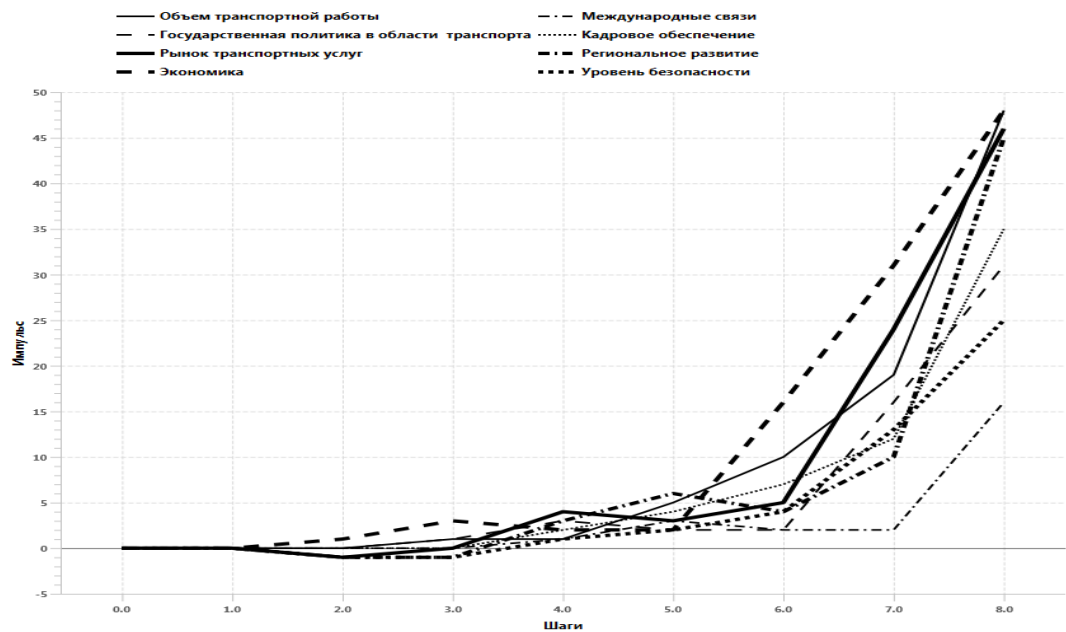


Рисунок ПЗ.9 – Прогноз развития ПТТС по восьми вершинам ($V_4, V_6, V_5, V_8, V_{10}, V_{11}, V_{14}, V_{15}$) при когнитивном моделировании (пример устойчивого развития ПТТС)

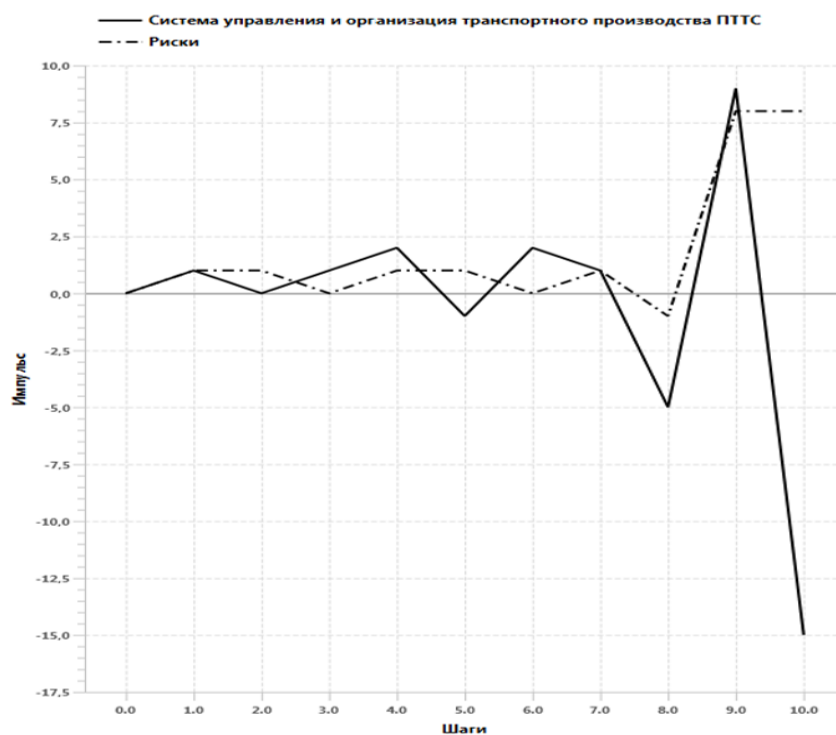


Рисунок ПЗ.10 – Прогноз развития ПТТС по шести вершинам (V_{12}, V_{13}) при когнитивном моделировании (пример неустойчивого развития ПТТС)

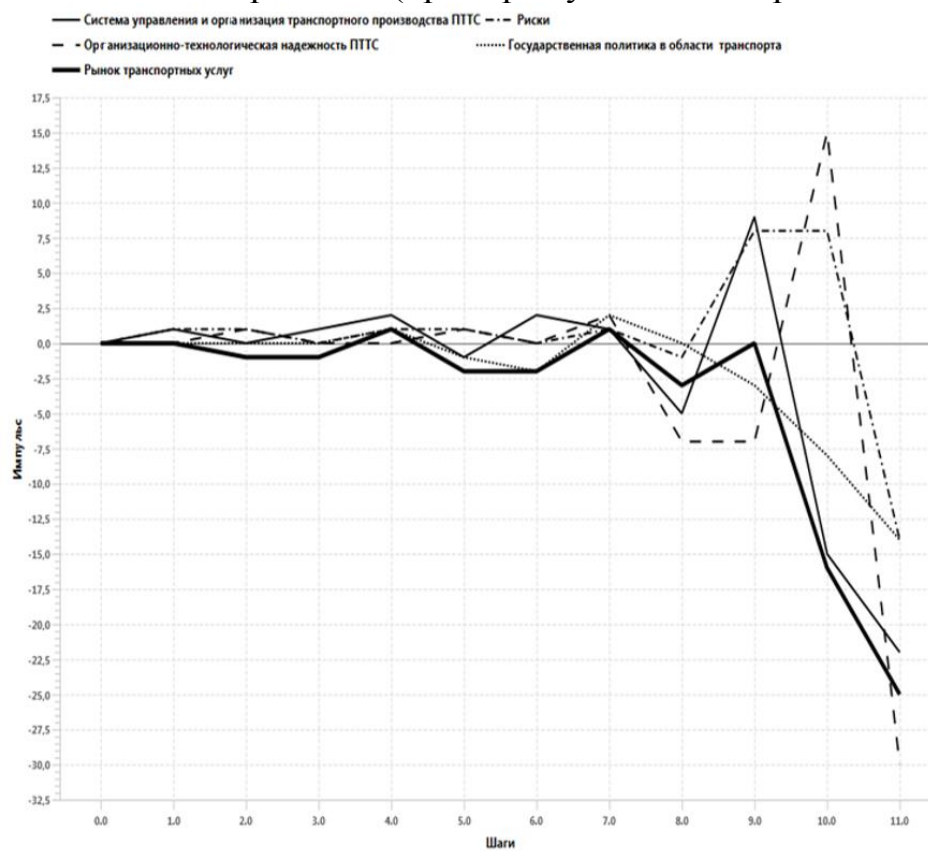


Рисунок ПЗ.11 – Прогноз развития ПТТС по шести вершинам ($V_1, V_4, V_6, V_{12}, V_{13}$) при когнитивном моделировании (пример неустойчивого развития ПТТС)

```
graph TD; A[Заместитель начальника службы организации логистики перевозок и выполнения сроков доставки грузов – начальник САВ ЛП] --> B[Заместитель начальника САВ ЛП начальник отдела перевозок внешнеторговых грузов]; A --> C[Начальник отдела информационного анализа и прогноза]; B --> D[I Круг Ведущий инженер]; B --> E[II Круг Ведущий инженер]; B --> F[III Круг Ведущий инженер]; C --> G[Ведущий инженер]; C --> H[Инженер I категории]; D --> D1[Новороссийск, Азов, Таганрог, Усть-Донецкая, Ейск, Заречная, Кизитеринка, Махачкала.]; E --> E1[Туапсе, Грушевая.]; E1 --> E2[Контроль нефтеналивных грузов выгружаемых в портах и нефтебазах]; F --> F1[Вышестеблиевская, Темрюк, Кавказ, Тамань.]; F1 --> F2[Контроль грузов выгружаемых по прямому варианту.]; F2 --> F3[Анализ плана подвода.]; G --> G1[Контроль и анализ погрузки в адрес портов. Прогноз, учет и анализ наличия «брошенных поездов», конвенционные ограничения погрузки и др.]; H --> H1[Контроль и анализ погрузки и выгрузки в портах, сроков доставки, работы паромов.]; H1 --> H2[Подготовка аналитического материала к совещаниям и др.];
```

Заместитель начальника службы организации логистики перевозок и выполнения сроков доставки грузов – начальник САВ ЛП

Заместитель начальника САВ ЛП
начальник отдела перевозок
внешнеторговых грузов

Начальник отдела информационного анализа и прогноза

I Круг Ведущий инженер

Новороссийск, Азов, Таганрог, Усть-Донецкая, Ейск, Заречная, Кизитеринка, Махачкала.

II Круг Ведущий инженер

Туапсе, Грушевая.

Контроль нефтеналивных грузов выгружаемых в портах и нефтебазах

III Круг Ведущий инженер

Вышестеблиевская, Темрюк, Кавказ, Тамань.

Контроль грузов выгружаемых по прямому варианту.

Анализ плана подвода.

Ведущий инженер

Контроль и анализ погрузки в адрес портов. Прогноз, учет и анализ наличия «брошенных поездов», конвенционные ограничения погрузки и др.

Инженер I категории

Контроль и анализ погрузки и выгрузки в портах, сроков доставки, работы паромов.

Подготовка аналитического материала к совещаниям и др.

Первый заместитель начальника дирекции (ДЗ-1)

Отдел анализа оперативного управления Центральной дирекции управления движением (ДЛЦ)

Заместитель начальника дирекции - Начальник диспетчерского центра управления перевозками (ДЦУП)

Заместитель начальника дирекции - начальник службы движения (ДД)

Заместитель начальника дирекции - начальник службы организации логистики и перевозок и выполнения сроков доставки (ДСДЛ)

Ведущий инженер ДЛЦ (сменный)

Диспетчерский центр управления перевозками (ДЦУП)

Заместитель начальника центра – начальник оперативно-распорядительного отдела (ДГ)

Старший диспетчер по управлению перевозками (ДГПС)

Начальник, заместитель начальника района управления по организации местной работы (НРУ, НРУЗ)

ДГПМ (по управлению перевозками района управления)

Диспетчер дорожный по району управления (ДРУ)

Диспетчер поездный (ДНЦ)

ДНЦВ Диспетчер по регулированию вагонного парка

Инженер сменный по контролю за сроками доставки грузов

Отдел организации породовой погрузки и выгрузки (Дпр)

Отдел организации выполнения сроков доставки грузов (ДДсд)

Начальник центра (ДЦС), заместитель начальника центра организации работы железнодорожных станций по грузовой работе (ДЦСМ)

Территориальный центр фирменного транспортного обслуживания (ТЦФО)

Агентство транспортного обслуживания (АФО)

Клиент

Начальник железнодорожной станции, заместитель начальника железнодорожной станции по грузовой и коммерческой работе, начальник грузового района, диспетчер маневровый железнодорожной станции, дежурный по станции

Рисунок П4.2 – Пример организационно-административной структуры управления местной работой припортовой железной дороги [462]

Технологические схемы согласования приема экспортного груза к перевозке в железнодорожно-морском сообщении

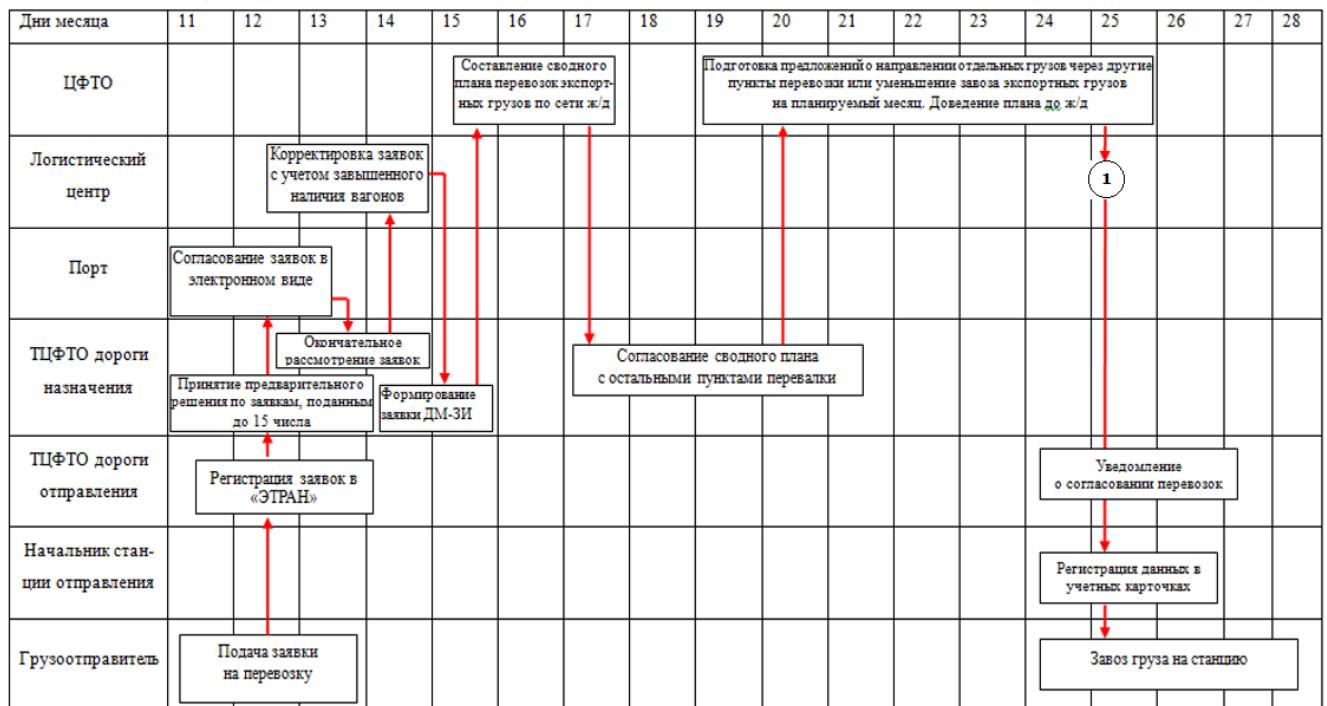


Рисунок П4.3 – Технологическая схема согласования приема экспортного груза к перевозке (вариант 1) [8]

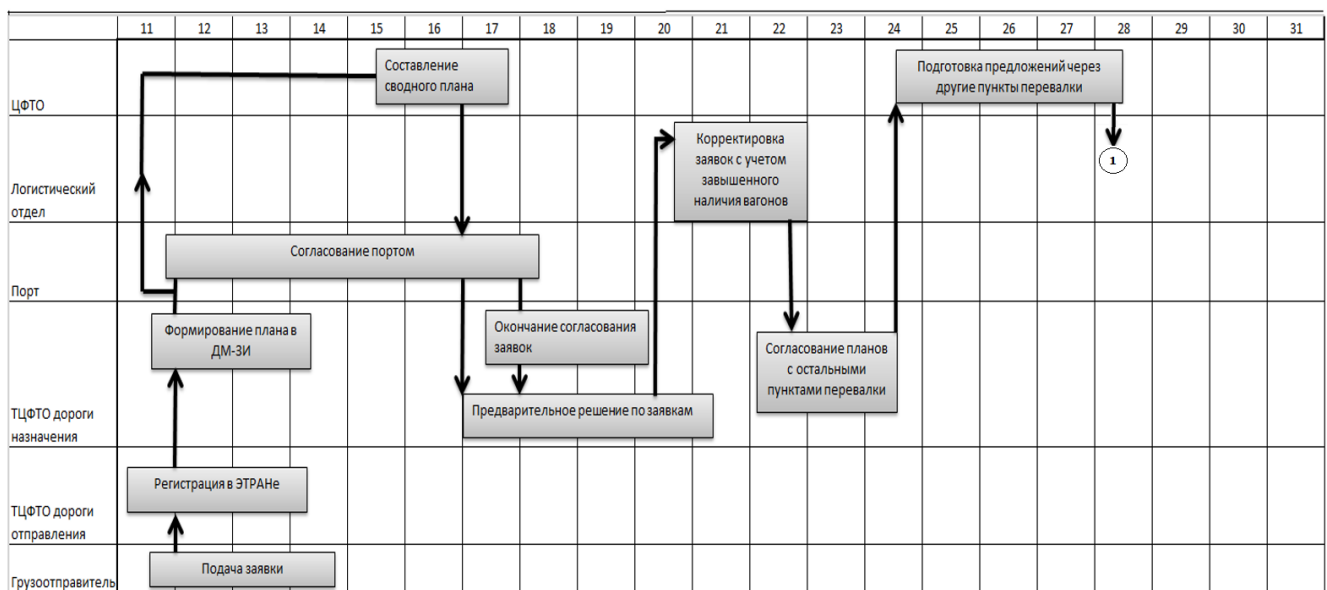


Рисунок П4.4 – Скорректированная технологическая схема согласования приема экспортного груза к перевозке (вариант 2)

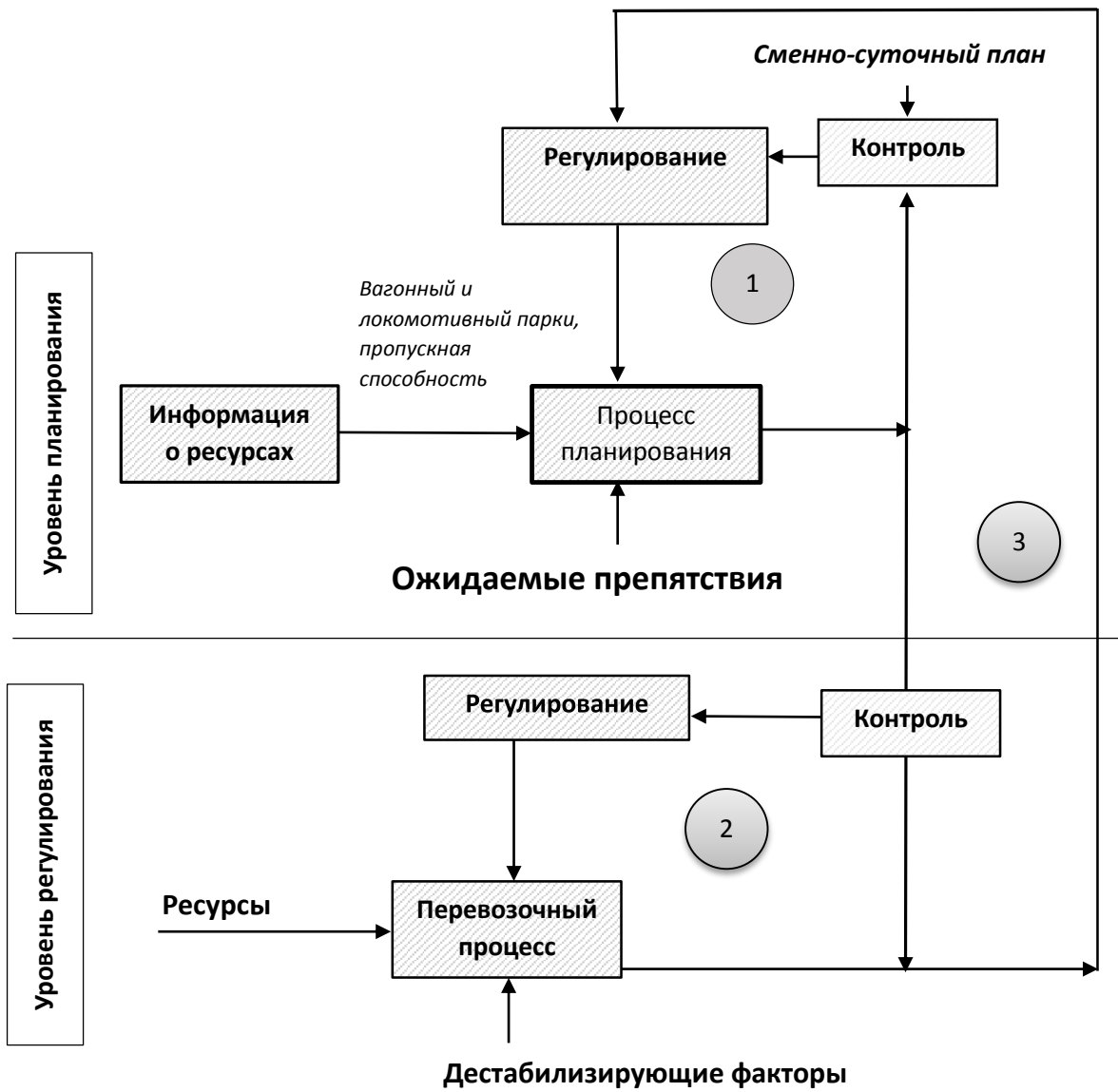


Рисунок П4.5 – Обобщенная схема оперативного управления движением с набором колец регулирования [463]

Схемы организации перевалки грузов по «прямому варианту»

На СКЖД производятся отгрузка, накопление и подвод различных видов грузов со станций дороги, перегружаемых в портах по прямому варианту «вагон – борт судна». Прямая перегрузка грузов может быть обеспечена с помощью разных форм организации:

– посредством предварительного накопления вагонов в портах в виде складов на колесах, вызывающего задержку вагонов до прихода судна для их совместной обработки (рисунок П4.6);

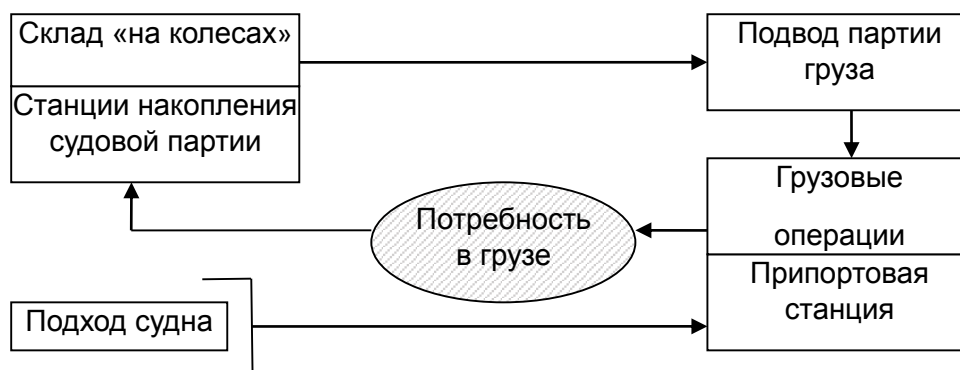


Рисунок П4.6 – Схема организации перевалки грузов по «прямому варианту»
с использованием «складов на колесах»

– на основе четко организованной, согласованной работы порта и станции без предварительной концентрации вагонов (рисунок П4.7);

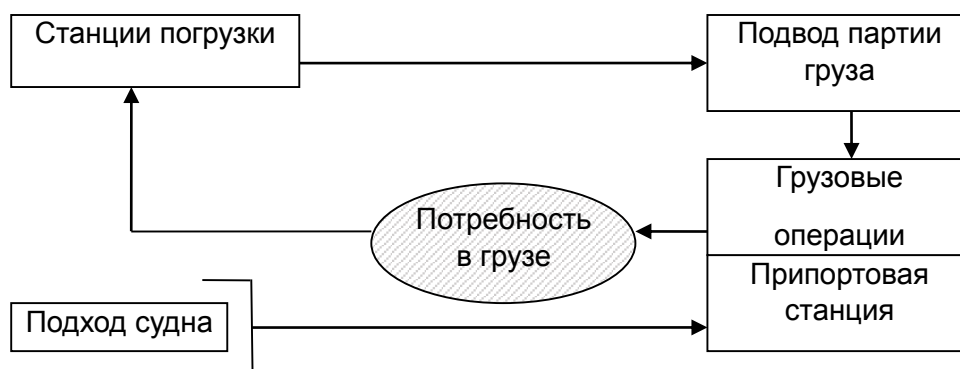


Рисунок П4.7 – Схема организации перевалки грузов по «прямому варианту»
без предварительной концентрации вагонов

– совмещенный вариант, когда часть груза «А» отгружается и подводится до прибытия судна. Оставшаяся часть груза «В» подводится, когда судно уже пришвартовано к причалу и выполняется перевалка груза «А» (рисунок П4.8).

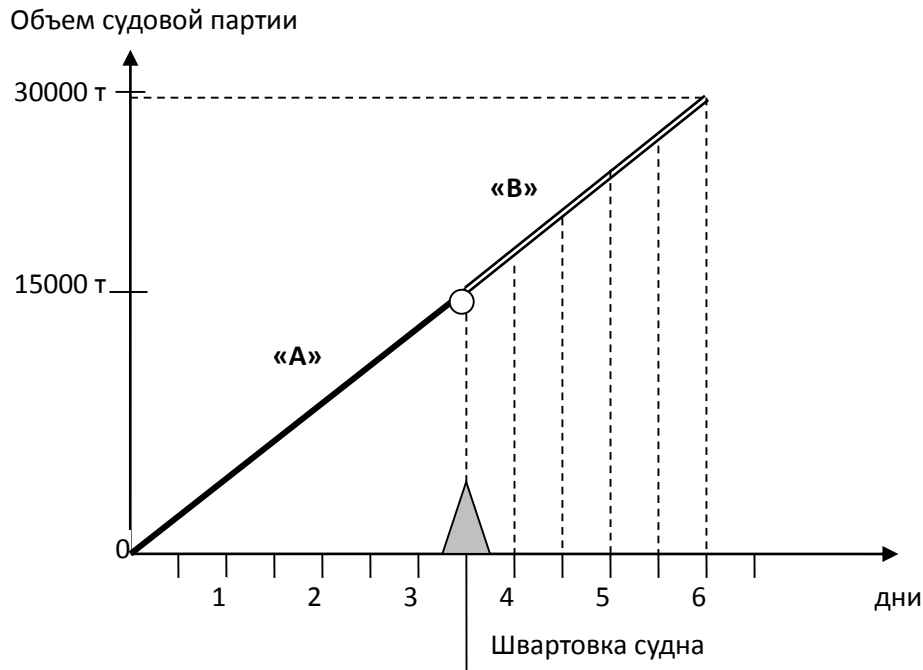


Рисунок П4.8 – Схема организации перевалки грузов по «прямому варианту» совмещенного типа

Как показывает анализ, при частичной или полной концентрации вагонов в транспортном узле до прибытия судна увеличивается оборот подвижного состава, и тем самым снижается доля рабочего парка вагонов, участвующего в перевозочном процессе. Кроме того, для предварительной концентрации рассчитанного количества вагонов требуется полезная суммарная длина путей накопления

$$L_{\text{пи}} = N_{\text{вi}} l_{\text{вi}},$$

где $L_{\text{пи}}$ – полезная суммарная длина путей накопления;

$N_{\text{вi}}$ – рассчитанное количество вагонов;

$l_{\text{вi}}$ – максимальная длина одного вагона.

Если перевалка грузов по прямому варианту целесообразна для нескольких грузопотоков, то потребная длина путей $L_{\text{п}}$ учитывает их в совокупности, т. е.

$$L_{\pi} = \sum_i L_{\pi i}.$$

Однако порт располагает фиксированной полезной протяженностью путей накопления L_{ϕ} , которая становится ограничивающим фактором, если не покрывает потребности, т. е. когда $L_{\phi} < L_{\pi}$. Тогда необходима соответствующая корректировка числа вагонов в целом $N'_b = L_{\phi}/l_{bi}$ и структуры обменного парка по грузопотокам N'_{bi} с учетом их показателей эффективности специальной формы организации (прямого варианта). Как правило, в расчетах учитываются расходы на инфраструктуру железнодорожного транспорта на припортовых станциях. В настоящее время основой организации работы по «прямому варианту» на СКЖД является обеспечение погрузки 50–60 % объема судовой партии и накопление его на полигоне дороги с дальнейшим подводом вагонов к порту по согласованному графику в соответствии с заявками экспедиторов и подхода судов. Остальной объем груза подводится, когда судно пришвартовывается к причалу. Часть вагонов во время продвижения в порт в пути следования подвергается постоянному переформированию.

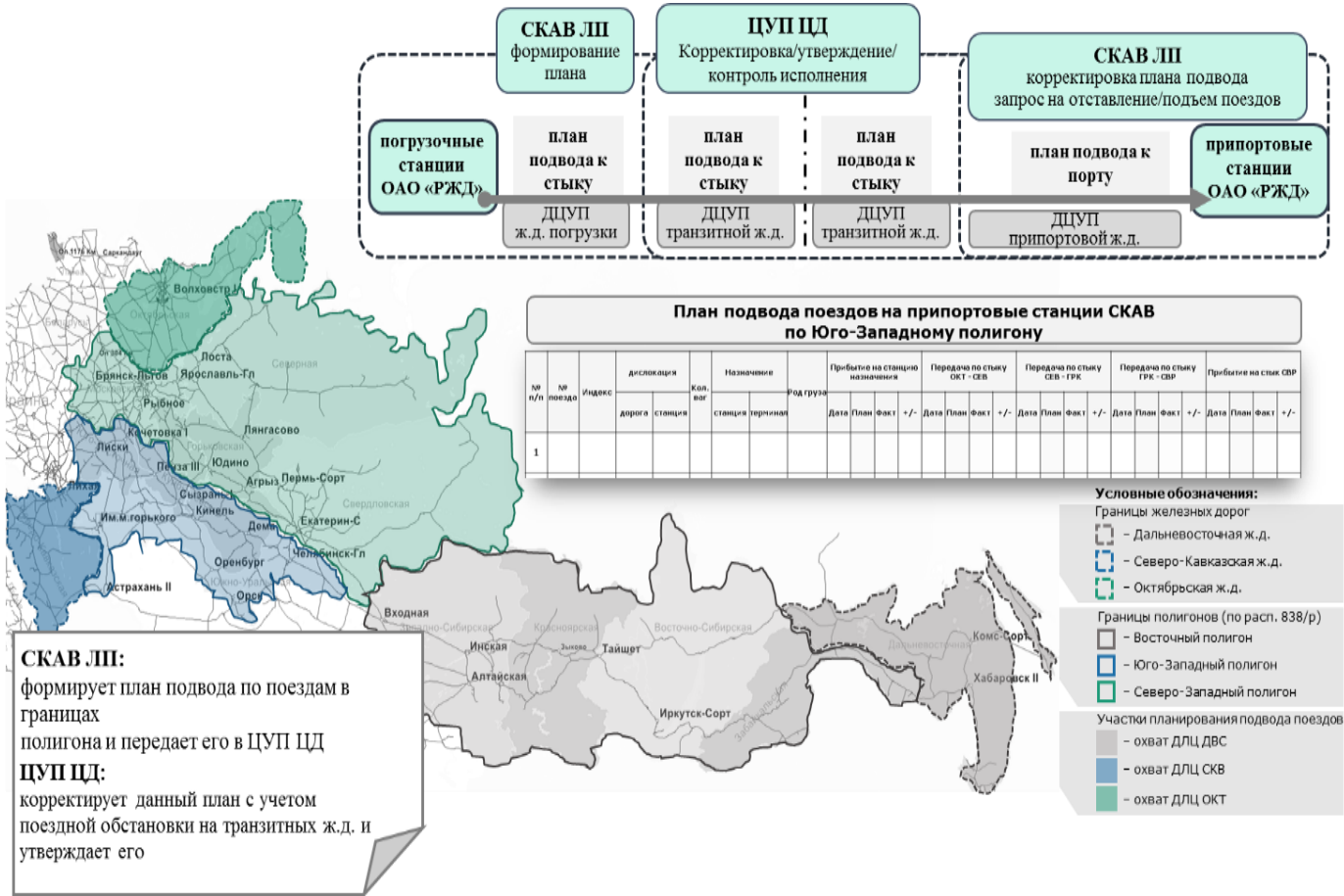


Рисунок П4.9 – Переход от дорожной к полигонной модели планирования подвода поездов на припортовые станции ОАО «РЖД» [462]

Приложение 4

Раздел П4.6

Ситуационная оценка экспортных перевозок на припортовые станции

Ситуационная оценка экспортных перевозок на припортовые станции производится на основании анализа прогнозных значений наличия вагонов в адрес конкретного получателя. Результаты оценки в табличной (таблицы П4.1, П4.2) и графической форме (рисунок П4.10), показывают, что при заданном нормативном наличии вагонов (например, $P_{\max}^{\text{норм}} = 590$ ваг.) на 15, 16, 17-е сутки прогнозное наличие вагонов будет превышать нормативное, следовательно, потребуется корректировка графика отгрузки для соблюдения условия $P_{\min}^{\text{норм}} \leq P_n^{\text{прогн}} \leq P_{\max}^{\text{норм}}$. Корректировка планов погрузки экспортных грузов осуществляется с помощью программного обеспечения, обеспечивающего поддержку принятия решений при управлении экспортными грузопотоками.

