

РОСЖЕЛДОР

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«Ростовский государственный университет путей сообщения»

(ФГБОУ ВО РГУПС)

На правах рукописи

ШАПОВАЛОВА Юлия Владимировна

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ
ПРОИЗВОДСТВА**

Специальность 05.22.01 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Колесников Максим Владимирович

Ростов-на-Дону

2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ.....	13
1.1. Организационно-экономические, технико-технологические предпосылки и условия обеспечения эффективности и безопасности транспортных систем России.....	13
1.2. Анализ отечественного и зарубежного опыта обеспечения технико- технологической эффективности и безопасности транспортных систем	23
1.3. Основные принципы инновационной организации взаимодействия железнодорожных транспортных систем	34
1.4. Выводы по главе.....	43
2. РАЗРАБОТКА ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ.....	47
2.1. Транспортные комплексы: определения и классификация	47
2.2. Совершенствование системного и процессного подходов в рамках синтеза базовых и вспомогательных процессов в транспортных системах	53
2.2.1. Роль и место структурно-функционального и процессного подходов.....	53
2.2.2. Процессный подход в ОАО «РЖД»	56
2.3. Повышение эффективности транспортных систем за счет внедрения в производственный процесс технологий технического обслуживания по прогнозируемому состоянию	59
2.4. Разработка морфологической модели учета подсистем мониторинга и диагностики в транспортных системах	66
2.5. Цифровизация и интеллектуализация базовых и вспомогательных процессов железнодорожных ТС	74
2.6. Выводы по главе.....	82
3. РАЗВИТИЕ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ	84
3.1. Методы и модели исследования сложных транспортных комплексов	84

3.1.1. Анализ методов и моделей исследования и принятия решений в транспортных комплексах	86
3.1.2. Аналитическое описание процессов развития и деградации в транспортных системах	90
3.2. Развитие метода взаимного учета экономических и производственных интересов ТС одного уровня управления	95
3.3. Постановка оптимизационных задач функционирования ТС	103
3.4. Выводы по главе	111
4. ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА	113
4.1. Исследование динамики развития инфраструктуры железнодорожного транспорта (на примере локомотивного парка ОАО «РЖД»).....	113
4.2. Организация технического обслуживания объектов инфраструктуры сортировочной станции	117
4.3. Выявление и исправление дефектов подвижного состава.....	121
4.4. Разработка и внедрение новой техники и технологий как подпроцесс процессной организации транспортного производства	133
4.5. Выводы по главе	138
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	139
Список сокращений и условных обозначений.....	144
Список использованной литературы.....	146
Приложение 1 Статистические, понятийные и организационно-технологические основания исследования.....	165
Приложение 2 Анализ математического инструментария процессного подхода при организации транспортно-логистических цепей.....	175
Приложение 3 Роль и место кластеров и технологических ценозов в развитии транспортных комплексов	182
Приложение 4 Оценка безопасности функционирования транспортных комплексов средствами теории организационно-технологической надежности	189
Приложение 5 Акты внедрения результатов работы	194

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Современные условия функционирования транспортных систем (ТС) России характеризуются:

- усиливающимися требованиями к эффективности и безопасности работы транспорта в связи с расширением спектра предоставляемых услуг, повышением интенсивности его работы, созданием сочтаных транспортно-логистических цепей продвижения грузов;

- нестационарностью экономического развития не только России, но и стран-партнеров, что непредсказуемо изменяет величину спроса на транспортные услуги (требуется дополнительный ресурс провозной и пропускной способности транспортных систем, а также соответствующий требованиям партнеров уровень обеспечения безопасности и эффективности движения поездов);

- рыночным характером функционирования экономики страны, разорвавшим существовавшие ранее жесткие связи (в ряде случаев оправданно жесткие) между хозяйствующими субъектами (ХС), обеспечивающими бесперебойную работу транспортного конвейера. Системы обеспечения безопасности и эффективности в этой схеме хозяйствования осуществляют **вспомогательные процессы:** мониторинг и диагностику, техническое обслуживание и ремонт, научное сопровождение производства и др. (Важно акцентировать: вспомогательные, но не второстепенные!);

- переходом российских ТС к активному внедрению перспективных идей цифровизации и интеллектуализации всех сфер деятельности, обеспечивающих их конкурентоспособность, необходимые параметры безопасности, качества транспортных услуг, эффективности.

Перечисленные базовые факторы актуализируют необходимость совершенствования структур и технологий ТС страны, методов организации и управления транспортным производством. На этом пути проводятся различные новации, призванные улучшить качество оказания транспортных услуг, повысить их безопасность и эффективность. Это внедрение Единого сетевого

технологического процесса (ЕСТП) и саморегулируемых организаций (СРО), переход к проектно-процессной организации труда, внедрение интеллектуальных систем на железнодорожном транспорте и Цифровой железной дороги, управление предоставлением транспортных услуг с позиции кластеров регионального развития (в том числе управление по полигонам) и многое другое.

К сожалению, указанные выше проекты слабо увязывают между собой основной, перевозочный, и вспомогательные процессы. Их взаимодействие часто оказывается не в сфере сотрудничества, а в состоянии конкуренции (например, за дефицитные ресурсы, при несогласованном балансе интересов и др.). Все это часто формирует отрицательный синергетический эффект.

В связи с этим в данном исследовании предлагается комплекс мер по совершенствованию организационно-технологических структур транспортного производства России, в свою очередь обеспечивающих безопасность и эффективность деятельности ТС.

Степень разработанности проблемы. В данном исследовании использован накопленный отечественный и зарубежный опыт в ряде направлений транспортной науки.

Организационно-технологические проблемы ТС (переход к полигонной, процессной организации функционирования) изложили в своих трудах А.А. Бочкарев, А.Ф. Бородин, А.С. Власов, С.Ю. Елисеев, О.Н. Ильина, Г.О. Козырь, П.В. Куренков, Н.А. Латышева, Э.А. Мамаев, Д.А. Мачерет, О.В. Москвичев, М.А. Нехаев, А.Т. Осьминин, В.В. Репин, И.Б. Рышков, Н.Г. Шабалин, Ch. Flotzinger, M. Ivaldi, L. Thompson, и др.

Эффективность, надежность и эксплуатационная безопасность, вопросы управления рисками в ТС исследовались В.И. Апатцевым, Л.Е. Венцевичем, В.Д. Верескуном, Р.И. Давлетшиным, И.Д. Долгим, А.М. Завьяловым, А.М. Замышляевым, В.В. Кульбой, А.Е. Красковским, В.М. Лисенковым, И.О. Набойченко, Д.О. Семеновым, В.И. Талалаевым, В.В. Сапожниковым, Вл.В. Сапожниковым, Н.Г. Шабалиным, Г.Л. Шалягиным, П.С. Шанайцем, И.Б. Шубинским, П.Г. Яковлевым, G. Friebel и др.

Вопросы повышения качества организации производства на транспорте рассматривались в трудах В.И. Апатцева, О.В. Белозерова, М.С. Боровиковой, А.А. Бочкарева, А. С. Власова, В.А. Гапановича, С.Ю. Елисеева, М.В. Колесникова, В.А. Кудрявцева, В.Н. Морозова, О.В. Москвичева, Б.М. Лapidуса, О.Н. Числова, Е.Г. Шепиловой, В. Peter, L. Zhang и др.

Цифровизация ТС активно продвигается во всех сферах железнодорожного транспорта. В настоящей работе, в частности, использованы материалы, опубликованные в трудах В.П. Куприяновского, Б.А. Лёвина, Е.Н. Розенберга, И.Н. Розенберга, А.Н. Шабельникова, В.Я. Цветкова, J.J. Buckley, K.D. Reilly, K.V. Penmetcha и др.

Интеллектуализация ТС, использованная для раскрытия темы, отражена в исследованиях С.Е. Ададунова, А.А. Волкова, С.М. Ковалева, В.Г. Матюхина, А.Б. Шабунина, П.Г. Яковлева, J. Kahlert, C. Perneel и др.

Математическим аспектам исследования больших систем, их автоматизации и интеллектуализации, посвятили свои работы В.Н. Бурков, М.А. Бутакова, О.В. Бутырин, А.Н. Гуда, И.Г. Венецкий, В.М. Вишневский, Г.В. Горелова, Б.И. Кудрин, А.Н. Кузьминов, Н.Н. Лябах, Д.А. Новиков, А.И. Орлов, Г. Поттгофф, Р.А. Яушев, L. Bertalanffy, H. Хуе и др.

Разработка технических средств и технологий мониторинга, диагностики, технического обслуживания и ремонта в рамках данного исследования проводилась В.П. Бирюзовым, В.М. Бугаенко, А.Н. Головащ, А.И. Лисицыным, А.А. Марковым, И.К. Михалкиным, Ю.А. Седёлкиным, О.Б. Симаковым, Ю.А. Черногоровым, В.В. Шаловаловым, Д.А. Шпагиным и др.

Несмотря на системное и многостороннее исследование поставленной проблемы следует отметить следующие **аспекты, актуализирующие тему исследования.**

При наличии многочисленных исследований вопросов технической безопасности ТС слабо освещенными остаются проблемы их организационно-технологической эффективности и безопасности.

Вопросы оценки и развития организационно-технологических структур на транспорте остаются на качественном уровне описания и концентрируются в

сфере менеджмента частных направлений деятельности. Математического инструментария моделирования организации транспортно-логистических цепей недостаточно.

Недостаточно уделяется внимания вопросам согласования противоречивых интересов хозяйствующих субъектов, задействованных в перевозке грузов. Основные тенденции решения этого вопроса в настоящее время базируются на административных методах, противоречащих рыночной парадигме развития.

При огромной важности вопроса организации прогнозируемого технического осмотра и ремонта инфраструктурных составляющих ТС сравнительно мало работ посвящено различным теоретическим и практическим его аспектам. Проблема остается на концептуальном уровне разработки.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является развитие методов и моделей исследования и управления организационно-технологическими структурами ТС, обеспечивающих безопасность и эффективность их функционирования.

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

1. Проанализировать отечественный и зарубежный опыт в областях обеспечения безопасности и эффективности функционирования ТС, организации производства на транспорте, управления техническим состоянием объектов инфраструктуры ТС.

2. Разработать концепцию обеспечения безопасности и эффективности функционирования ТС на основе использования:

- взаимной интеграции процессного управления основного и вспомогательных производств;
- средств и методов цифровизации и интеллектуализации железнодорожного транспорта;
- полигонной организации перевозочного процесса, интегрировано использующей системную и сетевую парадигмы;

- механизмов согласования противоречивых интересов взаимодействующих агентов ТС;

- технологии прогнозируемого технического обслуживания и ремонта объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта по состоянию, с учетом параметров перевозочного процесса.

3. Развить математический инструментарий, обеспечивающий решение концептуальных и технологических задач исследования ТС и управления ими.

4. Внедрить результаты научных исследований в реальный перевозочный процесс и в учебный процесс.

Объектом исследования являются: транспортные и транспортно-технологические системы страны ее регионов и городов, производственные и вспомогательные процессы.

Предмет исследования – методы организации технико-технологического развития транспортных систем, совмещающие **основной производственный процесс** (перевозка грузов и пассажиров) **и вспомогательные** (мониторинг и диагностика, техническое обслуживание и ремонт объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта, научное сопровождение производства).

Соответствие диссертации паспорту научной специальности 05.22.01 «Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте»: п. 1. «Транспортные системы и сети страны, их структура, технологии работы. Оптимальная структура подвижного состава»; п. 5. «Организация и технология транспортного производства. Управление транспортным производством. Оптимизация размещения транспортных предприятий и производств».

Теоретико-методологической основой исследования явились работы ученых в следующих научных областях: теория больших систем (ценозы, сети, системы), менеджмент транспорта, экономико-математическое моделирование, теория массового обслуживания и сетевое планирование, теория надежности, а также законодательные, нормативные и программные документы РФ по вопросам государственной транспортной политики, отчетные и статистические данные Министерства транспорта РФ, ОАО «РЖД», Северо-Кавказской

железнодорожной дороги – филиала ОАО «РЖД», публикации ученых и специалистов железнодорожного транспорта, результаты авторских исследований.

Положения, выносимые на защиту:

1. Обосновано, что системный подход к исследованию и управлению ТС позволяет объединить производственные и исследовательские задачи, основные и вспомогательные производства, усилить адресную государственную поддержку. Функционирование ТС следует подчинить принципам сетевой организации и в качестве инструмента управления использовать саморегулируемые организации. Это позволит расширить арсенал применяемых подходов и методов исследования и управления ТС.

2. Доказано, что прогнозируемое техобслуживание (ТО) инфраструктурных объектов ТС требует взаимосвязанного развития:

- теории прогноза в условиях нестационарности функционирования объектов инфраструктуры транспорта и зашумленности данных;
- методов принятия решений в условиях высокой неопределенности и противоречивости интересов взаимодействующих сторон;
- подсистем и технологий мониторинга и диагностики объектов инфраструктуры.

3. Выявлена недостаточность традиционных методов исследования и управления транспортными системами и транспортным производством на современном этапе. Для адекватного и эффективного анализа и синтеза транспортных комплексов (ТК) требуется расширить арсенал методов исследования и управления, включив в него теории и методологии организационно-технологической надежности, морфологического анализа, теории ценозов, нечетких множеств, активных систем.

4. Обеспечение безопасности функционирования ТС предлагается реализовать посредством развития на базе цифровых и интеллектуальных технологий:

- информационной основы (баз данных и знаний) о состоянии объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта и среды их погружения;
- средств их мониторинга и диагностики;

- соответствующих технологий прогнозируемого технического осмотра и ремонта.

Научная новизна диссертационного исследования:

1. Развита необходимая категориальная аппаратура анализа и синтеза ТС и разработан подход к исследованию и управлению транспортными комплексами, основанный на процессной организации производства. В частности, предложены:

- математический инструментарий описания кругов Кналла развития транспортных комплексов, что позволяет определить схему и параметры управляющих воздействий, обеспечивающих заданный ритм развития ТС;

- механизм объединения основных производственных процессов и вспомогательных (мониторинг, диагностика, техобслуживание и ремонт объектов инфраструктуры ТС);

- развитая процедура прогнозируемого технического осмотра и ремонта, использующая методы предикативной аналитики.

Процессный подход интегрирует решение организационных, технических, технологических проблем ТС, объединяет отдельные процессы в самоорганизующийся организм, использует достижения цифровизации и интеллектуализации, что обеспечивает живучесть транспортных систем и их безопасность.

2. Предложен комплекс исследовательских процедур, обеспечивающих всесторонний анализ эффективности работы и безопасности ТС, включающий:

- систематизированное представление о ценологическом анализе транспортно-логистической деятельности и предложенные механизмы формирования оптимального (по совокупности заданных критериев) техноценоза;

- математическое описание процессного подхода, представленное двумя модельными конструкциями, основанными на методах теории массового обслуживания и методе взаимного учета экономических интересов субъектов перевозочного процесса;

- уточнённый метод морфологического анализа в рамках решения задачи обеспечения сложных транспортных процессов системами мониторинга и диагностики.

3. Разработан механизм согласования совместной деятельности параллельно функционирующих каналов транспортно-логистических цепей, дополняющий и развивающий известные методы теории активных систем. Метод использует стратегию рационального распределения заданий, предполагающую равенство штрафных коэффициентов для всех агентов ТС.

4. Развита математическая модель сети массового обслуживания для интеграции производственного процесса и процессов мониторинга, диагностики, обслуживания и ремонта.

5. Адаптированы к процессу функционирования ТС методы и средства теории организационно-технологической надежности, что обеспечивает повышение безопасности функционирования транспортных комплексов.

Теоретическая и практическая ценность научных результатов состоит в разработке моделей и рекомендаций по совершенствованию процессной организации транспортного производства России, обеспечивающих безопасность и эффективность деятельности ТС, возможности использования научного и методологического аппарата диссертационного исследования при организации фундаментальных исследований и НИОКР, практических работ по обеспечению своевременного диагностирования состояния объектов инфраструктуры ТС, а также в учебном процессе вуза.

Апробация работы. Основные положения диссертационного исследования докладывались на заседаниях кафедры «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте», семинарах РостФ АО «НИИАС», на международных и всероссийских научно-практических конференциях: «Транспорт» (Ростов-на-Дону, 2010, 2012, 2013, 2015 гг.); «Транспорт: наука, образование, производство» (Ростов-на-Дону, 2017, 2019 гг.); «Современное развитие науки и техники» (Ростов-на-Дону, 2017, 2020 гг.); «Проблемы управления безопасностью сложных систем» (Москва, 2019 г.);

«Интеллектуальные информационные технологии в технике и на производстве» (Сочи, 2021 г.); «МехТрибоТранс» (Ростов-на-Дону, 2021 г.).

Результаты работы (подтверждены актами внедрения) используются в РостФ АО «НИИАС», АО «ИГТ-ЮГ», а также в учебном процессе ФГБОУ ВО РГУПС.

В РостФ АО «НИИАС» внедрены механизм мониторинга состояния объектов инфраструктуры, основанный на моделях сетей массового обслуживания, математические модели процессов износа и диагностики объектов инфраструктуры, методы принятия решений о своевременном техобслуживании объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта, механизм оценки эффективности внедрения систем управления техническим состоянием объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта.

В АО «ИГТ-ЮГ» – проектно-процессный подход к организации перевозочного процесса используется при создании современных информационно-диагностических систем для железнодорожного транспорта и организации их информационного взаимодействия с системами ОАО «РЖД» верхнего уровня.

Публикации. Основное содержание диссертации и результаты исследования опубликованы в 20 научных работах общим объемом 8,21 п. л. (авторских – 4,8 п. л.), в том числе 5 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации, 2 статьи в зарубежных изданиях, индексируемых в международных базах данных.

Структура и объем работы определены целью и задачами, поставленными и решенными в ходе исследования. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка из 167 наименований и 5 приложений. Работа изложена на 164 страницах основного текста, содержит 28 рисунков, 12 таблиц.

1. ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

В разделе дана общая характеристика транспортной системы России, раскрыты предпосылки и условия ее инновационного развития, сформулирована авторская гипотеза совершенствования процедур исследования и управления транспортными системами.

В частности:

– исследованы состояние, организационно-экономические и технико-технологические аспекты, способствующие и препятствующие развитию транспорта России (п. 1.1);

– дан сравнительный анализ отечественного и зарубежного опыта обеспечения технико-технологической эффективности и безопасности ТС, проанализированы перспективы развития ТС России (п. 1.2);

– разработаны основные принципы инновационной организации ТС, основанной на реализации процессного подхода, использовании современных технологий математического моделирования, цифровизации и интеллектуализации (п. 1.3);

– сформулирована авторская гипотеза развития транспортных систем страны (выводы по главе).

1.1. Организационно-экономические, технико-технологические предпосылки и условия обеспечения эффективности и безопасности транспортных систем России

Состояние транспортной системы России на современном этапе.

Транспортная система России – одна из самых крупных и сложных в мире транспортных систем, характерными для нее являются следующие свойства и факторы влияния:

– Большие расстояния между хозяйствующими субъектами и сложные климатические условия осуществления перевозок грузов и пассажиров. Поэтому

большая часть грузоперевозок выполняется с помощью железнодорожных линий и трубопроводов.

– Высокоразвитая транспортная инфраструктура, состоящая из автомобильных дорог, железнодорожных путей, магистральных трубопроводов, линий авиасообщения, водных трасс, грузовых терминалов, транспортных средств.

– ТС России, привлекая десятую часть основных государственных фондов, выполняет третью часть всех услуг, оказываемых населению страны. При этом в непосредственную деятельность отрасли вовлекается более 4 млн человек.

– Труднодоступность целого ряда территорий снижает транспортную подвижность населения.

Транспорт занимает особое место в народном хозяйстве страны. Он обеспечивает экономическую целостность огромного государства, связывая все регионы страны в единое целое, и, таким образом, является основой национальной безопасности.

Об огромной важности этой отрасли экономики свидетельствуют основные показатели развития транспортного комплекса России (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Основные показатели развития ТК РФ 2018–2020 гг. ¹

Годы	Пассажирооборот млрд. пасс-км	Грузооборот млрд. т-км	Объемы перевозок, млрд. т
2018	594,8	2967,7	6,98
2019	635,5	2987,6	7,14
2020	352,3	2810,2	6,7

В указанный период введено дополнительно железнодорожных путей по годам: 2018 г. – 263,2 км, 2019 г. – 640,0 км, 2020 г. – 204,7 км. Вклад ТК в ВВП России колеблется в пределах 5,7–5,8 %, численность занятых в отрасли 4–4,5 млн чел.

¹ О промежуточных итогах деятельности транспортного комплекса в 2020 году. Е. И. Дитрих министр транспорта Российской Федерации. – URL: <https://docviewer.yandex.ru/view/541377918/?=icyxWdSTuuUvw%2FFEYTS8ogqkt7InVybcI6Imh0dHBzOi8vbWludHJhbnMuZ292LnJlL2ZpbGUvNDU0ODg1IiwidGI0bGU>

Остановимся подробнее на работе железнодорожного транспорта (ЖДТ) как исторически наиболее развитого вида отечественного транспорта. Протяженность железнодорожных путей в России составляет 121 тыс. км (третий показатель в мире после Китая и США). По уровню электрификации, превышающему 50 %, Россия занимает первое место в мире. Железнодорожный транспорт РФ осуществляет 35 % мирового оборота грузов и 18 % потока пассажиров, 85 % отечественных грузоперевозок. Структура пассажирооборота составляет 70 % на дальние расстояния и 30 % на пригородные и внутригородские сообщения.

Проблемы и перспективы развития транспортной системы России.

Наиболее значимыми проблемами транспортного развития страны являются:

- высокий износ основных производственных фондов;
- недостаточные объемы финансирования НИР, НИОКР, восстановления инфраструктуры, строительства новых трасс в Сибири и на Дальнем Востоке, приводящие к возникновению порочных кругов развития Кналла;
- слабое развитие логистики: структуры транспортных коридоров, технологий, технического обеспечения;
- несогласованность мер обеспечения безопасности различными транспортными структурами;
- негативное воздействие на окружающую среду.

Решение перечисленного комплекса проблем базируется на основополагающих документах: «Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года»² и федеральная целевая программа «Развитие транспортной системы России (2010–2020 годы)»³, предусматривающие:

- реформирование инфраструктуры транспорта с учетом современных технико-технологических требований и достижений;

² Утверждена Распоряжением Правительства РФ от 22 ноября 2008 г. № 1734-р.

³ Постановлением Правительства РФ от 20 сентября 2017 года № 1138 продлена до 2021 года.

- создание оптимальной логистической системы (расширение спектра услуг и повышение их качества) на основе учета потребностей всех пользователей;

- разработку нормативно-правовых актов, регламентирующих отношения заказчиков, потребителей и производителей транспортных услуг, обеспечивающих доступность отраслевых услуг;

- развитие транзитных возможностей страны, превращающих Россию в крупнейшего игрока рынка транспортных перевозок и интегрирующих ее в международный экономический рынок;

- снижение неблагоприятного экологического давления на окружающую среду;

- совершенствование систем транспортной безопасности до уровня мировых требований.

Для реализации намеченных мер необходимо проведение совокупности организационных, экономических мер, управляемых из единого координационного центра. В частности, следует наладить эффективные взаимодействия между:

- органами государственной власти, транспортными предприятиями и частным сектором (регламентация вертикальных отношений);

- транспортными предприятиями внутри общегосударственной транспортной системы (регламентация горизонтальных отношений).

Первые результаты на этом пути уже получены на всех видах отечественного транспорта:

- реконструированы десятки тысяч километров автомобильных дорог;
- на 40 % вырос грузооборот ЖДТ;
- восстановлены взлётно-посадочные полосы на 25 аэродромах;
- построено 10 терминалов;
- на 50 % вырос объём перевозок морского транспорта.

Важным интегральным показателем развития любой хозяйственной системы является индекс развития ее инфраструктуры.⁴ Для расчета такого индекса используются статистические данные, качественно и количественно характеризующие все аспекты исследуемой инфраструктуры, на основании чего и выводится интегральный показатель (индекс). Он показывает уровень развития основных фондов хозяйствующего субъекта. Методика расчета предполагает, что максимально возможное значение такого индекса равно 10.

Проанализируем с помощью этого индекса отраслевые инфраструктуры России. В 2019 году среднее значение индекса по стране было равно 5,61. В течение 2019 года уменьшился на 0,03 пункта только средний индекс развития телекоммуникационной инфраструктуры. Остальные отрасли (четыре из пяти оцениваемых) за год улучшили свои показатели. В социальной и энергетической инфраструктуре индекс увеличился соответственно на 0,08 и 0,07 пункта. В транспортной инфраструктуре среднее значение индексов увеличилось на 0,02 (с 3,21 до 3,23), а в коммунальной – на 0,03 пункта.

Увеличение среднего значения индекса развития транспортной отрасли произошло в основном за счет роста показателей в инфраструктуре воздушных перевозок (вырос на 0,14 пункта до 1,34). При этом показатели в автодорожной сфере снижались, а в железнодорожной сфере оставались неизменными (средний субиндекс равен 1,10).

Вместе с тем из трех основных транспортных сфер наиболее развитыми по-прежнему оставались автомобильные дороги (по абсолютному значению индекса). Поскольку средний по стране субиндекс по автомобильным дорогам за год снизился на 0,04 (до 4,97), это позволяет сделать ряд выводов:

- комплексный план развития автомобильных систем эффективно не работает;
- проведенных в рамках национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» мероприятий пока недостаточно, чтобы переломить ситуацию.

⁴ Индекс развития инфраструктуры России 2020. – URL: https://infraone-research.ru/index_id/2020.

Проведенный анализ показывает, что современный транспортный комплекс находится под воздействием противоречивых тенденций. Ситуация усложняется тем, что транспорт находится в зависимом положении от иных отраслей народного хозяйства страны (тенденции развития экономики страны сразу сказываются на развитии транспортной отрасли). С другой стороны, транспорт, участвуя в процессе воспроизводства, выступает важной составной частью системы экономических отношений.

Последнее обстоятельство свидетельствует о том, что безопасность транспортного комплекса является важным условием экономической безопасности страны на всех уровнях.

Характеристика железнодорожного транспорта России (выделяется в общем анализе транспортных проблем в силу особой важности этой подотрасли). Железнодорожные транспортные системы в России характеризуются рядом особенностей:⁵

- ЖДТ страны для большинства крупных российских предприятий является основным и безальтернативным поставщиком транспортных услуг;
- ЖДТ осуществляет 42 % общего грузооборота в России;
- скорость доставки грузов в среднем в 3 раза ниже, чем в Европе, что свидетельствует о слабости логистической составляющей;
- производительность труда в 8–10 раз ниже, чем в ведущих странах мира (в силу наличия целого комплекса нерешенных проблем: организационных, кадровых, научно-образовательных);
- средний износ основных фондов ЖДТ составляет 55 % (для грузовых вагонов – 87 %).

В настоящем исследовании предлагается комплекс мер для преодоления сложившейся негативной ситуации:

- совершенствование логистики на основе процессного подхода и внедрения новых технологий управления;

⁵ Доклад В. А. Липидуса на заседании Объединенного ученого совета ОАО «РЖД» 25 ноября 2010 г.: «О возможностях повышения эффективности транспортной системы ОАО «РЖД» на основе современных принципов управления качеством и издержками».

– активная разработка и ускоренное (совмещенное с производством) внедрение инновационных технологий на основе интеллектуализации и цифровизации производства транспортных услуг;

– объединение базовых и вспомогательных производств (мониторинг, диагностика, техническое обслуживание и ремонт объектов инфраструктуры ЖДТ);

– государственная поддержка научно-образовательного сегмента транспорта (для опережающего развития инноваций) и восстановления основных фондов ЖДТ.

Организационно-экономическая, технико-технологическая политика развития железнодорожного транспорта в России определяется холдингом ОАО «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД»). ОАО «РЖД» – это российская, государственная компания, важнейший оператор российской сети железных дорог. Компания владеет инфраструктурой общего пользования, значительной частью подвижного состава [6].

ОАО «РЖД» в числе первых трех крупнейших транспортных компаний мира и это крупнейший работодатель в России. Например, в 2018 году компания насчитывала 737 тыс. сотрудников. Это 1,2 % от общего числа занятых в экономике России.

В анализируемом 2018 году компания занимала:

- первое место по безопасности движения, энергетической эффективности и защите окружающей среды;

- второе место по грузообороту в мире;

- четвертое место – по пассажирообороту.

Холдинг осуществляет транспортное обслуживание в 77 субъектах РФ (из 85). В 2017 году вклад «РЖД» в ВВП России составил 1,4 %, его доля в российских инвестициях – 3 %, в транспортных инвестициях – 13,3 %.

Холдинг перевозит более 27 % пассажиров в стране и более 45 % грузов (без учета трубопроводного транспорта – 87 %).

По объему выручки ОАО «РЖД» в 2017 году занимало 5-е место в рейтинге крупнейших компаний России. По грузообороту железные дороги России уступают только трубопроводному транспорту в соотношении 45 % против 48 % от всего грузооборота [152].

Подводя итог, следует констатировать, что на железных дорогах России в целом, и в ОАО «РЖД» в частности накопилось немало задач, требующих безотлагательного решения. К основным (системным) проблемам подотрасли относятся следующие:

1. Износ и моральное старение объектов инфраструктуры ЖДТ (59 % – средний износ основных фондов, и более 80 % – по тепловозам и грузовым вагонам).

Этот факт актуализирует задачу разработки средств и методов мониторинга и диагностики объектов инфраструктуры ЖДТ, согласования интересов различных хозяйствующих субъектов холдинга (см. п. 2.3, 2.4, 3.2).

2. На ряде важнейших участков транспортных магистралей сложилась критическая ситуация по пропускной способности. «Узкие места» общей протяженностью около 8 тыс. км составляют почти 30 % основных грузонапряженных направлений сети железных дорог.

То есть, развитие транспортной логистики становится одной из первоочередных задач. Ею актуализируется разработка схем и методов организации взаимодействия ТС (см. п. 2.2, 3.2, 3.3).

3. Недостаточное транспортное обеспечение многих регионов России (см. Приложение 1).

То есть, в настоящее время средствами ЖДТ не обеспечивается связность регионов и региональных экономик. В этой связи актуализируется анализ региональных экономик и транспортных комплексов с точки зрения кластерного и ценологического анализов (см. Приложение 1 и п. 3.3).

4. Критическое отставание российских инновационных разработок в транспортной сфере от уровня передовых стран мира объясняется сравнительно низким уровнем соответствующих инвестиций и неэффективным

использованием интеллектуального потенциала отрасли (транспортные вузы сосредоточены на образовательной деятельности и вносят малый вклад в научные разработки).

Необходимо:

– *разорвать негативные круги развития отечественного ЖДТ (см. ниже). Очевидно, что механизмы позитивного развития невозможны без активного участия государства при выходе на траекторию самодостаточного и эффективного развития отрасли;*

– *разработать комплекс средств и методов мониторинга и диагностики объектов транспортной инфраструктуры (гл. 4).*

5. Совершенствования требуют не только связь науки и транспортного производства, но также:

- координация сочетанного развития всех видов транспорта;
- взаимодействие транспорта со смежными отраслями (отечественным машиностроением, приборостроением, связью и пр.).

Пятый пункт также свидетельствует о необходимости ценологического анализа, развития и внедрения механизмов процессного подхода и единого координационного центра, за основу можно принять ЕСТП (см. Приложение 3, п. 2.2, 2.5, гл. 3).

6. Несогласованность действующей системы прав, обязанностей и ответственности по всей логистической цепи движения грузов и пассажиров.

В этой связи президент, правительство РФ, руководство ОАО «РЖД» принимают ряд мер и разрабатывают эффективные программы для развития железнодорожного транспорта [6, 73, 111, 113, 123].

Рассмотрим организационно-экономические предпосылки развития транспортного комплекса России, опираясь на так называемые круги Кналла [105]. В традиционной постановке круг Кналла, описывающий исследуемую проблемную ситуацию, например, зависимость экономики хозяйствующего субъекта от степени развитости систем мониторинга и диагностики (СМД) его производства, будет иметь вид, представленный на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Порочный круг Кналла негативного развития ХС

Аналогичные круги Кналла можно сформировать и по другим аспектам деятельности транспорта. Круг Кналла описывает сложившуюся положительную обратную связь в системе, ведущую к ее деградации. Анализ всех влияющих на ситуацию факторов должен позволить выявить слабое звено, разорвав которое можно стабилизировать ситуацию, а затем обратить ее развитие в позитивном направлении.

Технико-технологические предпосылки инновационного развития транспорта в соответствии с вышеуказанными документами основываются на развитии методологии и инструментария исследования и управления транспортом, а также на основе цифровизации и интеллектуализации ТС.

Цифровизация транспортного комплекса страны *способствует обеспечению следующих возможностей:*

- рост экономической (снижение издержек) и производственной (оптимизация логистических операций, увеличение объемов грузо- и пассажироперевозок) эффективности перевозок;
- рост производительности и качества труда в отрасли;

- создание новых сервисов и, как следствие, повышение качества предоставляемых транспортных услуг;
- повышение прозрачности и конкурентоспособности рынка транспортных услуг;
- увеличение загрузки инфраструктуры;
- повышение надежности и безопасности перевозок;
- улучшение транспортной инфраструктуры;
- рост качества управленческих решений;
- повышение эффективности регулирования рынка транспортных услуг.

Вместе с тем цифровизация таит в себе *явные и скрытые угрозы*:

- повышение зависимости от иностранных технологий (при отсутствии отечественных разработок проблема импортозамещения на транспорте остается актуальной);
- монополизация управленческой деятельности транспортом, в общем, и собственно цифровой инфраструктуры, в частности (что снизит управляемость ТС страны);
- снижение полноты и качества контроля над деятельностью ТС за счет перехода его под автоматическое управление цифровыми платформами;
- утечка конфиденциальных данных транспортных предприятий;
- возможности для развития киберпреступности на транспорте.

1.2. Анализ отечественного и зарубежного опыта обеспечения технико-технологической эффективности и безопасности транспортных систем

Мировой опыт обеспечения эффективности и безопасности транспортных систем. Как отмечалось выше (см. п. 1.1), основные результаты в повышении эффективности и безопасности ТС связываются в настоящее время в мире с цифровизацией и интеллектуализацией ТС, то есть с созданием интеллектуальных ТС (ИТС). Полный анализ ИТС не ставился целью данной

работы. Рассмотрим на конкретных примерах те ИТС, которые близки к теме нашего исследования⁶, то есть посвящены:

- проблемам организации единого транспортного процесса страны;
- оптимизации взаимодействия ТС;
- мониторингу, диагностике объектов транспортной инфраструктуры, управлению ТС.

Разработанная в *Италии* система осуществляет автоматизированный мониторинг движения автотранспорта и управление его движением. Эта система интегрирована с системой Telepass, которая осуществляет автоматизированный сбор платы за проезд.

Во *Франции* создана система информирования участников дорожного движения об изменении дорожно-транспортной ситуации в реальном времени. Система иллюстрирует успешное государственно-частное партнерство правительства Франции, правительств различных департаментов и двух частных операторов. Специальные табло отражают сведения о состоянии транспортной системы и прогнозируемом времени проезда пассажиров до населенных пунктов, находящихся по маршруту следования.

Для обнаружения перегруженных транспортных средств в *Чехии* создана и успешно функционирует система учета и динамического взвешивания транспортных средств. Ее главное предназначение состоит в защите дорожной сети от повреждений. Система собирает и обрабатывает статистические данные о транспорте, использующем чешские дороги. Структурно система состоит из видеокамер, динамических весомеров, блоков оценки, классификаторов транспортных средств. Видеокамеры идентифицируют регистрационные номера проезжающего транспорта. По мобильной связи полученная системой информация передается в пункты повторного взвешивания и в подсистему анализа дорожной обстановки.

⁶ Мировой опыт внедрения и развития ИТС // сайт: Федеральное казенное учреждение дороги России.
URL :<http://www.dorros.ru/its-2/mirovoj-opyt-vnedreniya-i-razvitiya-its> (дата обращения 05.07.2021)

Интеллектуальные системы управления автомагистралями в *Германии* установлены на 3200 км федеральной дорожной сети. Так, например, на федеральном автобане А9 установлена автоматизированная система управления дорожным движением (АСУДД). Внедрение АСУДД на А9 позволило:

- снизить количество ДТП на 35,9 % и в этой связи существенно сократить материальные потери, связанные с ДТП (на 34,4 % снизилось количество ДТП с пострадавшими);
- увеличить среднюю скорость движения по автобану и сократить простои;
- снизить эксплуатационные затраты на движение (расход топлива, износ дорожного полотна);
- уменьшить экологическое давление на среду (сократить выбросы выхлопных газов).

Дорожные информационные табло рекомендуют оптимальные маршруты движения. Собственно управление транспортными потоками обеспечивается знаками и табло переменной информации, многопозиционными указателями, регулирующими движение по полосам, на въездах-выездах на автомагистраль.

ИТС *Великобритании* вводится для обеспечения приоритетного проезда автобусов через светофоры и введение платного въезда частного транспорта на загруженные городские территории.

В *Финляндии* ИТС ориентированы на метеомониторинг погодных условий. С помощью 400 дорожных метеостанций и 300 погодных видеокамер осуществляется мониторинг состояния дорожного покрытия, температуры воздуха и поверхности дороги, ветровая нагрузка на автотранспорт. Распределенная система мониторинга в реальном масштабе времени *информирует* участников дорожного движения об обстановке, передавая необходимые сообщения на специальные дорожные табло и по радиосвязи в диапазоне АМ или FM.

В *Южной Корее* разработана и внедрена общегородская система управления дорожным движением. Система объединяет все сервисы в едином

информационном центре управления транспортом на обновленной технической базе с использованием современных цифровых и интеллектуальных технологий. Ранее они предоставлялись разными центрами.

Система позволяет определять автомобильные заторы, осуществлять контроль состояния дорожного движения, предоставлять информацию о дорожном движении в реальном времени. Система охватывает 450 дорог и 3000 перекрестков, используя более 700 камер видеонаблюдения, установленных по всему городу.

Высокая загруженность дорог *в Кумае*, ограниченные возможности нового строительства ориентируют соответствующие ИТС на решение проблем транспортных пробок.

В *Сингапуре* создана электронная система управления движением, использующая экономические критерии. В критических точках Сингапура установлены специальные арки для оплаты проезда. Стоимость проезда под ней варьируется в зависимости от времени суток, загруженности территории, типа автотранспортного средства. Система позволяет автовладельцу выбрать маршрут. При этом плата снимается с карты автоматически.

Система уже показала хорошие результаты в эксплуатации: снижение трафика на 25 000 автомобилей в пиковые часы; увеличение средней скорости движения на 20 км/ч. Получен экономический эффект более 40 млн. долларов.

Остановимся подробнее на интеллектуально функционирующих системах ЖДТ мира. В их составе особое внимание уделяется системам обеспечения безопасности движения поездов, в частности системам интервального регулирования движения поездов (СИРДП). СИРДП с автоматическим контролем скорости разрабатываются двух видов: системы автоматической локомотивной сигнализации точечного (АЛСТ) или непрерывного типа (АЛСН).

Во *Франции* СИРДП осуществляют управление движением поездов из единого центра. В их функционал входит контроль над движением поездов, диагностика состояния объектов инфраструктуры и дистанционное управление движением.

Железные дороги Германии и Австрии оснащены системами АЛСН, которые обеспечивают:

- оптимизацию скорости движения поезда за счет введения динамической модели текущей поездной ситуации;
- непрерывный контроль и автоматическое управление движением;
- диагностику инфраструктуры, своевременно обнаруживая ошибки, локализуя их и компенсируя их влияние.

В *Италии* на скоростных магистралях используется вторая несущая частота. За счет этого число команд АЛСН увеличено с 4 до 9. Исчезновение одной частоты вызывает переход с 9-кодированного режима на 4-кодированный, что повышает безопасность движения.

На государственных железных дорогах Финляндии и на железных дорогах Норвегии аналогично предусмотрено дублирование каналов передачи данных. Два вида телеграмм обрабатываются соответственно двумя программами. При идентичности информации соответствующий сигнал передается на управляющие устройства.

Для обеспечения высокой безопасности и надежности работы системы на испанской скоростной железнодорожной магистрали Мадрид – Севилья управляющая система (и на пути, и на локомотиве) использует мажоритарный принцип «два из трех». Решающее устройство работает по трем каналам одновременно и выдает команду, если решения двух из трех контроллеров совпали.

В Евросоюзе с 2004 года все новые и реконструируемые железные дороги обязательно оборудуются Европейской системой управления поездами (ETCS). Бортовая аппаратура ETCS реализует следующие функции:

- управление движением состава (разгон, торможение), с отображением информации на пультах управления машиниста и оператора;
- измерение параметров движения (пути, скорости, времени и т.д.) с ведением протоколов режимов движения.