Таблица П4.1 – Пример расчета прогнозных значений наличия вагонов
в адрес получателя

Погрузка грузов в адрес получателя																		
Станции	Дни планируемого периода																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	...
Никольск	120	0	120	0	0	60	60	120	120	60	60	120	180	240	120	120	120	...
Татьянка	74	23	0	0	0	0	0	0	0	29	123	70	100	131	101	28	98	...
Нефтяная	60	52	43	51	54	54	60	54	18	38	25	51	54	62	62	62	55	...
Поступление по стыковым пунктам СКЖД																		
Никольск	0	0	120	0	120	0	0	60	60	120	120	60	60	120	180	240	120	...
Татьянка	0	74	23	0	0	0	0	0	0	0	29	123	70	100	131	101	28	...
Нефтяная	0	0	60	52	43	51	54	54	60	54	18	38	25	51	54	62	62	...
Итого	0	74	203	52	163	51	54	114	120	174	167	221	155	271	365	403	210	...
Поступление под выгрузку в пункт перевалки																		
Никольск					120		120			60	60	120	120	60	60	120	180	...
Татьянка				74	23								29	123	70	100	131	...
Нефтяная					60	52	43	51	54	54	60	54	18	38	25	51	54	...
Итого				74	203	52	163	51	54	114	120	174	167	221	155	271	365	...
Прогнозное наличие вагонов на дороге																		
Никольск	0	0	120	120	120	120	0	60	120	180	240	180	120	180	300	420	360	...
Татьянка	0	74	97	23	0	0	0	0	0	0	29	152	193	170	231	232	129	...
Нефтяная	0	0	60	112	95	94	105	108	114	114	72	56	63	76	105	116	124	...
$P_n^{\text{прогн}}$	0	74	277	255	215	214	105	168	234	294	341	388	376	426	636	768	613	...
$P_{\max}^{\text{норм}}$	590	590	590	590	590	590	590	590	590	590	590	590	590	590	590	590	590	...
Превышение нормы															46	178	23	...

Примечание: В примере расчета не учитываются остатки с предыдущего периода планирования, а также минимальная норма наличия вагонов с грузом



Рисунок П4.10 – Анализ прогнозного наличия вагонов на дороге (пример)

Таблица П4.2 – Ситуационная модель экспортных перевозок в адрес припортовых станций

Стивидорная компания	Максим. суточная перерабатывающая способность	Наличие вагонопотока на сети ж.д.	Наличие вагонопотока на СКЖД	Резерв перерабатывающей способности по дате прибытия							
				1.11	2.11	3.11	4.11	5.11	6.11	7.11	...
Новороссийский Морской Торговый порт											
Черные мет.	250	1200	950	0	0	0	50	0	120	0	
Руда	120	550	400	90	90	90	90	90	90	90	
Удобрения	100	955	955	0	0	0	0	0	0	0	
Цв. металлы	35	555	320	15	15	15	15	15	15	0	
Зерно	100	300	190	100	100	100	100	100	100	100	
Туапсинский морской торговый порт											
Черные мет.	120	350	300	0	0	0	0	0	0	0	
Руда	25	0	0	25	25	25	25	25	25	25	
Удобрения	100	550	550	0	0	0	0	0	0	0	
Цв. металлы	100	400	250	0	0	0	0	0	0	0	
Зерно	180	1200	750	0	0	0	0	0	0	0	

Резерв перерабатывающей способности

Более 50 %
Менее 50%
Исчерпан

Приложение 4*Раздел П4.7***Сведения о функционале АСУ взаимодействия с морскими портами (ДИЛС)**

1 Получение в системы ОАО «РЖД» от операторов морских терминалов следующей информации: занятость складских емкостей, а также их уточненная специализация; информация о судах и их дислокации; судовые партии; погода в порту; заказ порта на подвод определенных грузов. При этом указывается дата, зона выгрузки в порту, номер контракта, марка груза, код груза, станция погрузки и количество вагонов. Информация о занятости складских емкостей обновляется каждые два часа и содержит данные о наименовании зоны выгрузки порта, номере договора, марке груза и др. Информация о судах и их дислокации включает сведения о наименовании судна, характеристиках емкости, грузе и предполагаемой дате начала и окончания обслуживания. Для корректного расчета суточной потребности груза в морском торговом порту передаются данные о заказе порта на подвод определенных грузов.

Информация, полученная от портов, используется для расчета плана подвода, а также для отображения в формах контроля показателей работы портовых станций. В систему оператора морского терминала осуществляется передача следующей информации: план подвода поездов; дислокация по сети и прогноз прибытия вагонов с грузами в адрес порта (из АСОУП); операции с вагонами на припортовой станции.

2 Контроль показателей работы портовых станций, в т. ч. с учетом информации, полученной от порта. Информация разбита на блоки:

- ситуация на станции (наличие, план погрузки, нормы работы, данные статистики, работа прошедших и текущих суток, поток в адрес станции);
- ситуация в порту (суда в подходе, на рейде, на причале, емкость складов, погода).

3 Автоматический план подвода поездов к припортовым станциям. Планирование подвода поездов на первом этапе внедрения ДИЛС осуществлялось

в ручном режиме в сквозном многопользовательском интерфейсе по вертикали управления перевозками. Автоматический план подвода может формироваться с учетом ассортиментных позиций, экспортных контрактов и лотов (рисунок П4.11).



Рисунок П4.11 – Схемы информационного взаимодействия между АСУ «ПОРТ» и АСУ «РЖД»

4 Планирование и контроль темпов продвижения вагонов.

Для визуального отображения структуры и дислокации потока по дорогам, а также предложений по приоритету продвижения востребованного груза имеется схема сети дорог. На схеме отображаются результаты расчета рекомендуемых объемов приема груза на припортовую дорогу с примыкающих дорог. Для оценки возможности задержки избыточного потока на дальних подходах выполняется автоматический расчет норм наличия (выполняется исходя из значений среднесуточной нормы погрузки в адрес порта, увеличенной на величину принимаемого потока с соседних дорог к норме оборота транзитного вагона).

5 Дислокация вагонопотока и передача по стыкам.

Информация о дислокации вагонов по дорогам в адрес порта и план передачи по стыкам отображаются на графической схеме полигона.

6 Информация о договорах на погрузку по прямому варианту вводится специалистами ТЦФТО. Судовая партия описывается рядом параметров: судно и

ожидаемая дата его прибытия; груз; договор погрузки по прямому варианту; номера заявок ГУ-12, вагонов или накладных для отслеживания вагонопотока по судовой партии.

7 Корректировка плана отгрузки по ГУ-12. Расчет реализуется в три этапа:

1-й этап. Расчет посуточного прогноза прибытия на основе данных о текущем наличии груженых вагонов и плана погрузки по ГУ-12.

2-й этап. Расчет прогнозного наличия на дороге исходя из прогноза прибытия, среднесуточной выгрузки и нормы наличия.

3-й этап. Расчет рекомендаций по ограничению вагонопотока.

Форма посуточной динамики погрузки приведена на рисунке П4.12.

	Перер спос	Норм. нал	ГУ-12 на 23.11.2017	Нал.дор.	Ноябрь																Декабрь															
					24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16									
Итого	5506	15990	3974	20659	4916	3805	4734	4645	4665	5100	5497	3847	4057	2587	2615	2059	1249	1521	911	705	504	481	375	479	634	871	593									
Новороссийск	2300	7010	1519	10996	2045	1277	1713	1533	1644	1604	2085	1181	1690	1305	1175	1207	632	824	535	395	385	298	212	273	275	485	217									
Торговый порт	759	3110	575	3588	713	363	448	636	556	603	822	435	776	556	552	552	176	348	124	37	1	6	10	8		10										
Чер.мет.	450	1800	374	1435	352	250	141	240	442	436	626	232	429	403	348	307																				
Руда жел.	122	500	10	797	64		64	192		10		41	70	73	45	41																				
Лом ч.мет																																				
ХМ удобр	60	130	67	14			67	66	12																											
Цв. мет	55	130	24	220	97	7	70	20	14	19	37	31	13	25	61	26	77	253	51	27	1	6														
Зерно пр. вариант				310	26		14	45																												
Кам. уголь	60	550	90	378	101	70	61	47	47	97	113	118	189	50	77	168	99	85	60																	

Рисунок П4.12 – Посуточная динамика погрузки

8 Согласование плана погрузки в адрес припортовых станций.

Ввод плановых данных осуществляется в два этапа: предварительный заказ дороги погрузки; подтверждение заказа припортовой дорогой.

9 Автоматический план бросания (ПБ).

Утвержденный план подвода является основной для расчета плана отставления от движения поездов, поскольку позволяет выявить не востребовавшие поезда, время ожидания подвода которых может превысить установленный норматив простоя (6 или 12 часов в зависимости от текущей станции дислокации для технической и сортировочной соответственно). В форме отображается информация о поездах, запланированных к задержке. Информация по этим поездам автоматически передается в АС ПБ для создания обращений на оформление приказа.

10 Анализ выполнения плана подвода по припортовым станциям

Анализ выполнения плана подвода по припортовым станциям (на примере СКЖД) включает оценку плановых и фактических значений выполнения подвода поездов с анализом причин нарушений установленного плана.

Критерии выполнения плана подвода. За норму принимается отклонение от нитки графика движения грузовых поездов в размере ± 1 часа. Данный критерий может корректироваться в зависимости от наличия вагонов в адрес припортовых станций относительно установленного ЦД норматива, эксплуатационной обстановки на дороге, а также в случае невыполнения грузополучателями в портах установленных договорами норм выгрузки вагонов (в том числе ввиду наступления форс-мажорных обстоятельств) повлекших за собой отставление от движения грузовых поездов в их адрес. Так, в случае превышения наличия вагонов в адрес припортовых станций относительно установленного ЦД норматива более чем:

- на 20 %, за норму принимается отклонение от нитки графика движения грузовых поездов в размере ± 2 -х часов;

- на 30 %, за норму принимается отклонение от нитки графика движения грузовых поездов в размере ± 3 -х часов.

В 2024 году плановое задание по прибытию на припортовые станции СКЖД составляло 95 %. Выполнение плана подвода поездов представлено на рисунке П4.13.



Рисунок П4.13 – Выполнение подвода на припортовые станции в 2024 г.

Цели и этапы разработки автоматизированного плана подвода поездов на припортовые станции

Основные цели алгоритма составления плана подвода поездов к припортовым станциям: равномерная загрузка грузовых фронтов выгрузки; исключение простоя судов в ожидании прибытия грузов; исключение превышения парка вагонов на станции; выполнение сроков доставки.

Расчет плана подвода к портам осуществляется в автоматическом режиме с учетом приоритетов их продвижения. Количество планируемого к подводу груза определяется исходя из оптимального остатка вагонов, ожидаемого на конец плановых суток, которое позволит обеспечить задел для загрузки грузовых фронтов на сутки, следующие за плановыми, и при этом учитывает норму содержания парка груженых вагонов на станции:

$$N_{\text{ост}} = N_{\text{пер}} \cdot K_{\text{нал}},$$

где $K_{\text{нал}}$ – коэффициент наличия (возможные значения от 1 до 2), задаваемый для каждого грузового района, для каждой группы груза.

$N_{\text{пер}}$ – перерабатывающая способность грузовых фронтов, ваг/сут.

Весь поток груженых вагонов в адрес припортовой станции разбивается на группы подвода. Для каждой группы подвода вычисляется суммарный вес в соответствии с критериями. Поток вагонов в адрес припортовой станции группируется по следующим признакам: по подъездным путям (клиентам); по грузовым районам (районам порта); по номенклатурам грузов; по маркам грузов; по идентификаторам внешнеторговых договоров; по типу дислокации (поезда, если в прямом поезде, станции сбора (для включения в состав прямого поезда); по судовым партиям; по признаку того, что вагоны в составе брошенного поезда; по признаку того, что вагоны в составе «договорного» поезда. Группировка по маркам грузов и идентификаторам внешнеторговых договоров производится при наличии этих данных в электронной накладной на перевозку грузов. Для каждой

группы вагонов, следующих в разборочных поездах (или в поездах в разборку), определяется прогнозное время прибытия на станцию переформирования, определяется технически возможное время на формирование состава прямого поезда и прибытия его на станцию назначения. Для каждого прямого поезда определяется технически возможное время прибытия на станцию назначения.

При расчете востребованности учитываются следующие критерии отбора:

- по сроку доставки – чем больше вагонов с просрочкой доставки, тем выше будет общая востребованность поезда;
- по признаку договорного поезда – общая востребованность поезда повышается если поезд является договорным;
- по удаленности поезда от станции назначения – используя данный критерий можно увеличить востребованность поезда исходя из его удаленности от станции назначения;
- по востребованности груза, исходя из возможности его переработки в порту.

Каждый критерий вносит свой вклад в общий оценочный вес поезда, который определяет очередность выбора поезда при формировании плана подвода. Востребованность судовой партии определяется по значению текущего наличия груза на станции $N_{гр}$ тоннах с перерабатывающей способностью. Если из АСУ порта поступил заказ на подвод вагонов, то расчет востребованности вагонов в адрес данного порта производится на основе данных этого заказа. Заказ предоставляется на плановые и последующие сутки. При проверке условий для группы вагонов на плановые сутки берется $N_{вп}$ – сумма вагонов данной группы в наличии на припортовой станции на начало плановых суток и вагонов с аналогичным грузом, включенных в план подвода на предыдущих шагах итерации алгоритма.

Если полученная сумма вагонов $N_{вп} + N_{впi}$ не превышает ограничивающих условий заказа $N_{вз}$ на подвод и сумма всех вагонов включенных в план выгрузки плановых суток не превышает общее значение перерабатывающей способности

порта $N_{\text{пер}}$, то устанавливается значение востребованности для данной группы вагонов равным 3 (вагон включен в план выгрузки плановых суток).

$$(N_{\text{вп}} + N_{\text{впи}}) < N_{\text{вз}} < N_{\text{пер}} \Rightarrow 3.$$

Иначе проверяются условия на последующие сутки. При проверке условий на последующие сутки берется сумма вагонов текущей группы $N_{\text{впи}}$ и вагонов, невостребованных под выгрузку в плановые сутки $N_{\text{н}}$ (по условиям заказа), и вагонов с аналогичным грузом, включенных в план подвода на предыдущих шагах итерации алгоритма, невостребованных под выгрузку в плановые сутки $N_{\text{нп}}$

$$(N_{\text{впи}} + N_{\text{н}} + N_{\text{нп}}) / N_{\text{пер}}.$$

Если получено значение меньше или равное 0,5, то для группы вагонов устанавливается значение востребованности 2, если меньше или равно 1, то значение востребованности 1, иначе 0. Если для группы вагонов условий в заказе на последующие сутки не найдено, то значение востребованности для данной группы устанавливается равным 0.

Если для группы подвода не найдено соответствующего описания места складирования, то востребованность рассчитывается только на основании перерабатывающей способности фронта выгрузки (без накопления). В случае, когда порт не передает заказ на подвод вагонов, оценка востребованности групп вагонов выполняется сначала для вагонов, находящихся на станции назначения, затем для групп вагонов в потоке. Для вагонов, включенных в план подвода следующих под выгрузку с накоплением, определяется возможность выгрузки с учетом наличия свободных мест на складах и судовых партий под погрузкой.

Если есть возможность размещения груза на складах или осуществляется погрузка по одной из судовых партий заданной марки груза и внешнего договора, то вагоны помечаются как с накоплением с возможностью выгрузки, иначе с накоплением без возможности выгрузки. Далее для вагонов с накоплением с возможностью выгрузки и без накопления, включенных в план подвода, определяется возможность выгрузки с учетом перерабатывающей способности: вагоны с приоритетом по востребованности включаются в план выгрузки. При включении вагонов в план выгрузки соответствующие значения

перерабатывающей способности на сутки пропорционально уменьшаются, а для грузов с накоплением пересчитывается наличие сводных мест на складах. Если при этом получается отрицательное значение перерабатывающей способности, то вагон в план выгрузки плановых суток не включается, а включается в остаток на конец плановых суток. Целевое значение – оптимальный остаток, равный $N_{\text{пер}} \cdot K_{\text{нал}}$. Выбор очередного состава для подвода осуществляется на основе общего интегрального оценочного критерия с учетом заданных коэффициентов.

Расчет веса поезда по востребованности групп вагонов, входящих в его состав, производится по формуле:

$$W_{\text{в}} = \frac{1}{1 + e^{-0,05 \cdot B}},$$

где B – востребованность поезда вычисляется по формуле

$$B = \sum_i (P_i \cdot K_{\text{вос}} \cdot K_{\text{сд}}) - \sum_j (N_j \cdot (1 - K_{\text{сд}})),$$

где P_i – количество вагонов в i -й востребованной группе;

$K_{\text{сд}}$ – весовой коэффициент группы подвода, выбранный из НСИ для значения критерия по сроку доставки;

$K_{\text{вос}}$ – весовой коэффициент востребованности группы подвода, выбранный из НСИ для значения критерия отбора по востребованности груза;

N_j – количество вагонов в j -й невостребованной группе.

Для принятия решения о возможности включения поезда в план подвода используется минимальное значение веса поезда по востребованности групп вагонов $W_{\text{вmin}}$, которое задается в НСИ. Возможность включения поезда в план подвода определяется условием $W_{\text{в}} > W_{\text{вmin}}$. Для определения приоритета подвода для каждого прямого поезда, следующего в адрес припортовой станции, рассчитывается его суммарный оценочный вес $W_{\text{итог}}$ по формуле:

$$W_{\text{итог}} = W_{\text{дог}} + W_{\text{х}} + W_{\text{в}},$$

где $W_{\text{дог}}$ – вес поезда по критерию отбора для договорных поездов;

$W_{\text{х}}$ – вес поезда по критерию, учитывающему близость поезда,

W_B – вес поезда по критерию востребованности групп вагонов, входящих в его состав.

Для каждой сортировочной станции выполняется расчет групп вагонов по грузовым районам, номенклатурам грузов, маркам грузов, идентификаторам внешних договоров, судовым партиям (для прямого варианта), по трёхчасовому времени готовности (определяется от момента времени фактического или прогнозного прибытия по технической норме простоя транзитного вагона с переработкой). Из групп готовности путем полного перебора подбирается состав поезда, таким образом, чтобы достичь максимально возможного значения $W_{\text{итог}}$ при выполнении условия $W_B > W_{\text{вmin}}$, учитывая при этом ограничения на вес и длину состава. Группы, включенные в план подвода, из дальнейших расчетов исключаются.

Подбор поездов осуществляется на все нитки вариантного графика в порядке времени прибытия поезда на припортовую станцию назначения. Для очередной нитки графика для каждой технической станции определяется поезд своего формирования с максимальным значением $W_{\text{итог}}$ и $W_B > W_{\text{вmin}}$, у которого технологическое время хода позволяет прибыть вовремя на станцию назначения по текущей нитке графика. Если такой поезд найден, то он включается в план подвода на данную нитку графика, затем пересчитываются значения плана выгрузки на плановые сутки, остатка вагонов и перерабатывающей способности. Цикл выполняется до тех пор, пока не будут перебраны все нитки графика или рассчитанный после назначения на нитку графика поезда суммарный остаток груженных вагонов на припортовой станции превысит значение норматива наличия груженных вагонов на этой станции. Алгоритм расчета плана подвода поездов показан на рисунке П4.14. Пересчет данных может выполняться с меньшим периодом (каждые 30 минут) с учетом ситуации по востребованности грузов в порту. Результаты автоматического расчета плана подвода доступны в виде табличных форм (рисунок П4.15).

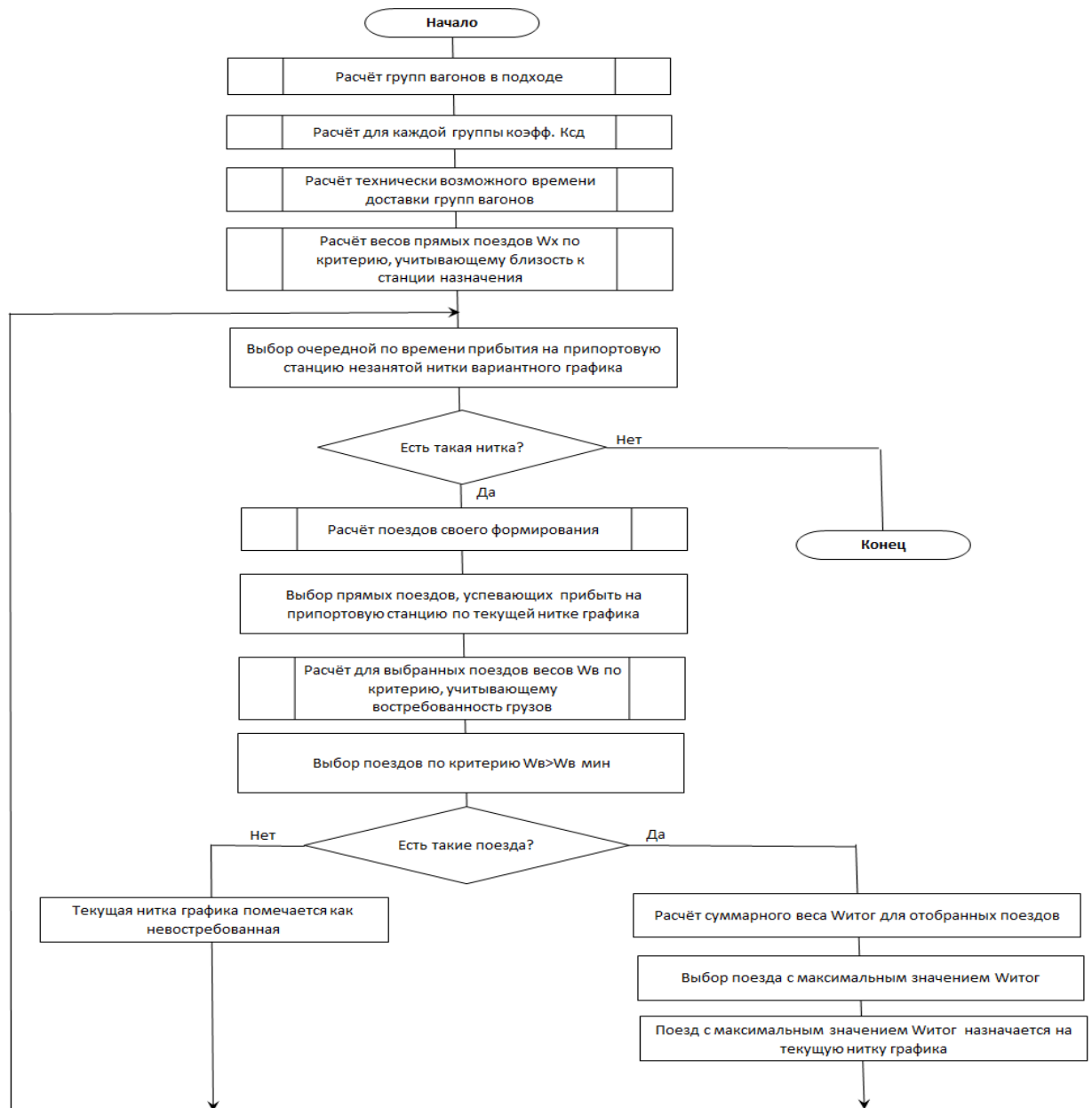


Рисунок П4.14 – Алгоритм расчета плана подвода поездов

	Наличие на СКЖД	Остаток на станции	Выгрузка	Перер. спос.	Заказ	План погр. судно	Кнал	Перер	Итого																																		
Итого	10597	2735	2411				26,0	82	1542	50	57	18:07 5218-525-5209	18:33 5100-366-5209	18:36	18:45	19:09 7696-206-5210	19:21 5922-020-5210	19:39	19:44	19:44	20:05 8176-135-5210	20:20	20:24	21:24 5218-522-5209	21:40 5100-372-5209	22:33	22:37 6110-926-5210	22:45	23:14	23:21 5254-486-5209	23:44 2231-007-5209	23:48	00:16 5269-122-5210	00:20	00:44 5100-304-5209	01:22 5201-521-5209	01:47	02:00 5254-485-5209	02:25 6255-107-5210	02:37	03:14 8112-742-5210	03:15	03:45 8876-257-5210
ЕНМТП	2655	682	759				1,0	5	393						48	70				56				50	54		59	15		55	62		42	53	50		54	65	62		66		
ВВосточный район	1096	245	200						134																		15			43				19	8						66		
ВЦентральный район	826	244	500						175							40																											
ВЗападный район	654	168	150						84																																	66	
ВУдобрения			10																																								
Вконтейнера порту	18	2																																									
ВЦветМет	53	19	60																																								
ВБумага			20																																								
ВПрочие	8	4	100																																								
ВГр двор	4	1					1,0																																				
ВПрямВар	430	190	120				1,0	3	72															11																		61	
ВЛП	263	93	113				1,0	6	96						43															5					26	9	7						
ВЛП	1295	350	324				1,0	6	217	9														9						62													
ВНХП	821	164	150				1,0	7	154	57																							18				14						

Рисунок П4.15 – Вид автоматического плана подвода (горизонтальный)

Исследование транспортно-технологических параметров железнодорожной станции в системе транспортного коридора в условиях увеличения объемов экспортных перевозок на базе математического моделирования

1 Исходные данные для расчетной модели:

1) прогнозные объемы грузопотоков на подходах к станции и порту (Верхний Баскунчак – Аксарайская – Астрахань-II – Оля (рисунок П4.16), млн т, которые определяют интенсивность входящего потока поездов на станцию.

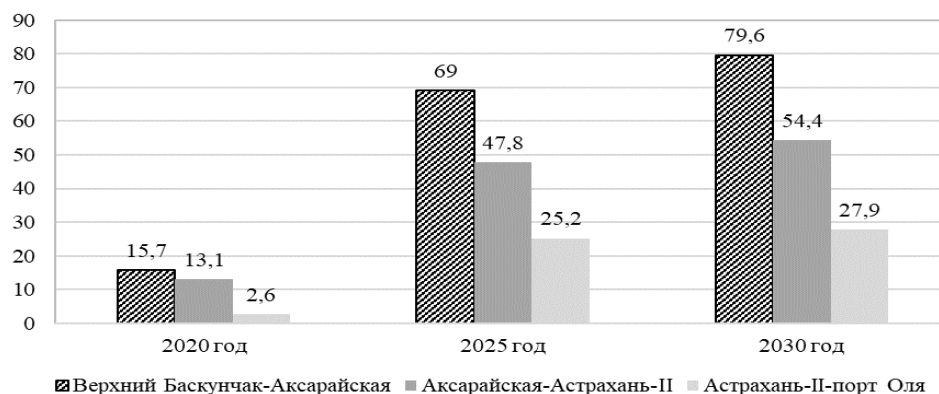


Рисунок П4.16 – Прогнозные объемы грузопотоков на подходах к станции и порту Оля, млн т

2) размеры перерабатываемых вагонопотоков по назначениям (таблица П4.3). Станция Астрахань-II по плану формирования поездов формирует 12 назначений, в т. ч. 8 назначений сквозных, 1 сборный поезд (в сутки 1 поезд, 71 вагон), назначение передаточных поездов (в сутки 2 поезда, 57 вагонов), 2 назначения вывозных поездов. Общий перерабатывающий вагонопоток – 1404 вагона;

3) технологические нормативы выполнения операций и техническое и технологическое оснащение станции, включающее локомотивы, горку, бригады осмотрщиков и вагонников, которые определяют интенсивность обслуживания потока поездов.

Таблица П4.3 – Размеры вагонопотоков по назначениям

Назначения формируемых поездов	Среднесуточный вагонопоток	Категория поезда
1. «М»	169	Сквозной
2. «Г»	79	Сквозной
3. «Б»	149	Сквозной
4. «М. Г.»	125	Сквозной
5. «А»	189	Сквозной
6. «К»	261	Сквозной
7. «А»	77	Сквозной
8. «К»	146	Сквозной
9. «В. Б»	38	Сборный
10. «Ак-П»	90	Вывозной
11. «Порт Оля»	2	Вывозной
12. «Н»	79	Передачный

2 Оценка неравномерности поступления и обслуживания поездов на станции и установление теоретического закона распределения случайных величин

Значительное влияние на показатели работы станции оказывает:

– неравномерность прибытия поездов в расформирование, что проявляется в разбросе интервалов между моментами прибытия разборочных поездов ($T_{\text{вход}}$) и, как следствие, в изменении интенсивности входящего потока:

$$\lambda = \frac{1440}{M(T_{\text{вход}})}; \quad (\text{П4.1})$$

– неравномерность формирования, технического осмотра, обеспечения локомотивами, отправления на участки, что проявляется в разбросе значений длительности обработки составов в указанных системах ($T_{\text{обсл}}$) и, как следствие, в изменении интенсивности обслуживания:

$$\mu = \frac{1440}{M(T_{\text{обсл}})} \cdot K, \quad (\text{П4.2})$$

где K – количество каналов.

Рассматривая железнодорожную станцию как систему массового обслуживания (СМО), можно сформулировать основное условие взаимодействия: интенсивность обслуживания должна быть больше интенсивности входящего потока, поступающего в систему обслуживания:

$$\lambda > \mu. \quad (\text{П4.3})$$

Для оценки выполнения данного условия была собрана статистика таких величин, как интервалы между прибытием поездов, продолжительность осмотра поездов, продолжительность расформирования, и выполнена ее обработка, результаты которой представлены в таблицах П.4.4–П.4.6.

Таблица П4.4 – Характеристика интервалов прибытия поездов

№	Знач. интерв. ΔI	Число интерв.	Частость попадания, P_i	Среднее значение, I_i^{cp}	$M(I)$	$D(I)$	Ординаты
1	0–28	53	0,53	14	7,42	329,13	0,0189
2	28–56	24	0,24	42	10,08	2,28	0,0086
3	56–84	14	0,14	70	9,8	135,24	0,0050
4	84–112	5	0,05	98	4,9	174,52	0,0018
5	112–140	1	0,01	126	1,26	75,83	0,0004
6	140–168	1	0,01	154	1,54	132,43	0,0004
7	168–196	1	0,01	182	1,82	204,72	0,0004
8	196–224	1	0,01	210	2,1	292,68	0,0004
Итого		100	1		38,92	1346,83	

Эмпирический график плотности распределения указанных величин представлен в виде гистограммы (рисунки П4.17, П4.18, П4.19), ординату которой получают делением частот на величины соответствующих разрядов:

$$O_i = \frac{P_i^*}{\Delta I} \quad (\text{П4.4})$$

На основании построенных гистограмм дается визуальная оценка соответствия статистического распределения одному из теоретических законов распределения, которые используются для дальнейших расчетов.

Кроме этого, отклонение от средней величины выражается в более удобной форме, в виде:

– квадратического отклонения:

$$\sigma(I) = \sqrt{D(I)}; \quad (\text{П4.5})$$

– коэффициента вариации:

$$V_x = \frac{\sigma(I)}{\Sigma M(I)}. \quad (\text{П4.6})$$

На основании этих характеристик делается вывод о степени неравномерности рассматриваемых величин.

Полученные вероятностные характеристики: $\sigma_x = 36,7$, $V_x = 0,94$;
 $M(I) = 38,92$ мин, $D(I) = 1346,83$.