На японских высокоскоростных железных дорогах системы АЛС непрерывного типа с тройным резервированием значительно повысили достоверность передачи информации. Это позволило сократить длину стандартного блок-участка до 1,2 км.

В США системы АЛС используются на линиях со скоростями выше 160 км/ч.

Российский опыт внедрения инновационных транспортных систем.

В своем докладе о планах трансформации транспортного комплекса Е. И. Дитрих (министр транспорта России с мая 2018 г. по ноябрь 2020 г.) обозначил актуальные задачи его развития:

1. Формирование единого цифрового пространства взаимодействия всех участников отрасли (на разных уровнях управления и различных секторах транспортного обслуживания). Все массивы данных и все оказываемые *сервисы* должны быть охвачены единой цифровой платформой транспортного комплекса. Платформа устанавливает единые стандарты информационного обмена, правила и регламенты транспортного обслуживания.

2. Переход на абсолютное цифровое управление в сфере грузоперевозок. Его функционал включает:

- создание платформенных решений для выполнения *бесшовных перевозок* различными видами транспорта;
- организацию мультимодальных грузовых перевозок;
- качественное оформление и сопровождение грузов с использованием современных цифровых информационных технологий (блокчейн, Data Mining, Big Data и т. п.).

3. Организация мультимодальных пассажирских перевозок, обеспечивающих провоз грузов по оптимальному маршруту «от двери до двери», используя различные виды транспорта. Особое внимание при этом уделяется уровню комфорта и безопасности.

4. Развитие беспилотного транспорта. Предполагается расширение и сферы его применения (в сельском хозяйстве, на стройках, на транспорте), и собственно парка беспилотников.

В настоящее время транспортный комплекс РФ уже приступил к реализации масштабных проектов по созданию информационно-управляющих систем нового поколения.

К ним относятся:

1. Единая государственная информационная система обеспечения транспортной безопасности (ЕГИС ОТБ), контролирующая пассажирские перевозки с детальностью до конкретного транспортного средства и пассажира. ЕГИС ОТБ поэтапно внедряется уже с 2013 года.

2. Государственная автоматизированная информационная система «ЭРА-ГЛОНАСС» и система «Платон». Эти системы развивают сервисы, которые позволяют собирать, сохранять и обрабатывать большие массивы неструктурированных данных (Big Data).

3. В системе «Аэрофлота» уже разработано несколько базовых платформ:⁷

- система управления предприятием SAP ERP;
- программа Lufthansa Systems, позволяющая осуществлять биллинг (защищенный перевод денег потребителя на лицевой счет компании);
- система Sabre, которая позволяет выполнять бронирование билетов;
- система AMOS, предназначенная для технического обслуживания и ремонта воздушных судов с целью поддержания их летной годности. Система позволяет воздушным судам длительное время находиться в воздухе с контролем всех летных параметров (не менее 12 часов).

Для бортпроводников запатентованы две отечественные наработки:

1) мини-айпад старшего бортпроводника, с отображением информации об особенностях полета и обо всех пассажирах (стыковки их рейсов, количество

⁷ Из сообщения генерального директора ПАО «Аэрофлот» В. Савельева на совещании о цифровой трансформации транспортного комплекса.

детей на борту самолета, заказанное питание, сложности, возникшие при их обслуживании);

2) монитор руководителя полетов, на котором постоянно отображается более 500 показателей. Эта информация доступна более чем для 100 топ-руководителей «Аэрофлота».

«Аэрофлот» уже несколько лет занимается технологиями искусственного интеллекта. Следует отметить несколько аспектов:

– использование Big Data для определения оптимального ценообразования пассажиропотоков позволяет регулировать потоки пассажиров, разгружая пиковые ситуации;

– организация предиктивных ремонтов воздушных судов и летного оборудования;

– внедрение интернета вещей в процесс обслуживания воздушных лайнеров. Все самолёты по спутниковой связи в реальном времени передают данные о своем техническом состоянии в воздухе. Наземные службы готовят запчасти, место в ангаре, чтобы быстро обслужить самолет и сократить время его простоя.

Цифровая трансформация «Аэрофлота» уже дала свои результаты.

В 2009 г. «Аэрофлот» занимал 68-е место в мире и 15-е место в Европе по перевозкам пассажиропотоков. Сегодня у него соответственно 19-е и 5-е места.

По мировым меркам, на каждый миллион перевезенных пассажиров в компании должна быть тысяча сотрудников. «Аэрофлот» осуществляет эту же работу с помощью менее 700 сотрудников.

Уровень цифровизации компании в 2009 году составлял всего лишь 35 % (не имелось даже внутренней корпоративной почты), а сейчас весь документооборот осуществляется с использованием цифровой подписи.

«Аэрофлот» входит в пятерку мировых лидеров по пунктуальности перевозки пассажиров.

В перспективе «Аэрофлот» планирует:

– по примеру крупнейших авиакомпаний мира внедрить 3D-печать в самолетостроении (Airbus, Boeing уже более 10 % запасных частей и комплектующих делают на 3D-принтере);

– создать «умные» терминалы в аэропорту (по примеру Гонконга).

4. В РФ в соответствии с мировыми тенденциями постоянно расширяется сфера применения беспилотных летательных авиационных систем (БАС), их парк растет ускоренными темпами,⁸ что требует усиления внимания к системе контроля над использованием БАС.

Силами ФГУП «ЗащитаИнфоТранс» осуществляется создание единой системы контроля, учета и регистрации БАС в РФ. Синтезируемая система включает: учет и регистрацию БАС; создание клиенто ориентированных интерфейсов; наблюдение и обеспечение безопасности (в том числе кибербезопасности) в связи с деятельностью БАС; обучение и взаимодействие с заинтересованными ведомствами по всему спектру вопросов.

Единая система контроля БАС – составная часть Единой государственной информационной системы объектов транспортной безопасности (ЕГИС ОТБ). «ЗащитаИнфоТранс» является оператором ЕГИС ОТБ и участвует в реализации всей цифровой вертикали трансформации транспорта.

Единая система контроля БАС формируется на основе государственно-частного партнерства. Кроме собственных средств госкорпорации привлекаются средства крупных инфраструктурных инвесторов.

В исследовании [55] систематизированы принципы создания и функционирования интеллектуальной системы диспетчерской централизации, включающей принцип прогнозируемого начала и окончания технологических операций. Система моделирует варианты графика движения поездов, согласовывает их с машинистом (и/или диспетчером). Критерием выбора является требование минимального расхода энергии при выполнении заданного графика проследования координат пути.

⁸ Из выступления И. Моисеенко, генерального директора Государственной корпорации по организации воздушного движения в Российской Федерации.

В [32] предлагается принципиально новый подход к решению задач оперативного планирования маршрутов и порядка следования поездов в системах диспетчерского управления и централизации, основанный на использовании эволюционных темпоральных моделей. Рассматривается новый класс эволюционных алгоритмов, реализуемых на принципах управляемого случайного поиска с запретами. Приводятся теоретические обоснования предлагаемых методов и их преимуществ перед известными подходами, основанными на методах эволюционного моделирования.

В работе [3] повышения надежности, снижения потерь при организации перевозки пассажиров и грузов, *технологическом обслуживании и ремонте устройств*, предлагается осуществить посредством внедрения цифровых технологий. В частности, автор цитируемой работы определяет место и сущность в цифровой экономике транспорта таких технологий, как управление сервисами, интернет вещей, технологии обработки больших данных, высокоскоростные системы передачи данных и др.

С 2010 года на ЖДТ разрабатывается методология RAMS, аббревиатура которой означает обеспечение безотказности (Reliability), готовности (Availability), ремонтпригодности (Maintainability) и безопасности (Safety). Основной принцип этой методологии – обеспечение безопасности и надежности на всех этапах жизненного цикла объекта инфраструктуры ЖДТ (собственно принцип процессного подхода, реализованный в данной задаче).

Недостатки существующей версии RAMS (требующие совершенствования):

- не решает всего спектра задач управления надежностью и безопасностью движения;
- не соответствует российским стандартам по долговечности оборудования;
- не учитывает влияние человеческого фактора, как со стороны управления, так и со стороны пользователя транспортными системами;

– не управляет затратами на содержание и модернизацию объектов инфраструктуры на всех этапах жизненного цикла.

Это явилось основой трансформации методологии RAMS в систему управления ресурсами, рисками и надежностью объектов железнодорожного транспорта на этапах жизненного цикла (УРРАН) [117, 151].

УРРАН «уходит» от частных показателей надежности и безопасности отдельных технических средств (как это сделано в RAMS) к системным показателям эксплуатационной деятельности компании и её подразделений, в целом.

УРРАН содержит методики учета рисков перевозочного процесса. Они оптимизируют управление инвестициями в хозяйствах компании. Система УРРАН внедрена на всех железных дорогах ОАО «РЖД».

Директор по информационным технологиям ОАО «РЖД» Е. Чаркин отметил: «В конце октября 2019 года была утверждена стратегия цифровой трансформации ОАО «РЖД», взаимоувязанная с долгосрочной программой развития компании до 2025 года, как по срокам, так и по объемам финансирования и эффективности. Согласно этой стратегии, будут разработаны 8 платформ, затрагивающих пассажирские и грузовые перевозки, транспортно-логистические узлы, управление производственными процессами (тяга, инфраструктура) и т. д., в общей сложности 55 проектов, часть из которых уже в действии». ⁹

В ОАО «РЖД» эффект от цифровизации до 2025 года составит 153 млрд руб., а косвенный эффект для экономики всей страны – 400 млрд руб.

В настоящее время цифровые и интеллектуальные технологии активно внедряются на ЖДТ России. Так, например, до 2025 года при внедрении платформы «Тяговый подвижной состав» техническое зрение отечественной разработки будет установлено на 12 тыс. локомотивах, что увеличит пропускную способность железной дороги на 15–20 %. Аналогично в проекте «Грузовой

⁹ Транспорт России // Сайт «Цифровая трансформация». – URL: <https://transportrussia.ru/item/5388-tsifrovaya-transformatsiya.htm> (дата обращения: 02.07.2021).

скорый» техническое зрение поможет машинисту добиться увеличения скорости не менее чем на 10 %. Эти технологии имеют серьезные экспортные перспективы и активно продвигаются на внешний рынок.

В ОАО «РЖД» пользуются спросом ERP-системы, отвечающие за финансово-экономический блок и управление персоналом. В настоящее время в компании разрабатывается аналогичная система российской разработки. Эта разработка отвечает требованиям идеологии импортозамещения и будет учитывать российские реалии транспортного обслуживания. Ожидается, что через 3–5 лет она повысит конкурентоспособность «РЖД». Ее создание предусматривает государственно-частное партнерство.

В заключение раздела хотелось также отметить исследования, проводимые Российским федеральным ядерным центром и ВНИИЖТ по совместной разработке в области диагностики и мониторинга объектов инфраструктуры (см. Приложение 1).

1.3. Основные принципы инновационной организации взаимодействия железнодорожных транспортных систем

Эффективность и безопасность деятельности ТС страны определяются многими факторами: перспективными задачами российской экономики, ее позицией на мировом рынке транспортных услуг, текущим состоянием инфраструктуры транспорта, степенью развитости техники и технологий транспорта и пр. Ниже прокомментированы аспекты, наиболее актуальные в настоящий момент времени: организационно-экономические предпосылки развития отрасли, перспективы её модернизации в новых условиях хозяйствования.

До настоящего времени вопросы эффективности и безопасности «РЖД» рассматривались в широком русле проблем, но в каждом случае в достаточно узком спектре интересов [1, 18–20, 46, 66, 67, 74, 75, 115, 159].

Например:

– эффективность понимается в основном в разрезе производственных показателей деятельности предприятий (объемы погрузки, выгрузки грузов, средние скорости движения по участку, время доставки грузов и т. п.);

– оценка безопасности сводится в основном к анализу технико-технологических параметров (число сбоев оборудования, количество нарушений технологической дисциплины и т. д.);

– в качестве инструментов исследования транспортных комплексов используются специализированные для задач ЖДТ методы и технологии (погрузки-выгрузки, сортировки составов, продвижения по участкам, транспортно-логистического обслуживания и т. д.) и игнорируются общесистемные подходы и методы;

– управление формируется, как правило, в рамках технологических процессов (без привязки к организации, экономике, современным математическим конструкциям).

Недостатки такого подхода состоят в следующем:

1) нет полной картины состояния объекта исследования, анализируются частные задачи;

2) существующие критерии оценивают работу «по результату», факторы управления процессом не являются аргументами принятия решений по организации перевозочного процесса;

3) критерии оценки деятельности недостаточно формализованы, что сдерживает применение хорошо отработанных формализованных процедур для анализа и управления перевозочным процессом.

Этот факт уже нашел свое освещение в ряде работ по исследованию безопасности сложных систем на транспорте.

Например, авторы [86] разрабатывают комплексный подход к обеспечению информационной безопасности в ИСУЖТ. Такой подход реализуется в рамках синтезируемой подсистемы информационной безопасности, включающей:

1) комплексный анализ структуры и функций защищаемой системы. Анализ позволяет синтезировать оптимальный состав мер и средств защиты информации с позиции различных критериев: функциональности, полноты и эффективности (стоимость, время реагирования и т. д.);

2) сочетанное и согласованное использование различных видов защиты: организационных, технических, программных;

3) включение нескольких контуров защиты информации в ИСУЖТ (внешнего и внутреннего). Резервирование механизмов обеспечивает их действенность (минимизация рисков, повышение надежности).

Подход, разработанный авторами [15], предлагает аналогичные принципы управления рисками, ориентированные на интеллектуальные системы автоматизации. А именно:

- экономическая целесообразность принимаемых решений;
- согласованность управления рисками с корпоративной стратегией интеллектуализации деятельности автоматизации организации;
- учет объективных характеристик окружающей среды – среды погружения интеллектуальной системы;
- адаптивность (корректировка принципов и методов управления) процедуры управления рисками на основе анализа эффективности ранее принятых решений.

Авторы цитируемой работы ставили цель оценки безопасности программного обеспечения ИСУЖТ вследствие необходимого его изменения и обновления. Предложен подход, включающий организационный и вычислительный этапы анализа изменения надежности ПО. Создана гибридная структура ИНС оценки надежности ПО параметрическим и непараметрическим способами.

Таким образом, необходимо расширить и формализовать перечень критериев эффективности и безопасности, отразив не только производственные, но и экономические, организационные, социальные аспекты. Иными словами, обеспечить системный подход к анализу и синтезу транспортных систем.

Также следует поставить критерии функционирования ТК в зависимость от управляемых факторов, разработать модели их взаимосвязи. Это позволит прогнозировать эффективность и безопасность ТК и управлять ими.

В данной работе предлагается усовершенствование этого подхода применительно к ОАО «РЖД», в котором экспертным путем фиксируется проблемная зона, место приложения усилий по нормализации ситуации (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Порочный круг Кналла, характеризующий развитие ТС

При устранении причин деградации системы она стабилизируется и способна на позитивное развитие. Проиллюстрировать этот процесс (круг позитивного развития) для задачи синтеза технологий и систем мониторинга и диагностики можно рисунком 1.3.

Господдержка, которая может осуществляться в любой форме, создает дополнительный ресурс для развития. Такими формами являются финансирование инновационных проектов, ослабление налоговой нагрузки, облегчение механизма функционирования, организация предприятий с государственным участием, государственно-частное партнерство и пр. меры.

Наиболее действенных результатов можно достичь при одновременном использовании нескольких форм поддержки.

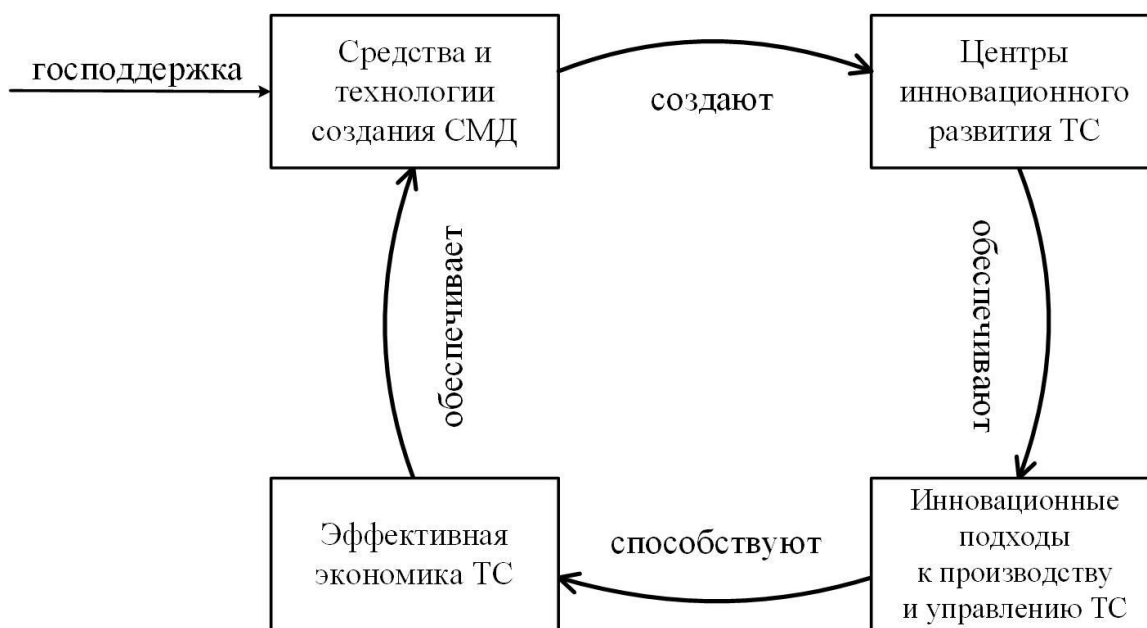


Рисунок 1.3 – Круг позитивного развития ТС

Для ХС, в качестве которых могут выступать отдельные ТС или ОАО «РЖД» в целом, в [110, 164] определен ряд категорий (понятий), используемых в дальнейшем исследовании.

1. Вводятся понятия **технологической эффективности и технологической безопасности** ТС как функции от управляемых параметров технологического процесса.

2. **Экономическая безопасность** ТС считается реализованной, если ТС находится в диапазоне значений управляемых параметров и получает прибыль от своей деятельности.

Обеспечению экономической безопасности ТС отрасли способствуют:

- создание реально функционирующего ЕСТП с центром, контролирующим взаимодействие ТС по всем ключевым аспектам (безопасность, эффективность (экономическая, производственная), качество предоставляемых транспортных услуг);

- кластерно-ценовая организация экономики регионов (п. 3.3);

- организация взаимодействия ТС на основе метода взаимного учета производственных возможностей субъектов перевозочного процесса (п. 3.2.1);
- согласование интересов ХС (ТС) – разного и одного уровня управления (п. 3.2.2);
- самоорганизация производства транспортных услуг на разных уровнях: СРО – на мезоуровне, мультиагентная система, интернет вещей – на уровне транспортного предприятия (п. 3.3).

Роль и значение транспорта формулируется в политических, экономических, социальных категориях и координатах, а ключевые решения транспортных проблем видятся в сфере его организации и управления [16, 26, 38, 45, 54, 72, 88, 89, 91, 167]. В этой связи необходимо рассмотреть базовые аспекты теории организационного управления с точки зрения их математического моделирования (подробнее см. гл. 2).

1. Ценологическое направление [27, 63, 64]. Если ТС включена в технико-технологический или социально-экономический ценоз, то ей определено ее «комфортное» место в этом ценозе (защищенное от внешних воздействий и понятным трендом развития внутри ценоза).

2. Саморегулируемые организации транспорта [5, 7]. В СРО управление отношениями субъектов строится не на административных механизмах, а с помощью самоорганизации. Очевидно, что субъекты, составляющие СРО, должны взаимодействовать на основе механизмов мультиагентных систем (см. п. 3.2).

Необходимость перехода к новым формам взаимодействия ТС очевидна. Она обеспечивает устойчивость функционирования, прогнозируемость деятельности, снижение рисков бизнес-деятельности. Однако при этом есть и негативные проявления для отдельных хозяйствующих субъектов: снижается степень их экономической свободы, в некоторой части усложняются процедуры взаимодействия.

Внедрение новых организационных конструкций, таких как сетевая организация взаимодействия ТС, саморегулирующиеся организации,

транспортный ценоз, формирует синергетический эффект в деятельности ТС отрасли. Это повышает их конкурентоспособность и эффективность.

Обозначенный эффект усиливается при кластерной организации экономики региона, в которой ТС являются связующей составной частью [91] (подробнее см. п. 3.3).

Традиционно эффективность и безопасность на ЖДТ рассматриваются вне тесной связи друг с другом (это зоны ответственности различных ведомств). Кроме того, как правило, эти исследования направлены на отдельные технико-технологические устройства и подсистемы – транспортный комплекс в целом не рассматривается. И, наконец, третья важная особенность: эти исследования носят статичный характер. Отсутствует адекватный учет динамики процессов, реализуемых ТК, их взаимное влияние (см. п. 3.2).

Обобщая вышесказанное, сформулируем **основные принципы инновационного подхода к организации взаимодействия ТС** на современном этапе развития транспорта:

1. Реализовывать на всех уровнях управления ТС и во всех сферах их деятельности цифровых и интеллектуальных технологий.

2. Использовать в деятельности ТС **процессный подход**, перейдя на управление транспортными полигонами, в рамках которых образуются завершённые цепи поставки грузов. Процессный подход позволяет концентрироваться не на работе каждого из подразделений, а на результатах работы организации в целом.

3. Усовершенствовать процессный подход на транспорте объединением базового перевозочного процесса с вспомогательными (мониторинг и диагностика, техническое обслуживание и ремонт, научное сопровождение производства). Эти процессы неразрывны, и правильно рассматривать их как подпроцессы одного процесса, применяя процессный подход.

4. Предлагается трехуровневая организация взаимодействия ТС: ЕСТП, СРО, линейные предприятия транспорта. Необходимо синтезировать решения, вертикально проходящие в своем исполнении через все уровни организации

взаимодействия ТС. Реализовать эту идею предлагается на основе платформы интеллектуальных систем управления на транспорте (ИСУТ).

А. Идеи ЕСТП необходимо распространить на все ключевые процессы ТС на всю транспортную отрасль (а не только на железнодорожном транспорте). Это первый, системный уровень организации перевозочного процесса. Инструментарий исследования и управления включает системный подход, детерминированные модели (вариационные методы, принцип максимума Понтрягина), различные виды математического программирования (линейного, нелинейного, динамического) и соответствующие алгоритмы.

Б. Предлагается развить теорию СРО предприятий транспорта как второй уровень организации перевозочного процесса. Преимущества такого подхода: включение рыночных элементов (конкуренция), приближение процедур принятия решений к профессиональному экспертному сообществу, повышение ответственности и качества выполняемых работ. Это сетевая организация деятельности. Соответственно в качестве инструментария исследования рекомендуется использовать методы теории сетей, методы теории массового обслуживания, теории марковских процессов.

В качестве примеров конкретных СРО, крайне необходимых в настоящее время на транспорте, можно привести СРО научных и образовательных учреждений транспорта, СРО предприятий, обеспечивающих предоставление подвижного состава, осуществляющих мониторинг, прогноз износа и техническое обслуживание транспортного оборудования.

В. Третий уровень организации взаимодействия ТС базируется на свободных рыночных отношениях. На этом уровне (в отличие от первого и второго) в полную силу действуют рыночные принципы организации взаимодействия хозяйствующих субъектов.

5. Шире внедрять на транспорте и предприятиях отрасли (там, где это целесообразно) элементы матричной организации деятельности (как одно из средств реализации процессного подхода – управление по проектам).

Новация данного предложения состоит в том, что проектная организация предлагается для макро- и мезоуровня организации перевозочного процесса страны.

В качестве варианта проектной организации работ на мезоуровне и примера ЕСТП можно привести организацию взаимодействия базового и вспомогательных процессов (рисунок 1.4).

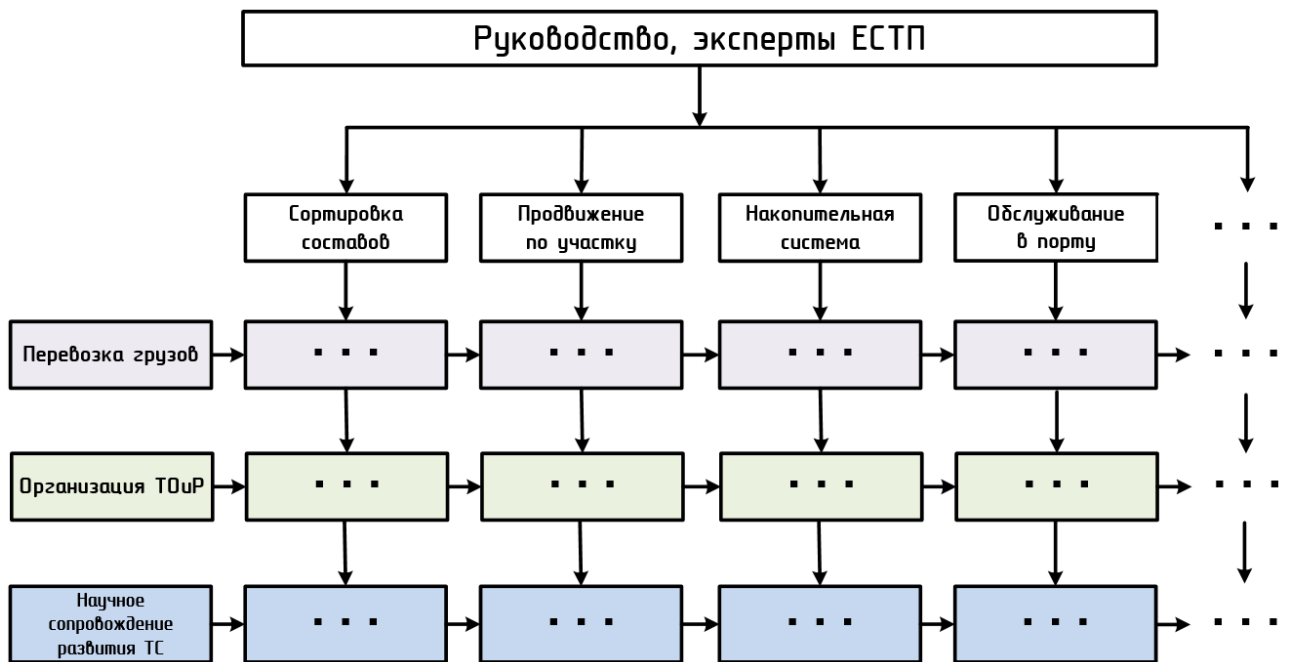


Рисунок 1.4 – Матричная организация ЕСТП, учитывающая управление проектами

6. Базовым критерием организации работ во всех сферах деятельности транспорта предлагается использовать организационно-технологическую надежность (ОТН). В отличие от традиционного подхода, данное понятие включает представление о безопасности и эффективности ТС. Техническая живучесть (совокупность безопасности и надежности) убывает с увеличением интенсивности перевозочного процесса, а экономическая повышается.

7. Обеспечение всех уровней организации взаимодействия ТС и ОТН требует применения объективных (не зависящих от субъекта) процедур

принятия решений на основе методов теории активных систем, минимизирующих риск непрофессионализма руководителей.

1.4. Выводы по главе

В работе обоснована актуальность темы исследования, дан краткий анализ зарубежного и отечественного опыта развития ТС, описаны основные положения инновационного развития ТС.

В результате проведенного анализа сформулирована авторская схема научного исследования, приведенная на рисунке 1.5.

В содержательном плане в авторской гипотезе исследования сформулированы проблемы развития методов и моделей исследования и управления организационно-технологическими структурами ТС, обеспечивающих безопасность и эффективность их функционирования.

1. В основу решения поставленных задач диссертационного исследования положен системный подход, заключающийся в объединении в единый комплекс:

- производственных и исследовательских задач. Нестационарность экономики, динамичность ее развития требуют постоянного совершенствования производства транспортных услуг;

- основных и вспомогательных производств. Их различная административная подчиненность сдерживает и производство, и его развитие. Необходимо объединить мониторинг, диагностику, обслуживание, управление;

- подсистем анализа сложившихся ситуаций на различных горизонтах планирования деятельности, синтеза и реализации проектов развития. Переход к рыночным схемам хозяйствования разорвал единый производственный процесс, раздробил его (первопричина создания ЕСТП).

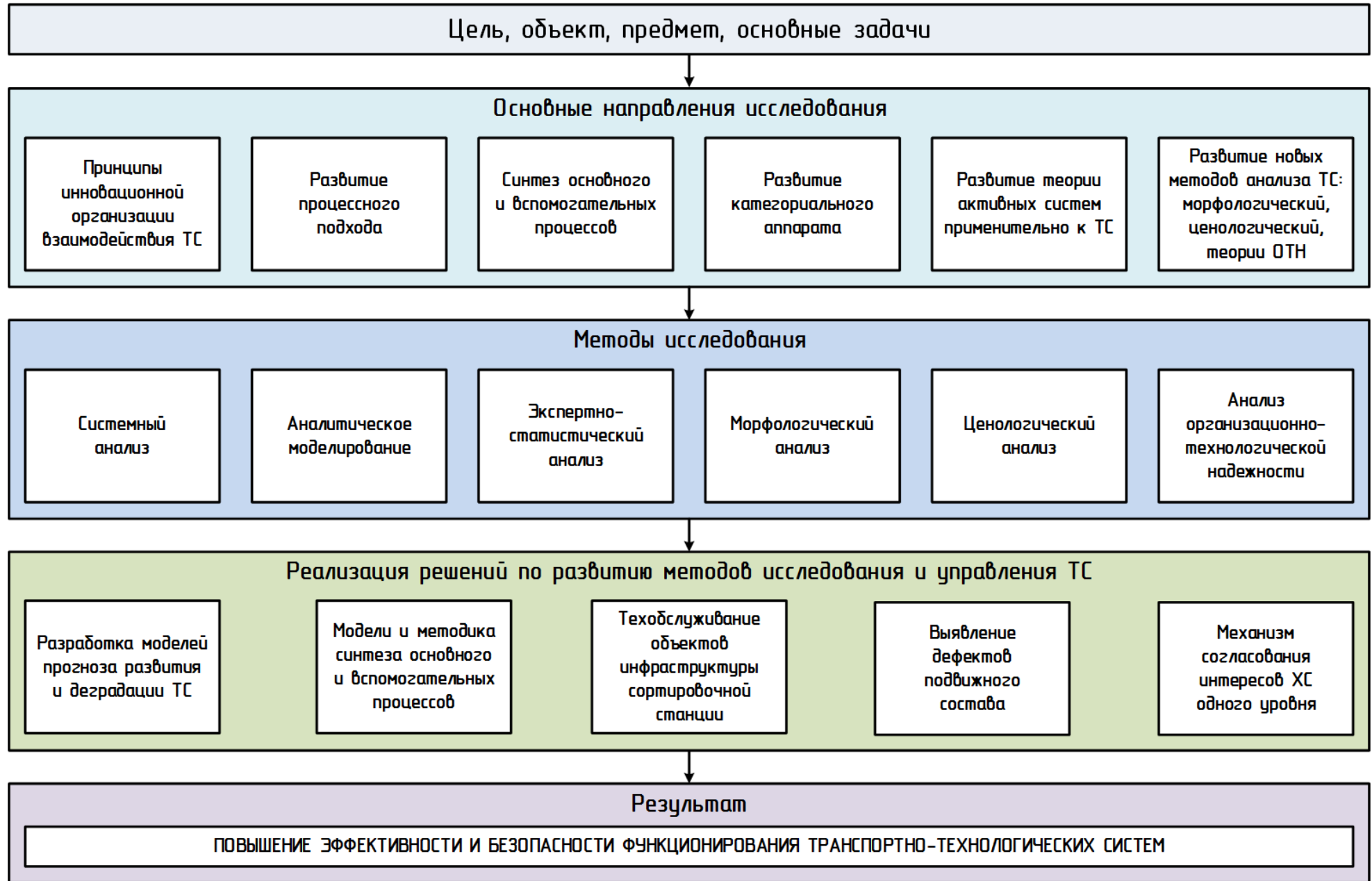


Рисунок 1.5 – Методология и структура диссертационного исследования

2. Предлагается расширить и усовершенствовать применение уже зарекомендовавших себя методов:

– переформулирование в зависимости от состояния отрасли и среды ее функционирования стратегических целей развития (создание гибкого дерева целей). Сейчас на первом месте стоят экономические показатели холдинга, часто в ущерб иным показателям, таким как безопасность, качество. Действительно, как правило, требуется максимум дохода при установленных ограничениях на безопасность и качество, а не, например, максимум безопасности;

– усиление согласованности деятельности и адресной государственной поддержки, в том числе развитие государственно-частного партнерства. Интересы частных компаний (например, владельцев подвижного состава), как правило, не совпадают с интересами региональных и государственной экономик;

– разработка кластеров развития регионов (включающих ЖДТ как составную часть) и транспортных кластеров (полигонов), включающих всех участников транспортного процесса (ЖДТ, водный, автомобильный, трубопроводный и др.);

– расширение сфер применения техобслуживания и ремонта (ТОиР) по прогнозу состояния объектов инфраструктуры транспорта;

– разработка инновационных цифровых технологий, включающая создание киберфизических систем, цифровых платформ, разработку и внедрение надж-технологий, блокчейна и пр. (в том числе в рамках ИСУЖТ);

– объединение производства с научными и производственными центрами, например, через Совет РАН по инновационным проблемам транспорта и логистики (председатель Совета – академик РАН В. И. Колесников). К сожалению, одна из форм такого объединения – совместные гранты отрасли и РФФИ – перестала существовать.

3. Предлагается использование нетрадиционных подходов исследования и управления ТС, которые опираются на:

– разработку ценологического подхода, представленного полигонной организацией перевозочного процесса;

– создание на новой основе (с применением формальных процедур теории активных систем) Единого сетевого технологического процесса, саморегулируемых организаций, которые, к сожалению, в настоящее время не дают ожидаемого эффекта;

– усиление роли вспомогательных производств: единой системы подготовки кадров (ЕСППК), системы управления техническим состоянием инфраструктуры железнодорожного транспорта;

– расширение роли и значения научных грантов (кроме активно практикуемых в настоящее время совместных научных разработок РФФИ и «РЖД» со свободным выбором тематики предлагается внедрить гранты «по заказу производства»).

2. РАЗРАБОТКА ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

В разделе проведен анализ категориального аппарата исследования. Прокомментированы и уточнены понятия «транспортные комплексы», «системы», «сети», «системы мониторинга и диагностики», «безопасность» и др. (п. 2.1).

Процессный подход к организации функционирования ТС развит объединением базового (собственно перевозочного) и вспомогательных (мониторинг и диагностику, техническое обслуживание и ремонт, научное сопровождение производства) процессов (п. 2.2).

Предложено развить и внедрить ТОиР объектов транспортной инфраструктуры по прогнозируемому состоянию (п. 2.3).

Задача выбора варианта подходящей системы мониторинга и диагностики транспортных объектов сформулирована в рамках метода морфологического анализа. Задача оптимизации при этом рассмотрена, как в детерминированной постановке, так и при статистической неопределенности данных (п. 2.4).

Раскрыты роль и место цифровизации и интеллектуализации базовых и вспомогательных процессов на транспорте (п. 2.5).

2.1. Транспортные комплексы: определения и классификация

Любое научное исследование явно или косвенно предваряется разделом «Анализ и совершенствование применяемого категориального аппарата». Это необходимо для уточнения используемых категорий и исключения многозначных и/или неопределенных трактовок понятий, согласования общей платформы (категорий и языка), для обеспечения эффективности научной дискуссии.

Общие положения об обеспечении безопасности и эффективности транспортных систем определяются различными ГОСТ. В рамках настоящего

исследования, наряду с традиционно используемыми, предлагается различать следующие виды безопасности.

Технологическую – зависит от интенсивности технологического процесса (например, скорости роспуска составов на горке [110], интенсивности движения поездов по участку и т. д.);

Техническую – определяется текущим состоянием оборудования, технических средств автоматизации, контроля и диагностики транспортных процессов;

Программную – зависит от качества программно-математического обеспечения системы (в том числе и от киберзащищенности системы);

Организационную – определяется логикой связи и взаимодействия элементов и агентов транспортного комплекса. Повышение организационной безопасности достигается резервированием функций, ресурсов (в том числе управленческих) и подсистем, оптимизацией взаимодействия ТС, включением механизмов самоорганизации (в том числе на основе СРО).

Необходимые для успешной организации перевозочного процесса определения и понятия закреплены ГОСТ и обязательны для употребления (обеспечивают взаимопонимание). Учитывая междисциплинарный характер настоящего исследования, следует дать некоторые пояснения, так как в различных сферах науки и практики одно и то же понятие может иметь различные трактовки. В этой связи в рамках нашего исследования аналогично следует ответить на вопросы:

1. Что такое «транспортная система»? Как определяется категория «система» в научных источниках? Правомерны ли существующие выражения в научной и методической литературе, использующие категорию «транспортная система»? Например, в названии и в п. 2 паспорта научной специальности 05.22.01.

2. Что такое «транспортная сеть» и чем она отличается от «сетевой организации производства», «сетевого планирования»? В вышеупомянутом паспорте специальности в п. 1 говорится о «транспортных системах и сетях страны». В чем их сходства, а в чем различие?

3. Чем отличаются понятия «транспортные системы и сети страны» от «транспортных комплексов» п. 7 паспорта.

4. Как понимается в общей теории систем и на транспорте «мониторинг» и «диагностика» ТС?

Рассмотрим эти и зависимые от них вопросы. Понятия «система», «сеть» по умолчанию считаются базовыми, интуитивно понимаемыми, то есть аксиоматическими понятиями, поэтому часто используются без дополнительных комментариев.

Рассмотрим вначале категорию «*система*». В теории систем это базовое понятие имеет множество определений, остановимся на двух из них:

1) «система – это совокупность элементов, находящихся в определенных отношениях друг с другом и со средой» [9];

2) «система – это множество взаимосвязанных элементов, обособленное от среды и взаимодействующее с ней как целое» [100].

Таким образом, система представляет собой абстрактную сущность, определенную в некоторых границах. Она в обязательном порядке обладает следующими свойствами [25, 42]:

– Целостность («сила» связей элементов внутри системы выше, чем сила связей элементов системы с элементами окружающей ее среды). То есть система интегративна и отграничена от среды;

– Эмерджентность – общая производительность и функциональность системы выше, чем сумма аналогичных показателей ее элементов. У системы появляются свойства, не присущие отдельным элементам системы. Ее свойства принципиально не сводятся к сумме свойств составляющих её компонентов. Иногда этот эффект называют синергичностью, сверх аддитивным эффектом.

Эти свойства исключают возможность исследования системы методом декомпозиции – разделения ее части для упрощения анализа. Части не отражают всех свойств системы.

И это принципиальные позиции, так как наряду с понятием «система» в теории систем используются понятия «сложный объект», «сеть» и др., которые в общем случае этими свойствами не обладают.

В популярных научных и интернет-источниках указывается лишь, что: «Транспортная система предназначена для удовлетворения транспортных потребностей человека и включает в себя средства транспортировки, объекты транспортировки, а также окружающую среду» [140]. То есть в настоящее время категории «система» и «транспортная система» слабо коррелированы между собой.

В цитируемой работе обоснована необходимость различать системное и сетевое взаимодействие участников сложных социально-экономических объектов. То есть необходимо различать категории «система» и «сеть».

Сетью называется совокупность объектов некоторой природы, объединенных совпадением целей развития, конкурентными отношениями, ресурсами (в том числе потребителями их продукции). Чтоб подчеркнуть отличие от системы, эти объекты называются не элементами, а агентами [140]. Они имеют собственные цели, ресурсы, способность принимать решения и действовать самостоятельно. Элемент системы такими свойствами не обладает.

Транспортная сеть в научной и методической литературе, как правило, также понимается многозначно:

- в бытовом смысле, как совокупность объектов инфраструктуры транспорта: пути, транспортные предприятия, вокзалы и пр.;

- научное определение «транспортная сеть – это ориентированный граф $G(V, E)$, в котором каждое ребро $(v_1, v_2) \in E$ имеет неотрицательную пропускную способность $C(v_1, v_2) \geq 0$ и характеризуется потоком $f(v_1, v_2)$ » [77]. На графе имеются две вершины: источник S и сток T такие, что любая другая вершина сети V лежит на пути из S в T . Математическим инструментарием исследования таких сетей, в частности, является теория массового обслуживания.

Следует иметь в виду и иные трактовки категории «сеть», используемые на железнодорожном транспорте:

- ЕСТП, Единый сетевой технологический процесс железнодорожных грузовых перевозок, определяющий условия совместного функционирования агентов транспортной сети по реализации общих целей транспортного обслуживания экономики страны и населения [37]. ЕСТП регламентирует

отношения хозяйствующих субъектов между собой и с государством. Потребность в ЕСТП возникла в связи с введением рыночных основ в экономику транспорта;

– сетевая модель как математический инструмент исследования сложных технологических процессов в рамках теории графов [19, 20]. С помощью такой модели исследуются критический путь по сети, механизмы повышения ее организационно-технологической надежности.