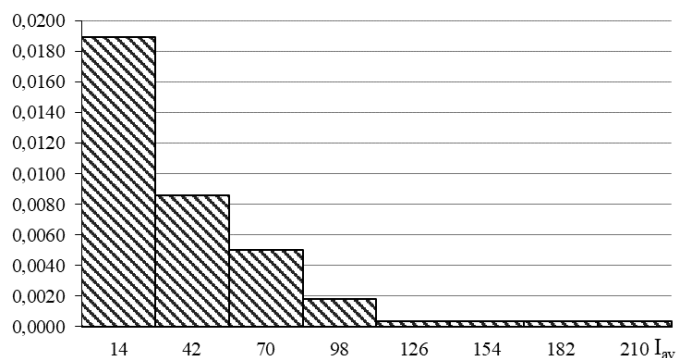


Рисунок П4.17 – Гистограмма распределения интервалов прибытия поездов

Таблица П.4.5 – Характеристика продолжительности технического осмотра

№	Знач. интерв. ΔI	Число интерв.	Частость попадания, P_i	Среднее значение, I_i^{cp}	$M(I)$	$D(I)$	Ординаты
1	13–25	2	0,02	19	0,38	31,17	0,0017
2	25–37	8	0,08	31	2,48	60,41	0,0067
3	37–49	17	0,17	43	7,31	40,74	0,0142
4	49–61	33	0,33	55	18,15	4,00	0,0275
5	61–73	20	0,2	67	13,4	14,52	0,0167
6	73–85	13	0,13	79	10,27	54,74	0,0108
7	85–97	6	0,06	91	5,46	63,45	0,0050
8	97–109	1	0,01	103	1,03	19,82	0,0008
ИТОГО		100	1		58,48	288,85	

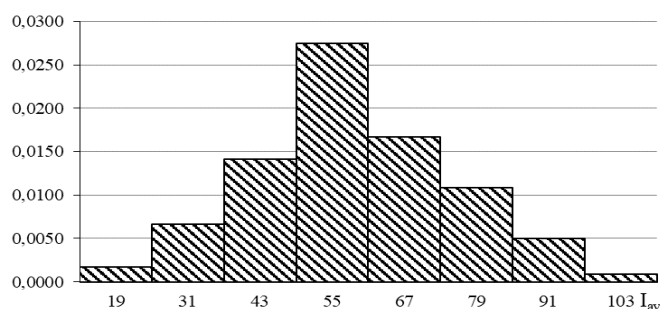


Рисунок П4.18 – Гистограмма распределения интервалов технического осмотра

Полученные вероятностные характеристики: $\sigma_x = 16,99$, $V_x = 0,29$;
 $M(I) = 58,48$ мин, $D(I) = 288,85$.

Таблица П4.6 – Характеристика продолжительности расформирования составов

№ п/п	Знач. интерв. ΔI	Число наблюден.	Частость попадания, P_i	Среднее значение, I_i^{cp}	$M(I)$	$D(I)$	Ординаты
1	13–25	17	0,17	21	3,57	40,89	0,0170
2	25–37	15	0,15	26	3,9	16,56	0,0150
3	37–49	23	0,23	36	8,28	0,06	0,0230
4	49–61	34	0,34	47,5	16,15	41,06	0,0340
5	61–73	9	0,09	41	3,69	1,81	0,0090
6	73–85	1	0,01	43	0,43	0,42	0,0010
7	85–97	1	0,01	49	0,49	1,56	0,0010
ИТОГО		100	1		36,51	102,38	

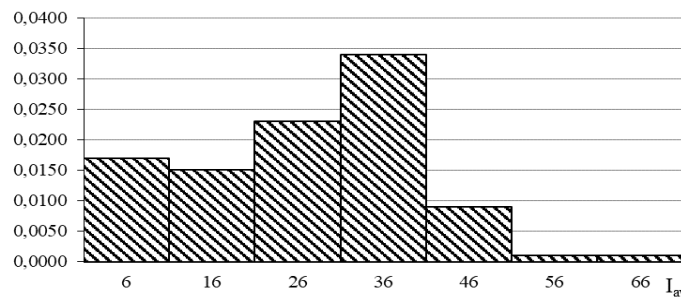


Рисунок П4.19 – Гистограмма распределения интервалов продолжительности расформирования составов

Полученные вероятностные характеристики: $\sigma_x = 10,12$, $V_x = 0,28$; $M(I) = 36,51$ мин, $D(I) = 102,38$.

Для остальных операций, включенных в модель, для которых отсутствует обработка статистических данных, продолжительность выполнения операций с учетом неравномерности корректируется по формулам с использованием среднесетевых значений коэффициентов неравномерности выполнения операций.

Проанализировав полученные данные, можно сделать следующие выводы:

- степень неравномерности интервалов прибытия поездов на станцию высокая, так как значение коэффициента вариации равно 0,9 и приближается к 1;
- степень неравномерности выполнения технического осмотра и расформирования низкая, так как значения коэффициентов приближены к нулю и имеют значения 0,3 и 0,28 соответственно;
- для описания входящего потока можно использовать экспоненциальный закон распределения вероятностных величин;
- интенсивность входящего потока в соответствии с формулой (П4.1) равна $\lambda = 37$ поезд/сут;
- интенсивность обслуживания поездов при техническом осмотре в соответствии с формулой (П4.2) при работе двух бригад равна $\mu = 52,8$ поезд/сут, при расформировании интенсивность обслуживания поездов $\mu = 39,44$ поезд/сут;
- при поступлении поездов на станцию в обработку условие (П4.3) выполняется при существующих объемах работы, для оценки работы станции на перспективу требуется разработка модели работы станции.

3 Разработка модели работы железнодорожной станции

При моделировании работы станции предлагается использовать систему массового обслуживания, где в качестве заявок рассматриваются поезда и местные передачи, а в качестве обслуживающего устройства – ее парки и технические устройства. Целью проведения моделирования является установление реальных простоев вагонов на станции с учетом неравномерности технологических операций, приводящих к колебанию продолжительности их выполнения и возникновению простоев в ожидании этих операций. На основании этого определяется загрузка элементов станционного процесса и обосновывается требуемое путевое развитие, и количество локомотивов и бригад работников. Модель продвижения вагонов по станции представлена на рисунке П4.20.

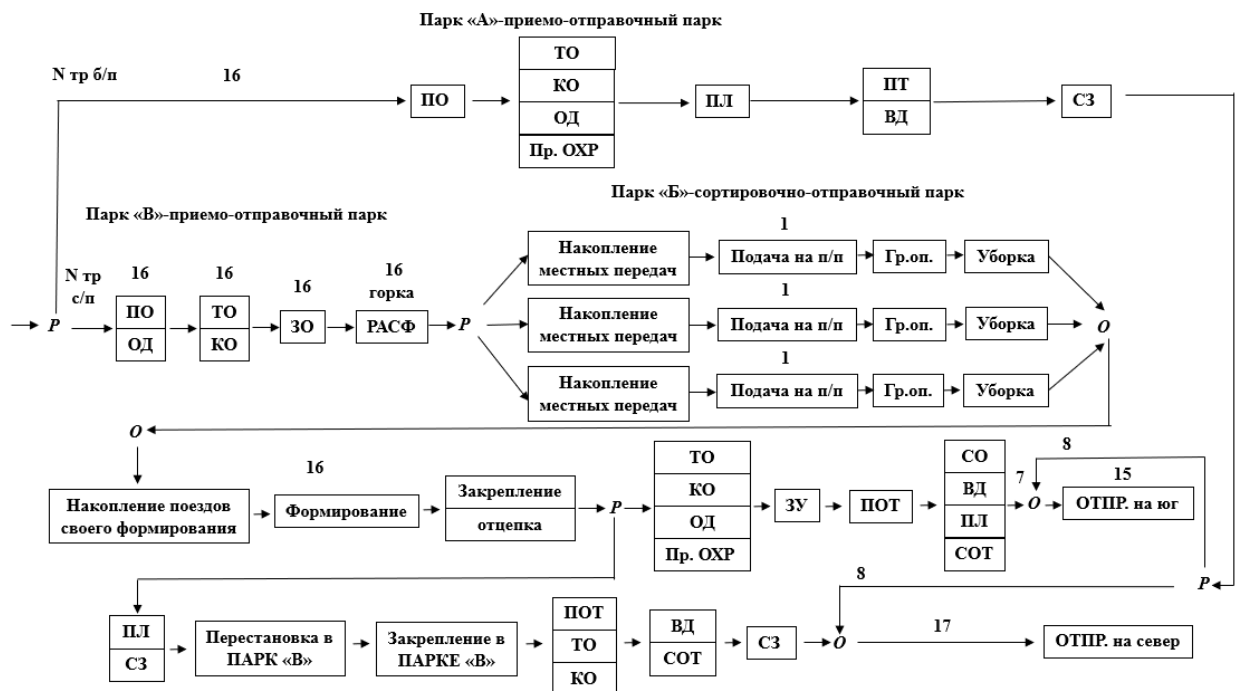


Рисунок П4.20 – Модел продвижения вагонопотока на станции Астрахань-II:
 ПО – подготовительные операции; ТО – технический осмотр; КО – коммерческий осмотр;
 ОД – оформление перевозочных документов; Пр. ОХР – прием под охрану вагонов;
 ПЛ – прицепка локомотива; ПТ – проба тормозов; ВД – выдача перевозочных документов
 локомотивной бригаде; СЗ – снятие закрепления; 3О – заключительные операции;
 РАСФ – расформирование; на п/п – на подъездной путь; Гр. Оп. – грузовые операции;
 О – объединение; Р – разъединение; ЗУ – зарядка тормозной магистрали; ПОТ – полное
 опробование тормозов; СО – снятие ограждения; СОТ – сокращенное опробование
 тормозов; ОТПР. – отправление

На основе эксплуатационной характеристики и технологии работы станции в таблице П4.7 приведен пример существующих объемов работы для канала обслуживания «вагонники парка «А» и «Б». Аналогично исследуются каналы обслуживания: «вагонники парка «В»», «маневровые локомотивы», «составители» и др., значения для которых вносятся в разработанную модель продвижения вагонов по станции (см. рисунок П4.23).

Таблица П4.7 – Распределение объемов работы между элементами модели работы станции

Канал обслуживания	№ п/п	Элемент СМО	Кол-во поезд/перед
Вагонники парка «А», «Б»	1	Техническое обслуживание в парке А с транзитными поездами без переработки	16
	2	Прицепка локомотива в парке А	16
	3	Проба тормозов в парке А	16
	4	Тех. обслуж. в парке Б с поездами св. форм	7
	5	Зарядка устройства в парке Б	7
	6	Полное опробование тормозов в парке Б	7
	7	ЗО в парке Б	7

На следующем этапе исследования технологические нормативы корректируются с учетом неравномерности по формуле (П4.7) для маневровых операций (за исключением интервала роспуска состава на горке) и формуле (П4.8) для остальных станционных технологических операций.

$$M(t_{об}) = \frac{T_{тех}}{1-v_{t_{об}}^2}, \quad (П4.7)$$

где $T_{тех}$ – технологический норматив;

$v_{t_{об}}$ – коэффициент неравномерности выполнения операции.

$$M(t_{об}) = \frac{T_{тех}}{1-v_{t_{об}}\sqrt{v_{t_{об}}}}, \quad (П4.8)$$

На основании пункта 3 с учетом неравномерности станционных процессов корректируются элементы обслуживания каналами и продолжительность обслуживания данного элемента, например, в таблице П4.8 приведены скорректированные значения продолжительности маневровых операций.

На основании этой информации, а также информации о количестве выполняемых операций для каждой системы рассчитываются следующие

характеристики, необходимые для определения простоя поездов и их числа на станции:

λ – интенсивность поступления поездов в каждую из систем (соответствует числу обрабатываемых составов/передач за сутки);

μ – интенсивность выхода поездов из рассматриваемой систем (см. (П4.2))

ρ – загрузка системы, равная отношению:

$$\rho = \lambda / \mu. \quad (\text{П4.9})$$

Таблица П4.9 – Продолжительность операций, выполняемых на станции

Характер операции	Элемент СМО	Тех. норма $T_{\text{тех}}$	Коэфф. вариации $V_{\text{вар}}$	Скорректированное значение $M(T_{\text{обсл}})$
Маневровые операции	Заключительные операции в парке В	2	0,2	2,08
	Расформирование на горке в парке В	20,5	0,4	24,40
	Формирование	30	0,3	32,97
	Закрепление+отцепка локомотива в парке Б	15	0,2	15,63
	Прицепка локомотива + снятие закрепления в парке Б	20	0,2	20,83
	Перестановка в парк В	9	0,2	9,38
	Закрепление в парке В	15	0,2	15,63
	Подача на Болдинскую пристань	20	0,35	22,79
	Подача на Газпромтранс	44	0,35	50,14
	Подача на АО МТО	28	0,35	31,91
	Уборка на Болдинской пристани	23	0,35	26,21
	Уборка Газпромтранс	41	0,35	46,72
	Уборка АО МТО	26	0,35	29,63

При расчете μ необходимо учитывать, что канал, обслуживающий рассматриваемую систему, в течение суток может отвлекаться на обслуживание и других систем согласно таблице П4.7. В этом случае выделенное время в течение суток на обслуживание рассматриваемой системы сокращается на величину, необходимую на обслуживание других систем, и формула будет иметь вид

$$\mu_{\text{ПП}} = \frac{24 - \sum(N_i \cdot T_{\text{оби}}^{\text{дп}})}{M(T_{\text{об}})}. \quad (\text{П4.10})$$

При обслуживании системы несколькими каналами формула примет вид

$$\mu_{\text{ПП}} = \frac{24 \cdot K - \sum(N_i \cdot T_{\text{оби}}^{\text{дп}})}{M(T_{\text{об}})}.$$

Если каналы обслуживают несколько систем, то для проверки условия того, что их загрузка не превышает допустимых значений, необходимо определить суммарную загрузку канала путем сложения всех временных затрат на выполнение операций рассматриваемым каналом:

$$\mu_{\text{ПП}} = \frac{\sum(N_i \cdot M(T_{\text{об}i})}{1440 \cdot K}. \quad (\text{П4.11})$$

Результаты проверки загрузки каналов для существующего поездопотока приведены в таблице П4.9.

Таблица П4.9 – Расчет загрузки системы по укрупненным элементам

Канал обслуж.	Элемент СМО	Продолж. обслуж. $M(T_{\text{об}})$	Интен. поступл. λ	$\lambda \cdot M(T_{\text{об}})$	Кол-во кан. (K)	Загрузка каналов $\rho_{\text{кан}}$
1	2	3	4	5	6	7
Вагонн. парка «А», «Б»	Техническое обслуживание в парке А с транзитными поездами без переработки, прицепка локомотива в парке А, проба тормозов в парке А, техническое обслуживание в парке Б с поездами своего формирования, зарядка устройства в парке Б, полное опробование тормозов в парке Б	348,3	76	3927,57	4	0,682
Вагонн. парка «В»	Техническое обслуживание в парке В с транзитными поездами с переработкой, своего формирования, полное опробование тормозов в парке В	224,22	32	2551,74	2	0,886
Маневро- вые локомо- тивы	Прицепка локомотива в парке В с поездами своего формирования, сокращенное опробование тормозов, заключительные операции в парке В с транзитными поездами с переработкой, расформирование, перестановка в парк В и др. операции	379,41	138	2507,79	3	0,581
Состави- тели	Подача / уборка на Болдинскую пристань, Газпромтранс, АО МТО, снятие закрепления в парке А, В и др. операции	435,21	134	3268,70	3	0,757

При загрузке всех технологических линий с учетом неравномерности технологического процесса в пределах допустимых норм делается вывод о способности станции освоить весь поездопоток и отсутствии необходимости мер по совершенствованию технологии. Для рассматриваемого примера по станции Астрахань-II при существующих объемах работы не требуются никаких мер по

совершенствованию. Однако загрузка отдельных технологических линий имеет предельно допустимое значение (0,886), и при увеличении объемов работы станция не будет справляться. В связи с этим требуются меры, направленные на повышение интенсивности обслуживания поездов, к которым относятся автоматизация выполнения операций, например внедрением таких систем как АСУ ПТО (автоматизированной системы управления пунктом технического осмотра), МАЛС (маневровой автоматической локомотивной сигнализации), так и увеличением количества технологических линий.

4 Оценка загрузки элементов после внедрения предлагаемых мероприятий и увеличений объемов работы и установление показателей модели работы станции. Продолжительность выполнения операций сокращена с учетом их автоматизации. Результаты загрузки технологических линий для оценки предлагаемых мероприятий представлены в таблице П4.10.

Таблица П4.10 – Оценка загрузки элементов станции при увеличении объемов работы до прогнозируемых

Канал обслуж.	Продолж. обслуж. $M(T_{об})$	Интенс. поступл. λ	$\lambda \cdot M(T_{об})$	Кол-во каналов (K)	Загрузка каналов $\rho_{кан}$
Вагонники парков «А», «Б»	233,65	137	4621,24	4	0,802
Вагонн. парка «В»	148,51	60	2970,20	3	0,688
Маневр. локом.	312,13	252	3512,82	3	0,813
Составители	374,7	231	4477,90	4	0,777

Полученные значения загрузки указывают на то, что при внедрении предлагаемых мероприятий станция сможет переработать прогнозируемый поездопоток, в связи с этим можно оценить ее работу путем расчета показателей модели работы станции. Т. к. в пункте 3 было установлено, что неравномерность поступления поездов на станцию описывается экспоненциальным законом, то для расчета показателей работы систем массового обслуживания станции можно использовать формулы Эрланга:

– среднее число поездов в очереди

$$L_S = p_n \frac{\rho}{(1-\rho)^2},$$

p_n – вероятность того, что в системе находится n поездов

$$p_n = \frac{\frac{\rho^k}{k!}}{\sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!}};$$

– среднее число поездов, находящихся в системе, которая включает как очередь, так и средства обслуживания

$$L_k = L_S + \frac{\lambda_{эфф}}{\mu};$$

– средняя продолжительность пребывания поездов в очереди

$$W_S = \frac{24 \cdot L_S}{\lambda};$$

– средняя продолжительность пребывания поездов в системе

$$W_k = W_S + \frac{1}{\mu} = W_S + M(T_{об}).$$

Результаты расчета показателей предлагаемой модели работы станции для технологической линии «Вагонники в парках «А» и «Б»» представлены в таблице П4.11.

Таблица П4.11 – Показатели систем массового обслуживания станции Астрахань-II после внедрения мероприятий и увеличения объемов работы

Канал обл.	Элемент СМО	Загр. сист.	Число поездов в очереди к каналу (LsКан)	Число поездов в очереди в систему (LsСист)	Число поездов в системе (Lk)	Сумм. время в ожид. канала (Ws ана), мин	Время в ожид. Системы (Ws Сист), мин	Суммар. время в системе (Wk), мин
Вагонники парка «А», «Б»	Техническое обслуживание в парке А с транзитными поездами без переработки	0,60	0,16	0,02	0,62	1,8	0,25	88,50
	Прицепка локомотива в парке А	0,10			0,12			20,29
	Проба тормозов в парке А	0,37			0,39			43,79
	Техническое обслуживание в парке Б с поездами своего формирования	0,50			0,52			81,80
	Зарядка устройства в парке Б	0,22			0,24			33,46
	Полное опробование тормозов в парке Б	0,23			0,25			34,79
	Заключительные операции в парке Б	0,23			0,25			34,56

Аналогично выполняется расчет показателей для остальных технологических линий и операций. На основании числа поездов в каждой системе станции Астрахань-II устанавливается достаточность путевого развития (таблица П4.12).

Таблица П4.12 – Анализ соответствия фактического путевого развития потребностям

Парк	Элемент модели		Lk, суммарное число поездов систем парка	Необход. кол-во путей	Фактическое число путей
	№	Элементы СМО			
Парк «А»	1–3	Обработка транз. б/пер	1,09	2	7
Парк «В»	8, 12	Обработка транз. с/пер	0,65	1	15
	9–11	Обработка поездов своего формирования	1,1	2	
	13	Расформирование на горке в парке В	0,42	1	
	17	Перестановка в парк В	0,33	1	
Парк «Б»	4–7	Обработка поезда своего формирования в парке Б	1,18	2	24
		Накопление	7,53	8	
	14	Формирование	0,66	1	
	19-24	Местная работа в парке Б	0,25	1	

Согласно этой таблице, при условии внедрения предлагаемых мероприятий путевое развитие не требует развития. Для эффективного использования создаваемых мощностей на станции необходимо обеспечить пропуск ожидаемого поездопотока и на подходах к станции. В связи с этим для дальнейших исследований устойчивости элементов транспортных коридоров необходимо провести оценку пропускных способностей направлений, используя при этом уже имеющиеся методы оценки пропускной способности железнодорожных линий, отраженных в исследованиях.

Теоретические и практические аспекты имитационного моделирования транспортных процессов припортовой станции (на примере станции Новороссийск)

Объект (припортовая станция) был расчленен на конечное число подсистем с учетом связей между подсистемами. На рисунке П4.21 приведена технологическая схема припортовой станции Новороссийск.

Входным потоком для модели является поток поездов, прибывающих на станцию Новороссийск под грузовые операции, с различной их длиной, номенклатурой грузов и ассортиментом.

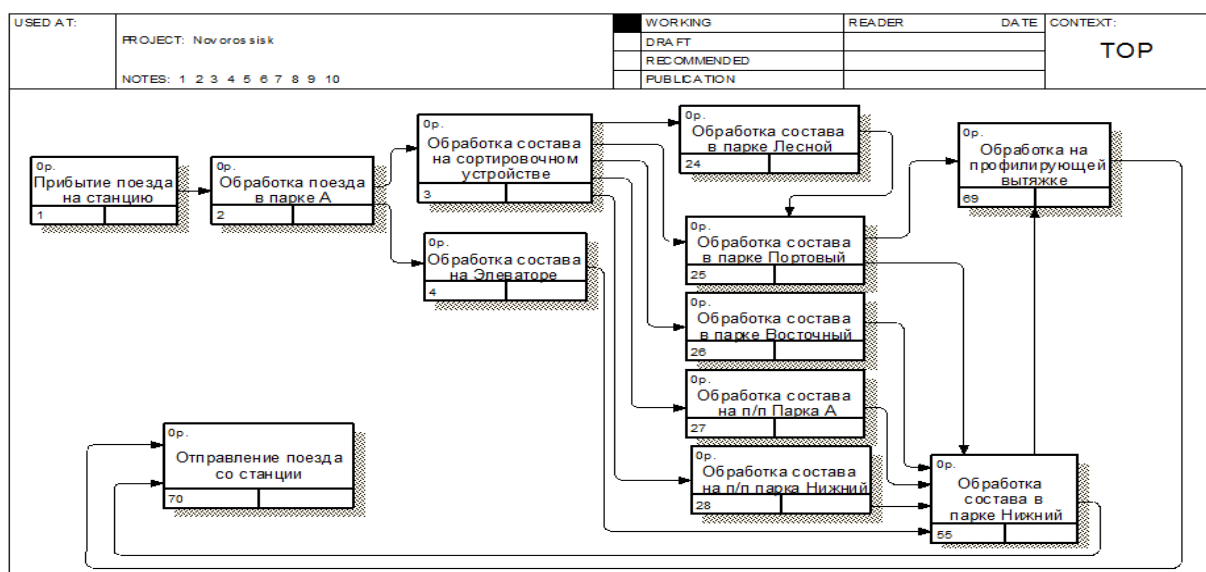


Рисунок П4.21 – Технологическая схема работы припортовой станции [357]

При декомпозиции процесса взаимодействия станции Новороссийск и морского торгового порта было установлено, что время выполнения технологических операций может быть описано с помощью вероятностных распределений. На базе имитационного моделирования производится оценка влияния различных внешних факторов на функционирование и устойчивость модели. Например, при проведении моделирования была произведена оценка влияния количества дней по неприему поездов станцией из-за неблагоприятных

погодных условий на величину оборота вагона. Дополнительные испытания позволили оценить эффективность подвода поездов к узлу с разными номенклатурами груза с применением методов мультиагентной оптимизации. Суть дополнительных испытаний заключалась в том, чтобы сравнить значения оборота вагона при отказе в приеме груза портом на период t_n . Результаты 520 прогонов модели представлены на рисунке П4.22.

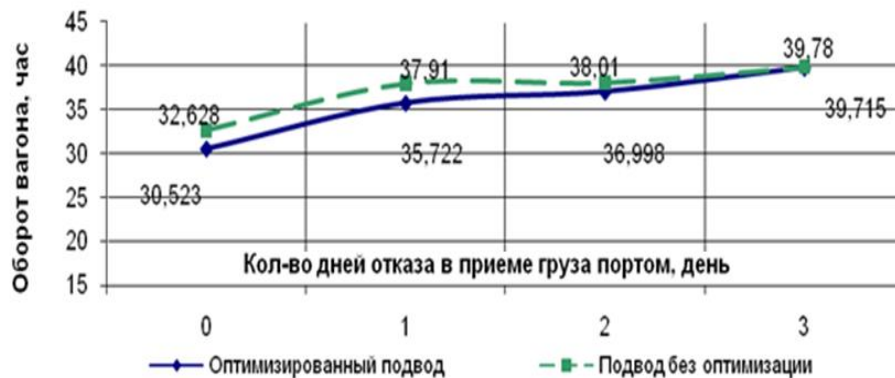


Рисунок П4.22 – Изменение значения оборота вагона при различных стратегиях подвода составов к порту [357]

Полученные зависимости подтвердили факт, что наибольший эффект с учетом применения метода мультиагентной оптимизации для определения очередности подвода составов достигается при безотказной работе порта. При увеличении числа дней по неприему станцией поездов эффект снижается. Например, если порт из-за неблагоприятных условий не принимает грузы в течении трех дней, то преимущества от применения методов оптимизации минимальны. Данный факт объясняется перегруженностью инфраструктуры как порта, так и парков припортовой станции.

Теоретические и практические аспекты имитационного моделирования отгрузки и подвода груза к припортовым станциям

При имитационном моделировании реализующий модель управления алгоритм воспроизводит процесс функционирования системы во времени и пространстве, причем имитируются составляющие процесс элементарного явления с сохранением его логической и временной структуры. Для моделирования подвода грузов в адрес морского порта использован дискретно-событийный аппарат, который позволяет отразить развитие системы во времени, когда состояния переменных меняются мгновенно в конкретные моменты времени и изменяют состояние системы. Алгоритм исследования системы на основе использования дискретно-событийного моделирования представлен на рисунке П4.23. В соответствии с дискретно-событийной парадигмой моделирования выделены транзакции (заявки), которые будут моделировать грузопоток, направляющийся к припортовой станции. Каждая транзакция имеет определенную характеристику.

Неравномерность грузовой работы на станциях погрузки может привести к избыточному скоплению вагонов на припортовых станциях в ожидании выгрузки. В результате в отдельные сутки имеется либо избыток, либо недостаток вагонов в транспортном узле и портовые мощности загружены неравномерно (рисунок П4.24). Поэтому ставится 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), предложенного M.Dorigo, V.Maniezzo и A.Coloni [399]. На основе данных заявок на перевозку грузов и системы ЭТРАН на первом этапе осуществляется ввод информации по погрузке на станциях зарождения экспортного груза. Далее

производится ввод данных о времени хода от станции погрузки груза до стыковой станции, от стыковой станции дороги до припортовой станции и время грузовых операций груза в порту.

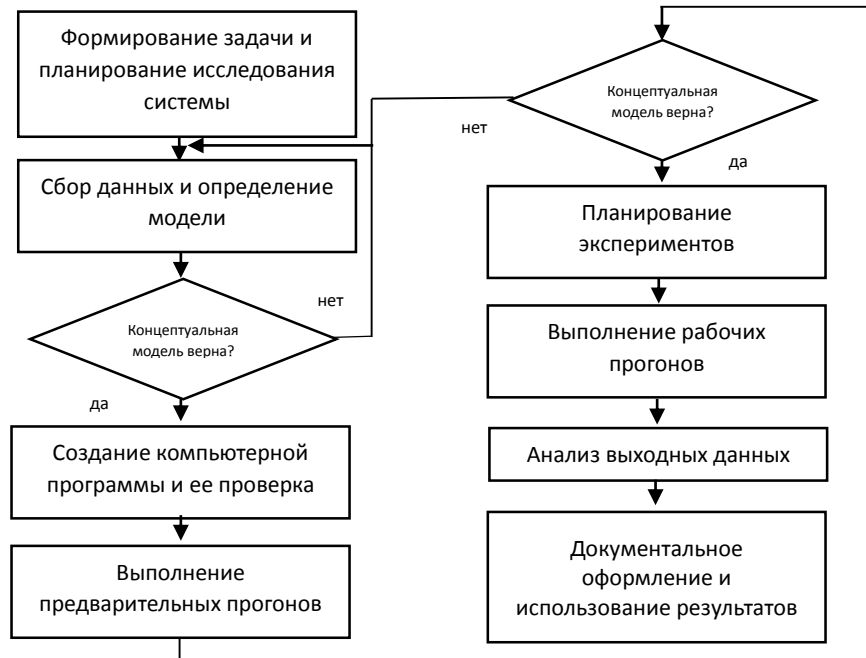


Рисунок П4.23 – Алгоритм исследования системы на основе использования дискретно-событийного моделирования

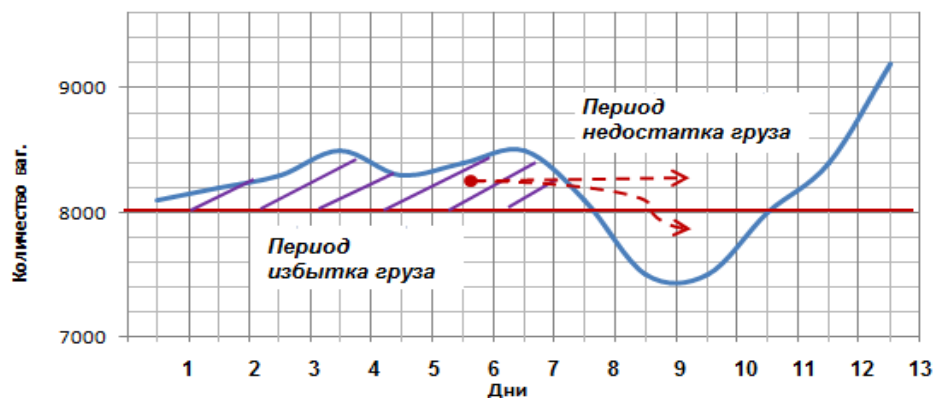


Рисунок П4.24 – Исходный план прибытия поездов в транспортный узел (пункт перевалки)

После ввода начальных данных осуществляется прогон модели, который позволяет смоделировать продвижение груза по полигону припортовой дороги и его выгрузку в порту. Результат выводится в виде гистограмм. Программный

комплекс определяет даты (временные отметки), в которые были превышены нормы наличия вагонов на припортовой дороге и припортовой станции и определяет количество вагонов, которое превышает норму. Определив величину превышения нормы наличия вагонов, программный комплекс запускает алгоритм определения места зарождения груза, который привел к прогнозируемому превышению нормы и выводит рекомендации по изменению прогноза погрузки на станциях зарождения грузопотока.

Рассмотрим полигон подвода грузов к транспортному узлу (пункту перевалки), который представляет собой множество станций зарождения вагонопотока $S = (S_1, S_2, \dots, S_n)$, стыковых станций $G = (G_1, G_2, \dots, G_j)$ и транспортных узлов (пунктов перевалки) – P (рисунок П4.25) [357].

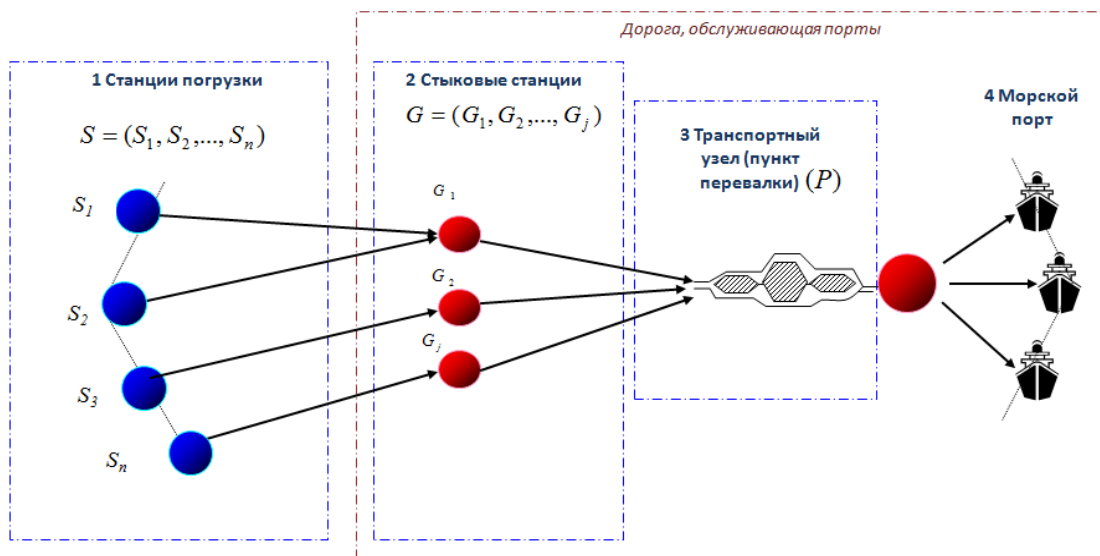


Рисунок П4.25 – Полигон подвода грузов к транспортному узлу

По станциям погрузки на основе представленных грузоотправителями перевозчику заявок на перевозку грузов формируется план погрузки на период планирования

$$N_s = (N_s^1, N_s^2, \dots, N_s^n),$$

где N_s^1 – план погрузки на 1-й день планирования на станции S , в вагонах;

N_s^n – план погрузки на n -й – день планирования на станции S , в вагонах.