Таким образом, категории «транспортная система страны», «транспортная система региона», «транспортная сеть» являются общепринятыми, но с логической точки зрения не вполне точными понятиями. Система оперирует элементами, которые по определению не имеют самостоятельности (цели, ресурсов, активной позиции), но характеризуются сильными связями, проявляющими свойства системы как некоторой целостности более высокого (по отношению к элементам) порядка [25, 42]. Для агентов сети связи не такие жесткие и определенные.

В узком смысле система и сеть противопоставляются друг другу. Эти акценты иногда очень важны, и их следует учитывать. И сеть не всегда обозначает совокупность производственных объектов, а также выступает как абстрактная модель взаимодействия объектов различной природы (алгоритмов, программ и пр.).

Иными словами, то, что мы часто называем «транспортной системой», по сути, является сетью. В этом смысле транспортные предприятия не элементы, а агенты транспортной сети – самостоятельные хозяйствующие субъекты рынка. Между ними действуют так называемые слабые связи, которые характерны для объектов ценоза [27, 63, 64].

Рассматривая систему транспортных предприятий, мы ставим ударение на том, что они по определению сильно зависимы друг от друга, эффект их деятельности проявляется только во взаимодействии на уровне системы. Такая постановка может иметь место, но она в некоторой степени игнорирует собственные частные цели предприятий, выдвигая на первый план интересы отрасли, региона или государства. В данном случае элементы строго подчинены

системе. Они в своей деятельности руководствуются «спущенными сверху» инструкциями и распоряжениями. Системное взаимодействие транспортных предприятий позволяет получить положительный синергетический эффект совместного функционирования элементов, ускоряет процессы, облегчает контроль над их деятельностью.

В Приложении 1 рассмотрены исследуемые понятия на примере транспортных систем и сетей железнодорожного транспорта, что позволит раскрыть дополнительные аспекты их смысла.

Из указанного анализа следует, что «безопасность» – сложное понятие, которое может характеризоваться различными векторами составляющих. В качестве одного из таких векторов следует рассмотреть вектор, компонентами которого являются техническая, технологическая, организационная, экономическая безопасность.

Аналогично и эффективность движения поездов также характеризуется векторами, например, с финансовыми (прибыль, выручка, рентабельность) и производственными (объемы переработки составов и грузов, время доставки грузов) составляющими.

Подводя итог первой части исследования, будем рассматривать понятие «транспортный комплекс» как обобщающее для понятий «транспортная система» и «транспортная сеть».

Вывод: категории «транспортная система» и «транспортная сеть» в силу своей сложности используются в СМИ, научной и методической литературе часто во взаимно противоречивых смыслах. Они нуждаются в каждом конкретном случае в уточнении определений и условий применения. Если требуется подчеркнуть сильную взаимосвязь частей транспортного комплекса, то следует говорить о системе и использовать теорию системного анализа. Если определяющим в исследовании является акцент на самостоятельности подсистем, то следует использовать аппарат систем массового обслуживания (СМО).

Аналогично предыдущему в данном подразделе уточним категории системы «мониторинга» и «диагностики» технических систем.

Под *технической диагностикой* будем понимать «методы и средства оценки технического состояния машин, механизмов, оборудования, конструкций и других технических объектов, установление причин неисправностей, рекомендации по устранению причин неисправностей». ¹⁰

Категорию *мониторинга* определяем как «непрерывный процесс наблюдения и регистрации параметров объекта, в сравнении с заданными критериями». ¹¹

Под *системами мониторинга и диагностики* будем понимать комплекс средств и методов, позволяющих с заданными параметрами (быстрота, точность) согласованно осуществить мониторинг и диагностику исследуемого объекта.

2.2. Совершенствование системного и процессного подходов в рамках синтеза базовых и вспомогательных процессов в транспортных системах

2.2.1. Роль и место структурно-функционального и процессного подходов

Выше (во введении работы при обосновании актуальности, при формировании концепции исследования, а также при оценке эффективности ТК – п. 2.1) уже отмечалась важность организационной составляющей управления транспортными системами и сетями (наряду с технологиями, техническими, программно-математическими средствами), что и определяет актуальность настоящего раздела.

Управление предприятиями, производством, бизнесом может осуществляться на основе различных концептуальных подходов. Основными из них являются структурно-функциональный и процессный. Рассмотрим основные особенности (преимущества и недостатки) этих подходов с позиции системного подхода к исследованию.

¹⁰ ГОСТ 20911-89 «Техническая диагностика. Термины и определения».

¹¹ Ганеева Ж. Г. Определение понятия «мониторинг» в различных сферах его применения // Вестник Челябинского университета. Сер. 8, Экономика. Социология. Социальная работа. – 2005. – № 1. – С. 30–33.

Системный подход к исследованию сложных объектов и процессов

[25, 100]. Главными принципами системного подхода являются:

- 1) комплексное изучение явления или процесса, обеспечивающее целостность представления об объекте исследования;
- 2) учет взаимозависимости системы и среды погружения, множественности состояний и описаний системы;
- 3) учет динамичности процессов, иерархичности структуры.

Системный подход характеризуется следующими основными признаками: элемент всегда меньше системы; исследуемый объект рассматривается как единое целое; частные цели подчинены общей цели системы; исследуются как механизм функционирования, так и внутренние закономерности развития объекта.

Структурно-функциональный подход в управлении характеризуется следующими особенностями:

– задачи, стоящие перед ТС, выступающими в качестве независимых хозяйствующих субъектов, структурируются по сферам деятельности (финансы, маркетинг, разработка новых продуктов, производство и т. д.), то есть формируются функциональные подразделения ХС (элементы системы);

– в соответствии с требованиями производственного процесса определяется структура связей между соответствующими подразделениями (связи системы);

– формируются стиль и корпоративная культура управления ХС, определяющие идеологию функционирования системы управления. Они определяют правила, логику взаимодействия участников этого сложного процесса, вырабатывают традиции.

Структурно-функциональный подход в управлении хорошо проявляет себя в стационарных, детерминированных, хорошо определенных условиях функционирования ХС. Система управления, имея жесткие правила поведения и производства, устойчивую структуру, сформированную корпоративную культуру, сдерживает любые изменения, в том числе и назревшие.

Следовательно, в условиях высокой неопределенности, зашумленности, и нестационарности система управления снижает адаптивные возможности ХС к управлению. Это послужило толчком к развитию процессного подхода к управлению.

Проблемы структурно-функционального подхода к управлению ТС рассмотрим на примере проблемы избыточного вагонного парка в стране (см. Приложение 1). В настоящее время в управлении парком грузовых вагонов применяется функциональный подход, разработанный более 70 лет назад. Он определялся плановой экономикой, одним собственником вагонов и единым обезличенным парком. То есть, вместо показателя доходности на вагон в единицу времени, базовыми являются эксплуатационные показатели: грузооборот, скорость, средний вес, производительность локомотивов, погрузка, оборот вагона.

В настоящее время многочисленным собственникам подвижного состава эти эксплуатационные показатели не важны. Они ориентируются на показатели доходности. Происходит переход от управления «единым парком» вагонов к самостоятельному построению логистических цепей частными компаниями-операторами. Общая эффективность использования грузовых вагонов падает (увеличивает порожний пробег), возникает дополнительная нагрузка на инфраструктуру ЖДТ, снижается скорость движения поездов, замедляется товародвижение.

По оценкам экспертов общая численность парка грузовых вагонов России сегодня составляет более 1,2 млн. единиц, из которых порядка 250 тыс. вагонов являются «лишними».

Рассмотрим основы *процессного подхода к управлению*. Процессный подход к управлению, в общем, игнорирует организационную структуру управления предприятием, выдвигая на первый план его бизнес-процессы. То есть функционал, сфера ответственности, показатели деятельности работника формируются в рамках конкретной задачи или процесса. Ослабляются вертикальные и усиливаются горизонтальные связи структурных подразделений.

В процессно-ориентированной системе управления основной упор делается на развитие механизмов связи между структурными единицами внутри предприятия и с внешней средой. Она позволяет учесть важнейшие аспекты бизнеса, включая ориентацию на конечный продукт.

При процессном подходе к управлению реализуются следующие принципы:

1. Деятельность ХС рассматривается через совокупность бизнес-процессов.
2. Регламентируются и формально описываются не структура, а бизнес-процессы.
3. Для каждого бизнес-процесса вводится руководитель (лицо, которое отвечает за результат).
4. Ключевые показатели деятельности ориентированы на оценку бизнес-процессов.

Таким образом, при процессной организации труда бизнес-процессы определяют организационную структуру их управления (она вторична), устраняются разрывы на стыке процессов, сотрудники наделены большими полномочиями и обеспечивают, соответственно, и большую отдачу.

Процессный подход не свободен от недостатков: повышается зависимость общего результата работы от квалификации, личных и деловых качеств исполнителей, в процессе передачи работы между участниками команды часто происходят задержки и ошибки. Следовательно, процессное управление в конкретных сферах деятельности требует своего развития с учетом соответствующей специфики [38].

Далее проанализируем развитие процессного управления в сфере организации перевозок.

2.2.2. Процессный подход в ОАО «РЖД»

Процессный подход в ОАО «РЖД» уже нашел свое должное развитие [12, 23, 38, 70] и рассматривается как основа повышения эффективности и качества

функционирования системы управления железнодорожными перевозками и обслуживания грузовладельцев.

Актуальными проблемами развития процессного подхода на ЖДТ являются:

– проработка механизмов горизонтального менеджмента, то есть управления на границах процессов. При этом не исключается принудительный контроль со стороны руководства стыков процессов [48, 88, 89, 108, 109]. Исключить этот недостаток позволит включение в этот процесс механизмов теории активных систем [76, 93, 94], см. п. 3.2 и Приложение 2;

– создание системы управления, учитывающей рыночные отношения и способствующей усилению конкурентоспособности предприятий [6, 31, 37, 40], см. п. 3.2;

– численная оценка результатов деятельности. На этом пути следует обратить внимание на механизмы морфологического анализа [56, 60, 61], см. подраздел 2.4, модели организационно-технологической надежности [19, 20], см. п. 3.3 и Приложение 4.

Принципы и модель процессного подхода. Процессный подход, изложенный в [12, 23, 38, 70], основывается на следующих принципах. Это: взаимосвязь процессов, их востребованность, документирование, контроль, ответственность за процесс. Вклад данного исследования в развитие процессного подхода состоит в следующем (см. рисунок 2.1):

- уточнена структурная схема взаимодействия участников и процессов;
- расширен перечень критериев (к показателям качества добавлены показатели эффективности и безопасности);
- расширен состав менеджмента (кроме ресурсов, кадров и производственного процесса);
- уточнен функционал блока «измерение, анализ, улучшение» – теперь это «мониторинг, диагностика, прогнозируемое реагирование».



Рисунок 2.1 – Процессный подход на ЖДТ

На рисунке 2.2 дано схемное решение процессного подхода на транспорте через призму перевозочного процесса.

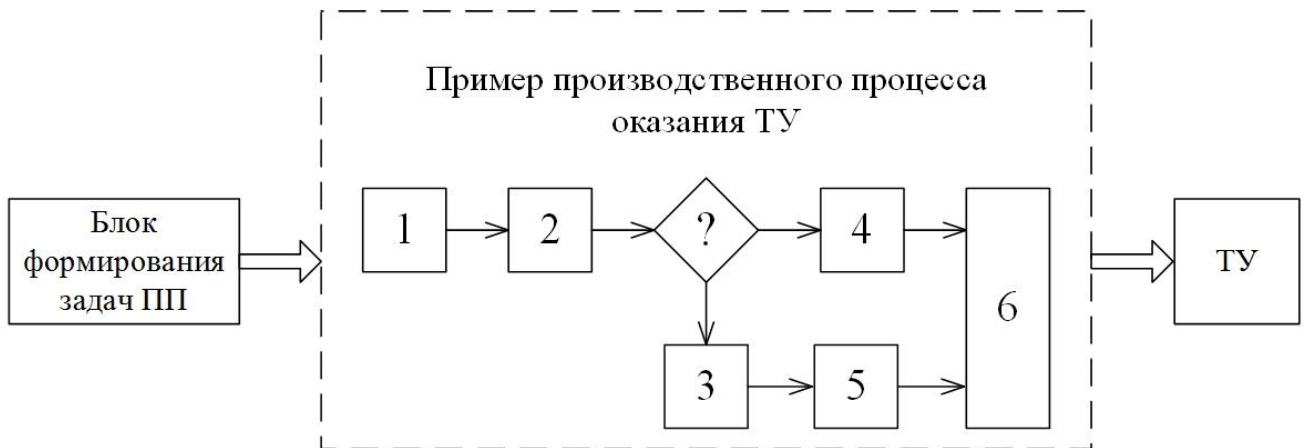


Рисунок 2.2 – Взаимодействие участников перевозочного процесса

Перевозочный процесс на рисунке выделен штриховым контуром. Ему предшествует процедура формирования задач. В рамках нашей концепции она предусматривает учет производственных, финансовых показателей перевозочного процесса, перевод требований к безопасности и надежности из разряда ограничений в совокупность критериев. На выходе схемы имеем транспортную услугу – ТУ. Согласно схеме на рисунке 2.2 взаимодействие участников перевозочного процесса организовано следующим образом:

- блок «1» – мониторинг перевозочного процесса (состояния объектов инфраструктуры и процесса движения поездов);
- блок «2» – диагностика состояний;
- блок «?» – узел бифуркации процесса, анализ результатов и принятие решений о дальнейших действиях;
- блок «3» – ТОиР при необходимости;
- блоки «4» и «5» – продолжение процесса;
- блок «6» – анализ результатов.

2.3. Повышение эффективности транспортных систем за счет внедрения в производственный процесс технологий технического обслуживания по прогнозируемому состоянию

Как правило, для оздоровления производственной деятельности предлагаются различные технологии совершенствования функционирования предприятий, относящиеся к технологиям менеджмента. Это технологии бережливого производства, «шести сигм», Kaizen-технология и др. ТС не исключение, и все вышеназванные технологии могут быть с успехом применены. Выше для этой цели предложено использовать процессный подход к организации транспортного производства. В настоящем разделе эта идея развивается за счет внедрения в производственный процесс прогрессивных технологий технического обслуживания объектов транспортной инфраструктуры по прогнозируемому состоянию.

Виды технического обслуживания объектов инфраструктуры транспорта.

Плановое. В настоящее время на транспорте преобладает технология планового технического обслуживания объектов инфраструктуры. Экспериментально установлены приемлемые по показателям безопасности временные интервалы между моментами осмотра.

По состоянию. Для исследуемого класса объектов формируется признаковое пространство исследования (см. ниже соотношение (2.1)), в котором каждый конкретный объект принадлежит некоторому классу. Например, «нормальное состояние», «необходимость ТО», «необходим ремонт». То есть класс отражает состояние.

По обучающей выборке данных осуществляется обучение распознаванию. Для этой цели используются различные методы классификации: по эталону, по разделяющей границе [39].

По результатам мониторинга на основании этих моделей определяется состояние исследуемого объекта.

Прогнозируемое техническое обслуживание объектов инфраструктуры. Примером реализации этого подхода на ЖДТ является разработка и внедрение системы «Умный локомотив» [8]. Система способна прогнозировать выход из строя систем и деталей и необходимость того или иного обслуживания, не дожидаясь тяжелого ремонта. Способность заранее предсказать выход из строя какого-то узла или оборудования на борту локомотива позволяет осуществлять ТО наиболее экономически эффективным способом. Сейчас система находит более 60 видов нарушений в работе оборудования и режимах эксплуатации локомотивов.

Моделирование динамики изменения состояния объекта с целью его прогнозирования можно осуществить по моделям, разработанным в разделе 3.1.2 диссертации, или с помощью временных рядов признаков объекта [80, 96].

Все объекты исследования (как составляющие ТС, так ТС в целом) будем характеризовать вектором состояния:

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (2.1)$$

Вектор признаков объекта (2.1) – модель объекта.

Переменные $x_i, i = 1, 2, \dots, n$ характеризуют те или иные свойства объекта в заданный момент времени. Признаки x_i образуют признаковое пространство исследования.

Например, компрессорная станция характеризуется следующим рядом ключевых показателей: x_1 – перепад давления в масляном фильтре (зависит от степени его загрязнения); x_2 – уровень масла; x_3 – токи электродвигателя; x_4 – состояние подшипников (оценивается по вибрации); x_5 – температура и уровень воды (для водоохлаждаемых станций); x_6 – наличие воды в приемке и т. д. ТОиР заключается в чистке фильтра, замене подшипников, восстановлении необходимых уровней жидкостей и т. д.

В процессе эксплуатации объекта вышеназванные параметры изменяются, и эти изменения носят разнонаправленный характер: одни увеличиваются, другие уменьшаются. Кроме того, измеряются они в различных диапазонах значений. Чтобы унифицировать исследование, далее масштабированием переводим все переменные в интервал значений от 0 до 1 и к убывающему виду при износе оборудования.

Формулы масштабирования для убывающих и возрастающих переменных соответственно имеют вид:

$$x_i^* = (x_i - \min x_i) / (\max x_i - \min x_i), \quad (2.2)$$

$$x_i^* = (\max x_i - x_i) / (\max x_i - \min x_i). \quad (2.3)$$

Теперь параметры, характеризующие работу объекта, имеют безразмерный вид и изменяются в одном интервале $[0, 1]$. Далее считаем, что указанные преобразования (2.2) и (2.3) уже выполнены, и для удобства пользоваться будем исходными обозначениями переменных x_i .

Все исследуемые объекты можно классифицировать на два типа: стационарные и подвижные, для каждого из которых технологии прогноза состояния различны.

Иллюстративными примерами стационарных устройств на ЖДТ являются стрелки, замедлители, компрессорные станции, устройства автоматизации и энергообеспечения, датчики и др.

К примерам подвижных единиц относятся отдельные вагоны, отцепы, составы, локомотивы и пр.

Рассмотрим *прогнозируемое техническое обслуживание стационарных объектов инфраструктуры*. В качестве примера остановимся на прогнозируемом обслуживании компрессорной станции [78].

Удобно процесс мониторинга декомпозировать и рассуждения вести независимо по каждой переменной x_i . Вся область допустимых значений переменной x_i $[0, 1]$ разбивается на три подинтервала, рисунок 2.3:

- от 1 до α – зона благоприятных (рабочих) значений исследуемой переменной;
- от α до β – зона значений, требующих проведения ТО;
- от β до 0 – зона значений, при которых эксплуатация объекта не допускается. Он выводится из производственного процесса.

Значения α и β обосновываются опытом эксплуатации объекта (указаны в инструкции пользователя или назначаются экспертами).

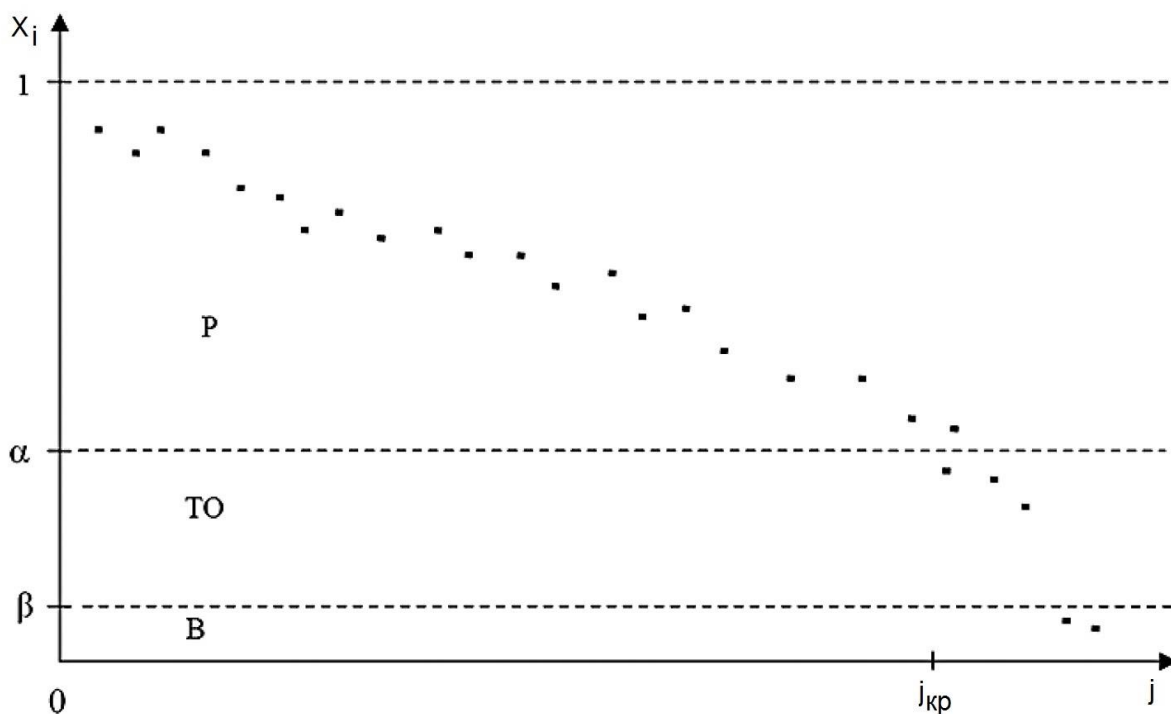


Рисунок 2.3 – Геометрическая иллюстрация процесса мониторинга компрессорной станции (заимствован в [78])

В результате мониторинга объекта в моменты j получаем временные ряды x_{it} для параметров x_i .