На рисунке П4.26 схематично представлена гистограмма прогнозируемого наличия вагонов на припортовой станции.

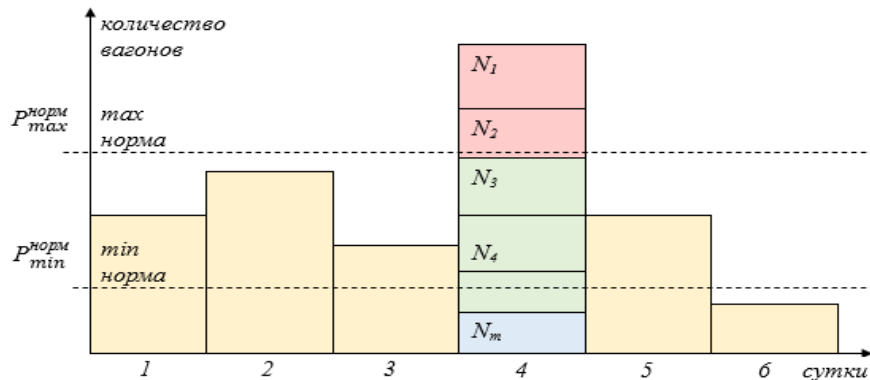


Рисунок П4.26 – Гистограмма прогнозируемого наличия вагонов на припортовой станции

На данной гистограмме видно, что на четвертые сутки периода планирования прогнозное количество наличия вагонов на припортовой станции значительно превышает максимальную норму наличия вагонов. Общее количество прогнозируемых вагонов в адрес припортовой станции состоит из общей погрузки на станциях зарождения грузопотока

$$N_{\text{порт}} = N_1 + N_2 + \dots + N_m,$$

где $N_{\text{порт}}$ – суммарное прогнозное количество вагонов на припортовой станции;

$N_1, N_2, \dots, N_m$ – количество вагонов, погруженных на станциях зарождения грузопотока.

Для снижения неравномерной погрузки грузов в адрес припортовой дороги необходимо обеспечить формирование и реализацию таких планов погрузки экспортных грузов, которые позволили бы не допустить превышение максимальной и снижение ниже минимальной нормативной величины наличия груза на дороге.

$$P_{\min}^{\text{норм}} \leq P_{\text{н}}^{\text{прогн}} \leq P_{\max}^{\text{норм}}.$$

Это условие вызывает необходимость провести корректировку планов погрузки, которая позволит обеспечить выгрузку на припортовой станции не меньше нормы выгрузки по обороту вагонов (рисунок П4.27).

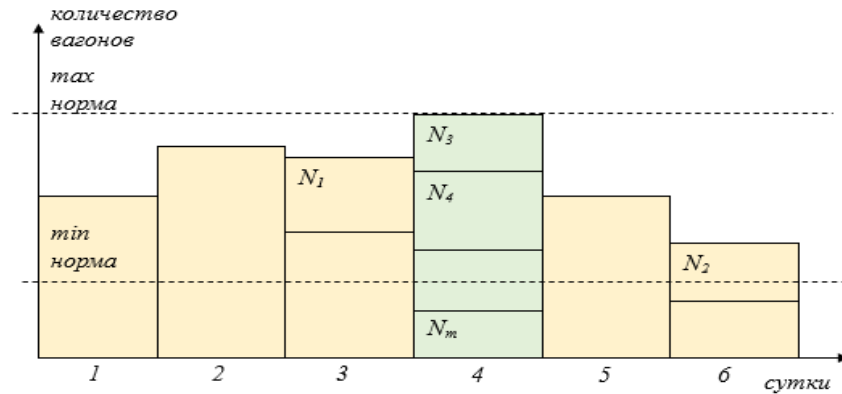


Рисунок П4.27 – Гистограмма прогнозируемого наличия вагонов на припортовой станции после корректировки планов погрузки

Эта задача может быть решена при использовании имитационной модели (рисунок П4.28).

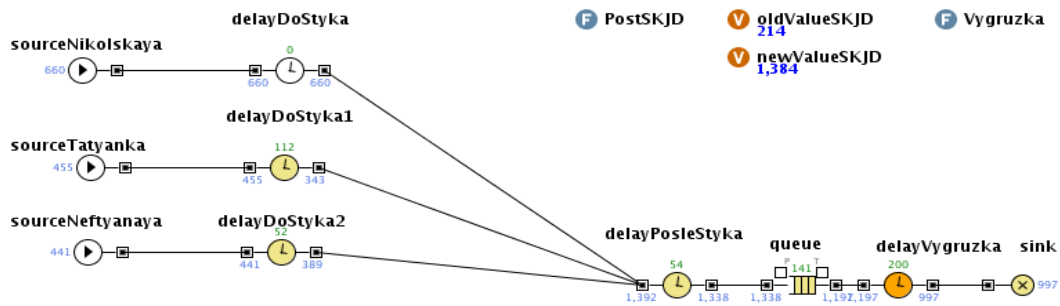


Рисунок П4.28 – Имитационная модель полигона подвода груза

На рисунке П4.29 приведена структурная схема программного комплекса.

Расчет вероятностных характеристик технологического процесса подвода грузов к припортовым станциям. Для реализации модели подвода экспортных грузов в адрес портов необходимо знать время следования от станций погрузки до станции назначения, то есть срок доставки. Для решения задачи, важно использовать данные, позволяющие наиболее точно спрогнозировать время прибытия вагонов на припортовую станцию. Для этого собраны и проанализированы данные о времени погрузки, отправления и проследования вагонов в адрес получателя («Импортпищепром») за несколько месяцев (таблица П4.13).

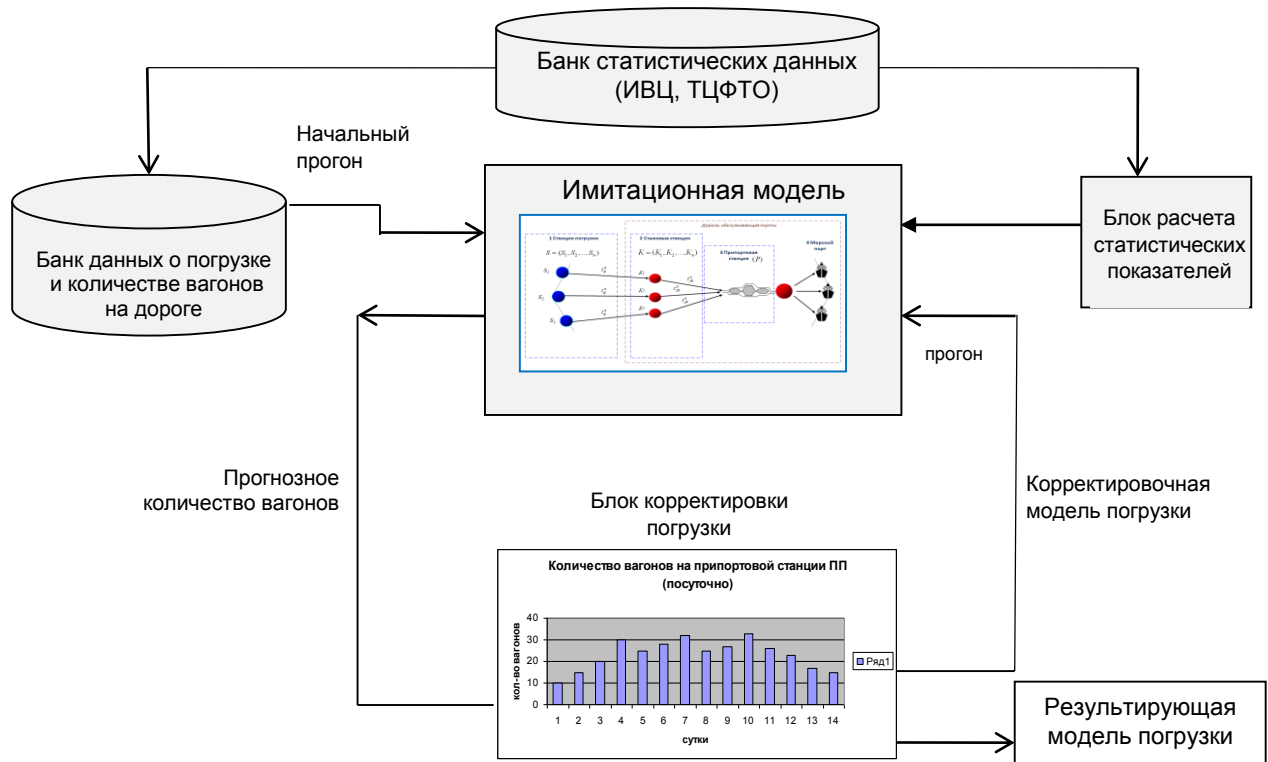


Рисунок П4.29 – Структурная схема программного комплекса

Закономерности, наблюдаемые в случайных явлениях, например, таких как, моменты времени поступления груза от отправителя на станцию погрузки, времени хода его от станции погрузки до стыкового пункта дороги назначения, проявляются отчетливее, чем больше объем статистического материала. При разработке имитационной модели необходимо провести аппроксимацию полученных эмпирических распределений теоретическими законами соответствующего вида с проверкой гипотез о степени точности данных приближений. Это позволит избежать «эффекта прошлого», т. к. при моделировании с использованием эмпирических данных, моделируются события прошлого. Данные, полученные за определенный период, отображают поведение системы именно в тот «прошедший» период системы. Кроме того, использование теоретического закона распределения в большинстве случаев дает лучшие результаты с точки зрения затрат машинного времени и распределения объемов памяти.

Таблица П4.13 – Данные о времени погрузки, отправления и проследования вагонов в адрес «Импортпищепрома» (фрагмент)

Наим. вида отправки	Наим. станции отправления	Дата отправления со станции погрузки	Дата прибытия на ст. Новорос-сийск в адрес «ИПП»	Срок дос-тавки	Наим. груза	№ вагонов	Стык	Дата прохож-дения
Маршрут-ная	Никель	01.01 10:29:08	07.01. 18:48:27	09.01.	топливо дизельное с температу- рой вспышки выше 61с (в закрытом тигле)	54247374 ... 50424407	Ново- пере- любская Котель- никово	03.01. 16:11:00 06.01 11:35:00
...								...
Маршрут-ная	Татьянка	01.01. 18:10:22	04.01. 21:49:13	06.01.	топливо дизельное с температу- рой вспышки выше 61с (в закрытом тигле)	51090157 57514598 ... 50600535 58646431 53979597	Котель- никово	03.01. 11:52:00

Для оценки степени согласованности теоретического и статистического распределений применим критерий Пирсона:

$$\chi^2 = \sum_{k=1}^r \frac{(n_k(\bar{X}_n) - np_k)^2}{np_k},$$

где r – число интервалов;

$n_k(\bar{X}_n)$ – наблюдаемая частота для k -го интервала случайной выборки объема n из генеральной совокупности X ;

np_k – теоретическая частота для k -го интервала случайной выборки объема n .

Определим число интервалов и округлим результат до большего целого:

$$L = 1 + 2,2 \ln n.$$

Ширину интервалов определим по формуле:

$$h = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{L},$$

где $x_{\min} \leq x_1, x_{\max} \leq x_n$. Величину h также округлим в большую сторону.

Согласно таблице П4.14 имеется 83 наблюдения о времени хода от станции погрузки Татьяна до стыковой станции Котельниково T_{X_1} . Таким образом, $L = 11$ интервалов, ширина интервалов $h = 4$. Составим статистический ряд интервалов распределения времени T_{X_1} , таблица П4.14. Величины f_i и F_i являются дискретными эквивалентами плотности вероятности функции распределения интервалов времени хода T_{X_1} . Пусть L – число интервалов в гистограмме (рисунок П4.30), $\bar{t}_i$ – середина интервала i .

Таблица П4.14 – Статистический ряд интервалов распределения времени хода от станции погрузки Татьяна до стыковой станции Котельниково

Интервал, часы	Наблюдаемая частота, $n_k(\bar{X}_n)$	Относительная частота, f_i	Накопленная относительная частота, F_i
[11; 15)	8	0,12048193	0,12048193
[15; 19)	16	0,22891566	0,34939759
[19; 23)	19	0,21686746	0,56626505
[23; 27)	17	0,15662651	0,72289156
[27; 31)	9	0,10843373	0,83132529
[31; 35)	7	0,08433735	0,91566264
[35; 39)	1	0,01204819	0,92771083
[39; 43)	5	0,06024096	0,98795179
[43; 47)	0	0	0,98795179
[47; 51)	0	0	0,98795179
[51; 55)	1	0,01204819	1
Всего	83		

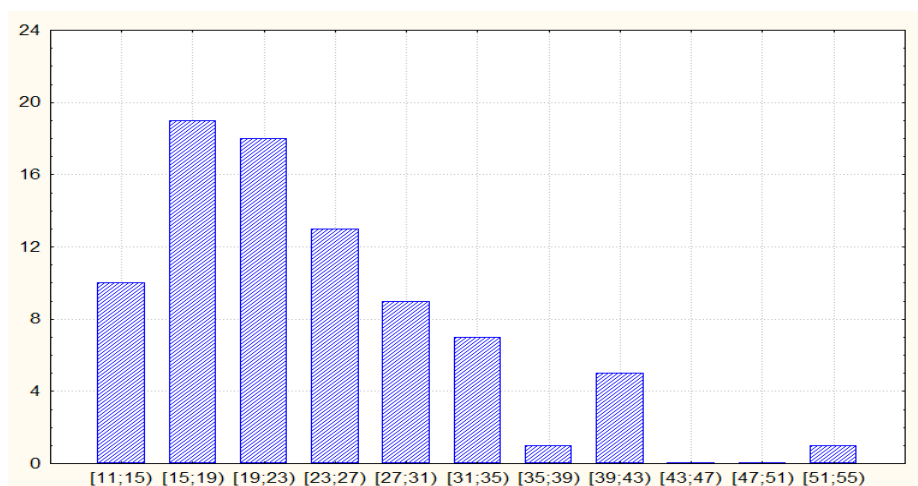


Рисунок П4.30 – Гистограмма распределения времени хода T_{X_1}

Определим математическое ожидание и дисперсию эмпирического распределения по формулам:

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^L f_i \bar{t}_i,$$

$$\sigma^2 = \sigma^2(\bar{x}_n) = \sum_{i=1}^L f_i (\bar{t}_i - \bar{t})^2,$$

$$\bar{t} = 23,4096; \quad \sigma^2 = 66,6756.$$

Значение среднеквадратического отклонения $\sigma = 8,1655$.

Выполнив анализ полученных параметров эмпирического распределения, выдвинем гипотезу H_0 : не имеется существенных различий между наблюдаемыми данными и данными, которые получаются из теоретического логарифмически-нормального распределения с математическим ожиданием $a = 234096$ и среднеквадратическим отклонением $\sigma = 8,1655$.

Плотность распределения логарифмически нормального закона определяется по формуле:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma x}} \cdot e^{-\frac{(\ln x - a)^2}{2\sigma^2}}, \text{ при } t \geq 0, a > 0, \sigma > 0.$$

Для расчета теоретической частоты воспользуемся формулой

$$np_k = n \int_{I_{k-1}}^{I_k} f(t) dt = n(F(I_k) - F(I_{k-1})).$$

Результаты вычислений представлены в таблице П4.15.

Таблица П4.15 – Результаты проверки гипотезы о законе распределения интервалов времени хода от станции погрузки Татьяна до стыковой станции Котельниково по критерию χ^2

Интервал, часы	Наблюдаемая частота, $n_k(\bar{X}_n)$	Теоретическая частота, np_k	Критерий согласия χ^2
[11; 15)	8	6,876	0,1837
[15; 19)	16	16,523	0,0166
[19; 23)	19	19,435	0,0097
[23; 27)	17	15,784	0,0937
[27; 31)	9	10,457	0,2030
[31; 35)	7	6,165	0,1131
[35; 39)	$\left. \begin{matrix} 1 \\ 5 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{matrix} \right\} 7$	3,396	$\left. \begin{matrix} 6,848 \end{matrix} \right\} 0,0034$
[39; 43)		1,798	
[43; 47)		0,932	
[47; 51)		0,478	
[51; 55)		0,244	
Всего	83	83	0,6232

При уровне статистической значимости $\alpha = 0.05$ и числе степеней свободы $r = 5 - 3 = 2$, используя табличные значения [464], получаем:

при $r = 2$ и $\alpha = 0,05$ $\chi^2_{кр} = 5,99$.

Так как $\chi^2_{набл} < \chi^2_{кр}$, то нет оснований отвергать нулевую гипотезу при заданном уровне значимости. Гипотезу о том, что интервалы времени хода от станции погрузки до стыковой станции распределены по логарифмически-нормальному закону, будем считать верной. Аналогичным образом определен теоретический закон распределения для времени хода Tx_2 от стыковой станции Котельниково до припортовой станции Новороссийск. Статистический ряд интервалов распределения времени хода Tx_2 приведен в таблице П4.16.

Таблица П4.16 – Статистический ряд интервалов распределения времени хода от стыковой станции Котельниково до припортовой станции Новороссийск

Интервал, часы	Наблюдаемая частота, $n_k(\bar{X}_n)$	Относительная частота, f_i	Накопленная относительная частота, F_i
[22; 35)	15	0,26506024	0,26506024
[35; 47,5)	29	0,53012048	0,79518072
[47,5; 60)	24	0,02409639	0,1927711
[60; 72,5)	9	0,14457831	0,96385542
[72,5; 85)	3	0	0,96385542
[85; 97,5)	0	0	0,96385542
[97,5; 110)	2	0,01204819	0,97590361
[110; 122,5)	0	0,01204819	0,9879518
[122,5; 135)	0	0	0,9879518
[135; 147,5)	1	0,01204819	1
Всего	83		

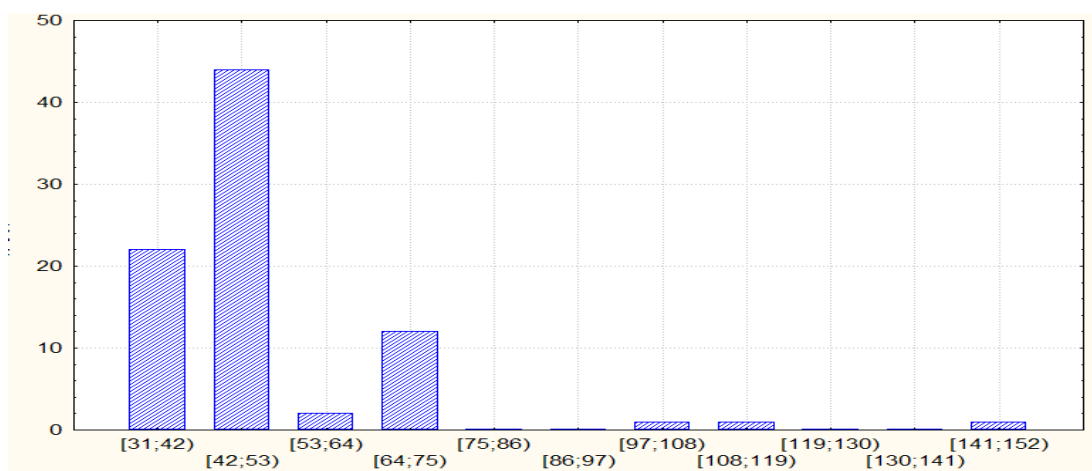


Рисунок П4.31 – Гистограмма распределения времени хода Tx_2

Таблица П4.17 – Результаты проверки гипотезы о законе распределения интервалов времени хода от стыковой станции Котельниково до припортовой станции Новороссийск по критерию χ^2

Интервал, часы	Наблюдаемая частота $n_k(\bar{X}_n)$	Теоретическая частота np_k	Критерий согласия χ^2
[22; 35)	15	11,179	1,306
[35; 47,5)	29	28,960	0,0006
[47,5; 60)	24	24,333	0,005
[60; 72,5)	9	11,811	0,670
[72,5; 85)	3	4,355	0,422
[85; 97,5)	0	1,396	0,525
[97,5; 110)	2	0,418	
[110; 122,5)	0	1,98 0,035 0,010	
[122,5; 135)	0		
[135; 147,5)	1		
Всего	83	83	2,927

Так как $\chi^2_{\text{набл}} < \chi^2_{\text{кр}}$, следовательно, расхождение эмпирических и теоретических частот незначимое и данные наблюдений согласуются с гипотезой об логарифмически нормальном распределении генеральной совокупности.

Формирование критериев оптимизации подвода грузов к припортовой станции. Задача оптимального подвода грузов к припортовой станции является нетривиальной, практически невозможно определить единственный критерий оптимизаций, который полностью отражает интересы всех участников перевозочного процесса. В результате имитационного моделирования определяется N станций, которые образуют «всплеск», превышающий верхний предел нормы выгрузки на припортовой станции. Назовем эти станции *станциями корректировки*. Корректировка (изменение количества погруженных вагонов) позволит уменьшить (или исключить) превышение нормы выгрузки на припортовой станции.

Определим критерии оптимизации, необходимые для разработки математических методов оптимального подвода грузов к припортовой станции:

1 *Дата окончания срока действия заявки* на станции зарождения грузопотока. Наибольший приоритет имеют те заявки, срок окончания действия

которых, минимальный. Коэффициент, учитывающий срок действия заявки рассчитывается по формуле

$$K_3^N = \frac{T_{\text{ост}}^N}{T_{\text{ср.д}}},$$

где K_3^N – коэффициент срока действия заявки для N -й станции корректировки;

$T_{\text{ост}}^N$ – количество оставшихся дней срока действия заявки для N -й станции корректировки;

$T_{\text{ср.д}}$ – количество дней, составляющих срок действия заявки.

2 *Учет выполнения постанционного плана погрузки (план де-факто)*. Так как запрет на погрузку на станции зарождения грузопотока может отрицательно сказаться на выполнении плана погрузки на данной станции, то необходимо учитывать данный факт при принятии управляющего решения.

На рисунке П4.32 $T_{\text{кор}}$ – дата возможной корректировки погрузки, N' – количество погруженных вагонов до даты корректировки, N'' – прогнозное количество погрузки вагонов после даты корректировки.

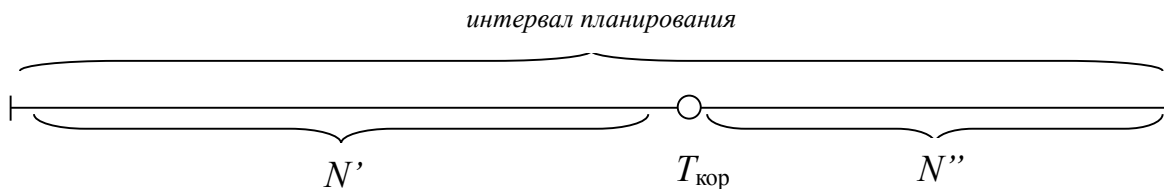


Рисунок П4.32 – Влияние корректировки погрузки на выполнение плана

С учетом принятых обозначений рассмотрим следующие варианты:

1 $(N' + N'') \geq N_{\text{план}}$. В данном случае, коэффициент учета выполнения поставленного плана должен быть максимальным, его можно принять равным количеству дней в интервале планирования $T_{\text{план}}$.

2 $(N' + N'') < N_{\text{план}}$. В данном случае, корректировка погрузки отрицательно сказывается на выполнении плана погрузки для рассматриваемой станции. Чем больше оставшихся дней, тем выше вероятность, что еще будет возможность «восполнить» недостающую погрузку, что позволит выполнить план в период действия заявки.

Соответственно, если остался небольшой срок действия заявки, то вероятность восполнить недостаточную погрузку, достаточно мала. Этот факт можно учесть в коэффициенте выполнения постанционного плана

$$K_{\text{пл}}^N = \frac{T_{\text{план}} - T_{\text{кор}}}{T_{\text{план}}}.$$

3 *Наличие маршрутной отправки.* Для согласования данного критерия с остальными, его минимальную величину можно приравнять к минимальной величине критерия, учитывающего дату окончания срока действия заявки, а именно

$$\mu = 1/T_{\text{ср.д.}}.$$

Аналогично, максимальное значение данного критерия будет иметь значение равное 1 (единице).

4 *Технические возможности погрузки на станции.*

Корректировка погрузки приводит к тому, что груз должен быть отправлен в другой день, но в течение действия заявки. Количество дней, в течение которых возможна погрузка, не нарушающая срок действия заявки, определяется по формуле

$$T_{\text{ост}}^N = T_{\text{ср.д.}} - T_{\text{пр}}^N,$$

где $T_{\text{ост}}^N$ – количество оставшихся дней срока действия заявки для N -й станции корректировки;

$T_{\text{ср.д.}}$ – количество дней, составляющих срок действия заявки;

$T_{\text{пр}}^N$ – количество прошедших дней с начала действия заявки для N -й станции корректировки.

Дальнейшее определение коэффициента, учитывающего погрузочные возможности, можно разбить на два этапа. На первом этапе определяется их соответствие норме среднесуточной погрузки. Для этого суммируется суточная погрузка за рассматриваемый период, в результате чего получаем среднесуточную погрузку и сравниваем ее с нормативной.

$$n_{\text{ср.сут.}}^N = \frac{\sum_{k=1}^{T_{\text{ост}}} n_k^N}{T_{\text{ост}}},$$

где $T_{\text{ост}}$ – количество оставшихся дней срока действия заявки;

n_k^N – количество вагонов, планируемых к погрузке в k -й день на N -й станции;

$n_{\text{ср.сут.}}^N$ – среднесуточная погрузка для N -й станции корректировки.

Если полученное значение превышает нормативное то станция корректировки исключается из списка

$$n_{\text{ср.сут.}}^N > n_{\text{норм.}}^N.$$

На втором этапе определяется возможность погрузить партию вагонов, не разбивая их на части. Алгоритм представлен на рисунке П4.33.

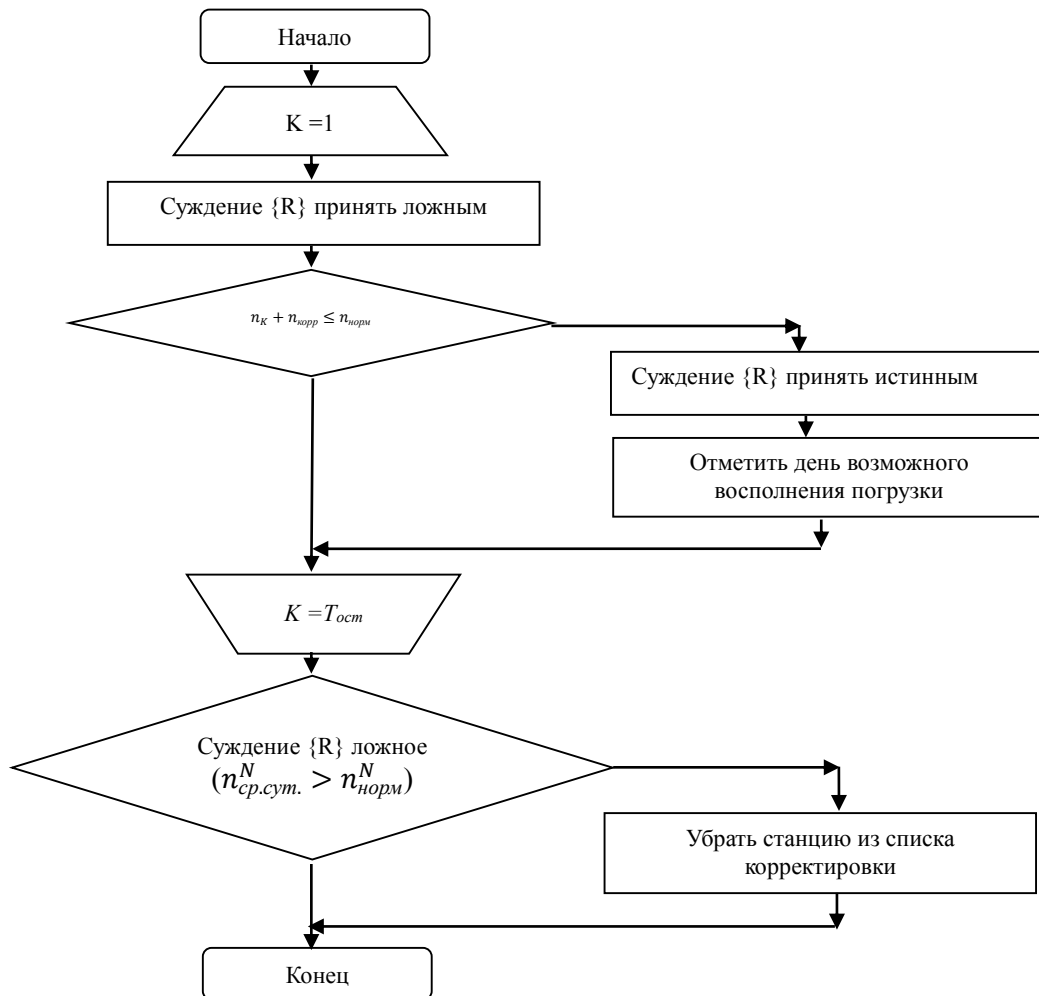


Рисунок П4.33 – Алгоритм определения единовременной возможности погрузки партии вагонов

Для разработки метода оптимизации подвода груза определим целевую функцию, которая должна учитывать корректировку погрузки таким образом,

чтобы подвод грузов под выгрузку на припортовой станции стремился к нормативному значению

$$F(x) = N_1 + N_2 + \dots + N_m \rightarrow N_{\text{норм.}}$$

Для решения поставленной задачи предлагается использовать эвристический метод оптимизации на основе метода мультиагентной оптимизации *Ant Colony System (ACS)*, предложенного М. Dorigo, V. Maniezzo и А. Coloni [398, 399].

Алгоритм *Ant Colony System* моделирует многоагентную систему. Каждый агент хранит в памяти список пройденных им узлов. Этот список называют списком запретов (*tabulist*) или просто памятью агента. Выбирая узел для следующего шага, агент «помнит» об уже пройденных узлах и не рассматривает их в качестве возможных для перехода. На каждом шаге список запретов пополняется новым узлом, а перед новой итерацией алгоритма – то есть перед тем, как агент вновь проходит путь – он опустошается. Кроме списка запретов, при выборе узла для перехода агент руководствуется «привлекательностью» ребер, которые он может пройти. Она зависит, во-первых, от расстояния между узлами (то есть от веса ребра), а во-вторых, от следов феромонов, оставленных на ребре прошедшими по нему ранее агентами. Естественно, что в отличие от весов ребер, которые являются константными, следы феромонов обновляются на каждой итерации алгоритма: как и в природе, со временем следы испаряются, а проходящие агенты, напротив, усиливают их.

Пусть $k(k = \overline{1..m})$ – индексы автономных агентов, составляющих базовую популяцию m агентов. Базовый алгоритм ACS определяет вероятность, с которой агент будет осуществлять свой следующий шаг, по формуле

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{r \notin \text{tabu}_k} ([\tau_{ir}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ir}]^\beta)}, & \text{если } j \notin \text{tabu}_k, \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad (\text{П4.12})$$

при $\alpha \geq 0, \beta \geq 0$.

Под значением τ_{ij} будем понимать уровень следа (феромона), который оставляет каждый агент на ребре, соединяющем узлы, тем самым обозначая выбор той или иной погрузки.

Переменную η_{ij} будем называть коэффициентом пригодности, и определим его как разность между количеством вагонов в погрузке на i -й станции и величиной превышения нормы выгрузки на припортовой станции:

$$\eta_{ij} = N_{\text{норм}} - N_i.$$

Чем ближе количество вагонов в погрузке к величине превышения нормы, тем будет выше вероятность того, что данная отправка будет отложена. Это позволит уменьшить вероятность, что выбор «неправильной» отправки для запрета, отрицательно повлияет на сверхнормативное накопление вагонов на дороге назначения.

Для учета критериев, рассмотренных ранее, при выборе станций корректировки предлагается преобразовать формулу (П4.12) к следующему виду:

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta \cdot [k_{ij}^3]^\delta \cdot [k_{ij}^{\text{ПЛ}}]^\chi \cdot [\mu_{ij}]^\gamma \cdot [\theta_{ij}]^\omega}{\sum_{r \notin \text{tabu}_k} \left([\tau_{ir}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ir}]^\beta \cdot [k_{ir}^3]^\delta \cdot [k_{ir}^{\text{ПЛ}}]^\chi \cdot [\mu_{ir}]^\gamma \cdot [\theta_{ir}]^\omega \right)}, & \text{если } j \notin \text{tabu}_k, \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad (\text{П4.13})$$

при $\alpha \geq 0, \beta \geq 0, \delta \geq 0, \chi \geq 0, \gamma \geq 0, \omega \geq 0$,

где k_{ij}^3 – коэффициент, учитывающий выполнение заявки по погрузке в срок;

$k_{ij}^{\text{ПЛ}}$ – коэффициент, учитывающий выполнения плана погрузки на станции зарождения грузопотока;

μ_{ij} – коэффициент, учитывающий «маршрутность» погрузки;

θ_{ij} – коэффициент, учитывающий погрузочные мощности на станции зарождения грузопотока.

Алгоритм определяет станции, которые не подвергаются корректировке. На начальном этапе есть множество станций, на которых возможна операция корректировки погрузки, и множество станций, которые не подвергаются

корректировке после принятия управляющего решения. Причем мощность второго множества всегда меньше первого. Графически это можно представить в виде двудольного графа, узлы которого обозначают данные множества (рисунок П4.34).

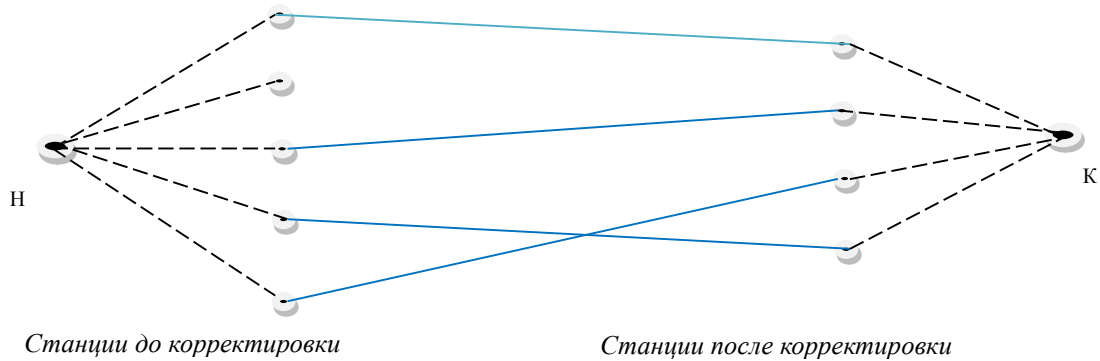


Рисунок П4.34 – Граф поиска решения выбора станции корректировки

К двудольному графу добавляются фиктивные узлы H и K , определяющие начало пути агента и конец соответственно. Процесс построения решения повторяется m раз, т. е. по количеству агентов в популяции.

Параметры α , β , δ , χ , γ и ω определяют важность приращение к норме выгрузки количества погруженных вагонов, важность следа (феромона), выполнения заявки в срок, выполнение плана погрузки, «маршрутность» отправки и погрузочные возможности на станции зарождения грузопотока, соответственно. Количество следа (феромона) τ_{ij} на ребре (i, j) изменяется после того как все агенты построят свои решения. Изменение следа происходит по формуле:

$$\tau_{ij}(t + n) = \rho \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}, \quad (\text{П4.14})$$

где ρ – коэффициент *стойкости* следа;

$$\Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k.$$

$\Delta\tau_{ij}^k$ – количество следа, оставленного на ребре (i, j) k -м агентом в процессе построения решения, рассчитывается по формуле (П4.15). Коэффициент ρ должен быть константой ($\rho < 1$) для избежания неограниченного накопления следа.

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L_k}, & \text{если } k\text{-й агент выбирал ребро } (i, j), \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (\text{П4.15})$$

На рисунке П4.35 представлен алгоритм поиска станции корректировки на основе использования метода *Ant Colony System*.

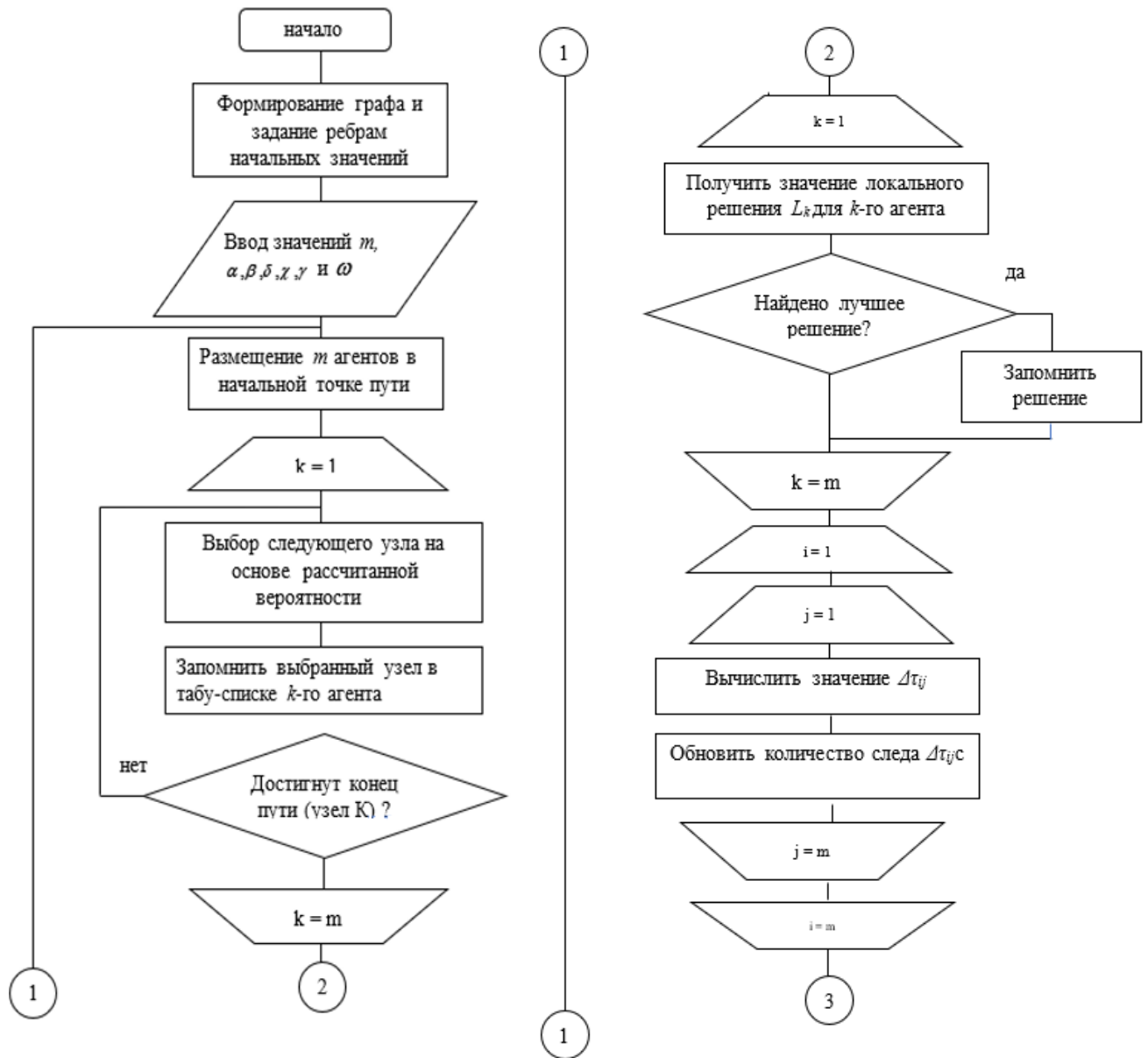


Рисунок П4.35 – Алгоритм автоматизации выбора станции корректировки на основе метода *Ant Colony System* (начало)

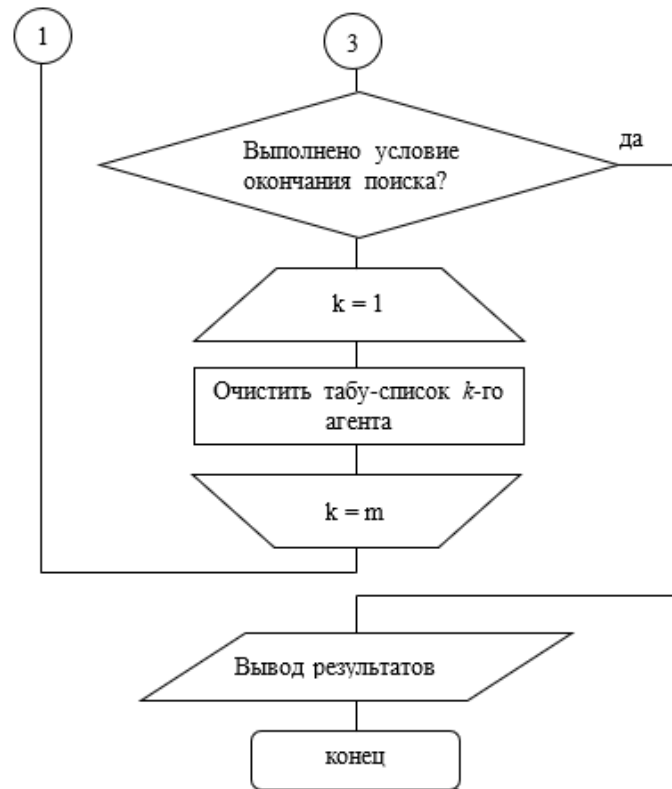


Рисунок П4.35 – Алгоритм автоматизации выбора станции корректировки
на основе метода *Ant Colony System* (окончание)

Качество принимаемого решения в значительной степени зависит от подбора параметров α , β , δ , χ , γ и ω . Данные параметры подбираются экспериментальным путем на основе предпочтений экспертов и позволяют усиливать влияние того или иного фактора на получаемое решение.

Теоретические и практические аспекты применения метода динамического программирования в решении оптимизационной задачи подвода судовой партии по прямому варианту «вагон – борт судна»

Исходными данными являются:

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

для каждого $m_i \in M$ определено:

$t_x(m_i) = t_{xi}$ – время хода поезда (технологическое время) до припортовой станции, ч;

t_n – нормативное время на подготовку подач к грузовым пунктам, ч;

$n_n(m_i)$ – планируемый объем накопления для каждой станции, ваг;

$n_n(m_i)$ – планируемый объем накопления для каждой станции, ваг;

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

$n_{\text{ваг/ч}}$ – часовая перерабатывающая способность погрузочно-выгрузочных механизмов, ваг/ч;

$t_{\text{выгр}}(m_i) = t_{\text{выгр}}$ – время переработки маршрута (группы вагонов) на припортовой станции:

$$t_{\text{выгр}} = \frac{u}{n_{\text{ваг/ч}}}, \text{ ч.}$$

Прибытие поезда на припортовую станцию определяется нитками графика движения поездов.

G_i – множество свободных ниток в графике движения поездов от станции накопления маршрута i до припортовой станции, $t_{\text{отпр}_i}^k \in G_i$ – время отправления поезда со станции формирования, $k = 1, 2, \dots, K_i$, K_i – число свободных ниток графика, таблица П4.18.

Таблица П4.18 – Множество моментов отправления со станций $m_i \in M$

		Множество моментов отправления				
Множество станций отправления	m_1	$t_{omnp_1}^1$	$t_{omnp_1}^2$	$t_{omnp_1}^3$	...	$t_{omnp_1}^k$
	m_2	$t_{omnp_2}^1$	$t_{omnp_2}^2$	$t_{omnp_2}^3$	...	$t_{omnp_2}^k$
	m_3	$t_{omnp_3}^1$	$t_{omnp_3}^2$	$t_{omnp_3}^3$	...	$t_{omnp_3}^k$
	...	...	...	...	...	...
	m_i	$t_{omnp_i}^1$	$t_{omnp_i}^2$	$t_{omnp_i}^3$	...	$t_{omnp_i}^k$

Процесс организации поездо- и вагонопотоков в направлении портов можно описать операциями, которые носят многоэтапный характер. При организации перевозки по прямому варианту необходимо применять свои (индивидуальные) регулировочные воздействия на темп погрузки. При этом критериями могут быть:

1) минимальные суммарные вагоно-часы простоя

$$K_B = \sum (t_{ni} - t_{npi}) \cdot n_{vi} \rightarrow \min,$$

где n_{vi} – количество вагонов, прибывших на припортовую станцию;

t_{ni} – время подачи вагонов на грузовые пункты;

t_{npi} – время прибытия поездов на припортовую станцию.

2) минимальные суммарные часы простоя погрузочно-разгрузочных механизмов

$$K_{\text{мех}} = \sum_{j=1}^{n_{\text{мех}}} t_{kj} \rightarrow \min,$$

где t_{kj} – время простоя каждого крана (механизма);

$n_{\text{мех}}$ – число погрузочно-выгрузочных механизмов.

3) минимальные суммарные часы простоя судов

$$K_c = \sum_{j=1}^{n_c} t_{cj} \rightarrow \min,$$

где t_{cj} – время простоя каждого судна;

n_c – число судов.

При этом должно выполняться ограничение:

$$t_{ni} - t_{npi} \geq t_n,$$

где t_n – время на подготовку подач к грузовым пунктам, иначе будут иметь место неиспользованные «нитки» подач, что приведет к простоям погрузочно-выгрузочных мощностей на грузовых фронтах.

График движения устанавливает t_{np}^{ki} возможных моментов прибытия поезда на припортовую станцию за одни сутки, которые определяются как

$$t_{np}^{ki} = t_{omnp_i}^k + t_{xi},$$

исходя из этого определяются возможные моменты готовности составов к грузовым операциям:

$$t_{np}^{ki} = t_{omnp_i}^k + t_{xi} + t_n.$$

Рассчитанные моменты готовности составов к грузовым операциям сводятся в таблицу (таблица П4.19).

Таблица П4.19 – Множество моментов готовности к грузовым операциям

		Множество моментов прибытия				
Множество станций отправления	m_1	$t_{np_1}^1$	$t_{np_1}^2$	$t_{np_1}^3$	...	$t_{np_1}^k$
	m_2	$t_{np_2}^1$	$t_{np_2}^2$	$t_{np_2}^3$	...	$t_{np_2}^k$
	m_3	$t_{np_3}^1$	$t_{np_3}^2$	$t_{np_3}^3$	...	$t_{np_3}^k$
	...	...	...	...	...	...
	m_i	$t_{np_i}^1$	$t_{np_i}^2$	$t_{np_i}^3$	...	$t_{np_i}^k$

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

Определить $\mathbf{T} = \{T_l^{ki} | T_l^{ki} \in \|t_{np}^{ki}\|\}$ 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,

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

$$t_{l-1}^{\text{ок}} = T_0 + \sum_{k=1}^{l-1} t_{выгр}^k.$$

где $t_{l-1}^{\text{ок}}$ – время завершения переработки предшествующие l -му по порядку обрабатываемому маршруту.

Пусть $z_i^-(t)$ – затраты, связанные с завершением работ i -го маршрута до наступления момента времени t и $T_i^-(t)$ – время завершения работ, $z_i^+(t)$ – затраты связанные с выполнением работ i -го маршрута после момента t , $T_i^+(t)$ – время завершения работ, $T_i^+(t) = t + t_{выгр}^i$.

Для определенной перестановки из $|M|$ чисел – порядок подвода составов по итерационной формуле определим:

$$Z_{i+1}^-(t) = \min \begin{cases} Z_i^-(t - t_{\text{выгр}}^{i+1}) + z_{i+1}^+(t - t_{\text{выгр}}^{i+1}), & \text{если } t - t_{\text{выгр}}^{i+1} > T_0, \\ z_{i+1}^-(T_0 + t_{\text{выгр}}^{i+1}) + Z_i^+(T_0 + t_{\text{выгр}}^{i+1}), & \text{если } t > t_i^S + t_{\text{выгр}}^{i+1} + T_0, \end{cases} \quad (\text{П4.16})$$

$$Z_{i+1}^+(t) = \min \{ z_{i+1}^+(t) + Z_i^+(t + t_{\text{выгр}}^{i+1}), Z_i^+(t) + z_i^+(t + t_i^S) \},$$

$$t_i^S = \sum_{k=1}^i t_{\text{выгр}}^k.$$

Оптимальные затраты для заданной перестановки равны $Z_{|M|}^-(t) = \min\{t^S\}$, где $t^S = \sum_{k=1}^{|M|} t_{\text{выгр}}^k$. Иллюстрация к функциональному уравнению Беллмана приводится на рисунке П4.36.

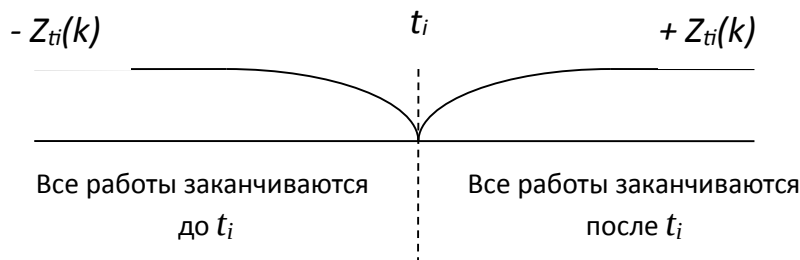


Рисунок П4.36 – Иллюстрация к расчету функционалов

Схематический график вариантов подвода поездов на припортовую станцию и выполнения грузовых операций приведен на рисунке П4.37.

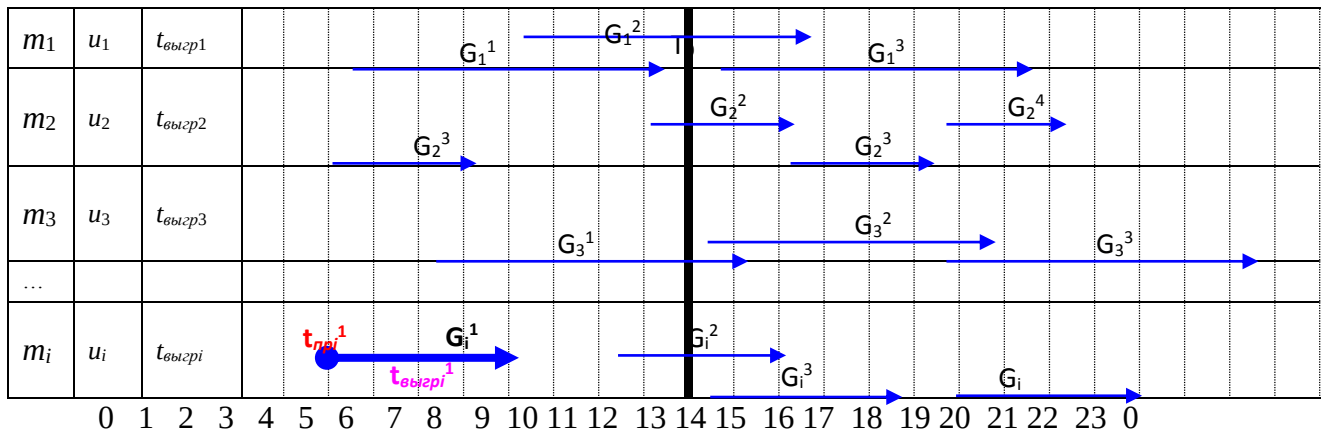


Рисунок П4.37 – График вариантов подвода поездов на припортовую станцию и выполнения грузовых операций

Модельные расчеты задач планирования отгрузки и подвода грузов к припортовой станции. Рассмотрим пример расчета задачи планирования отгрузки и подвода грузов к припортовой станции для пяти станций, производящих отгрузку на конкретное судно, данные по которым приводятся в таблице П4.20.

Таблица П4.20– Исходные данные к расчетам

i	$u(m_i)$	$t_{xi}(m_i)$	t_n	$t_{выгр}(m_i)$
1	54	5	3	8
2	20	10	3	4
3	54	12	3	8
4	25	8	3	5
5	54	15	3	8

В таблице 4.20 $t_{xi}(m_i) = t_{i,x}$ – время хода поезда (технологическое время) до припортовой станции, ч;

t_n – нормативное время на подготовку подач вагонов к грузовым пунктам, ч;

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

$t_{выгр}(m_i) = t_{выгр}$ – время переработки маршрута (группы вагонов) на припортовой станции.

Время прибытия судна на припортовую станцию в расчетной шкале времени примем $T_0 = 10$ ч. На основании времени назначения каждой нитки отправления, времени хода и нормативного времени на подготовку подач вагонов устанавливаются возможные моменты готовности составов (групп вагонов) к грузовым операциям (таблица П4.21).

На основании этих данных разрабатывается график вариантов подвода поездов на припортовую станцию и выполнения грузовых операций (рисунок П4.38). На графике отображаются все возможные моменты готовности составов (групп вагонов) к грузовым операциям и продолжительность грузовых операций. Данные приводятся для каждой свободной нитки отправления со станций погрузки. При увеличении продолжительности погрузки судна (как правило, погрузка судна производится в течение нескольких суток или недель в зависимости от вместимости) моменты прибытия пролонгируются на следующие сутки. Расчетное время подвода в примере представлено двумя сутками. Свободные нитки графика для вторых суток приведены пунктирными линиями.

Таблица П4.21 – Моменты готовности составов к грузовым операциям

$t_{приб}^k$		Множество моментов прибытия				
Множество станций отправления	m_1	0	4	11	15	22
	m_2	1	9	12	16	-
	m_3	4	10	16	-	-
	m_4	2	8	11	18	-
	m_5	0	5	11	-	-

Для упрощения расчетов предварительно составляется промежуточная таблица (таблица П4.22), где для каждого момента времени и для каждого маршрута определяются расходы, связанные с организацией маршрута после наступления этого момента времени и время завершения работ по данному маршруту. Например, если на момент готовности судна начать грузовые операции с составом, прибывшим со станции 5 по нитке 2, то вагоно-часы ожидания составят $54 \cdot 5 = 270$ вагоно-часов. Расчеты с использованием промежуточной таблицы сводятся к оценке оптимальных затрат для перестановок из $|M|$ (число станций) натуральных чисел, определяющих порядок рассмотрения вариантов подвода составов с каждой станции. Так, минимальные затраты по варианту 1-2-3-4-5 равны 788 ваг-ч., расчетные моменты прибытия составов для выполнения грузовых операций представлены в таблице П4.23.

Таблица П4.23 – Расчет затрат по варианту подачи маршрутов

Станции	Номер «нитки»	Начало грузовых операций	Окончание грузовых операций	Затраты, ваг-ч.
1	16	10-00	18-00	324
2	14	18-00	22-00	40
3	10	22-00	6-00	324
4	23	6-00	11-00	100
5	22	11-00	19-00	0
Общие затраты по варианту				788

Для оптимального варианта 3-2-1-4-5 затраты равны 140 ваг-ч.

Таблица П4.22 — Формирование плана отгрузки и подвода вагонов на припортовую станцию

t_i	1				2				3				4				5			
	G_i^2	+ $Z_0(k)$	Нач. выгр.	Оконч. выгр.	G_i^2	+ $Z_0(k)$	Нач. выгр.	Оконч. выгр.	G_i^2	+ $Z_0(k)$	Нач. выгр.	Оконч. выгр.	G_i^2	+ $Z_0(k)$	Нач. выгр.	Оконч. выгр.	G_i^2	+ $Z_0(k)$	Нач. выгр.	Оконч. выгр.
0																				
1																				
2																				
3																				
4																	16	324	4	18
5	2	270	10	18													16	324	5	18
6	2	270	10	18													16	324	6	18
7	2	270	10	18													16	324	7	18
8	2	270	10	18	5	50	10	15									16	324	8	18
9	2	270	10	18	5	50	10	15					12	20	10	14	16	324	9	18
10	3	270	10	18	5	50	10	15	9	0	10	18	12	40	10	14	16	324	10	18
11	3	0	11	19	6	0	11	16	9	54	11	19	12	40	11	15	17	0	11	19
12	3	54	12	20	6	25	12	17	9	108	12	20	13	0	12	16	17	54	12	20
13	3	108	13	21	6	50	13	18	9	162	13	21	13	20	13	17	17	108	13	21
14	3	162	14	22	6	75	14	19	9	216	14	22	13	40	14	18	17	162	14	22
15	3	216	15	23	6	100	15	20	9	270	15	23	13	60	15	19	18	0	15	23
16	3	270	16	0	6	125	16	21	10	0	16	0	14	0	16	20	18	54	16	0
17	3	324	17	1	6	150	17	22	10	54	17	1	14	20	17	21	18	108	17	1
18	3	378	18	2	7	0	18	23	10	108	18	2	14	40	18	22	18	162	18	2
19	3	432	19	3	7	25	19	0	10	162	19	3	14	60	19	23	18	216	19	3
20	3	486	20	4	7	50	20	1	10	216	20	4	14	80	20	0	18	270	20	4
21	3	540	21	5	7	75	21	2	10	270	21	5	14	100	21	1	18	324	21	5
22	3	594	22	6	7	100	22	3	10	324	22	6	14	120	22	2	19	0	22	6
23	3	648	23	7	7	125	23	4	10	378	23	7	14	140	23	3	19	54	23	7
0	20	0	0	8	7	150	0	5	10	432	0	8	14	160	0	4	34	0	0	8
1	20	54	1	9	7	175	1	6	10	486	1	9	30	0	1	5	34	54	1	9
2	20	108	2	10	23	0	2	7	10	540	2	10	30	20	2	6	34	108	2	10
3	20	162	3	11	23	25	3	8	10	594	3	11	30	40	3	7	34	162	3	11
4	20	216	4	12	23	50	4	9	27	0	4	12	30	60	4	8	35	0	4	12
5	21	0	5	13	23	75	5	10	27	54	5	13	30	80	5	9	35	54	5	13
6	21	50	6	14	23	100	6	11	27	108	6	14	30	100	6	10	35	108	6	14
7	21	108	7	15	23	125	7	12	27	162	7	15	30	120	7	11	35	162	7	15
8	21	162	8	16	24	0	8	13	27	216	8	16	30	140	8	12	35	216	8	16
9	21	216	9	17	24	25	9	14	27	270	9	17	31	0	9	13	35	270	9	17
10	21	270	10	18	24	50	10	15	28	0	10	18	31	20	10	14	35	324	10	18
11	22	0	11	19	24	75	11	16	28	54	11	19	32	0	11	15	36	0	11	19
12			12	20	25	0	12	17	28	108	12	20	32	20	12	16			12	20
13			13	21			13	18	28	162	13	21	33	0	13	17			13	21

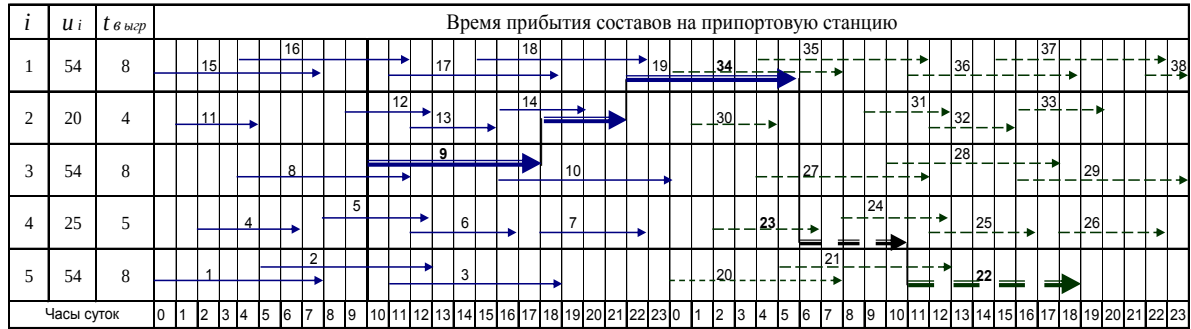


Рисунок П4.38 – Оптимальный график подвода поездов на припортовую станцию и выполнения грузовых операций

Затем в обратном порядке от момента начала выгрузки первой партии рассчитывается время дачи приказа на погрузку вагонов конкретного маршрута с учетом погрузочных возможностей каждого грузоотправителя.

Задача определения моментов отправления вагонов с грузовых станций и порядка подвода вагонов на припортовую станцию является NP-сложной, т. е. сложность получения оптимального решения растет экспоненциально от размерности задачи. Для анализа вариантов можно использовать два способа:

- 1) полный перебор числа перестановок поездов, сложности $O(|M|!)$,
- 2) по алгоритму динамического программирования для каждого момента времени t определяются K_t – работы, которые могут выполняться в этот момент времени без дополнительных простоев. Каждой станции присваивается вес $\alpha_i = \sum_{t=1}^S \frac{1}{|K_t|}$, порядок которых определяет расчетную перестановку.

В этом случае рост вычислительной сложности алгоритма расчетов $z_i^-(t), z_i^+(t), Z_{i+1}^-(t)$ и $Z_{i+1}^+(t)$ определяется расчетами по итерационному функционалу. Каждый вариант плана подвода оценивается величиной:

$$O(|M|*T),$$

где T – время загрузки судна (число расчетных интервалов времени в плане формирования поездов;

$|M|$ – число маршрутов (составов), участвующих в формировании плана подвода составов к припортовой станции.

**Теоретические и практические аспекты задачи транспортного типа
для определения оптимального плана мультимодальных грузоперевозок
в припортовой транспортно-технологической системе**

В исследовании изучается система транспортировки в адрес портов АЧБ таких массовых для российских экспортеров грузов как зерновые. В качестве припортовых станций рассматриваются станции Новороссийск, Тамань и Туапсе (рисунок П4.39).



Рисунок П4.39 – Схема припортовой транспортно-технологической системы

В соответствующие порты круглогодично заходят морские суда типа Рапатах дедвейтом до 80 тыс. т. В рассматриваемом ниже конкретном транспортно-логистическом проекте предполагается, что отправительские маршруты состоят в среднем от 50 вагонов грузоподъемностью по 64 т каждый. Таким образом, одна судовая партия практически обеспечивается $B = 25$ маршрутами.

В качестве станций погрузки, на которых находится предназначенный для перевозки груз, рассмотрены следующие восемь станций: Морозовская,

Ремонтная, Белоглинская, Ипатово, Тимашевская, Изобильная, Благодарная и Аполлонская. Численные данные, относящиеся к этим станциям и указанным выше станциям выгрузки, на основании которых строятся оптимизационные модели грузоперевозок на железнодорожном полигоне, приведены в таблице П4.24.

Таблица П4.24 – Стоимостные характеристики исследуемого грузопотока

№ п/п	Станция погрузки	Цена зерна на станциях погрузки, млн руб/маршрут p_i	Стоимость перевозки одного отправительского маршрута (50 вагонов), c_{ij} , млн руб.		
			Новороссийск	Туапсе	Тамань
1	Морозовская	43,84	1,97	2,28	2,13
2	Ремонтная	45,12	1,81	1,97	1,97
3	Белоглинская	45,12	1,33	1,51	1,45
4	Ипатово	49,60	1,69	1,75	1,88
5	Тимашевская	49,60	9,81	1,62	1,10
6	Изобильная	51,20	1,39	1,45	1,51
7	Благодарное	45,12	1,75	1,81	1,88
8	Аполлонская	43,84	1,81	1,57	1,97

Оптимизационная модель процесса грузоперевозок. В концептуальном плане будем руководствоваться принципами эгалитарного подхода в теории благосостояния, а именно, принципом единогласия для всех рассматриваемых участников перевозочного процесса. Целесообразность указанного подхода объясняется тем, что процесс мультимодальных грузоперевозок предполагает координацию действий агентов, в качестве которых рассматриваются следующие: клиент (грузоотправитель, грузовладелец), владелец инфраструктуры, перевозчик, операторская компания (владелец подвижного состава) и логистическая компания (координирующая весь указанный процесс).

Имеются m станций погрузки и n припортовых станций выгрузки. На каждой i -й станцией погрузки ($i = 1, 2, \dots, m$) организуются отправительские маршруты с некоторым грузом, а на каждой j -й станцией выгрузки ($j = 1, 2, \dots, n$) могут быть сформированы судовые партии, вмещающих заданное количество B таких маршрутов. Введем множество D , элементами которого являются всевозможные упорядоченные наборы $(a_i)_{i=1}^m$, где a_i – целые неотрицательные числа, удовлетворяющие условию:

$$\sum_{i=1}^m a_i = B. \quad (\text{П4.17})$$

С точки зрения геометрии конечномерного пространства для каждого натурального числа B множество D представляет собой некоторое подмножество точек гиперплоскости в пространстве R^m , которая задается равенством (П4.17). А именно, подмножество, точки которого имеют неотрицательные целочисленные координаты. Если обратиться к комбинаторному анализу, то каждый набор $(a_i)_{i=1}^m \in D$ можно рассматривать как размещение B неразличимых предметов по m ячейкам. Отсюда, согласно известной формуле, следует, что множество D состоит из $C_{B+m-1}^{m-1} = \frac{(B+m-1)!}{B!(m-1)!}$ наборов. Из приведенного выражения видно, как быстро возрастает объем вычислений, выполняемых в процессе решения рассматриваемых далее оптимизационных задач, с увеличением значений параметров m и B . Например, в ситуации, когда $m = 8$ и $B = 25$, получаем, что множество D состоит из $\frac{32!}{25! 7!} = 3\,365\,856$ наборов.