Если текущие значения параметра x_i оказались в зоне «ТО», то необходимо делать техническое обслуживание объекта, если в зоне «В», то объект должен быть остановлен.

Если текущие значения параметров находятся в зоне «Р», то реализуется следующий алгоритм:

1. Все исходные статистические данные проведенных наблюдений делятся на две последовательности: обучающую и проверочную.

2. По первой последовательности строятся различные автокорреляционные модели временного ряда вида (2.4). Они отличаются числом учитываемых членов n – степенью инерционности модели.

$$x_{it} = \sum_{k=1}^n a_k x_{it-k}. \quad (2.4)$$

Здесь коэффициенты a_k указывают на степень влияния наблюдаемого значения x_{it-k} на прогнозируемое значение x_{it} .

3. Проверяются прогнозирующие способности этих моделей по второй проверочной последовательности данных. В результате отбирается наилучшая структура прогнозирующей модели.

4. Рассчитываются параметры оптимальной модели по всем полученным наблюдениям. Это повышает статистическую надежность расчетов.

5. По последней построенной модели прогнозируется наступление состояний «В», «ТО».

В результате получают моменты времени, до которых «надо успеть» провести техническое обслуживание и/или вывод объекта из процесса [78].

Вышеописанную процедуру следует осуществлять по каждому из параметров объекта. Решение о назначении ТО принимается по ближайшему сроку из совокупности рассчитанных вариантов по разным параметрам.

Рассмотрим теперь *прогнозируемое техническое обслуживание подвижных объектов инфраструктуры* [113]. Аналогично предыдущему виду прогнозируемого ТО, задача состоит в классификации подвижных объектов

инфраструктуры на три класса: «немедленно вывести из работы» – «В», «отправить в течение заданного срока на техническое обслуживание – «ТО», «оставить в работе» – «Р».

Комментировать процесс решения задачи будем на следующем примере:

С помощью тепловизора осуществляется диагностика состояния колесных пар по характеру и степени нагревания букс колеса. Состояние колесной пары характеризуется набором переменных-признаков: x_1 , x_2 , x_3 , x_4 и т. д., характеризующих геометрические формы и величину нагрева отдельных участков.

Эти переменные образуют многомерное признаковое пространство, а именно n -мерный куб с единичным ребром (см. преобразования (2.2) и (2.3)). На рисунке 2.4 с целью наглядности рассмотрен частный случай двух переменных, формирующий квадрат исследования.

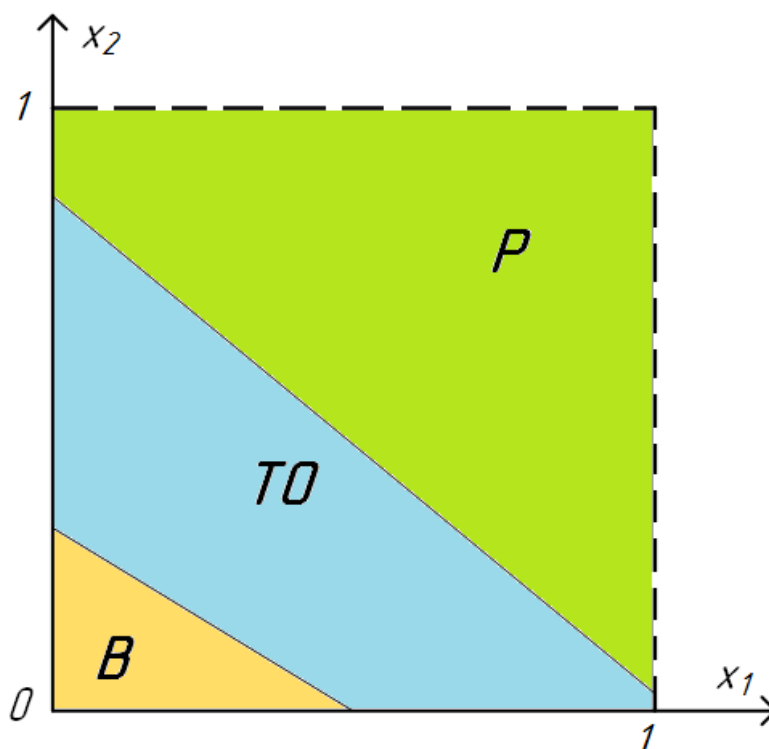


Рисунок 2.4 – Геометрическая иллюстрация процесса принятия решений [78]

Разобьем его на три подпространства (каждое из них может состоять из нескольких областей): «Р» – область благоприятных значений исследуемой

переменной; «ТО» – область значений, требующая проведения ТО; «В» – область значений, требующая вывода объекта из производственного процесса.

Разделяющие границы между выделенными классами определяются на основании опытной эксплуатации экспертами и должны быть указаны в инструкции пользователя.

Мониторинг исследуемого объекта (измерение его параметров) в выделенном признаковом пространстве определяет конкретную точку. Она может оказаться в зоне «ТО», что означает, что необходим технический осмотр объекта; в зоне «В» – в этом случае объект выводится из работы. Если координаты точки, характеризующей текущее состояние объекта, находятся в зоне «Р», то объект остается в производственном процессе.

То есть, в первом случае имеем дело с непрерывно осуществляемым мониторингом и прогнозом в «точку» – значение исследуемого параметра, а во втором прогноз осуществляется в «класс».

Механизмы реализации технологий технического обслуживания объектов инфраструктуры транспорта по состоянию дополнены и проиллюстрированы в разделах 3.1 и 4.2.

Переход на описанную выше прогрессивную технологию ТО и ремонта по прогнозируемому состоянию формирует на транспорте новые процессы мониторинга, диагностики устройств и ТС в целом. Так как эти процессы и базовые процессы перевозки грузов и пассажиров находятся в подчинении разных ведомств, то они должны быть согласованы между собой, что актуализирует развитие процессного подхода [12, 23, 38, 70, 88, 89] к организации перевозочного процесса и его матричной организации.

Новая идеология организации функционирования ТС позволяет полнее использовать их ресурс, своевременно упреждать аварийные сбои в перевозочном процессе и, таким образом, сократить расходы на ТО и ремонт, издержки от незапланированных сбоев.

Проведенный выше краткий анализ характеризует смену парадигмы ТОиР: переход от плановых процедур к технологиям, учитывающим не только сложившееся состояние ТС, но и их прогнозируемое будущее.

2.4. Разработка морфологической модели учета подсистем мониторинга и диагностики в транспортных системах

Выше показано, что обеспечение бесперебойной и эффективной работы ЖДТ во многом решается благодаря созданию современных систем мониторинга и диагностики объектов транспортной инфраструктуры. В качестве иллюстративных примеров можно привести:

- микропроцессорный комплекс тепловизионной диагностики «АСТЕКО-01» [143, 144];
- прогнозируемое обслуживание объектов инфраструктуры ЖДТ (компрессные станции, замедлители, весомеры, датчики скорости и т. д.);
- диагностику подвижных транспортных единиц (вагоны, локомотивы и др.).

Вместе с тем разработка, установка и эксплуатация систем мониторинга и диагностики требует различных затрат: финансовых, материальных, кадровых, организационных и пр. Целесообразность внедрения СМД на различных объектах транспортной инфраструктуры (ОТИ) должна определяться исходя из анализа затрат на разработку и эксплуатацию и потерь, возникающих при отсутствии аналогичных систем (см. п. 3.3, рисунок 3.8).

Применение вероятностно-статистических методов, методов теорий распознавания образов, нечетких множеств, систем массового обслуживания [17, 30, 77, 80] для решения этой многоаспектной задачи малоперспективно в силу ее слабой формализуемости. Необходимо разработать подходы и методы, опирающиеся на опыт и интуицию экспертов. Это когнитивный анализ, методы организационно-технологической надежности, морфологический анализ [17, 19, 20, 30, 77, 80].

Предназначение морфологического анализа в исследуемой сфере состоит в следующем:

- перейти к формализованной модели синтеза базового и вспомогательных процессов (по возможности уйти от субъективизма в принятии решений);

– систематизировать полученную от СМД информацию (с перспективой создать цифровые базы данных и знаний по теме);

– оценить и структурировать признаки, влияющие на принятие обоснованных решений на множестве фиксированных вариантов развития ситуации.

Данная модель позволяет, как прогнозировать развитие транспортных систем в заданных условиях, так и управлять этим развитием.

В общем случае морфологический анализ исследуемого объекта (процесса) представляется кортежем:

$$M = \{P_i, S_k, T, J\}, \quad (2.5)$$

где $P_i = \{P_i^j\}$ – множество структурных элементов модели и их значений;

S_k – множество связей между выделенными структурными элементами, представленное в виде матрицы. В ней отражаются допустимые, приоритетные и запрещенные связи;

T – совокупность ограничений задачи, которые следует учитывать при формировании вариантов развития ТС;

$J = (J_1, J_2, \dots, J_m)$ – совокупность критериев, отражающая как интересы всех участников процесса, так и все аспекты функционирования ТС: эффективность (производственная, финансовая) безопасность (техническая, технологическая).

Для удобства далее будем считать, что все критерии требуют максимизации. Это не является жестким ограничением, так как существуют хорошо разработанные специальные процедуры преобразования вида критериев [80, 96].

С помощью морфологического анализа выявляются причинно-следственные и статистически обоснованные связи параметров исследуемого объекта (структурных элементов, ограничений, критериев). В итоге морфологический анализ позволяет получить весь спектр возможных ситуаций, отобрать приемлемые для дальнейшего рассмотрения, выбрать оптимальное решение [56, 96].

Построение морфологической модели для решения задачи о целесообразности внедрения на объектах транспортной инфраструктуры СМД предполагает реализацию следующих этапов:

1. Эксперты (пользователи исследуемой системы, ее обслуживающий персонал, специалисты в области СМД) осуществляют:

- описание исследуемой ТС (связь подсистем, ее загрузка, статистика сбоев в работе, государственная и ведомственные политики поддержки, инновационная деятельность и пр.);

- уточнение целей (критериев);

- формирование ограничений задачи, накладываемых особенностями технологии и различными нормативными документами. Здесь учитываются полнота функций, реализуемых ТС, скорость реакции СМД на изменения в среде функционирования, безопасность и качество предоставляемых транспортных услуг, ограничения на финансовые и иные ресурсы.

2. Статистическими методами рассчитываются неизвестные, но необходимые зависимости, например, между показателями качества процесса и диагностируемыми переменными. Этот этап необходим для уточнения исходной информации об исследуемом процессе и отражает степень ее формализации.

3. Утверждаются критерии морфологического анализа (выделяются актуальные из перечня используемых показателей): безопасность перевозочного процесса, получение максимальной прибыли (минимальной себестоимости), инновационное развитие ТС и т. п.

4. Формируется перечень структурных элементов P_i .

В нашей задаче такими структурными элементами являются:

P_1 – загрузка ТС (например, интенсивность технологического процесса);

P_2 – техническое состояние исследуемых объектов транспортной инфраструктуры;

P_3 – нормативные требования к безопасности и эффективности перевозочного процесса;

P_4 – требования к инновационному развитию ТС;

P_5 – существующая степень развития СМД.

Параметры P_1 – P_4 синтезируемой модели идентифицируют состояние ТС. Параметр P_5 является управляющим. То есть значения четырех первых факторов фиксируем, а пятым варьируем для получения нужного эффекта.

5. Структурные элементы P_i могут принимать числовые и/или лингвистические значения («много», «средне», «мало» и т. д.). Значения P_j^i можно получить измерением, из нормативных материалов [56]. В нашем примере n равно 5, а k_j принимают различные значения.

Для оценки элемента P_1 можно взять:

P_1^1 – высокая интенсивность технологического процесса;

P_1^2 – средняя;

P_1^3 – низкая интенсивность.

Для структурного элемента P_2 принимаются значения $P_2^1, P_2^2, P_2^3, P_2^4$, соответственно обозначающие отличное, хорошее, удовлетворительное и неудовлетворительное состояние ТС.

Значения $P_3^1, P_3^2, P_3^3, P_3^4$ соответственно означают высокий, средний, низкий, недопустимый уровень безопасности (эффективности).

Требования к инновационному развитию ТС будем характеризовать значениями:

P_4^1 – высокий уровень требований к внедрению инноваций;

P_4^2 – средний уровень;

P_4^3 – низкий уровень.

Для оценки существующего состояния СМД ТС введем четыре градации: $P_5^1, P_5^2, P_5^3, P_5^4$, которые означают соответственно отсутствие СМД на исследуемой ТС, наличие только мониторинга состояния, наличие полноценной СМД, наличие СМД, расширенной автоматом-советчиком.

Возможные ситуации S появляются в результате соединения между собой элементов каждой строки образованной матрицы значений P_i^j . Число таких цепочек элементов в общей сложности будет равно произведению $N = \prod_1^n k_j$.

Фрагмент морфологической модели вышеописанной ситуации приведен в таблице 2.1 (если рассматривать ее без последнего столбца P_6).

Таблица 2.1 – Морфологическая модель учета целесообразности подсистем мониторинга и диагностики ОТИ

Элементы морфологических блоков					
P₁	P₂	P₃	P₄	P₅	P₆
P ₁ ¹	P ₂ ¹	P ₃ ¹	P ₄ ¹	P ₅ ¹	P ₆ ¹
P ₁ ²	P ₂ ²	P ₃ ²	P ₄ ²	P ₅ ²	P ₆ ²
P ₁ ³	P ₂ ³	P ₃ ³	P ₄ ³	P ₅ ³	P ₆ ³
	P ₂ ⁴	P ₃ ⁴		P ₅ ⁴	

Соединенные в таблице элементы выделяют один из возможных вариантов ситуаций, характеризуемый средней интенсивностью технологического процесса, неудовлетворительным состоянием ТС, высокими требованиями к уровню безопасности и эффективности, средним уровнем требований к внедрению инноваций в отрасли, наличием в ТС только системы мониторинга состояния.

6. Все сформированные варианты сравниваются между собой (для выбора лучшего оценивается их относительная важность). Сравнение может осуществляться одним экспертом методом парных сравнений или путем интеграции мнений нескольких экспертов, всесторонне рассматривающих проблему. Возможен также вариант измерения или расчета степеней важности по производственным показателям.

7. Далее осуществляются две взаимосвязанные процедуры:

– отсев нежелательных вариантов (нарушающих установленные требования по безопасности, качеству и т. д.);

– отбор эффективных вариантов по заданным критериям, см. п. 3 алгоритма.

Очевидно, что описанная выше и систематизированная в таблице 2.1 морфологическая модель не является исчерпывающей. В основном она носит иллюстративный характер. В реальных случаях исследованию следует подвергнуть полноту учета всех факторов P_i , характеризующих исследуемую ситуацию, перечни возможных градаций этих факторов, состав ограничений и критериев деятельности. Однако следует учесть, что попытка включить в модель как можно большее количество факторов может необоснованно усложнить модель и снизить ее эффективность и адекватность.

Недостатком вышеописанного механизма морфологического анализа [56], примененного к нашей задаче, является отсутствие учета факторов внешней среды, возможности появления кризисных ситуаций.

Развитие модели. Следует отметить многофакторность транспортных задач. Уже при количестве учтенных в описанной выше модели (см. таблицу 2.1) переменных (пять) и их установленных значениях (соответственно 3, 4, 4, 3, 4) число возможных вариантов ситуаций достигает 576 комбинаций. Все это значительно затрудняет анализ. Необходимо развитие метода. Оно состоит в следующем.

Многочисленные факторы (например, неуправляемые факторы внешней и внутренней среды) объединяются в классы: благоприятствующих факторов, базовых (наиболее вероятных), неблагоприятных. Возникает новая переменная P_6 со значениями: P_6^1 – благоприятное сочетание факторов; P_6^2 – базовое; P_6^3 – неблагоприятное.

В принципе, по этой схеме можно проклассифицировать все неуправляемые факторы и этим значительно снизить размерность задачи.

Далее рассматриваются три класса ситуаций: оптимистичные (содержащие блок P_6^1), базовые (P_6^2), пессимистичные (P_6^3). В каждом классе можно найти оптимальный вариант. Соответственно будут рассчитаны три таблицы для

принятия решений. Таблица 2.1 с учетом столбца 6 позволяет определить веса оптимистичных, базовых, пессимистичных вариантов развития.

Рассмотрим теперь механизм принятия решений, адекватный выполненной разработке, при условии максимизации заданных критериев. В таблице 2.2 приведены экспертные оценки трех вариантов развития системы «АСТЕКО-01:

– V_1 (широкомасштабное внедрение системы в максимальной конфигурации с максимальным функционалом);

– V_2 (внедрение системы с ограниченными функциональными возможностями);

– V_3 (внедрение системы только в наиболее подходящих для этого точках на подходах к крупнейшим сортировочным узлам).

Критериями оценки являются:

J_1 – повышение безопасности движения;

J_2 – снижение убытков из-за неисправностей тормозного оборудования;

J_3 – повышение интенсивности движения на заданных участках.

Таблица 2.2 – Матрица принятия решений

Критерий	Вариант		
	V_1	V_2	V_3
J_1	0,8	0,6	0,5
J_2	0,4	0,7	0,3
J_3	0,5	0,5	0,7

В таблице 2.2 элемент C_{ij} (пересечение i -й строки и j -го столбца) характеризует оценку j -го варианта развития ситуации по i -му критерию. В приведенном примере: $C_{11} = 0,8$; $C_{21} = 0,4$; $C_{33} = 0,7$.

Исходные данные таблицы 2.2 допускают постановку различных схем принятия решений [80, 96]: нахождение гарантированного результата (минимизация максимального риска), минимизация среднего риска.

В первом случае смысл процедуры «*нахождение гарантированного результата*» состоит в следующем:

1. Для каждого исследуемого варианта находится самый критический (принимающий наименьшее значение) критерий.

В таблице 2.2 это J_2 – для первого и третьего вариантов (значения $C_{21} = 0,4$ и $C_{23} = 0,3$), J_3 – для второго ($C_{32} = 0,5$).

2. Выбирается максимальное критическое значение критерия: $0,5 > 0,4 > 0,3$.

Соответствующий вариант и считается оптимальным. У нас это вариант B_2 .

Математически данная схема описывается соотношением:

$$B_{\text{опт}} = \arg \max_j \min_i C_{ij}. \quad (2.6)$$

Если априори заданы веса значимости критериев, то возникает задача выбора «*оптимального варианта в среднем*». Пусть веса критериев определяются значениями ω_i , тогда интегральный критерий (при среднеарифметической оценке) примет вид:

$$J_0 = \sum \omega_i J_i. \quad (2.7)$$

Примем в нашем случае: $\omega_1 = \omega_2 = 1$, а $\omega_3 = 2$, что означает, что критерии 1 и 2 равнозначны, а критерий 3 в два раза более значимый. В этом случае будем иметь:

$$J_0(B_1) = 2,2; \quad J_0(B_2) = 2,3; \quad J_0(B_3) = 2,2.$$

Откуда следует, что и в этом случае $B_{\text{опт}} = B_2$.

Все вышеприведенные рассуждения по принятию решений касались четко различимых вариантов развития системы (детерминированная постановка). Иногда на практике это условие не выполняется, поэтому необходимо рассмотреть случай, когда варианты могут появиться с некоторой вероятностью. То есть необходимо учитывать случайность возникновения вариантов. Рассмотрим для наглядности этот случай на примере варианта 2.

Пусть варианты 1, 2 и 3 могут появиться соответственно с вероятностями 0,3; 0,5 и 0,2. Тогда средние значения критериев будут иметь значения:

$$C(J_1) = 0,8 \cdot 0,3 + 0,6 \cdot 0,5 + 0,5 \cdot 0,2 = 0,64; \quad C(J_2) = 0,63; \quad C(J_3) = 0,54.$$

Эти расчеты показывают, что при заданных условиях лучше всего удовлетворяется первый критерий, хуже – третий. Если он выходит за допустимые ограничения, то необходимы меры по совершенствованию ТС.