Возвращаясь к транспортно-логистическим построениям, для каждой j -й станции выгрузки ($j = 1, 2, \dots, n$) рассмотрим введенное выше множество D , элементы которого будем представлять как всевозможные варианты распределения чисел a_i по m станциям погрузки (т.е. варианты распределения числа отправительских маршрутов, направляемых в адрес этой станции выгрузки). Далее на множество D будем накладывать ряд ограничений организационного характера, а также позволяющих учитывать интересы рассматриваемых агентов. В частности, чтобы избежать существенных диспропорций в распределении чисел a_i по станциям погрузки, будем предполагать, что эти числа ограничены сверху той или иной константой. Экономическую целесообразность и уровень организации процесса грузоперевозок будем оценивать в рамках эгалитарного подхода в теории благосостояния с точки зрения значений двух стоимостных показателей этого процесса. Поставим задачу о нахождении для каждой j -й станции выгрузки ($j = 1, 2, \dots, n$) такого распределения числа отправительских маршрутов по m станциям погрузки $(a_i)_{i=1}^m \in D$, что соответствующая перевозка в адрес этой станции окажется оптимальной с точки зрения указанных показателей. Первый показатель

является аналогом стоимостной целевой функции, рассматриваемой в классической постановке транспортной задачи, и выражается целевой функцией вида:

$$C_j = \sum_{i=1}^m c_{ij} a_i, \quad (\text{П4.18})$$

где c_{ij} – стоимость перевозки одного отправительского маршрута на участке между i -й станцией погрузки ($i = 1, 2, \dots, m$) и j -й станцией выгрузки ($j = 1, 2, \dots, n$).

Второй стоимостный показатель не связан непосредственно ни с одной из станций выгрузки. Объяснением его введения является то обстоятельство, что цена груза, находящегося на разных станциях погрузки, может быть разной. Пусть p_i – стоимость груза, который содержится в одном маршруте, отправляемом с i -й станции погрузки ($i = 1, 2, \dots, m$). Положим

$$P = \sum_{i=1}^m p_i a_i. \quad (\text{П4.19})$$

Для каждого варианта распределения $(a_i)_{i=1}^m \in D$ числа маршрутов по m станциям погрузки целевой функцией P выражается стоимость всего груза, который (при этом варианте распределения) подлежит транспортировке в адрес какой-либо из станций выгрузки. Введением показателя (П4.19) бизнес-процесс грузоперевозок дополняется внешней коммерческой составляющей и логистическое содержание транспортной задачи приобретает новое качество.

В настоящем исследовании разрабатывается алгоритм нахождения вариантов распределения числа маршрутов по станциям погрузки, которые с точки зрения двух введенных выше показателей (П4.18) и (П4.19) являются в некотором смысле оптимальными. При этом постановка оптимизационной задачи соответствует представлению о корпоративной ответственности агентов в том смысле, что полученное решение содержит условия, при которых достигается определенный баланс интересов этих агентов. С одной стороны, рассматриваемая задача относится к задачам транспортного типа. С другой стороны, – к многокритериальным задачам линейного целочисленного программирования. Разработанный алгоритм и численный метод решения задачи реализованы в среде системы компьютерной математики Maxima (Free Ware).

О показателях перевозочного процесса, интересах агентов и ограничениях в задаче. Показателями C_j и P выражаются прямые коммерческие интересы рассматриваемых агентов. Величина показателя C_j допускает различное

отношение со стороны рассматриваемых агентов. С одной стороны, с увеличением стоимости перевозки коммерческая выгода, получаемая владельцем инфраструктуры и перевозчиком, возрастает. С другой стороны, этим агентам следует оставаться конкурентоспособными на рынке транспортных услуг (в том числе, по отношению к автомобильному виду транспорта). В аналитических выражениях (П4.18) и (П4.19) показателей C_j и P не содержится предпосылок для прямого конфликта интересов агентов. В данном случае единственной управляемой переменной (т. е. полезностью, которая в численном виде выражает интересы всех агентов) является стоимость (перевозки или груза).

Отметим еще, что с общей экономической точки зрения ситуация в отношении станций выгрузки может быть позиционирована как олигопсония. При этом непосредственным потребителем транспортно-логистических услуг, в первую очередь, является, конечно, клиент. Далее в конкретном проекте в качестве станции выгрузки рассматривается одна из указанных выше припортовых станций, а именно, станция Тамань (для других станций выгрузки соответствующие вычислительные процедуры выполняются аналогичным образом). Исходя из соображений сбалансированности распределения числа маршрутов по станциям погрузки, будем предполагать, что для транспортировки в адрес указанной станции на каждой из восьми станций погрузки может быть сформировано не более чем, например, по 10 маршрутов с зерном.

Предварительный результат. На первом, пробном этапе оптимизационного моделирования будем минимизировать значения стоимостного показателя C_3 . В таблице П4.25 приведены результаты соответствующего вычислительного эксперимента. В процессе указанной минимизации последовательно найдены 155 распределений числа отправительских маршрутов по станциям погрузки. В последнем распределении на станции Белоглинскую и Тимашевскую приходится по 10 маршрутов, а на станцию Изобильная – 5 маршрутов. Такой результат вполне объясним, поскольку тарифы в адрес припортовой станции Тамань для указанных трех станций погрузки меньше, чем для остальных рассматриваемых станций (см. таблицу П4.25).

Таблица П4.25– Распределение числа маршрутов и значения показателей C_3 и P

№ итерации	Число формируемых на станциях погрузки отправительских маршрутов								C_3	P
	Морозов- ская	Ремонт- ная	Белоглин- ская	Ипатово	Тимашев- ская	Изобиль- ная	Благодар- ное	Аполлонс- кая		
1	0	0	0	0	0	5	10	10	46,05	1145,60
2	0	0	0	0	0	6	9	10	45,68	1151,68
3	0	0	0	0	0	6	10	9	45,59	1152,96
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
65	0	0	0	0	4	10	10	1	40,27	1205,44
66	0	0	0	0	5	9	6	5	40,22	1198,72
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
153	0	0	8	0	10	7	0	0	33,17	1215,36
154	0	0	9	0	10	6	0	0	33,11	1209,28
155	0	0	10	0	10	5	0	0	33,05	1203,20

Значение показателя C_3 уменьшилось на 13 (млн руб.), т. е. более чем на 28 %. Однако, при этом произошел (существенный и устойчивый в своей тенденции) рост значений другого показателя – стоимости груза P . Его значение увеличилось на 57,60 (млн руб.), т. е. более чем на 5 %. (Как видно из приведенных в таблице П4.25 значений, указанный рост не является монотонным.) Итак, увеличение стоимости перевозимого зерна оказалось значительно больше, чем уменьшение стоимости его перевозки. Т. е. произошло ущемление коммерческих интересов клиента (в данном случае покупателя).

Эгалитарный подход с ограничением на стоимость перевозимого груза. Исходя из полученного выше предварительного результата, делаем вывод о том, что минимизации значений показателя C_3 должна сопровождаться ограничениями сверху на значения показателя P . Процесс оптимизации будет осуществляться с использованием модификации критерия Парето, а именно посредством логической связки вида:

$$(C_3 < C) \& (P \leq P_0), \quad (\text{П4.20})$$

где P_0 – некоторое заданное фиксированное значение.

Из выражения (П4.20) видно, что в этом случае эгалитарный принцип единогласия реализуется не симметричным образом. Отметим, что хотя в процессе оптимизации, по-прежнему, будет доминировать минимизация значений стоимостного показателя C_3 , при этом не будет происходить потери полезности, которая выражается показателем P .

Итак, на следующем этапе вычислительного эксперимента в оптимизационном моделировании минимизация значений показателя C_3 будет осуществляться при условии, что значения показателя P не должны превосходить некоторого наперед заданного значения P_0 . Пользуясь приведенными в таблице П4.25 результатами, сначала положим, например, $P_0 = 1150$ (млн руб.). В таблице П4.26 приведены результаты вычислительных процедур, выполненных согласно описанному выше алгоритму.

Таблица П4.26 – Распределение числа маршрутов и значения показателей C_3 и P

№ итерации	Число формируемых на станциях погрузки отправительских маршрутов								C_3	P
	Морозов- ская	Ремонт- ная	Белоглин- ская	Ипатьево	Тимашев- ская	Изобиль- ная	Благодар- ное	Аполлон- ская		
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
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
19	0	0	1	0	7	0	7	10	42,26	1149,12
20	0	0	1	0	7	0	8	9	42,01	1146,56
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
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

Обратим внимание на появление целого набора «неожиданных» дополнительных пар значений показателей C_3 и P , которые не были выявлены при использованном в предыдущем разделе подходе к минимизации значений показателя C_3 . Именно, наряду с (ожидаемой) парой значений $C_3 = 46,05$ (млн руб.) и $P = 1145,60$ (млн руб.) (см. первые строки таблиц П4.25 и П4.26) найдена еще 51 пара значений, удовлетворяющих заданному ограничению $P \leq 1150$ (млн руб.). При этом в результате выполненной оптимизации значение показателя C_3 уменьшилось на 8,09 (млн руб.), т. е. более чем на 17,5 %, а значение показателя P увеличилось лишь на 3,52 (млн руб.), т. е. на 0,3 % (ср. с результатами, полученными ранее).

Сделаем общее замечание в отношении методологии проводимых исследований. Укажем на роль, которую в построении оптимизационной модели процесса грузоперевозок играет вычислительный эксперимент. Указанный инструмент имитационного моделирования позволяет, учитывая специфику

транспортно-логистической ситуации, целенаправленно и гибко манипулировать значениями параметров, характеризующих перевозочный процесс. Основаниями для такого рода вариаций могут служить как интересы агентов, так и уточняющие рекомендации экспертов. Приводимые ниже результаты (по мере последовательности их получения) дают некоторое представление о соответствующих возможностях в моделировании. Исходя из результатов, приведенных в таблице П4.26, положим теперь $P_0 = 1145,60$ (млн руб.).

Значение показателя C_3 уменьшилось на 7,31 (млн руб.), т. е. более чем на 15,9 %. При этом значение показателя P также уменьшилось на 0,96 (млн руб.), т. е. почти на 0,1 %. Отметим, что приведенные во всех строках табл. П4.25–П4.26 распределения числа отправительских маршрутов по станциям погрузки оказываются попарно различными. Полученные при этом в последних строках этих таблиц значения показателей C_3 и P предоставляют агентам выбор с точки зрения их интересов.

Математические модели системы управления подводом вагонов к припортовой станции

Объектом исследования является припортовая железнодорожная станция, в адрес которой вагоны подводятся для выгрузки, производимой в терминалах морского порта. Ввиду влияния многочисленных факторов количество u подводимых вагонов изменяется с течением времени t (сут.). При этом временные характеристики продвижения поездов по полигону железной дороги определяются планом подвода поездов. Применение методов дифференциального исчисления при построении соответствующей математической модели предполагает рассмотрение функции $u = u(t)$, которая позиционируется как неизвестная. Рассматриваемая структура системы управления такова, что непосредственно управлением вагонов в адрес припортовой станции занимается субъект A , деятельность которого выражается изменением темпа $\dot{u}$ изменения числа u вагонов. Для символизации деятельности субъекта A (отметим, что ему свойственно стремление к увеличению числа u) будем рассматривать переменную $v = \dot{u}$, которая представляет собой производную функции $u = u(t)$ по времени t .

В системе управления рассматривается также субъект B , который регулирует деятельность субъекта A . Пусть U – оптимальное число отправляемых в сутки в адрес станции вагонов (другими словами, норма выгрузки), которое предполагается известным субъекту B . Для символизации деятельности субъекта B рассмотрим переменную $\dot{v}$, связав ее с переменной u следующим образом:

$$\dot{v} = -K(u - U). \quad (\text{П4.21})$$

В отношении положительного числа K отметим здесь, что оно является выражением степени реагирования субъекта B на разницу между числом u подводимых в адрес станции вагонов и введенным выше оптимальным числом U

(в первую очередь, указанная степень реагирования зависит от режима эксплуатационной работы). Отметим, что деятельность субъекта B выражается в том, что он оперирует темпом $\dot{v}$ изменения темпа v изменения числа u подводимых в адрес станции вагонов, а уравнение (П4.21) есть математическая форма обратной связи между рассматриваемыми субъектами управления.

Таким образом (в соответствии с изложенным в [405]), построена «жесткая» математическая модель системы управления подводом вагонов, которая записывается как автономная система линейных обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \dot{u} = v, \\ \dot{v} = -K(u - U) \end{cases} \quad (\text{П4.22})$$

с двумя неизвестными функциями $u = u(t)$ и $v = v(t)$.

Поскольку построенная жесткая модель системы управления не обладает тем свойством, что невозмущенные решения системы (П4.22) являются асимптотически устойчивыми [405, 408], далее выполняется дезагрегирование этой модели. При проведении соответствующих исследований мы обращаемся к такому развитому в математическом отношении и востребованному в практических приложениях инструменту, каковым является фазовое пространство динамической системы [408]. По понятной причине, в данной ситуации это пространство оказывается фазовой плоскостью.

Дезагрегирование жесткой модели выполним посредством введения в правой части второго уравнения системы (П4.22) дополнительного слагаемого. Именно, будем рассматривать динамическую систему следующего вида:

$$\begin{cases} \dot{u} = v \\ \dot{v} = -K(u - U) - \varepsilon v. \end{cases} \quad (\text{П4.23})$$

Здесь ε – положительное число, которым определяется степень влияния субъекта B на деятельность субъекта A в отношении величины темпа $\dot{u}=v$ изменения числа u отправляемых в адрес станции вагонов. Это влияние в большей степени, чем для коэффициента K , зависит от режима эксплуатационного работы припортовой дороги. При этом субъектом B учитываются такие факторы, как наличие на

дороге сверхнормативного рабочего парка вагонов, снижение маневренности на станциях, затруднения в процессе выгрузки вагонов, наличие ограничений в пропуске вагонопотоков, ухудшение погодных условий. Таким образом, обратная связь между субъектами A и B системы управления, функционирующей в рамках мягкой модели (П4.23), прописана более подробно, чем в построенной выше жесткой модели, задаваемой динамической системой (П4.22).

Отметим теперь, что система (П4.23) (с точностью до простой замены неизвестной функции $u = u(t)$) является частным случаем (однако нетривиальным и весьма востребованным в различных приложениях [408]) динамической системы вида:

$$\begin{cases} \dot{u} = a_{11}u + a_{12}v, \\ \dot{v} = a_{21}u + a_{22}v, \end{cases} \quad (\text{П4.24})$$

где a_{ij} – действительные числа.

Известно [408], что если $\Delta = a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21} \neq 0$, то система (П4.24) имеет единственное положение равновесия, которое определяется ее решением $u = 0$, $v = 0$. При этом качественное поведение фазовых траекторий системы определяется местоположением на комплексной плоскости корней ее характеристического уравнения. Точнее, знаками вещественных частей корней квадратного уравнения

$$\lambda^2 - (a_{11} + a_{22})\lambda + \Delta = 0. \quad (\text{П4.25})$$

Для системы (П4.23) простым вычислением получается, что $\Delta = K$. Поскольку $K > 0$, эта система имеет единственное положение равновесия $u = U$, $v = 0$. Отметим, что дискриминант уравнения (П4.25) равен $D = \varepsilon^2 - 4K$.

Сравнительный анализ поведения траекторий динамической системы и количества отправляемых в адрес станции вагонов. Изложим результаты, полученные в рамках мягкой модели для объекта исследования (станция Туапсе Северо-Кавказской железной дороги). Аналитические преобразования, вычислительные процедуры и графические построения выполнены в среде системы компьютерной математики Maxima (Free Ware).

Рассматривается оперативная ситуация, в которой оптимальное значение ежесуточного объема вагонопотока в адрес станции составляет $U = 700$ (ваг.), а присутствующие во втором уравнении системы (П4.23) коэффициенты равны $K = 1$ и $\varepsilon = 2$. Указанными значениями коэффициентов выражаются то обстоятельство, что субъект B системы управления в своем воздействии на субъекта A существенно больше учитывает темп $\dot{u}$ изменения числа u отправляемых в сутки в адрес станции вагонов, чем отклонение этого числа от оптимального значения U . Ввиду того что в данной ситуации $D = \varepsilon^2 - 4K = 0$, характеристическое уравнение (П4.25) системы (П4.23) имеет единственный корень $\lambda = -\frac{\varepsilon}{2} = -1$ кратности 2, который является отрицательным действительным числом. Согласно положениям общей теории устойчивости динамических систем (см., например, [408]) отсюда следует асимптотическая устойчивость невозмущенного решения $u = 700$, $v = 0$ системы (П4.23). При этом для траекторий возмущенных решений системы положение равновесия оказывается устойчивым узлом на фазовой плоскости (u, v) (в данном случае это – точка $(700, 0)$). Рисунок П4.40 содержит изображения траекторий, отвечающих трем решениям задачи Коши с начальными значениями $u(0)$ и $v(0)$ соответственно равными: 600 и -30 , 800 и -10 , 750 и 100. Для этих траекторий использованы коричневый, зеленый и черный цвета. Траектория, отвечающая невозмущенному решению системы $(700, 0)$ изображена красным цветом.

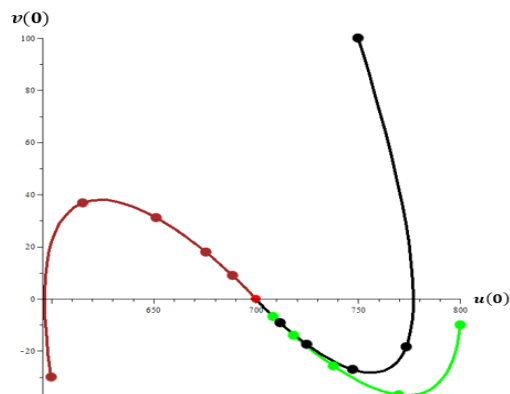


Рисунок П4.40 – Траектории, отвечающие трем возмущенным и невозмущенному решениям системы (П4.23)

Отметим, что три указанные траектории «стартуют», находясь на разных расстояниях (в евклидовой метрике на плоскости) от точки равновесия (700,0). Наиболее удаленной оказывается черная траектория, по причине того, что начальные значения (выбранные для возмущенного решения системы (П4.23)), которому она отвечает, больше отличаются от оптимальных значений, чем начальные значения, которые выбраны для двух других решений.

Обратим также внимание на то, что одно из начальных значений, а именно $v(0) = 100$, выбрано существенно больше каждого из двух других аналогичных значений. Однако, поскольку значение коэффициента ε в два раза больше значения коэффициента K , уже на вторые сутки оказывается, что $v(1) = -20$ (см. рисунок П4.41). Т. е. изначально высокий положительный темп $\dot{u}$ изменения числа u направляемых в адрес станции вагонов оказывается достаточно быстро «погашенным». Это происходит в результате действия, заложенного в мягкую модель системы управления механизма обратной связи между субъектами управления B и A .

Фрагмент фазового портрета динамической системы (П4.23), приведенный на рисунке П4.41, визуализирует довольно быстрое «вхождение» в положение равновесия траекторий, отвечающих возмущенным решениям этой системы. На каждой из рассматриваемых траекторий указаны точки, соответствующие последовательным суткам планирования (1-м, 2-м, ..., 5-м) с начала функционирования системы управления в рамках мягкой модели. Если на фазовой плоскости (u, v) рассматривать евклидову метрику, то получаем, что на вторые сутки траектория черного цвета оказывается ближе к точке равновесия (700,0), чем две другие траектории. Однако, на глубине планирования трое (и более) суток «вперед выходит» зеленая траектория, поскольку начальные значения 800 и -10 для частного решения системы, которому отвечает эта траектория, менее отличаются от оптимальных значений, чем начальные значения для двух других частных решений.

С практической точки зрения в проводимых исследованиях интересно поведение первых компонент $u(t)$ возмущенных решений системы (П4.23), общее решение которой имеет вид:

$$u(t) = e^{-\frac{\varepsilon t}{2}} (C_1 + C_2 t) = e^{-t} (C_1 + C_2 t) \quad (\text{П4.26})$$

(C_1 и C_2 – произвольные действительные постоянные). Отметим, что возмущенные решения системы оказываются апериодическими. Это иллюстрируется приведенными на рисунке П4.41 графиками функций $u(t)$ для трех решений задачи Коши (о которых выше шла речь), а также графиком невозмущенного решения – положения равновесия рассматриваемой системы.

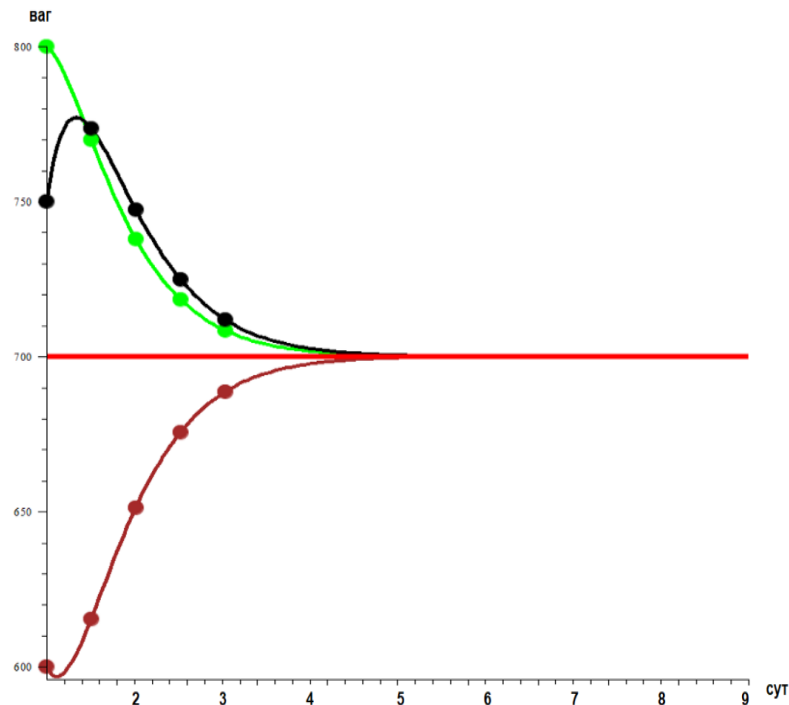


Рисунок П4.41 – Поведение первых компонент $u(t)$ решений системы (П4.23)

Итак, во вторые сутки и далее первая компонента возмущенного решения системы (П4.23), которому отвечает зеленая траектория, отличается от оптимального значения $U = 700$ (ваг.) меньше, чем первые компоненты других рассматриваемых возмущенных решений. Мы убеждаемся в том, что совместное рассмотрение фазового портрета рассматриваемой динамической системы с графиками функций, выражающих посуточное число u направляемых в адрес

станции вагонов, дает существенно более полное представление о поведении изучаемой системы управления вагонопотоками.

Рассмотрим второй пример [465]. Как и в [407], объектом приложения модели является система управления вагонопотоками, направляемыми в адрес припортовых станций (в данном случае на примере припортовой станции Новороссийск Северо-Кавказской железной дороги). При этом в качестве оптимального значения объема выгрузки принимается $U = 1600$ (ваг.). Продемонстрируем ситуацию, когда $K = 0,9$ и $\varepsilon = 0,5$. Таким образом, предполагается, что функционирование субъекта B перевозочного процесса таково, что скорость $\dot{u}$ изменения числа u отправляемых вагонов (каждые сутки) принимается им во внимание в меньшей степени, чем само это число (точнее, чем отклонение числа u от оптимального значения U).

Поскольку $\varepsilon^2 - 4K = 0,25 - 3,6 = -3,35 < 0$, то, пользуясь общим выражением (П4.24) для корней характеристического уравнения системы (П4.23), получаем, что они являются комплексно-сопряженными числами и имеют вид:

$$\lambda_{1,2} = \frac{1}{2}(-\varepsilon \pm i\sqrt{4K - \varepsilon^2}). \quad (\text{П4.27})$$

В отношении устойчивости невозмущенного решения системы (П4.23), имеющего компоненты $u(t) \equiv U$ и $v(t) \equiv 0$, принципиальное значение имеет то, что вещественная часть корней λ_1 и λ_2 отрицательна. Поэтому в рассматриваемой ситуации траектории возмущенных решений системы располагаются на фазовой плоскости (u, v) таким образом, что точка равновесия $(U, 0)$ является фокусом (см., например, [408]). На рисунке П4.43 черным, синим и зеленым цветами изображены найденные *Maxima* траектории, которые отвечают трем возмущенным решениям системы (П4.23). А именно, решениям задачи Коши с начальными значениями $u(0)$ и $v(0)$ соответственно равными: 1500 и -50, 1650 и 40, 1700 и -25. Траектория, состоящая из одной точки – точки равновесия и отвечающая невозмущенному решению, изображена красным цветом.

Приведенный на рисунке П4.42 фрагмент фазового портрета системы дифференциальных уравнений (П4.23) показывает, как мягкая модель системы

управления обеспечивает «вхождение» в положение равновесия траекторий, отвечающих возмущенным решениям этой системы. На каждой траектории выделены точки, которые по времени t соответствуют 1-м, 2-м, ..., 6-м суткам с начала функционирования системы управления в рамках рассматриваемой модели.

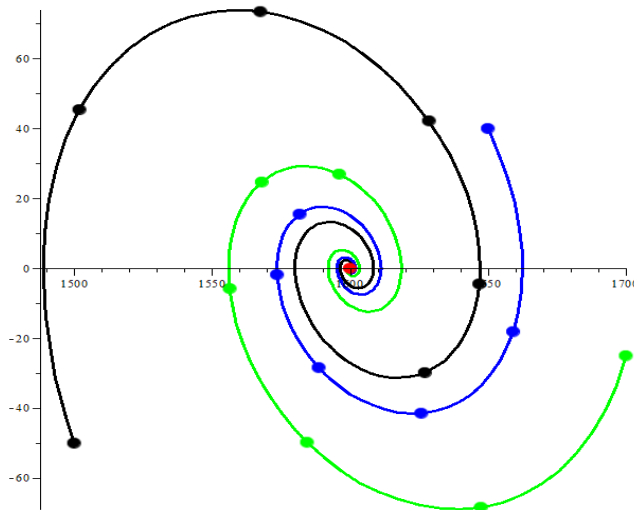


Рисунок П4.42 – Траектории, отвечающие трем возмущенным и невозмущенному решениям системы (П4.23)

Траектория черного цвета приближается к точке равновесия (1600,0) медленнее, чем две другие траектории. Причина заключается в том, что отличие начальных значений 1500 и -50 , которым удовлетворяет частное решение системы (которому отвечает черная траектория), от оптимальных значений больше (например, в евклидовой метрике пространства R^2), чем для двух других решений.

Если для рассматриваемой припортовой станции исходить из планирования объема подводимых вагонопотоков с глубиной трое суток, то траектория зеленого цвета оказывается расположенной к точке равновесия ближе, чем траектория черного цвета, но дальше, чем траектория синего цвета. Аналогичный результат получается при планировании с глубиной шесть суток.

Обратимся теперь к выражению компоненты $u(t)$ общего решения системы (П4.23):

$$u(t) = e^{-\frac{\varepsilon t}{2}} \left(C_1 \sin \frac{\sqrt{4K - \varepsilon^2} t}{2} + C_2 \cos \frac{\sqrt{4K - \varepsilon^2} t}{2} \right), \quad (\text{П4.28})$$

где C_1 и C_2 – произвольные вещественные постоянные.

Графики функций $u(t)$, являющихся первыми компонентами решений системы (П4.23), интересуют нас в первую очередь. Соответствующая картина для трех рассматриваемых возмущенных решений, а также невозмущенного решения (положения равновесия) системы приведена на рисунке П4.44. Как на третьи, так и на шестые сутки значение первой компоненты возмущенного решения системы (П4.23), которому отвечает зеленая траектория, отличается от оптимального значения меньше, чем соответствующие значения первых компонент возмущенных решений, которым отвечает как черная траектория, так и синяя. Таким образом, фазовый портрет описывающей мягкую модель системы дифференциальных уравнений и графики функций, выражающих посуточное число отправляемых в адрес станции вагонов, при совместном их рассмотрении предоставляют возможности для выявления устойчивости равновесия системы управления вагонопотоками не только в качественном, но и в количественном отношении.

Осуществляется переход к фазовому пространству, которое в данном случае представляет собой фазовую плоскость, рассматриваемой системы дифференциальных уравнений с изучением поведения траекторий, отвечающих невозмущенному (соответствующему положению равновесия) и возмущенным решениям этой системы.

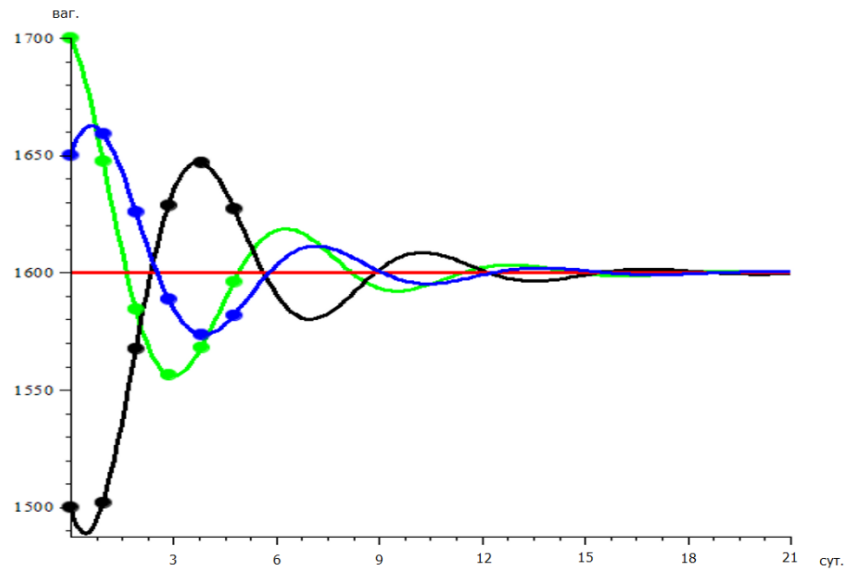


Рисунок П4.44 – Графики зависимостей $u = u(t)$, получаемых для мягкой модели. Классическими методами теории устойчивости решений дифференциальных уравнений показано, что в рамках мягкой модели достигается не только устойчивость в смысле Ляпунова, но и асимптотическая устойчивость системы управления вагонопотоками. Указанные результаты представляют собой, в частности, одну из теоретических основ при разработке интеллектуализированных систем управления поездом- и вагонопотоками.

Разработанная методика моделирования имеет общий характер и может быть востребована при исследовании вопросов оптимизации функционирования систем управления грузоперевозками, осуществляемыми другими видами транспорта. Система компьютерной математики предоставляет разнообразные возможности для комплексной реализации модели в программной среде и наряду с традиционными аналитическими преобразованиями и графическими построениями весьма эффективно выполняет эвристическую функцию в процессе исследования. Применяемый подход в моделировании носит общий характер и может быть использован при решении задач оптимизации функционирования систем управления грузоперевозками, осуществляемыми другими видами транспорта.

Топологическая модель участка железной дороги

Чтобы объединить тренажеры в единую взаимосвязанную систему и организовать деловую игру, необходимо создать модель системы для определения пространственного положения каждого из них на условном полигоне. Для определения пространственного положения необходима реализация топологии – программного-логической структуры, связывающей цифровые двойники объектов железной дороги. Основные принципы организация топологической модели участке железной дороги возможна благодаря информации о взаимосвязанности объектов топологии (блок-участки, участки удаления, участки приближения, секции) посредством изолированных стыков, разделяющих изолированные участки, и стрелочных переводов.

Информация о положении поезда на участке в рамках модели ВЖД базируется на относительном изменении дуговой координаты подвижной единицы. Данные об объектах путевого хозяйства и их исходные значения заполняются и хранятся в реляционной базе данных. На рисунке П5.1 представлена схема базы данных комплекса ВЖД. Заполнение БД на данном этапе происходит вручную. Дальнейшим развитием заполнения топологических данных является его автоматическое заполнение по данным из 3д модели участка. Состояния светофоров и стрелочных переводов проецируются на интерфейс рабочих мест дежурного по станции и поездного диспетчера. На основе топологической модели осуществляется ряд процессов:

- 1) строится работа системы позиционирования поездов на ВЖД и их визуальное отображение на диспетчерском пульте и пульте ДСП;
- 2) обеспечивается работа системы СЦБ;
- 3) обеспечивается работа автоматической локомотивной сигнализации;
- 4) обеспечивается определение местоположения поезда относительно секции контактной сети для работы тренажера энергодиспетчера, который имеет

свою топологическую структуру в виде графа, связность которого зависит от текущего положения коммутационных аппаратов.