Теоретическое отличие данной морфологической модели от традиционных заключается во введении морфологического блока P_6 (уровень благоприятствования среды), комплексно учитывающего влияние множества «слабых» факторов. Это позволяет разделить оптимистический, базовый и пессимистический прогнозы развития ТС.

2.5. Цифровизация и интеллектуализация базовых и вспомогательных процессов железнодорожных ТС

Активно развиваемые и внедряемые технологии цифрового производства (ЦП) имеют следующие отличительные особенности [24, 73, 97, 111, 113]:

- объекты ЦП – это киберфизические системы, включающие человека и машину с принципиально новой схемой взаимоотношений, обладающие свойствами живого организма: самоидентификации, саморазвития, адаптации к изменяющейся среде погружения;

- производство в ЦП основывается на принципах «Индустрии 4.0», обеспечивающей переход к новому технологическому укладу посредством четвертой промышленной революции;

- производство, бизнес, гражданское общество активно используют цифровые платформы, изменяющие привычную логику движения продуктов, рабочей силы, ресурсов (в том числе интеллектуальных);

- внедряются технологии интеллектуального анализа больших данных;

- наряду с интернетом людей и знаний активно развивается и внедряется интернет вещей и сервисов;

- блокчейн и надж-технологии во всех сферах жизни человека меняют стиль его мышления, психоэмоциональный статус.

ЖДТ, являясь важнейшей составляющей экономики, автоматически включается в гонку разработки и внедрения цифровых технологий. Аналогично ЦП создается цифровой железнодорожный транспорт.

Современный этап развития мировой экономики свидетельствует о растущей конкуренции как внутри отдельных видов транспорта (железнодорожный транспорт не исключение), так и между различными видами транспорта (железнодорожным, автомобильным, трубопроводным и др.). В этих условиях актуализируется необходимость организации транснациональных сетей, а также единых стандартов и единой политики в их деятельности.

Большое внимание при этом разработчики транспортных систем уделяют развитию новых методов и средств повышения надежности технических средств, эксплуатационной безопасности и управления рисками [1, 45, 46, 74, 75, 130–132]. В рамках данного исследования особо следует отметить:

- цикл работ по современным интеллектуальным системам диагностики и мониторинга подвижного состава и инфраструктуры [3, 10, 98, 129, 152];
- основы организационно-технологической надежности через призму задач ЖДТ [19, 20];
- основные принципы анализа и принятия решений в системе УРРАН – управления ресурсами, рисками и надежностью объектов железнодорожного транспорта на этапах жизненного цикла [117, 151].

Рассмотрим подробнее эти исследования, обеспечивающие цифровизацию технологических процессов на транспорте.

Технологии мониторинга и интеллектуальной диагностики представлены как основной инструмент оптимизированного обслуживания технических средств. Изложены проблемы их внедрения (повышенные требования к защищенности систем, роль лоббирования, независимость и несовместимость используемых баз данных, индивидуальных протоколов и пр.). Для решения этих проблем в данной работе предлагается новый подход, обозначенный как третий принцип инновационного подхода «использовать процессный подход»

(раздел 1.3). Подробнее он описан в разделах 2.2 и Приложении 2. В цитируемых работах, в частности, описаны следующие системы и инструменты.

1. Система Phoenix обеспечивает связь с ноутбуками и персональными компьютерами. Она базируется на проекте Android x86, используемом для запуска ОС Android на ноутбуках и компьютерах (на базе процессоров Intel и AMD). Имеет достаточно хорошую совместимость с большинством приложений, идущих на планшетах и смартфонах. Система состоит из двух подсистем, организована на модульном принципе с децентрализованной архитектурой и стандартизированными протоколами и интерфейсами. Она осуществляет контроль работоспособности устройств, их статуса, предупредительную диагностику, планирует обслуживание. Система Phoenix удобна для реализации мобильных приложений (рабочие места электромехаников, операторов и пр.).

2. Разработка компании Siemens с системой контроля взаимодействия подвижного состава с рельсовой инфраструктурой. Проект Sicurfer описывает применение оптоволоконного кабеля для взвешивания вагона в движении, обеспечивая 2 % ошибки при скоростях до 120 км/ч и контроль усилий в пятне контакта колеса с рельсом. Надежность системы достаточно высока – работоспособность сохраняется при выходе из строя до 50 % датчиков.

3. Компания Plasser & Theurer разработала систему измерения геометрии пути.

4. Компания Ansaldo STS представила комплекс оборудования для бесконтактного контроля проходящего подвижного состава.

5. Компании Siemens, Rhombert SERSA, East Japan Railway и технологии обработки данных Big Data.

6. Швейцарская компания ABB представила опыт создания виртуального центра хранения и анализа данных.

В европейских странах безотказность оборудования, его готовность и ремонтпригодность, безопасности на ЖДТ решается с помощью системы RAMS. Эта система, однако, не учитывает требования отечественных стандартов; не рассматривает влияние человеческого фактора; не решает

проблем управления затратами на содержание и модернизацию объектов инфраструктуры на всех этапах жизненного цикла. Таким образом, RAMS не в полной мере решает задачи управления надежностью, безопасностью, ресурсами.

В развитие методологии RAMS в России создана система УРРАН [117, 151]. В ней технология управления рисками впервые для ЖДТ определена ГОСТом Р 54505-2011 «Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте».

При организации мониторинга, анализа и управления на ЖДТ проблема больших объемов данных о перевозочном процессе решается использованием понятий Big Data, переходом на цифровые технологии обработки данных [69, 111, 113]. Вторая проблема (отсутствие полноразмерных технологий мониторинга и адекватной системы поддержки принятия решений) решается в рамках специальных сфер деятельности ЖДТ (сортировочные процессы, эксплуатация инфраструктуры ЖДТ, оптимизация и обеспечение безопасности перевозочного процесса, экология и энергосбережение и т. д.). Принципы решения и содержание третьей проблемы формируются через создание интеллектуально функционирующих систем [39, 113], и ее решение также имеет выход в создании специальных цифровых технологий.

Анализ существующих подходов к мониторингу, анализу и управлению на транспорте проведем в рамках частных вопросов, но по широкому спектру транспортных проблем. Это позволит, с одной стороны, сформировать общие принципы мониторинга, анализа и управления на транспорте, а с другой – заимствовать полезные идеи для развития ЖДТ. В цитируемой работе [120] описывается ряд соответствующих приложений.

В частности, отмечается, что на автомобильном транспорте при создании и продвижении рыночных продуктов важную роль играет НИОКР. По данным цитируемой статьи, на момент проведения соответствующего исследования «автомобилисты» вкладывали 5 % годового оборота, а «железнодорожники» – только 2,7 %.

Тем не менее и на ЖДТ ситуация имеет некоторый прогресс. Об этом говорят многочисленные ссылки. Вот некоторые отмеченные в [120] направления.

Разработаны специализированные программы (например, Shift2Rail), нацеленные на разработку и продвижение инноваций на ЖДТ. В России также этот вопрос активно дискутируется и развивается, см., например, [150].

Усиление приватизации ЖД в мире актуализирует проблему создания информационных систем, обеспечивающих доступ клиентуре и всех причастных сторон. В нашей стране подобные исследования ведутся, например, в рамках создания интеллектуальных систем ЖДТ (ИСУЖТ) [39, 86, 87]. Решение одной проблемы ставит другую: возникает конфликт между безопасностью и требованиями качества-эффективности.

Компания Wi-Tronix поставляет системы беспроводного контроля, позволяющие «улучшить использование активов, снизить эксплуатационные затраты, сократить количество сходов подвижного состава с рельсов, повысить эффективность работы и, в конечном счете, повысить свою конкурентоспособность» [120]. В частности, аппаратный комплекс Wireless Processing Unit (Wi-PU) обеспечивает автоматизированный сбор и анализ данных от бортовых устройств, согласовывается с любыми устройствами, генерирующими данные. Комплекс Wi-PU дополняется программными средствами, обеспечивающими доступ партнеров и способствующими развитию партнерских отношений к внедрению инноваций.

Эта же компания создала систему Wi-Nostix для прогнозного диагностирования потенциальных отказов двигателей. Прогнозируются дорогостоящие отказы и вырабатываются рекомендации по проведению предупреждающих мер, что способствует улучшению эффективности использования локомотивного парка. В России можно назвать аналогичные разработки (автоматы-советчики).

Продукт Violet (этой же фирмы) регистрирует события, используемые при проведении расследований чрезвычайных происшествий (проезд запрещающих сигналов), при оценке навыков вождения поездов.

В работе [24] описывается опыт разработки систем технического мониторинга и диагностики (ТМД) компанией «Компьютерные информационные технологии» с использованием технологий ЦП. В сфере внимания компании – следующие объекты инфраструктуры ЖДТ:

- вся номенклатура устройств железнодорожной автоматики и телемеханики;
- системы, приборы и устройства электроснабжения;
- объекты пассажирской автоматики;
- системы охранно-пожарной сигнализации;
- системы локации местоположения персонала.

Разрабатываемые системы ТМД выступают агрегатором данных от разнородных источников информации. При этом обеспечивается связь с системами верхнего уровня. Это также информационная среда интеграции элементов других систем.

Неотъемлемая часть этой системы – высокоскоростная передача данных (обеспеченная беспроводными каналами, волоконно-оптическими каналами).

Основные направления разработки:

1. Мобильные приложения. Мобильные пользовательские приложения поддерживаются платформами Android и IOS. Они обеспечивают максимальную оперативность получения данных о состоянии контролируемых систем. Данные могут просматриваться как в режиме реального времени, так и в режиме архива. В качестве примеров применения мобильных приложений можно назвать систему просмотра поездного положения, систему диагностики пассажирской автоматики.

Сдерживающим фактором применения описываемых мобильных приложений является отсутствие нужной сети передачи данных на «РЖД».

2. Интеллектуальные системы. Интеллектуальные системы ТМД базируются на технологии обслуживания устройств по состоянию. Они включают:

- прогнозирование изменения значений измеряемых параметров;
- контроль стабильности функционирования (выхода за пределы нормы).

Например, создана система ТМД стрелочного привода с двигателями переменного и постоянного тока. Система выявляет как электрические, так и механические неисправности.

3. Технологии обработки больших данных. Большие данные на ЖДТ возникают в том числе и в результате эксплуатации систем ТМД. Эти данные создают хорошие предпосылки к разработке систем машинного обучения, автоматической оценки рисков.

Эффективность систем ТМД можно повысить, если предоставить им доступ к данным других информационных систем, увеличить вычислительные возможности соответствующих серверов.

4. Цифровой хаб. Как следует из предыдущего анализа, следующим шагом развития систем ТМД является создание единого цифрового хаба. Хаб должен быть не составной частью систем ТМД, а стоять над ними, обслуживая и другие информационные системы.

Проведенный анализ развития технологий ЦЖТ показывает, что их применение (введение в практику деятельности) размывает понятие базовых и вспомогательных процессов.

Рассмотрим еще один пример, характеризующий интеллектуализацию ЖДТ. Это разработка и внедрение систем управления бизнес-процессами (BPMS), которая позволяет:

- за счет четкого распределения функций между отдельными сотрудниками и отделами ускорить рабочий процесс;
- автоматизировать документооборот и тем самым повысить скорость и эффективность бизнес-процессов.

Воздушный транспорт России является пионером в использовании подобных систем.

Автоматизация деятельности предприятий, осуществляющих логистику и грузоперевозки, осуществляется на основе платформы Comindware Business Application Platform. Это новейшая разработка, эффективность которой можно проверить бесплатным тестированием. Преимущества решений, полученных на базе Comindware Business Application Platform, заключаются в следующем:

- задачи, формируемые конкретным сотрудникам, определяются конкретными бизнес-процессами;
- до минимума сведено дублирование функций в организации, часто характерное для структурно-функциональной организации труда;
- заложены функции контроля и стимулирования выполнения всех стадий производственных процессов;
- сокращены задержки продвижения распорядительных документов;
- расширен спектр и усилены горизонтальные связи сотрудников;
- в системе заложены автоматические реализуемые возможности поощрения работников и назначения дисциплинарных мер к сотрудникам;
- руководителю в реальном времени доступно состояние дел по каждому процессу и каждому сотруднику (предусмотрена возможность отслеживать грузы по GPS и получать отчеты на e-mail и телефон).

По мере роста компании (любой транспортной сферы) роль BPM-систем для управления бизнес-процессами резко возрастает. Системное управление логистикой, основанное на процессном подходе, реализуемом BPM-системами, позволяет:

- согласовать все управленческие действия отправителя и получателя грузов;
- увязать единым процессом объекты инфраструктуры, маршруты, сроки и цены.

Еще один важный аспект цифровизации и интеллектуализации базовых и вспомогательных процессов на транспорте связан с внедрением технологий

блокчейна. Контейнерный перевозчик ZIM в ноябре 2017 года анонсировал внедрение первого в мире блокчейн-коносаментов. Эксперимент, проводимый в течение всего 2018 года на различных линиях, был признан удачным, что подтвердили и его партнеры – компании Wave Ltd и Sparx Logistics. Блокчейн-технологии на транспорте позволяют, как заменить бумажный документооборот, так и значительно оптимизировать электронный.

Проведенный анализ является выборочным, иллюстрирующим возможности цифровых и интеллектуальных технологий на ЖДТ. Он не претендует на полноту и системность, но позволяет сделать вывод о наличии значительного материала для адаптации и использования в рамках темы. И главное, о необходимости систематизации этих разрозненных материалов для решения сформулированной проблемы.

2.6. Выводы по главе

1. Прокомментированы и уточнены актуальные для диссертационного исследования понятия «транспортные комплексы», «системы», «сети», «системы мониторинга и диагностики», «безопасность и эффективность перевозочного процесса» и др. Предложено ввести различные классификационные схемы, например, безопасность техническая, программная, организационная, а эффективность – технологическая, экономическая.

2. Проанализированы преимущества и недостатки системного и процессного подходов к управлению сложными производственными объектами ЖДТ. Обоснована необходимость развития и внедрения процессного подхода на ЖДТ. В частности:

- уточнена структурная схема взаимодействия участников и процессов;
- расширен перечень критериев (к показателям качества добавлены показатели эффективности и безопасности);
- расширен состав менеджмента (в дополнение к менеджменту ресурсов и кадров добавлен менеджмент производственных процессов);

– уточнен функционал блока «измерение, анализ, улучшение» – теперь это «мониторинг, диагностика, прогнозируемое реагирование».

3. Разработаны морфологические модели синтеза СМД, учитывающие загрузку исследуемого объекта инфраструктуры, состояние вагонного парка, требования к безопасности перевозочного процесса и уровню инновационного развития отрасли.

В рамках этих моделей поставлена оптимизационная задача синтеза СМД в условиях:

- детерминированности и определенности данных;
- статистической неопределенности данных.

4. Повышение эффективности и безопасности функционирования ТС предложено осуществить за счет внедрения прогрессивных технологий *прогнозируемого* технического обслуживания объектов транспортной инфраструктуры по состоянию.

5. Обоснована необходимость объединения базовых процессов перевозки пассажиров и грузов и процессов прогнозируемого ТО.

6. Проанализированы роль и место, возможности и пути дальнейшего развития процессов цифровизации и интеллектуализации транспортных систем.

3. РАЗВИТИЕ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ

В данном разделе диссертации проанализирован инструментарий исследования и принятия решений при процессной организации работ в ТС, способствующий повышению эффективности и безопасности перевозочного процесса в целом и задействованных в нем ТС, в частности (п. 3.1).

Для моделирования процессного подхода предложено использовать две модельные конструкции: математический аппарат теории массового обслуживания и метод взаимного учета экономических и производственных интересов субъектов перевозочного процесса (см. Приложение 2).

Развит метод взаимного учета экономических и производственных интересов ТС одного уровня управления (как при последовательной, так и параллельной работе) – п. 3.2.

Определены роль и место кластеров и технологических ценозов в исследовании и развитии транспортных комплексов (см. Приложение 3).

Проблема обеспечения эффективности и безопасности функционирования ТК рассматривается с позиции категорий теории организационно-технологической надежности (см. Приложение 4).

Оптимизационные задачи, поставленные для ТС, исследованы в п. 3.4.

3.1. Методы и модели исследования сложных транспортных комплексов

Транспортные комплексы, рассматриваемые как с позиции системы, так и с позиции сети, характеризуются широким диапазоном:

– свойств, среди которых следует отметить высокую априорную неопределенность, нестационарность и нелинейность функционирования, зашумленность данных и др.;

– сфер деятельности (перевозка пассажиров и грузов, грузовая и сортировочная работа, транспортная логистика, транспортное производство и пр.).

В соответствии с общесистемным законом необходимого разнообразия указанная сложность ТС требует аналогичного разнообразия:

- подходов и методов исследования;
- методов и средств управления [9, 25, 100].

Как уже обосновано в главе 1, сложность ТК требует систематизации и развития методов и подходов их исследования и управления ими. Существующие методики исследования сложных объектов делятся на два типа, не имеющие между собой четких границ: качественные и количественные.

К первому типу можно отнести метод сценариев, мозговой штурм, начальные стадии морфологического, когнитивного анализов, а также PEST- и SWOT-анализ [2, 30, 45, 150]. При углубленном применении эти методы обеспечивают исследователя количественными данными, то есть являются промежуточными, и способствуют формализации качественно сформулированных задач.

Ко второму типу методов относятся теория вероятностей и математическая статистика [17, 74, 75, 96], ценологический анализ [27, 63, 64], теория автоматического управления и регулирования [36], методы оптимизации [51, 80, 154] и др.

Все указанные подходы и методы уже активно используются при исследовании и управлении ТК [30, 45, 56–58, 77]. В настоящей работе в рамках сформулированной темы предполагается объединить эти методы в единую технологию исследования с целью получения положительного синергетического эффекта совместного применения.

Весь анализируемый инструментарий разобьем на два класса: методы и модели исследования сложных объектов (у нас ТК), методы и технологии принятия обоснованных решений.

3.1.1. Анализ методов и моделей исследования и принятия решений в транспортных комплексах

1. Методы PEST- и SWOT-анализа [2, 56] позволяют выявить проблемные поля и стратегии развития ТС. Традиционно PEST- и SWOT-анализ дает экспертную (то есть субъективную), выраженную вербально, информацию об исследуемых объектах и процессах. Ее эффективное использование требует структурирования и оцифровки этих данных. Этим целям служат когнитивный, морфологический виды анализа, средства теории нечетких множеств [80].

Через призму этих методов процессный подход, развиваемый в работе, видится в двух аспектах:

- 1) процесс исследования, разворачиваемый во времени и осуществляемый параллельно с производственным процессом;
- 2) методы PEST- и SWOT-анализа как первый этап (основа) формализации процессного подхода.

PEST-анализ применяется для исследования среды погружения ТК: политических, экономических, социальных и технологических аспектов. К последнему аспекту, в частности, относится цифровизация транспортных процессов. Цифровая экономика требует развивать технологии цифрового транспорта.

SWOT-анализ ТК сосредоточивается на внутренних проблемах ХС транспортной отрасли: исследовании его сильных и слабых сторон, возможностей и угроз.

По результатам этих анализов строится когнитивная модель функционирования ТС. В когнитивной модели необходимо выделить два типа акцептов:

- акцепты – показатели деятельности систем, отражающие критерии функционирования ТС (экономическая и производственная эффективность, безопасность);
- факторы влияния (управляющие параметры: интенсивность процессов в ТС, степень организационно-технологической надежности).

2. Когнитивный анализ [30, 45, 95] это формальная процедура выявления взаимосвязи управляющих факторов с показателями функционирования ТК. Они позволяют обнаружить петли обратной связи, анализ которых помогает судить об устойчивости и характере развития ТК. Известно, что отрицательные обратные связи стабилизируют процессы (как позитивные, так и негативные), а положительные обратные связи «разгоняют» их. К позитивным подпроцессам относятся: внедрение инноваций, цифровизация и интеллектуализация транспортных процессов, совершенствование кадрового потенциала отрасли. К негативным подпроцессам относятся: износ фондов и объектов инфраструктуры ТК, деградация интеллектуального потенциала сотрудников и пр. Когнитивный метод исследования наряду с экспертным анализом [56] предоставляет инструментарий имитационного моделирования, позволяющий с помощью средств вычислительной техники исследовать последствия влияния на объект тех или иных факторов (как форс-мажорных, так и управляющих). Имитационное моделирование позволяет в лабораторных условиях оценить последствия влияния тех или иных факторов, принятых решений.

КА позволяет выделить существенные факторы и раскрывает сущность исследуемого процесса (его структуру и содержание: точки бифуркации, условия развития и деградации, способы и параметры управления процессом).

3. Морфологический анализ [56] ТК структурирует факторы и формирует набор возможных сценариев их развития. Данный анализ в силу его важности подробно рассмотрен в следующем параграфе данной главы на примере встраивания подсистем мониторинга и диагностики в транспортные системы. На основе морфологического анализа легко осуществляются процедуры оптимизации (см. описание таблицы 2.2).

4. Теория массового обслуживания [21, 39, 47, 80] используется для решения многочисленных транспортных задач. В том числе и для анализа и синтеза структуры и функций системы организации ТО объектов транспортной инфраструктуры. В рамках этого инструментария также рассматриваются сети систем массового обслуживания, описывающие мониторинг, диагностику и техническое обслуживание этих объектов. Сферы и условия применения теории

массового обслуживания в рамках исследуемой задачи проанализированы в Приложении 1 и п. 3.2.

5. Теория активных систем [14, 93, 94] – перспективное направление исследования управленческих процедур, которое требует расширенного применения на ЖДТ. В рамках этого направления в работе развиты методы взаимного учета экономических и производственных интересов субъектов перевозочного процесса [2, 76].

Теория активных систем решает традиционную функцию моделирования процедур принятия решений в области согласования интересов руководителей процессов как на одном, так и на разных уровнях управления ТС. Кроме того, инструментарий теории активных систем формирует благоприятную корпоративную культуру в организации, исключая субъективизм, ангажированность специалистов и руководителей.

Подробнее сущность этих исследований в работе в рамках темы исследования представлена в п. 3.2 и Приложении 2.

6. Кластерный и ценологический виды анализа [63, 64, 91] служат описанию устойчивых объединений хозяйствующих субъектов и предприятий. Предметом исследования в данных методах являются эффекты самоорганизации, возникающие в данных объединениях, которые определяют новые качества синтезируемых систем управления: снижение роли субъективизма исследователя и управленца, повышение их живучести, надежности и эффективности. Этим методам посвящено Приложение 3 диссертации.

7. Реализация процессного подхода формулирует новые требования к безопасности производственных процессов, связанные с их высокой динамичностью и неопределенностью. Перспективным направлением на этом пути является теория организационно-технологической надежности [19, 20, 106, 135]. ОТН позволяет:

– дать оценку безопасности функционирования транспортных комплексов средствами теории вероятностей, математической статистики, теории нечетких множеств [80];

– сформировать управление ТК с позиций системного анализа условий и задач их функционирования.

В диссертации принципы и возможности ОТН для совершенствования процессного подхода изложены в п. 3.3 и Приложении 3.

8. Важное место в процессном подходе, реализуемом на ЖДТ, занимают методы теории распознавания образов, моделирующие процессы диагностики железнодорожных устройств и систем. Сфера применения методов ТРО на транспорте чрезвычайно обширна. В рамках настоящего исследования эти методы используются для создания интеллектуальных ТС. А именно при:

- классификации объектов транспортной инфраструктуры, например, на классы «нормально работающие», «требующие безостановочного ТО», «требующие останова процесса и ремонта оборудования» (см. п. 2.3);
- выявлении и исправлении дефектов подвижного состава (см. п. 4.3);
- распознавании номеров вагонов и других подвижных единиц в процессе функционирования ТС.

9. Транспортные процессы можно характеризовать различными показателями (надежность, безопасность, экономическая и производственная эффективность, качество предоставляемых транспортных услуг и т. д.). Поэтому в работе нашли развитие методы оптимизации по различным параметрам ТК. В частности, предлагается технология оптимизации, развитая в [58], учитывающая многообразие составных критериев и ограничений оптимизации, дискретный характер полного перебора вариантов развития.

10. Следует особо отметить методы и технологии принятия решений с помощью средств искусственного интеллекта. На их основе реализуются информационные технологии мониторинга объектов инфраструктуры ЖДТ [24, 34, 52, 119]. К средствам реализации искусственного интеллекта относятся базы данных, хранилища данных, OLAP-технологии, Data Mining, интеллектуальные платформы (например, ИСУ ЖТ).

3.1.2. Аналитическое описание процессов развития и деградации в транспортных системах

Выше предложено моделировать ТС вектором параметров, каждый из которых может изменяться во времени. Предположим также, что позитивная динамика ТС связана с увеличением этих параметров. Например: прибыль, рентабельность, производственные показатели (объемы погрузки, выгрузки, перевезенных грузов и пассажиров). Если исходный параметр имеет иную направленность (число сбоев системы, степень износа оборудования, время простоя), то путем несложных преобразований вводится новый параметр, функционально связанный с первым, но имеющий нужную динамику. Например, вместо степени износа P оборудования ТС, выраженной в относительных единицах от 0 до 1, введем показатель $Q = 1 - P$, который будет возрастать при уменьшении износа.

При этих предположениях процессы, протекающие в ТС можно классифицировать на три класса:

- 1) деградирующие (параметры ТС стремятся к 0);
- 2) позитивно развивающиеся (наблюдается постоянный рост параметров);
- 3) стабильные (сохраняющие свои параметры в течение продолжительного времени).

Первые два типа процессов основаны на положительной обратной связи в системе, а третьи – на отрицательной обратной связи.

В качестве примера модели деградирующих ТС можно рассматривать порочные круги Кналла (описывающие негативное развитие системы) [95], см. гл. 1 (п. 1.1, 1.3).

В [150] понятие кругов Кналла расширяется, и с их помощью описываются и спирали деградации, и спирали позитивного развития систем (см. рисунок 3.1). Уточним и применим этот инструментарий для анализа процессов в ТС.

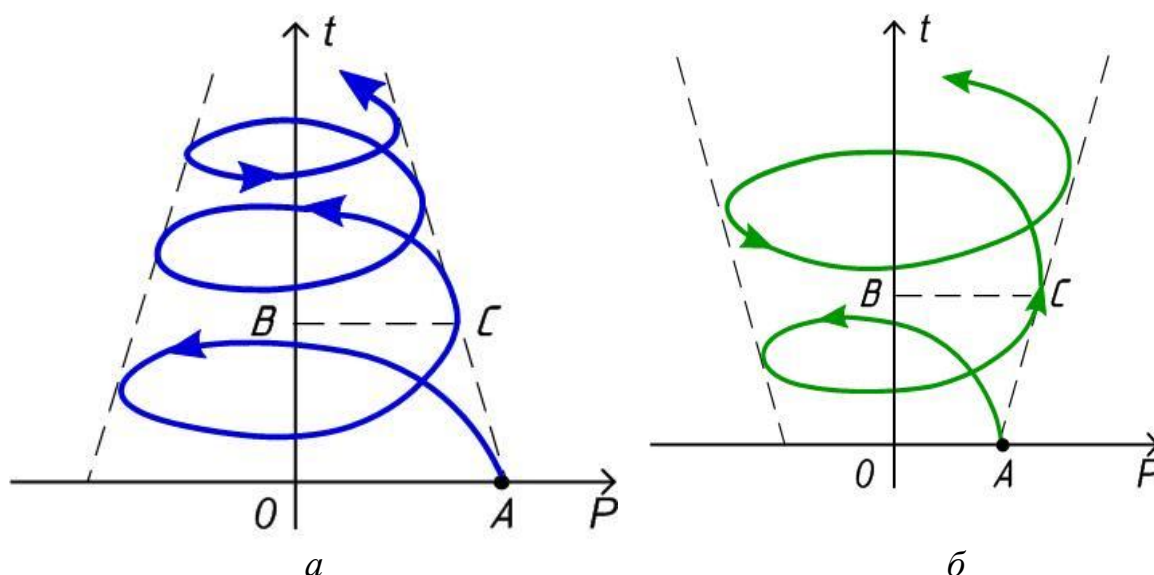


Рисунок 3.1. – Спирали деградации (а) и позитивного развития системы (б): ¹²

ОА – начальный потенциал системы;

ВС – потенциал после одного цикла развития системы

Аналитическое описание исследуемых процессов может осуществляться различными способами (функции, временные ряды, дифференциальные уравнения). В [150] предложены две простейшие математические конструкции, позволяющие оценить исследуемые процессы в первом приближении.

1. Регрессионная зависимость, описываемая соотношением:

$$P(t) = at + b, \quad (3.1)$$

где t – время; a и b – коэффициенты модели.

Соотношение (3.1) представляет собой простейшую линейную зависимость, рассчитываемую по наблюдаемым статистическим данным. Эта модель позволяет спрогнозировать изменение параметра системы $P(t)$, определить момент времени достижения системой его некоторого заданного значения P_3 .

2. Следующий вид модели развития ТС (позитивного или негативного) задается итерационным соотношением:

$$P_i = kP_{i-1}. \quad (3.2)$$

¹² Заимствовано в [150].

Технология анализа (идентификации и применения модели) социально-экономической системы по модели (3.2) может быть следующей:

– оценивается исследуемый параметр системы за некоторый предшествующий период времени, и в результате получаем ряд значений: P_1, P_2, \dots, P_n .

– для каждой пары значений параметра определяется частное значение коэффициента модели k ;

– эти частные значения усредняются.

Усреднение может быть двух видов: среднее арифметическое и среднее геометрическое, см. соотношения (3.3):

$$k = (\sum_{i=1}^{n-1} (P_{i+1}/P_i))/(n-1), \quad k = (P_{i+1}/P_1)^{1/(n-1)}. \quad (3.3)$$

Так как модель (3.2) описывает мультипликативные эффекты, то предпочтительной для расчета коэффициента k является вторая формула из (3.3).

Если значение $k > 1$, то система развивается позитивно (в условиях наших предположений), если $k < 1$, то деградирует, при $k = 1$ состояние ТС остается стабильным.

Модели (3.1) и (3.2) имеют различные форматы представления, что затрудняет их сравнение и выбор подходящего вида модели для анализа исследуемого процесса. Для приведения их к одному формату заменим в (3.1) непрерывный параметр t на дискретный i .

Получим:

$$P_i = ai + b. \quad (3.4)$$

Аналогично можно записать:

$$P_{i-1} = a(i-1) + b. \quad (3.5)$$

Из (3.5) и (3.4) следует:

$$P_{i-1} = ai - a + b = P_i - a.$$

То есть

$$P_i = P_{i-1} + a. \quad (3.6)$$

Таким образом, модель вида (3.1) описывает аддитивные эффекты (то есть показывает, на какую постоянную величину изменяется исследуемый параметр), а модель вида (3.2) – мультипликативные эффекты (во сколько раз он изменяется) развития сложной системы (в том числе ТС).

Выбор модели позволяет сформировать схему управления кругом Кналла (см. рисунки 1.1–1.3): в первом случае на каждом цикле выделяется фиксированная сумма ресурсов на развитие ТС, во втором случае – доля от достигнутого на предшествующем этапе.

Идентификация исследуемых моделей предполагает:

- стационарность развития исследуемого процесса (параметры a , b , k определяются статистически);
- наличие достаточной статистической информации для получения надежных оценок используемых параметров.

Достоинством моделей (3.2) и (3.6) является возможность итерационного перерасчета параметров модели при получении дополнительной информации.

Обе анализируемые модели своим видом предполагают:

- стационарность процесса (параметры модели не зависят от времени);
- независимость от внешних возмущений (учитывается только инерционность процесса).

Соотношения (3.1), (3.2) и (3.6) позволяют решить несколько простых задач (в предположении стационарности исследуемого процесса):

- спрогнозировать изменение позиции системы на несколько шагов вперед;
- определить момент времени $t = i$, в который будет достигнут заданный уровень состояния потенциала системы.

Из этого анализа следует сделать вывод о необходимости применения теории временных рядов, в самом общем виде учитывающую и предысторию развития, и влияние внешних факторов (смешанные модели авторегрессии-скользящего среднего) [17, 80, 96]:

$$P_i = k_1 P_{i-1} + k_2 P_{i-2} + \dots + k_n P_{i-n} + b_1 f_1 + \dots + b_m f_m. \quad (3.7)$$

В (3.7) динамика изменения развития отрасли оценивается взвешенными значениями P_{i-w} , где $w = 1, \dots, n$, а внешние воздействия – их взвешенными значениями f_i , где $i = 1, \dots, m$. Одновременно учитываются и аддитивные, и мультипликативные эффекты.

Развитие и деградация ТС может исследоваться и с позиции когнитивного анализа. Положительная обратная связь способствует наращиванию эффекта (как позитивного – развитие ТС, так и негативного – их деградация). Отрицательная обратная связь способствует стабилизации работы системы на заданном уровне. Использование понятий положительной и отрицательной обратной связи позволяет обратиться к хорошо разработанному и многократно апробированному в технических системах инструментарию теории автоматического управления и регулирования [36]. Теория автоматического управления и регулирования позволяет синтезировать из отдельных связей более сложные структуры отношений как внутри ТС, так и ТС со средой ее погружения. В результате на основе передаточных функций системы решаются следующие задачи развития ТС:

- оценивается устойчивость проходящих в них процессов (в том числе колебательность функционирования);
- прогнозируется развитие процесса на различных временных горизонтах;
- синтезируются управляющие блоки, обеспечивающие заданные параметры функционирования ТС;
- осуществляется управление состоянием объекта исследования (ТС и/или составляющими ее процессами).

Традиционно методы PEST- и SWOT-анализа относятся к предварительным – доформальным методам исследования слабо структурированных объектов. Когнитивный анализ, основанный на данных PEST- и SWOT-анализа, представляется, как переходной метод к формальным процедурам.

На стратегическом уровне исследования к формальным (аналитическим) методам относится и ценологический анализ. Он представляет ТК как «живой»

организм, обладающий свойствами самоорганизации, самосовершенствования. Если достичь этого состояния ТК, то ручное вмешательство в его работу, а также негативная роль человеческого фактора будут сведены к минимуму.

Сущность ценологического анализа и возможности его применения подробно раскрыты в Приложении 3.

3.2. Развитие метода взаимного учета экономических и производственных интересов ТС одного уровня управления

В Приложении 2, П2.2 рассмотрен механизм согласования интересов ХС (ТС) различных уровней управления, оперирующий понятиями: штрафные санкции с коэффициентом $0 < k < 1$, область согласованных решений – $[a; x_T]$.

У этого механизма есть несколько существенных недостатков:

1. Верхний уровень управления не учитывает интересов ТС нижнего уровня (план спускается сверху – см. п. 3 алгоритма). Основная идея метода – обеспечить обязательность выполнения плана путем назначения подходящих штрафных санкций ТС нижнего уровня.

2. Нет сравнения между собой интересов ХС нижнего уровня. Они, как правило, различны. Очевидно, что при последовательном соединении звеньев (см. рисунок П2.1) возможности наиболее слабого звена определяют и возможности всей цепи. При параллельном соединении звеньев (см. рисунок П2.2) такое сравнение позволит рационально распределить нагрузку между ними.

Теперь задача ЕСТП состоит в расчете общей нагрузки сети с максимальным учетом интересов всех участников транспортного производства. Для этой цели можно применить различные оптимальные стратегии [58, 80, 82], использующие инструментарий теории игр, методы Парето, Понтрягина и др. Однако для их успешного применения не всегда имеется необходимая для адекватного моделирования информация. Поэтому применим стратегию

рационального распределения заданий, основанную на рассмотренной выше модельной конструкции.

Возможны различные варианты постановки задачи:

1. Рассмотреть системы нижнего уровня управления, соединенные последовательно (то есть, выполняющие один объем работы), определить для них компромиссное задание.

2. Для параллельно работающих ТС определить справедливое распределение нагрузки с условием выполнения общего плана работ.

3. Для совместно работающих в оптимальном режиме ТС увеличивается общая нагрузка. Необходимо определить для каждой ТС параметры управления k и x_{Γ} .

Рассмотрим первую постановку задачи. Каждый ХС характеризуется своим критерием функционирования без учета штрафов:

$$y = -m_i(x - a_i)^2 + b_i, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (3.8)$$

Области согласованных решений для каждого из них задаются соотношениями, соответствующими (П2.4):

$$x_{\Gamma i} = a_i + (b_i(1 - k_i)/m_i)^{0.5}. \quad (3.9)$$

Так как при последовательной работе все ТС выполняют один объем работы, то все $x_{\Gamma i}$ равны между собой. Компромисс между ТС будет достигнут, если все штрафные коэффициенты k_i также будут равны между собой, т. е.

$$x_{\Gamma i} = x_{\Gamma} \text{ и } k_i = k. \quad (3.10)$$

Минимальное число звеньев цепи $n = 2$. При этом будем иметь два уравнения вида (3.9) с двумя неизвестными x_{Γ} и k .

Решая эту систему уравнений, найдем искомые неизвестные.

Пример 1: Пусть имеем транспортно-логистическую цепь (ТЛЦ), состоящую из двух последовательных звеньев. Первая характеризуется параметрами:

$$m_1 = 0,2, \quad a_1 = 2, \quad b_1 = 5.$$

Для второго звена соответственно имеем:

$$m_2 = 0,1, \quad a_2 = 1, \quad b_2 = 10.$$

Найти согласованные значения k и x_{Γ} .

На основании (3.9) и (3.10) и данных примера имеем систему уравнений:

$$x_{Г} = 2 + (5(1 - k)/0,2)^{0,5}; \quad x_{Г} = 1 + (10(1 - k)/0,1)^{0,5}.$$

Её решением являются $k = 24/25$, $x_{Г} = 3$.

Если ТЛЦ содержит более трех звеньев, то получаем систему уравнений соответствующей размерности, но также с двумя неизвестными. В общем случае это система несовместных уравнений. Её решением будем считать обобщенное решение – решение, минимизирующее сумму квадратов отклонений левых и правых частей уравнений.

Рассмотрим вторую постановку задачи. Теперь мы имеем n параллельно работающих каналов, описываемых уравнениями вида (3.9). Справедливость распределения заданий между звеньями требует, чтобы $k_i = k$. Для практики интересен случай, когда нагрузка C на ТЛЦ превышает суммарные интересы обслуживающих предприятий:

$$C > \sum_{i=1}^n a_i. \quad (3.11)$$

В этом случае логически правильным (рациональным) будет потребовать равенства коэффициента k для всех параллельно работающих ХС. Границы допустимых промежутков планирования $x_{Г1}$ и $x_{Г2}$ будут при этом различны.

Итак, для определения нижней грани коэффициента k потребуем выполнения равенства:

$$C = \sum_{i=1}^n x_{Гi}. \quad (3.12)$$

Получаем систему из $n + 1$ уравнений: n уравнений вида (3.9) и одно уравнение (3.12). Решая эту систему при условии $k_i = k$, получим искомые значения k и $x_{Гi}$.

Пример 2. Рассмотрим случай двух параллельных каналов транспортного обслуживания. Пусть у этих каналов характеристики те же, что и в примере 1.

То есть: $m_1 = 0,2$, $a_1 = 2$, $b_1 = 5$ и $m_2 = 0,1$, $a_2 = 1$, $b_2 = 10$.

Найти значение k , при котором оба звена совместно выполняют задание объемом $C = 4$.

Имеем три уравнения (два вида (3.9) и одно вида (3.12)) с неизвестными k , $x_{Г1}$ и $x_{Г2}$:

$$x_{Г1} = 2 + 5(1 - k)^{0,5}, \quad x_{Г2} = 1 + 10(1 - k)^{0,5}, \quad x_{Г1} + x_{Г2} = 4.$$

Из решения этой системы уравнений следует: $k = 224/225$, $x_{Г1} = 7/3$, $x_{Г2} = 5/3$.

По результатам наблюдений с помощью регрессионных методов идентифицированы для этих каналов зависимости выручки y от объемов оказанных услуг x . Получили:

$$y_1 = 50 + 10x - 0,5x^2; \quad (3.13)$$

$$y_2 = 34,4 + 6,4x - 0,4x^2. \quad (3.14)$$

После преобразования (3.17) имеем:

$$y_1 = -0,5(x - 10)^2 + 100; \quad (3.15)$$

$$y_2 = -0,4(x - 8)^2 + 60. \quad (3.16)$$

Это значит, что в оптимальном случае при нагрузке $x = 10$ усл. ед. первое предприятие будет иметь выручку y в размере 100 усл. ед., аналогично для второго предприятия $y(8) = 60$ усл. ед. То есть в оптимальном режиме функционирования транспортных услуг два исследуемых параллельных канала окажут услуг в объеме 18 усл. ед.

Пусть необходимо реализовать услуг в объеме $C = 24 > 