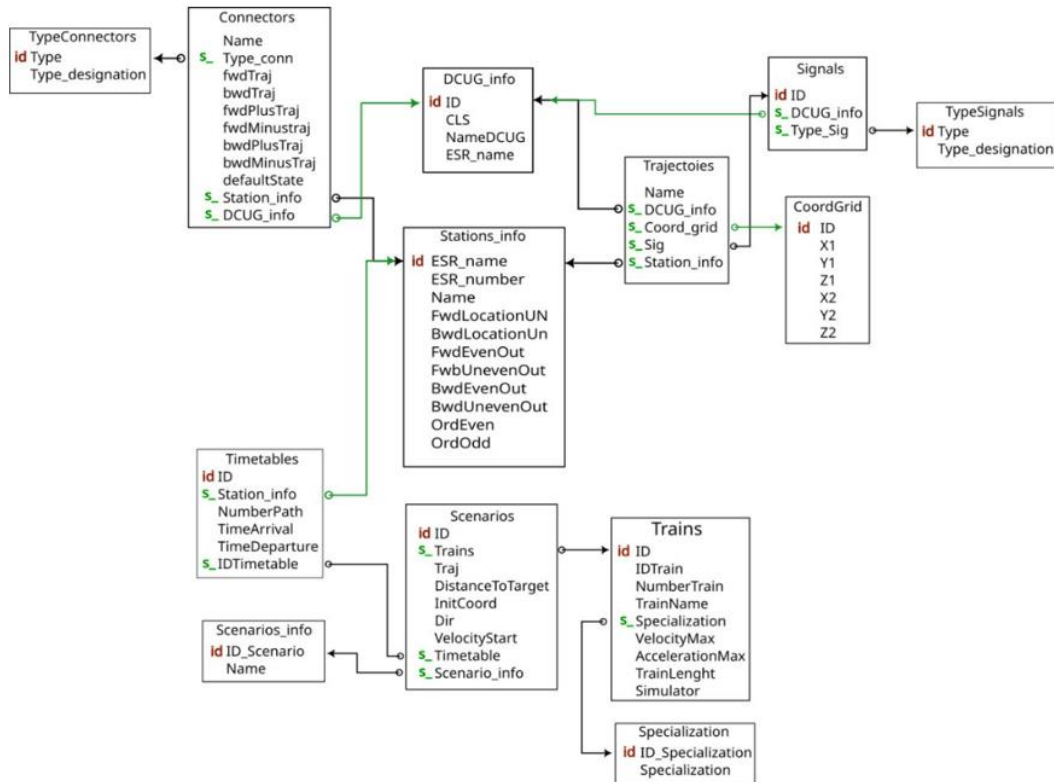


Рисунок П5.1 – Схема базы данных комплекса ВЖД

Алгоритм расчета движения поезда на участке железнодорожного полигона:

- 1) известно начальное положение поезда, которое определяется тремя параметрами: имя участка, направление движения, расстояние до изолированного стыка;
- 2) от тренажерного комплекса подвижного состава серверу ВЖД приходит дуговая координата, рассчитываемая на стороне тренажера по математической модели движения поезда;
- 3) на стороне сервера вычисляется изменение дуговой координаты.

С учетом изменения дуговой координаты определяется положение поезда на текущем участке либо при достижении конца текущего участка его положение на следующем участке.

Формирование данных о состояниях железнодорожной станции и участка железной дороги на основе управляющих решений по пропуску поездов

Формирование данных о состоянии железнодорожной станции осуществляется логированием каждого изменившего свое состояние объекта инфраструктуры или действия поездного диспетчера или дежурного по станции. Каждый объект имеет свои состояния и уникальные обозначения для идентификации его на всем полигоне. Логирование происходит в реальном масштабе времени в процессе деловой игры. Запись данных о текущей начальной обстановке происходит единожды при запуске деловой игры.

Инициализация инфраструктуры (начальные состояния объектов):

- **logAllTrajs.txt** (пути);
- **logAllSwitches.txt** (стрелки);
- **logAllTL.txt** (светофоры).

В файлы записывается уникальное имя объекта и его состояние (для путей, стрелочных переводов, светофоров).

Например:

пути:

УП1Н(ALB):1

НП(ALB):1

(1)СП(НП-S7)(ALB):1

(1)СП(S7-S5)(ALB):1

стрелки:

sw007(ALB):1

sw001(ALB):1

sw003(BRH):1

светофоры:

exit_н2(ALB):0

exit_н4(ALB):0

entrance_ч(ALB):0

passing_УП1Ч(ALB):1

passing_УП2Ч(ALB):1

exit_ч3(ALB):0

Логирование в процессе игры logBusinessGames.txt

В этом файле записывается информация о деловой игре: идентификационный номер игры; идентификационный номер сценария игры; текущее мировое время.

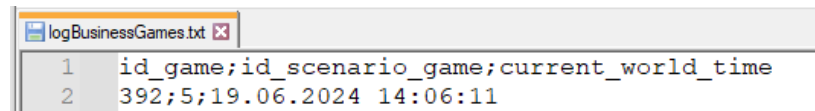


Рисунок П5.2 – Общие данные о деловой игре

logDncDspCommands.txt

В этом файле записывается информация о выполненной/невыполненной команде, а также выводятся состояния объектов до и после команды:

- 1 идентификационный номер игры;
- 2 ДНЦ или ДСП (1 – обозначает ДНЦ, 2 – ДСП);
- 3 обозначение станции;
- 4 текущее игровое время;
- 5 команда в виде строки;
- 6 факт выполнения (1 – выполнилась, 0 – не выполнилась);
- 7 причина «не выполнения» (либо «ок»).

Затем:

- строка state_0 – перечисление задействованных объектов и их состояния до выполнения команды;
- строка state_1 – перечисление задействованных объектов и их состояния после выполнения команды;

Если команда была ошибочна – то в state_0 записывается объект, из-за которого не была выполнена команда, и его состояние.

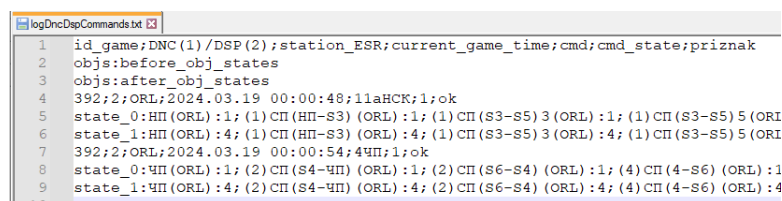
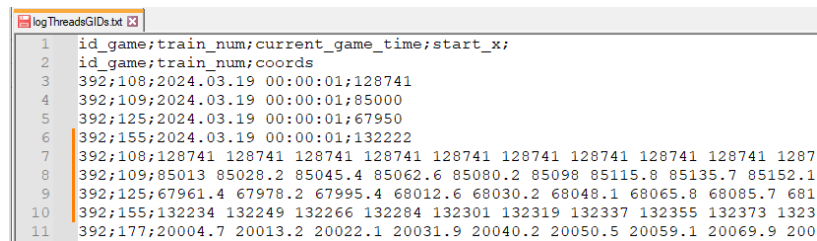


Рисунок П5.3 – Команды от поездного диспетчера и дежурных по станциям

logThreadsGIDs.txt

В этом файле записываются координаты поездов (ежесекундно). При старте деловой игры записывается: идентификационный номер игры; № поезда; текущее игровое время; стартовая координата поезда.

После, в процессе игры, ежеминутно записываются: идентификационный номер игры; № поезда; координаты поезда в количестве до 60 (минута). До 60 – потому что при завершении игры или удалении поезда количество пройденного времени будет меньше.



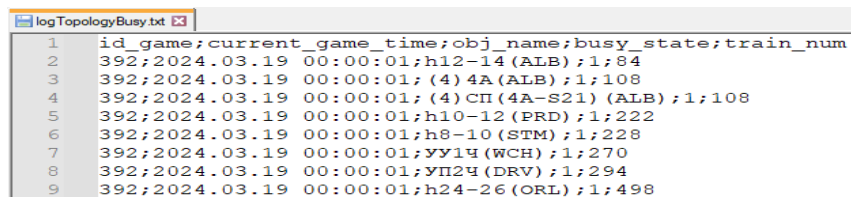
```

1 id_game;train_num;current_game_time;start_x;
2 id_game;train_num;coords
3 392;108;2024.03.19 00:00:01;128741
4 392;109;2024.03.19 00:00:01;85000
5 392;125;2024.03.19 00:00:01;67950
6 392;155;2024.03.19 00:00:01;132222
7 392;108;128741 128741 128741 128741 128741 128741 128741 128741 128741 1287
8 392;109;85013 85028.2 85045.4 85062.6 85080.2 85098 85115.8 85135.7 85152.1
9 392;125;67961.4 67978.2 67995.4 68012.6 68030.2 68048.1 68065.8 68085.7 681
10 392;155;132234 132249 132266 132284 132301 132319 132337 132355 132373 1323
11 392;177;20004.7 20013.2 20022.1 20031.9 20040.2 20050.5 20059.1 20069.9 200
  
```

Рисунок П5.4 – Запись ежесекундных положений (координат) поездов

logTopologyBusy.txt

В этом файле записываются все занимаемые и освобождаемые пути поездами: идентификационный номер игры; текущее игровое время; имя занимаемого/освобождаемого пути; состояние (1 – занял путь, 0 – освободил путь); № поезда;



```

1 id_game;current_game_time;obj_name;busy_state;train_num
2 392;2024.03.19 00:00:01;h12-14 (ALB);1;84
3 392;2024.03.19 00:00:01;(4) 4A (ALB);1;108
4 392;2024.03.19 00:00:01;(4) СП (4A-S21) (ALB);1;108
5 392;2024.03.19 00:00:01;h10-12 (PRD);1;222
6 392;2024.03.19 00:00:01;h8-10 (STM);1;228
7 392;2024.03.19 00:00:01;УУ1Ч (WCH);1;270
8 392;2024.03.19 00:00:01;УП2Ч (DRV);1;294
9 392;2024.03.19 00:00:01;h24-26 (ORL);1;498
  
```

Рисунок П5.5 – Занятие и освобождение путей поездами

Управление пропуском поездов на участке как задача обучения с подкреплением

Управление пропуском поездов удобно представить в понятиях обучения с подкреплением, в нашем случае, пространством состояний S является состояния участка, пространством действий A действия диспетчера, а именно его команды, а также 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 на заданном периоде управления:

$$R = \sum_t \gamma^t r_t,$$

где $0 \leq \gamma \leq 1$ – дисконтирующий множитель для «предстоящей награды», влияющий на значимость награды в момент времени t на выбранную стратегию.

Пусть в момент времени t агент (объект управления) характеризуется состоянием $s_t \in S$ и множеством возможных действий $A(s_t)$. Взаимодействие агента со средой описывается марковским процессом:

$$P(s_{t+1} = s', r_{t+1} = r | s_t, a_t, r_t, s_{t-1}, a_{t-1}, r_{t-1} \dots, s_1, a_1) = P(s', r | s_t, a_t).$$

Выбирая действие $a \in A(s_t)$, он переходит в состояние s_{t+1} и получает награду r_t .

В общем случае, для нашей задачи при дискретных пространствах состояний и действиях имеем

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

где n – число действий (команд) диспетчера;

m – число выбранных признаков для оценки состояния;

k – число состояний признака.

Ввиду ресурсоемкости проведения вычислительных экспериментов на ВЖД целесообразно провести отбор признаков и оценить возможности нейросетевого управления движением поездов с помощью программного комплекса для имитационного моделирования «Simulation of Urban Mobility (SUMO)», в котором создан фрагмент участка с несколькими станциями (рисунок П5.6).

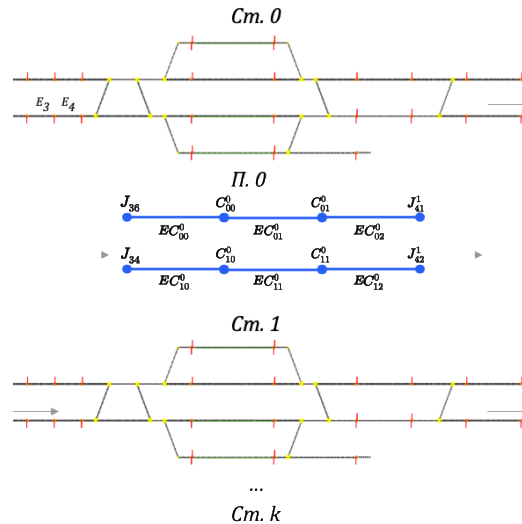


Рисунок П5.6 – Схема участка

Модель позволяет исследовать движение поездов во временной области с заданным шагом δ , получить их характеристики движения и состояния участков. В данной работе принято: $\delta = 1$, $k = 2$, каждая станция имеет платформы для остановки поезда, поезд появляется в модели на блок-участке $E3$, и ему командой присваивается маршрут, проходящий через все станции. Всего имеется 27 маршрутов и 114 блок-участков. В качестве базового алгоритма (БА) управления принято равномерное распределение поездов по маршрутам с определенным количеством поездов в час – N_h . Занятость блок-участков поездами с номерами маршрутов от 0 до 26 при $N_h = 15$ показана на рисунке П5.7. Время моделирования T_s составило 10 ч. Полученные результаты качественно соответствуют результатам исследований на ВЖД. Среда для реализации обучения с подкреплением была создана с помощью Gymnasium. Представим команды диспетчера $A = \{0, 1, \dots, 26\}$. Состояние участков в момент t , ноль – свободный участок:

$$S = \{S^0, S^1, \dots, S^{113}\}, s^i \in S^i, s^i = \{0, 1, \dots, 27\}.$$

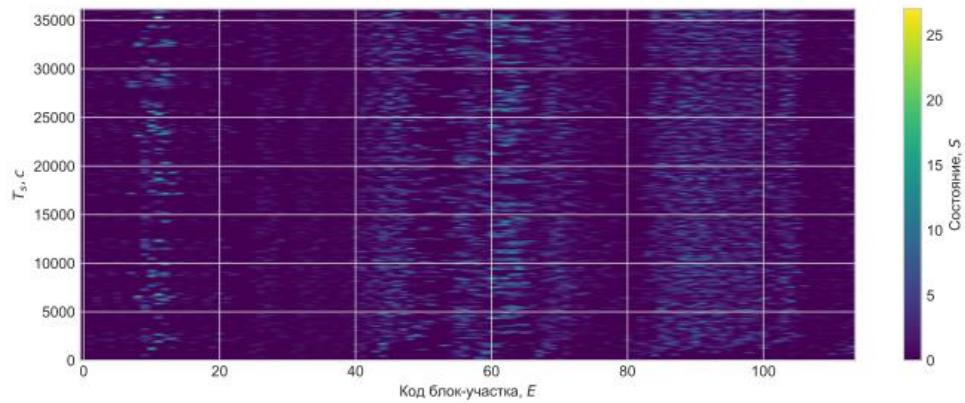


Рисунок П5.7 – Состояние блок-участков

Для балансировки классов рассматривается среда обучения в моменты t (рисунок П5.8) при выполнении действия A , тогда наблюдаемые состояния:

$$O = \{x \in \mathbb{R}^S \mid l \leq x_i \leq u, \forall i \in \{1, \dots, \prod s_j\}, x_i \in D\},$$

где D – ограничение на тип данных.

Без учета истории состояний блок-участков $O = S$ (Модель 1). В противном случае получаем Модель 2:

$$O = \{x \in \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^m \mid 0 \leq x_i \leq 27, \forall i \in \{1, \dots, n \cdot m\}\},$$

где n – число шагов δ между действиями агента,

m – число блок-участков.

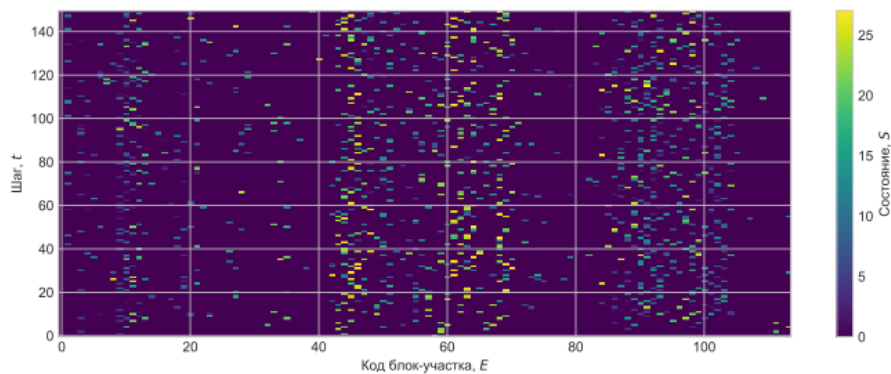


Рисунок П5.8 – Наблюдаемые состояния. Модель 1

В качестве r_t принимается количество поездов, проследовавших до конца маршрута согласно ГДП. Наблюдаемые состояния в Модели 2 можно отобразить

в виде матрицы $n \times m$. Таким образом, в Модели 1 наблюдаемые состояния представляются в виде вектора, в Модели 2 – матрицы. Поиск стратегий управления осуществлялся с помощью алгоритма Actor Critic (A2C).

Выбраны две архитектуры ИНС. 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 «Модель 2» использовались сверточные слои для извлечения признаков, данные с которых поступали в блок A аналогичный Модели 1. В работе для «Модель 2» рассматривались конфигурации [64, 64] и [128, 64].

Процесс обучения моделей длительностью 10^6 шагов в виде графиков средних вознаграждений за эпизод G представлен на рисунке П5.9. На основе полученных данных процесса обучения можно сказать, что Модель 2 [128, 64], имеющая в своем составе сверточные слои, выглядит предпочтительнее и показывает значения G выше, чем Модель 1. При этом следует отметить, что обучение Модели 2 занимает больше времени.

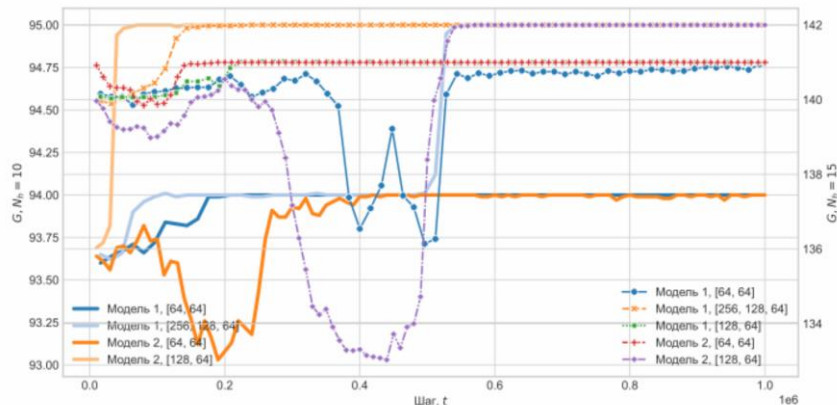


Рисунок П5.9 – Процесс обучения моделей

В качестве примера реализация управления Модели 1 [64, 64] при $N_h = 15$ представлена на рисунке П5.10. Сравнение работы Модели 1 и базового алгоритма показывает, что ИНС позволяет получить более равномерное прибытие поездов в конечный пункт маршрута. В качестве метрики, характеризующей качество управления, воспользуемся оценкой потерь участковой скорости T_l , выраженной в дополнительном времени движения с фактической скоростью в

сравнении с максимально возможной. Результаты оценки качества показаны на рисунках П5.11, П5.12 для $N_h = 10, N_h = 15$ соответственно.

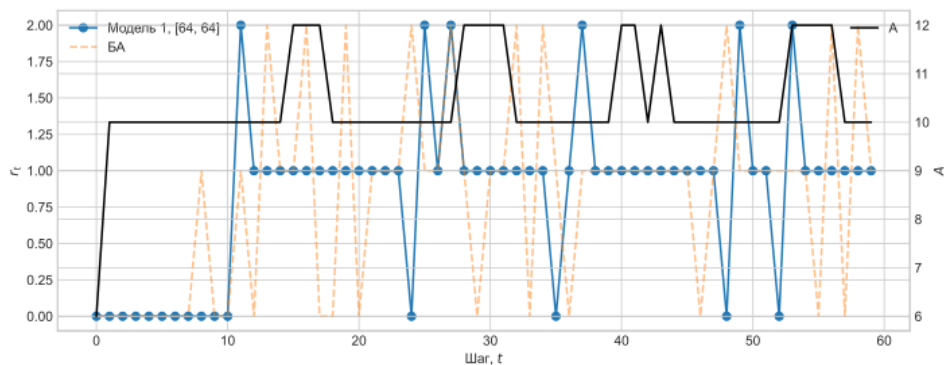


Рисунок П5.10 – Реализация управления «Модель 1»

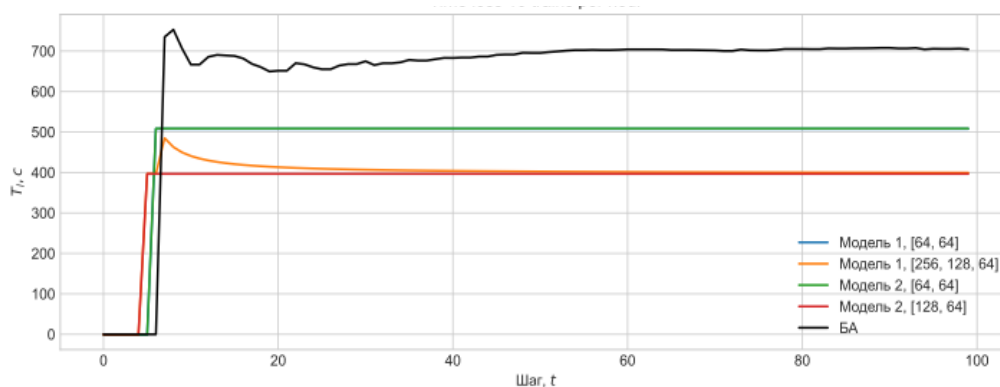


Рисунок П5.11 – Качество управления ИНС в сравнении с БА при $N_h = 10$

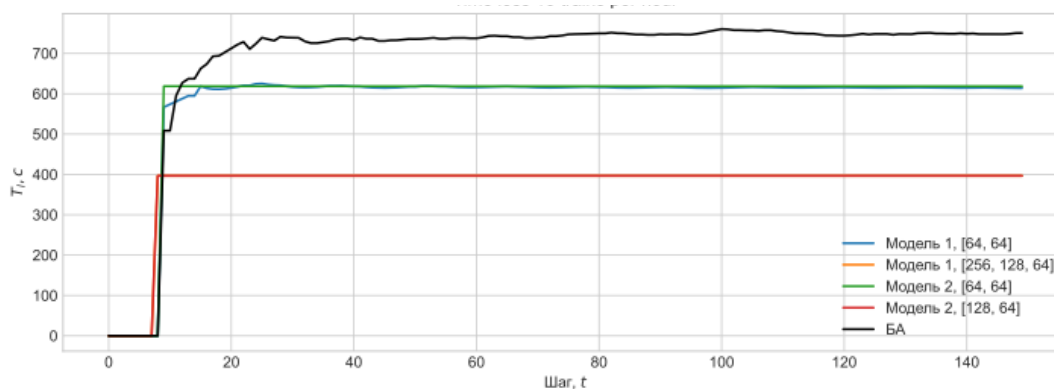


Рисунок П5.12 – Качество управления ИНС в сравнении с БА при $N_h = 15$

Как следует из приведенных графиков, «Модель 2» почти в два раза превосходит БА и в определенных конфигурациях оказывается лучше, чем «Модель 1».

Обмен данными с нейросетью

На рисунке П5.13 продемонстрирован результат взаимодействия комплекса ВЖД с моделью нейросети, где видим сформированную команду (или ее отсутствие «no_cmd») на основе информации об изменении текущей поездной обстановки в каждый момент времени. Для тестирования работы нейросети был использован цифровой двойник реального участка железной дороги, поэтому принятие всех решений нейросетью и выдача команды для построения маршрутов поездов происходят в автоматическом режиме.

```

2024.03.19 00:01:28 : h06-08 (VSP) 0 506 p (VSP) : 2a2ЧСК_ORL
2024.03.19 00:01:43 : h08-10 (ALB) 1 84 p (ALB) : no_cmd
2024.03.19 00:01:45 : h6-8 (STM) 1 228 p (STM) : 1HCK_ALB
2024.03.19 00:01:47 : h-bottom-1 (A) 1 177 p (A) : 2ЧСК_ALB
2024.03.19 00:01:48 : h7-5 (ORL) 1 125 p (ORL) : 2ЧСК_PRD
2024.03.19 00:01:54 : h-top-1 (A) 1 270 p (A) : 1HCK_PRD
2024.03.19 00:01:58 : h19-17 (STM) 1 281 p (STM) : no_cmd
2024.03.19 00:01:59 : HP (TMV) 1 221 s (TMV) : 1HCK_KNV
2024.03.19 00:01:59 : h10-12 (ALB) 0 84 p (ALB) : no_cmd
2024.03.19 00:02:00 : h20-22 (ORL) 1 498 p (ORL) : no_cmd
2024.03.19 00:02:03 : h-bottom-2 (A) 0 177 p (A) : no_cmd
2024.03.19 00:02:06 : h9-7 (ORL) 0 125 p (ORL) : no_cmd
2024.03.19 00:02:07 : (1)СП (HP-S133) (TMV) 1 221 s (TMV) : no_cmd
2024.03.19 00:02:08 : h05-03 (BRH) 1 339 p (BRH) : no_cmd
2024.03.19 00:02:09 : h017-015 (ORL) 1 109 p (ORL) : no_cmd
2024.03.19 00:02:14 : h17-15 (ALB) 1 155 p (ALB) : no_cmd
2024.03.19 00:02:15 : УУ2Ч (WCH) 0 270 p (WCH) : no_cmd
2024.03.19 00:02:15 : (1)СП (S133-S105) (TMV) 1 221 s (TMV) : 44aМПП_BRH
2024.03.19 00:02:16 : h22-24 (ORL) 0 498 p (ORL) : no_cmd
2024.03.19 00:02:16 : УУ2Н (STM) 0 281 p (STM) : 4ЧП_BRH
2024.03.19 00:02:17 : h8-10 (STM) 0 228 p (STM) : no_cmd
2024.03.19 00:02:18 : УП2Н (WCH) 1 177 p (WCH) : no_cmd
2024.03.19 00:02:22 : (1)СП (S105-S133) (TMV) 1 221 s (TMV) : no_cmd
2024.03.19 00:02:24 : (1)СП (S105-S107) (TMV) 1 221 s (TMV) : no_cmd
2024.03.19 00:02:25 : УП2Ч (VSP) 1 506 p (VSP) : no_cmd
2024.03.19 00:02:31 : h019-017 (ORL) 0 109 p (ORL) : no_cmd
2024.03.19 00:02:32 : (1)СП (S107-S105) (TMV) 1 221 s (TMV) : no_cmd
2024.03.19 00:02:32 : h-bottom-1 (A) 0 177 p (A) : 11aHCK_ORL
2024.03.19 00:02:33 : h19-17 (ALB) 0 155 p (ALB) : 2ЧСК_TMV
2024.03.19 00:02:36 : УП1Н (TMV) 0 221 p (TMV) : no_cmd
2024.03.19 00:02:36 : h07-05 (BRH) 0 339 p (BRH) : no_cmd
2024.03.19 00:02:38 : h04-06 (VSP) 0 506 p (VSP) : no_cmd

```

Рисунок П5.13 – Обмен данными с нейросетью

В качестве сравнения можем привести log-файлы поездок в один промежуток времени при управлении движением персоналом и нейросетью (рисунок П5.14).

Из log-файлов видим, что в один промежуток времени, а именно 1 минута 23 секунды нейросеть формирует на основе поступившей информации об изменении текущей поездной обстановки 7 управляющих команд, в то время как управляющий персонал выполняет 20 управляющих команд.

```

2024.03.19 00:00:23 : h10-12(ALB) 1 84 p(ALB) : 3НП_TMV
2024.03.19 00:00:34 : h11-9(ORL) 0 125 p(ORL) : 1HCK_DRV
2024.03.19 00:00:48 : h24-26(ORL) 0 498 p(ORL) : 11aHCK_WCH
2024.03.19 00:00:51 : h19-17(ALB) 1 155 p(ALB) : 2a2ЧCK_WCH
2024.03.19 00:01:07 : VY1H(STM) 0 281 p(STM) : 2a2ЧCK_VSP
2024.03.19 00:01:12 : h04-06(VSP) 1 506 p(VSP) : 11aHCK_VSP
2024.03.19 00:01:23 : h-bottom-3(A) 0 177 p(A) : 11aHCK_ORL

```

а) log-файл поездки при управлении нейросетью

```

УП2Н(TMV);0;221;32;206694;2024.03.19 00:00:14;p(TMV)
УУ2Ч(WCH);1;270;64;24089.9;2024.03.19 00:00:19;p(WCH)
h10-12(ALB);1;84;67;141237;2024.03.19 00:00:23;p(ALB)
h22-24(ORL);1;498;69;72614.7;2024.03.19 00:00:26;p(ORL)
h09-07(BRH);0;339;56;201363;2024.03.19 00:00:27;p(BRH)
УУ2Н(ORL);0;109;71;85398.9;2024.03.19 00:00:33;p(ORL)
h11-9(ORL);0;125;74;68369.9;2024.03.19 00:00:34;p(ORL)
УУ1Ч(WCH);0;270;77;23639.7;2024.03.19 00:00:41;p(WCH)
h12-14(ALB);0;84;81;140790;2024.03.19 00:00:44;p(ALB)
h24-26(ORL);0;498;83;72160.4;2024.03.19 00:00:48;p(ORL)
УУ2Н(STM);1;281;84;108535;2024.03.19 00:00:49;p(STM)
h19-17(ALB);1;155;85;133033;2024.03.19 00:00:51;p(ALB)
УП1Ч(DRV);1;294;60;151505;2024.03.19 00:00:56;p(DRV)
h-bottom-2(A);1;177;61;20616.1;2024.03.19 00:01:00;p(A)
h07-05(ORL);1;87;72;97727.6;2024.03.19 00:01:01;p(ORL)
УУ1Н(STM);0;281;88;108982;2024.03.19 00:01:07;p(STM)
УУ2Н(ALB);0;155;86;133482;2024.03.19 00:01:10;p(ALB)
h04-06(VSP);1;506;99;53313.7;2024.03.19 00:01:12;p(VSP)
УП2Ч(DRV);0;294;59;151056;2024.03.19 00:01:23;p(DRV)
h09-07(ORL);0;87;72;98177.1;2024.03.19 00:01:23;p(ORL)

```

б) log-файл поездки при управлении персоналом

Рисунок П5.14 – Сравнение файлов поездки

Для большего понимания приведем расшифровку значений в log-файлах (рисунок П5.15).



Рисунок П5.15 – Расшифровка log-файлов поездок

Оценка работы модели

Произведена оценка работы модели:

1) по исполненным графикам движения поездов за определенные интервалы времени при заданных эксплуатационных режимах. Фрагменты графиков на период времени с 0 до 1 часа дня приведены на рисунках П5.16.

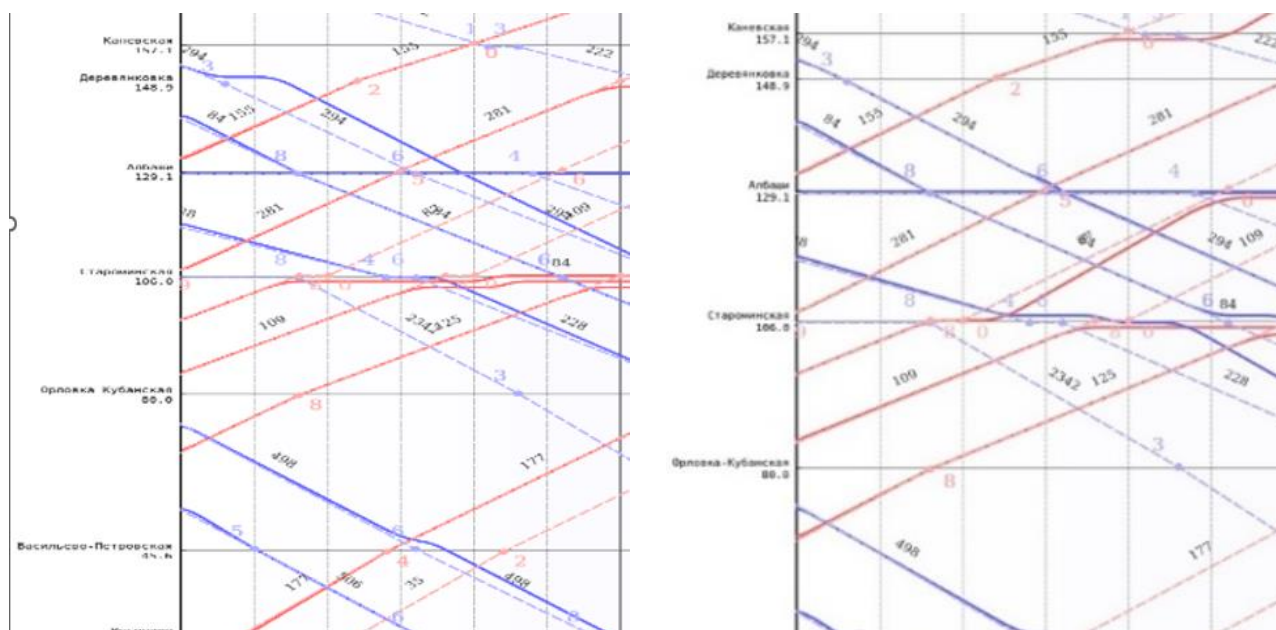


Рисунок П5.16 – Фрагменты графиков исполненного движения с применением нейросетевого управления пропуском поездов за определенный период времени в процессе обучения ИНС

При одинаковых размерах движения и эксплуатационном режиме модель выводит разные варианты пропуска поездов.

– сравнение операций, выполненных при пропуске поездов диспетчерским аппаратом и с применением нейросетевого управления. Такой подход позволяет дать оценку адекватности модели системы управления в части соответствия принимаемых решений требованиям эксплуатационной работы.

Проведя эксперименты по управлению движением поездов УЛК «ВЖД» в реальном масштабе времени, получаем графики исполненного движения поездов

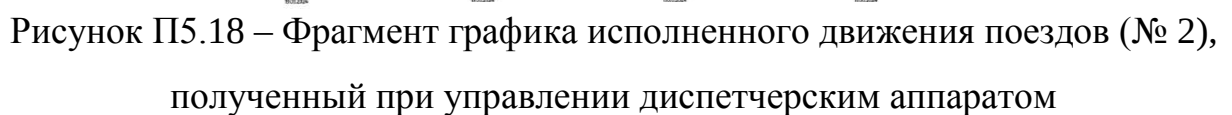
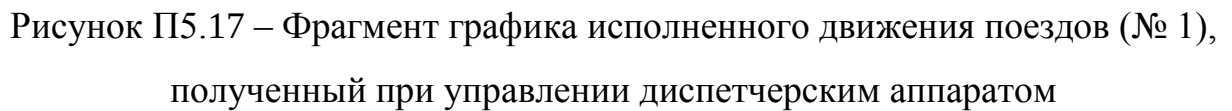


Рисунок П5.19 – Сохранение записей введенных команд диспетчерского аппарата
по графику № 2 (фрагмент)

Рисунок П5.20 – Позиционная координаты поездов на участке в каждый момент времени (посекундное фиксирование) для графика № 2 (фрагмент)

logTopologyBusy.txt	
1	id_game;current_game_time;obj_name;busy_state;train_num
2	404;2024.03.19 00:00:01;h12-14 (ALB);1;84
3	404;2024.03.19 00:00:01;(4) 4A (ALB);1;108
4	404;2024.03.19 00:00:01;(4) СП (4A-S21) (ALB);1;108
5	404;2024.03.19 00:00:01;h10-12 (PRD);1;222
6	404;2024.03.19 00:00:01;h8-10 (STM);1;228
7	404;2024.03.19 00:00:01;YV1Y (WCH);1;270
8	404;2024.03.19 00:00:01;YV2Y (DRV);1;294
9	404;2024.03.19 00:00:01;h24-26 (ORL);1;498
10	404;2024.03.19 00:00:01;h04-06 (VSP);1;506
11	404;2024.03.19 00:00:01;h09-07 (ORL);1;87
12	404;2024.03.19 00:00:01;h019-017 (ORL);1;109
13	404;2024.03.19 00:00:01;YV2H (ORL);1;109
14	404;2024.03.19 00:00:01;h9-7 (ORL);1;125
15	404;2024.03.19 00:00:01;h11-9 (ORL);1;125
16	404;2024.03.19 00:00:01;YV2H (ALB);1;155
17	404;2024.03.19 00:00:01;h-bottom-3 (A);1;177
18	404;2024.03.19 00:00:01;YV1H (TMV);1;221
19	404;2024.03.19 00:00:01;YV2H (TMV);1;221
20	404;2024.03.19 00:00:01;YV1H (STM);1;281
21	404;2024.03.19 00:00:01;h07-05 (BRH);1;339
22	404;2024.03.19 00:00:01;h09-07 (BRH);1;339
23	404;2024.03.19 00:00:04;YV2H (TMV);0;221
24	404;2024.03.19 00:00:09;YV2Y (WCH);1;270
25	404;2024.03.19 00:00:13;h10-12 (ALB);1;84
26	404;2024.03.19 00:00:16;h22-24 (ORL);1;498
27	404;2024.03.19 00:00:17;h09-07 (BRH);0;339
28	404;2024.03.19 00:00:22;YV2H (ORL);0;109
29	404;2024.03.19 00:00:23;h11-9 (ORL);0;125
30	404;2024.03.19 00:00:31;YV1Y (WCH);0;270
31	404;2024.03.19 00:00:34;h12-14 (ALB);0;84
32	404;2024.03.19 00:00:37;h24-26 (ORL);0;498
33	404;2024.03.19 00:00:38;YV2H (STM);1;281
34	404;2024.03.19 00:00:41;h19-17 (ALB);1;155
35	404;2024.03.19 00:00:46;YV1Y (DRV);1;294
36	404;2024.03.19 00:00:48;h-bottom-2 (A);1;177
37	404;2024.03.19 00:00:52;h07-05 (ORL);1;87
38	404;2024.03.19 00:00:57;YV1H (STM);0;281

Рисунок П5.21 – Фрагмент записи положения поездов на участке (в момент занятия или освобождения блок-участка) для графика №2

Записи по командам и режимам пропуска, приведены на рисунках П5.22–П5.24.

logNS.txt	
1	cur_game_time : situation_polygon : cmd_res
2	2024.03.19 00:00:01 : h12-14 (ALB) 1 84 p (ALB) (4) 4A (ALB) 1 108 s (ALB) (4) СП (4A-S21) (ALB) 1 108 s (ALB) h8-10 (STM) 1 228 p (STM) YV1Y (WCH) 1 270 p (WCH) YV2Y (DRV) 1 294 p (DRV) h24-26 (ORL) 1 498 p (ORL) h06-08 (VSP) 1 506 p (VSP) h09-07 (ORL) 1 87 p (ORL) h019-017 (ORL) 1 109 p (ORL) YV2H (ORL) 1 109 p (ORL) h9-7 (ORL) 1 125 p (ORL) h11-9 (ORL) 1 125 p (ORL) YV2H (ALB) 1 155 p (ALB) h-bottom-3 (A) 1 177 p (A) YV1H (TMV) 1 221 p (TMV) YV2H (TMV) 1 221 p (TMV) YV1H (STM) 1 281 p (STM) h07-05 (BRH) 1 339 p (BRH) h05-07 (BRH) 1 339 p (BRH) : no_cmd
3	2024.03.19 00:00:04 : YV2H (TMV) 0 221 p (TMV) : no_cmd
4	2024.03.19 00:00:09 : YV2Y (WCH) 1 270 p (WCH) : no_cmd
5	2024.03.19 00:00:13 : h10-12 (ALB) 1 84 p (ALB) : 3HH_TMV
6	2024.03.19 00:00:16 : h22-24 (ORL) 1 498 p (ORL) : no_cmd
7	2024.03.19 00:00:17 : h09-07 (BRH) 0 339 p (BRH) : no_cmd
8	2024.03.19 00:00:23 : YV2H (ORL) 0 109 p (ORL) : no_cmd
9	2024.03.19 00:00:24 : h11-9 (ORL) 0 125 p (ORL) : LHCK_DRV
10	2024.03.19 00:00:32 : YV1Y (WCH) 0 270 p (WCH) : no_cmd
11	2024.03.19 00:00:34 : h12-14 (ALB) 0 84 p (ALB) : no_cmd
12	2024.03.19 00:00:38 : h24-26 (ORL) 0 498 p (ORL) : 1LaHCK_WCH
13	2024.03.19 00:00:39 : YV2H (STM) 1 281 p (STM) : no_cmd
14	2024.03.19 00:00:41 : h19-17 (ALB) 1 155 p (ALB) : 2a2YCK_WCH
15	2024.03.19 00:00:46 : YV1Y (DRV) 1 294 p (DRV) : no_cmd
16	2024.03.19 00:00:50 : h-bottom-2 (A) 1 177 p (A) : no_cmd
17	2024.03.19 00:00:52 : h07-05 (ORL) 1 87 p (ORL) : no_cmd
18	2024.03.19 00:00:57 : YV1H (STM) 0 281 p (STM) : 2a2YCK_VSP
19	2024.03.19 00:01:00 : YV2H (ALB) 0 155 p (ALB) : no_cmd
20	2024.03.19 00:01:02 : h04-06 (VSP) 1 506 p (VSP) : 1LaHCK_VSP
21	2024.03.19 00:01:13 : YV2Y (DRV) 0 294 p (DRV) h-bottom-3 (A) 0 177 p (A) : no_cmd
22	2024.03.19 00:01:15 : h09-07 (ORL) 0 87 p (ORL) : no_cmd
23	2024.03.19 00:01:18 : h06-08 (VSP) 0 506 p (VSP) : 2a2YCK_ORL
24	2024.03.19 00:01:34 : h08-10 (ALB) 1 84 p (ALB) : no_cmd
25	2024.03.19 00:01:36 : h6-8 (STM) 1 228 p (STM) : LHCK_ALB
26	2024.03.19 00:01:37 : h-bottom-1 (A) 1 177 p (A) : 2YCK_ALB
27	2024.03.19 00:01:39 : h7-5 (ORL) 1 125 p (ORL) : 2YCK_PRD
28	2024.03.19 00:01:47 : h-top-1 (A) 1 270 p (A) : LHCK_PRD
29	2024.03.19 00:01:49 : h19-17 (STM) 1 281 p (STM) : no_cmd
30	2024.03.19 00:01:50 : h20-22 (ORL) 1 498 p (ORL) : no_cmd
31	2024.03.19 00:01:51 : h10-12 (ALB) 0 84 p (ALB) : no_cmd
32	2024.03.19 00:01:53 : h-bottom-2 (A) 0 177 p (A) HII (TMV) 1 221 s (TMV) : no_cmd
33	2024.03.19 00:01:57 : h9-7 (ORL) 0 125 p (ORL) : no_cmd
34	2024.03.19 00:02:00 : h017-015 (ORL) 1 109 p (ORL) h05-03 (BRH) 1 339 p (BRH) : no_cmd
35	2024.03.19 00:02:02 : (1) СП (HII-S133) (TMV) 1 221 s (TMV) : no_cmd
36	2024.03.19 00:02:06 : h17-15 (ALB) 1 155 p (ALB) h22-24 (ORL) 0 498 p (ORL) : no_cmd
37	2024.03.19 00:02:07 : YV2H (STM) 0 281 p (STM) : 4YU_BRH
38	2024.03.19 00:02:08 : h8-10 (STM) 0 228 p (STM) YV2H (WCH) 1 177 p (WCH) : no_cmd
39	2024.03.19 00:02:09 : YV2Y (WCH) 0 270 p (WCH) : no_cmd
40	2024.03.19 00:02:10 : (1) СП (S133-S105) (TMV) 1 221 s (TMV) : 44aMFM_BRH
41	2024.03.19 00:02:17 : YV2Y (VSP) 1 506 p (VSP) (1) СП (S105-S133) (TMV) 1 221 s (TMV) : no_cmd
42	2024.03.19 00:02:19 : (1) СП (S105-S107) (TMV) 1 221 s (TMV) : no_cmd
43	2024.03.19 00:02:22 : h-bottom-1 (A) 0 177 p (A) : no_cmd
44	2024.03.19 00:02:25 : h10-12 (ALB) 0 84 p (ALB) : no_cmd

Рисунок П5.22 – Реакция (определение команды) модели на изменение поездной обстановки

времени (посекундное фиксирование)

```
logTopologyBusy.txt
1 id_name:obj_name:busy_state:train_num:velocity:pos:time_on_station(station_ESR) time_arrival,time_departure:delay_arrival,delay_departure
2 1052:h12-14 (ALB) :1:84;60:141444;2024.03.19 00:00:01;p (ALB) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
3 1052:h1-4 (ALB) :1:108;0:128741;2024.03.19 00:00:01;s (ALB) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
4 1052:h1-5 (ALB) :1:52;0:115561;2024.03.19 00:00:01;s (ALB) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
5 1052:h8-10 (STM) :1:125;60:17550;2024.03.19 00:00:01;p (STM) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
6 1052:Y114 (WCH) :1:270;0:24222;2024.03.19 00:00:01;p (WCH) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
7 1052:Y124 (DRV) :1:294;60:15233;2024.03.19 00:00:01;p (DRV) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
8 1052:h24-26 (ORL) :1:498;60:72886;2024.03.19 00:00:01;p (ORL) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
9 1052:h06-08 (VSP) :1:506;60:54666;2024.03.19 00:00:01;p (VSP) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
10 1052:h09-07 (ORL) :1:87;60:96750;2024.03.19 00:00:01;p (ORL) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
11 1052:h019-017 (ORL) :1:109;60:85000;2024.03.19 00:00:01;p (ORL) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
12 1052:Y128 (WCH) :1:109;60:85000;2024.03.19 00:00:01;p (ORL) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
13 1052:h9-7 (ORL) :1:125;60:79900;2024.03.19 00:00:01;p (ORL) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
14 1052:h11-9 (ORL) :1:125;60:79900;2024.03.19 00:00:01;p (ORL) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
15 1052:h05-07 (ALB) :1:155;60:13252;2024.03.19 00:00:01;p (ALB) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
16 1052:h-bottom-3 (A) :1:177;60:21068;2024.03.19 00:01:13;p (A) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
17 1052:Y118 (TMV) :1:221;29:20666;2024.03.19 00:00:01;p (TMV) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
18 1052:Y128 (TMV) :1:221;29:20666;2024.03.19 00:00:01;p (TMV) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
19 1052:Y118 (STM) :1:281;60:10777;2024.03.19 00:00:01;p (STM) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
20 1052:h07-05 (BRH) :1:339;60:20111;2024.03.19 00:00:01;p (BRH) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
21 1052:h09-07 (BRH) :1:339;60:20111;2024.03.19 00:00:01;p (BRH) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
22 1052:Y128 (WCH) :1:221;32:20694;2024.03.19 00:00:04;p (TMV) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
23 1052:Y124 (WCH) :1:270;64:24089;2024.03.19 00:00:08;p (WCH) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
24 1052:h10-12 (ALB) :1:84;67:141273;2024.03.19 00:00:12;p (ALB) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
25 1052:h22-24 (ORL) :1:498;69:72612;6.2024.03.19 00:00:16;p (ORL) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
26 1052:h09-07 (BRH) :1:339;55:201342;2024.03.19 00:00:17;p (BRH) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
27 1052:Y118 (WCH) :1:221;32:20694;2024.03.19 00:00:22;p (A) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
28 1052:h11-9 (ORL) :1:125;74:68370;6.2024.03.19 00:00:23;p (ORL) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
29 1052:Y114 (WCH) :1:270;74:23637;5.2024.03.19 00:00:33;p (WCH) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
30 1052:h12-14 (ALB) :1:84;81:140790;2024.03.19 00:00:34;p (ALB) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
31 1052:h24-26 (ORL) :1:498;83:72617;7.2024.03.19 00:00:37;p (ORL) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
32 1052:Y128 (STM) :1:281;84:108538;2024.03.19 00:00:39;p (STM) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
33 1052:h19-17 (ALB) :1:155;85:133033;2024.03.19 00:00:41;p (ALB) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
34 1052:Y114 (DRV) :1:294;60:151505;2024.03.19 00:00:46;p (DRV) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
35 1052:h-bottom-2 (A) :1:177;61:20618;5.2024.03.19 00:00:49;p (A) :1970.01.01 00:00:00;1970.01.01 00:00:00;2147483647;2147483647
36 10
```

Рисунок П5.24 – Запись положения поезда на участке
(в момент занятия или освобождения блок-участка)

Рассматривая работу полносвязных ИНС и сетей со сверточными слоями, установлено, что использование сверточных слоев для извлечения признаков улучшает управление.

Интерфейсы и модули программы ИНС_ПОДВОД ПОЕЗДОВ_ПОРТ v.1

Первый модуль позволяет осуществить генерацию данных с учетом возможных вероятностных характеристик по параметрам подвода поездов и судовых партий. Алгоритм формирует данные на основании теории надежности и вероятности отказов элементов транспортной сети. Генерация данных (рисунок П5.25) включает в себя информацию о составе поездов, времени хода до припортовой станции, номенклатуре, признаке отправки и статусе отправки (наличие вагонов с истекающим сроком доставки, договорных поездов и прочее) груза, что является необходимой базой для обучения нейросети.

Второй модуль на основании сгенерированных данных, приближенных к реальной поездной обстановке, определяет очередность подвода поездов с учетом логистических принципов управления (рисунок П5.26).

Train ID	Cargo Types	Unloading Track	Time to Station	Initial Station
TUUSHK	Grain, Ore	5	1.01	Station C
IFAGDU	Chemicals, Containers, Coal, Ore, W, 2		1.01	Station C
UNEEZL	Containers, Coal, Wood, Grain, Chem 8		1.04	Station B
MOUPAG	Grain, Containers	9	1.05	Station A
EPNRM	Chemicals, Coal	4	1.06	Station C
TXAM	Ore	6	1.06	Station E
ADKCSI	Grain, Containers, Chemicals, Wood, 3		1.14	Station B
INQDMA	Wood, Ore, Coal	9	1.14	Station E
BHMDVC	Coal, Containers, Wood	1	1.2	Station D
TQADGT	Grain, Coal, Wood	5	1.22	Station D
MMWDE	Coal, Grain, Wood	4	1.25	Station B
SXDMU	Coal, Ore, Chemicals, Containers, Gr 4		1.26	Station E
IBTGS	Chemicals, Ore, Containers	6	1.33	Station E
GTSOM	Chemicals	2	1.35	Station E
ECILDC	Grain	5	1.38	Station D
YYOMAB	Ore, Containers, Coal, Grain, Chem 5		1.4	Station A
L7HFI	Ore, Containers, Wood, Grain, Coal, 1 9		1.41	Station C
KIZDRL	Coal, Chemicals, Grain	1	1.41	Station A

Рисунок П5.25 – Генерация данных

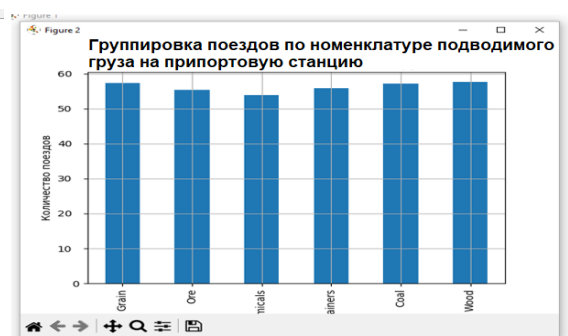


Рисунок П5.26 – Группировка по признакам

Третий модуль формирует план подвода для диспетчерского аппарата Логистического центра припортовых железных дорог с учетом погодных условий, востребованности вагонов на терминалах порта и других параметров.

Приложение 6

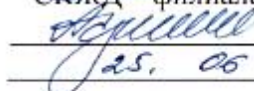
Раздел Пб.1



**ФИЛИАЛ ОАО «РЖД»
ЦЕНТРАЛЬНАЯ ДИРЕКЦИЯ
УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ
СЕВЕРО-КАВКАЗСКАЯ ДИРЕКЦИЯ
УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ**

Привокзальная пл. 1/2,
г. Ростов-на-Дону, 344001
Тел.: (863) 259-59-30, факс: (863) 259-40-37
E-mail: d-skzd@mail.ru

« ____ » _____ 2018 г. № _____
На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ
Первый заместитель начальника
СКЖД — филиала ОАО «РЖД»
 А.Г. Черняев
25. 06 2018 г.

АКТ

о внедрении диссертационного исследования Чеботаревой Е.А.

Мы, нижеподписавшиеся, первый заместитель начальника Диспетчерского центра управления перевозками Крамаренко В.И. и Чеботарева Е.А. составили настоящий акт в том, что при совершенствовании системы управления и технологии эксплуатационной работы на полигоне Северо-Кавказской железной дороги использованы следующие результаты научных исследований:

- 1) алгоритмы оперативного управления доставкой экспортных грузов на припортовые станции Северо-Кавказской железной дороги на базе информационных и логистических технологий;
- 2) организационно-технологические, социальные, экономические аспекты развития логистического управления припортовой железной дороги с учетом развития полигонных технологий перевозочного процесса;
- 3) алгоритмы деятельности диспетчерского аппарата Дорожного центра управления перевозками, разделение функций и ответственности между различными уровнями управления при организации транспортного производства в районах местной работы.

Первый заместитель
начальника Диспетчерского
центра управления перевозками
Крамаренко В.И.

Доцент кафедры
«Управление эксплуатационной
работой» ФГБОУ ВО РГУПС
Чеботарева Е.А.



**ФИЛИАЛ ОАО «РЖД»
ЦЕНТРАЛЬНАЯ ДИРЕКЦИЯ
УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ
СЕВЕРО-КАВКАЗСКАЯ ДИРЕКЦИЯ
УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ**

Привокзальная пл. 1/2,
г. Ростов-на-Дону, 344001
Тел.: (863) 259-59-30, факс: (863) 259-40-37
E-mail: d-skzd@mail.ru

« 3 » июля 2024 г. № СКД-6088/КДВ
На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Начальник Северо-Кавказской
дирекции управления движением –
структурного подразделения

Центральной дирекции управления
движением – филиала ОАО «РЖД»

С.А. Говоруха

2024 г.

АКТ

**о внедрении результатов диссертационной работы
на соискание ученой степени доктора технических наук
Чеботаревой Евгении Андреевны**

Для совершенствования оперативной работы на полигоне Северо-Кавказской железной дороги приняты к использованию результаты научных исследований Е.А. Чеботаревой представленные в виде развития теоретических положений, методологии и инструментария организации транспортного производства в припортовых транспортно-технологических системах (ПТТС), включая:

- формализованное описание целевых моделей взаимодействия производственных процессов организации движения и исследуемой инфраструктуры ПТТС учетом ее организационно-технологической надежности (ОТН);

- результаты когнитивного моделирования в системах поддержки принятия решений на транспорте: когнитивных карт, связывающих причины и следствия, критерии и управляющие воздействия с целью анализа сценарного развития ПТТС;

- научно технологические предложения по совершенствованию технико-технологической модели управления перевозочным процессом на полигоне в направлении портов Азово-Черноморского бассейна с учетом повышения уровня организационно-технологической надежности ПТТС;

- результаты развития цифровых и интеллектуальных технологий управления припортовыми транспортными системами с участием железнодорожного вида транспорта, в т.ч. результаты моделирования и оптимизации транспортных процессов с учетом развития машинного интеллекта.

Начальник технического отдела
Северо-Кавказской дирекции
управления движением – структурного
подразделения Центральной дирекции
управления движением – филиала
ОАО «РЖД»

К.Г. Левченко



ФИЛИАЛ ОАО «РЖД»
ЦЕНТР ФИРМЕННОГО
ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ
ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ФИРМЕННОГО ТРАНСПОРТНОГО
ОБСЛУЖИВАНИЯ

Привокзальная пл. 1/2,
г. Ростов на-Дону, 344001
Тел.: (863) 259-50-06, факс: (863) 259-09-80

« 22 » 05. 2024 г. № С-КТЦТО-251/24

На № _____ от _____



АКТ

о практической значимости результатов диссертационной работы Чеботаревой Евгении Андреевны

Результаты диссертационного исследования Чеботаревой Евгении Андреевны, представленные на соискание ученой степени доктора технических наук, использованы при организации транспортного обслуживания клиентов и совершенствования технологических форм обеспечения взаимодействия участников перевозочного процесса, входящих в транспортно-логистический блок холдинга ОАО «РЖД» в виде:

1. Сформированной оценки и классификации факторов, влияющих на выполнение договорных сроков доставки в условиях увеличения размеров движения на отдельных участках и направлениях в адрес получателей припортовой железной дороги, сезонных колебаний потоков, роста требований к надежности и безопасности перевозок и других факторов, позволяющих установить причинно-следственные связи выполнения договорных обязательств железной дороги с состоянием объектов транспортной инфраструктуры, надежностью выполнения обязательств контрагентами, внешними критическими факторами, влияющими на организацию перевозочного процесса.
2. Методики определения зон напряженности в организации перевозочной работы припортовой транспортно-технологической системы 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, проводимой реконструкции железных дорог и развития портовых мощностей, а также методов управления перевозочным процессом на базе информационных

платформ с выработкой управляющих воздействий на экономические показатели работы компании в части выплачиваемых компенсаций за нарушение сроков доставки.

Использование указанных результатов способствует формированию модели развития производственных процессов припортовых железных дорог с учетом приведения их структурных элементов в соответствии с запросами грузовладельцев, выполнения социальных задач железнодорожного транспорта, программ развития пропускных и перерабатывающих способностей транспортной инфраструктуры в соответствии изменениями структуры и объемов грузопотоков.

Заместитель начальника Северо-Кавказского
ТЦФТО начальник службы грузовой
и коммерческой работы



Р.Р. Кургинян



НОВАЯ
ПЕРЕВОЗОЧНАЯ

АКТ
об использовании результатов диссертационной работы
на соискание ученой степени доктора технических наук
Чеботаревой Евгении Андреевны

Для совершенствования технологических форм обеспечения взаимодействия видов транспорта и участников транспортного рынка в припортовых транспортно-технологических системах (ПТТС), включая полигон Северо-Кавказской железной дороги, приняты к использованию результаты научных исследований Е.А. Чеботаревой, представленные в виде анализа транспортного производства в ПТТС в условиях изменения структуры и объемов экспортных грузопотоков, характеристик текущего состояния производственных процессов перевозок на полигоне в направлении портов Азово-Черноморского бассейна (АЧБ), развития логистико-ориентированных моделей и алгоритмов оперативного управления доставкой грузов с учетом диверсификации услуг в области грузовых перевозок и изменения географии перевозок.

Заместитель директора филиала
АО «Новая перевозочная компания»
в г.Ростов-на-Дону



С.С.Малышев



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

пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, зд. 2, г. Ростов-на-Дону, г.о. город Ростов-на-Дону,
 Ростовская область, 344038. Тел. (863) 245-06-13, Факс (863) 255-32-83, 245-06-13, E-mail: up_del@rgups.ru
 ОКПО 01116006, ОГРН 1026103709499, ИНН/КПП 6165009334/616501001

Утверждаю:

Первый проректор федерального
 государственного бюджетного
 образовательного учреждения высшего
 образования «Ростовский
 государственный университет путей
 сообщения»,
 к.ф.н. доцент



М.А. Кравченко

25 » 08 2025 г.

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы на соискание ученой степени
 доктора технических наук
 Чеботаревой Евгении Андреевны
 на тему: «Теория и методология организации транспортного производства
 в припортовых транспортно-технологических системах»

Комиссия в составе: председатель комиссии – зав. кафедрой «Станции и грузовая работа», д.т.н., профессор Числов О.Н., члены комиссии: зав. кафедрой «Логистика и управление транспортными системами», д.т.н., профессор Мамаев Э.А., профессор кафедры «Управление эксплуатационной работой», д.т.н. Зубков В.Н., и.о. декана факультета «Управление процессами перевозок», к.т.н., доцент Бакалов М.В. настоящим актом установила, что в образовательном процессе по направлению подготовки 23.05.04 «Эксплуатация железных дорог» используются результаты диссертационного исследования Е.А. Чеботаревой:

Теоретические и практические исследования, изложенные в диссертационной работе, внедрены в образовательный процесс указанного направления подготовки в виде учебных и учебно-методических пособий:

1. Чеботарева, Е. А. Информационные и инновационные технологии на магистральном транспорте и в пассажирском комплексе : учеб. пособие / Е. А. Чеботарева, И. А. Солоп ; ФГБОУ ВО РГУПС. - Ростов н/Д : [б. и.], 2019. - 129 с. ISBN 978-5-88814-840-2.

2. Повышение эффективности перевозочного процесса на железнодорожных направлениях : учеб. пособие / В. Н. Зубков, И. А. Солоп, Е. А. Чеботарева, О. И. Веревкина ; ФГБОУ ВО РГУПС. - Ростов н/Д : [б. и.], 2019. - 152 с. - ISBN 978-5-88814-826-6.

3. Чеботарева, Е. А. Повышение эффективности перевозочного процесса на железнодорожных направлениях : учеб.-метод. пособие / Е. А. Чеботарева, И. А. Солоп ; ФГБОУ ВО РГУПС. - Ростов н/Д : РГУПС, 2021. - 56 с.

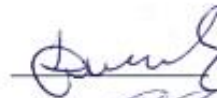
4. Информационные и инновационные технологии на магистральном транспорте и в пассажирском комплексе : учеб.-метод. пособие / Е. А. Чеботарева, И. А. Солоп, А. О. Полунина [и др.]. ; ФГБОУ ВО РГУПС. - Ростов н/Д : РГУПС, 2023. - 44 с.

5. Чеботарева, Е. А. Организация работы экспедиторских фирм : учеб. пособие / Е.А. Чеботарева, Е.В. Рязанова ; ФГБОУ ВО РГУПС. - Ростов н/Д : РГУПС, 2023. - 131 с. - ISBN 978-5-907494-45-9.

6. Организация местной работы на участках подразделения железной дороги : учеб. пособие / В. Н. Зубков, Н. Н. Мусиенко, Е. А. Чеботарева, А. Г. Черняев ; ФГБОУ ВО РГУПС. - Ростов н/Д : РГУПС, 2025. - 75 с. - ISBN 978-5-907494-94-7.

Использование указанных учебных и учебно-методических разработок способствует качественной подготовке выпускников с учетом современных достижений в науке и технике, а также к их эффективному взаимодействию с субъектами профессиональной деятельности, что обеспечивает повышение их конкурентоспособности на рынке труда.

Председатель комиссии:

 О.Н. Числов

Члены комиссии:

 Э.А. Мамаев

 В.Н. Зубков

 М.В. Бакалов

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе
федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Ростовский государственный
университет путей сообщения»,
д.т.н., профессор А.И. Гуда



« 20 » 2025 г.

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы на соискание ученой степени
доктора технических наук
Чеботаревой Евгении Андреевны
на тему: «Теория и методология организации транспортного производства
в припортовых транспортно-технологических системах»

Комиссия в составе: председатель комиссии – зав. кафедрой «Станции и грузовая работа», д.т.н., профессор Числов О.Н., члены комиссии: директор научно-исследовательской части РГУПС к.т.н., доцент Носков В.Н., зав. кафедрой «Логистика и управление транспортными системами», д.т.н., профессор Мамаев Э.А., профессор кафедры «Управление эксплуатационной работой», д.т.н. Зубков В.Н., и.о. декана факультета «Управление процессами перевозок», к.т.н., доцент Бакалов М.В., составила настоящий акт в том, что разработанные в диссертационной работе Чеботаревой Е.А. математические модели производственных процессов припортовых железных дорог в условиях волатильности перевозок и оценке резервов пропускных способностей железнодорожных направлений на подходах к морским портам, концепция применения «цифровых двойников» железнодорожных участков и технологий искусственного интеллекта (ИИ) использовались:

- в научно-исследовательской деятельности при выполнении научно-исследовательской работы по государственному заданию ФГБОУ ВО РГУПС на 2024 г. по теме «Методы повышения пропускной способности участка

железной дороги, за счёт нейросетевого управления движением поездов, с применением математических моделей деятельности участка, построенных на базе его цифрового двойника» (х/д 443).

Председатель комиссии:

 О.Н. Числов

Члены комиссии:

 В.Н. Носков

 Э.А. Мамаев

 В.Н. Zubков

 М.В. Бакалов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



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

Правообладатели: **Чеботарева Евгения Андреевна (RU), Назаров
Александр Витальевич (RU), Наурузбаев Сабир Мансурович (RU)**

Авторы: **Чеботарева Евгения Андреевна (RU), Назаров Александр
Витальевич (RU), Наурузбаев Сабир Мансурович (RU)**



Заявка № 2025614093

Дата поступления 25 февраля 2025 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 26 марта 2025 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

документ подписан электронной подписью
Сертификат 0692e7016e300c15a42401670acc2026
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.04.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов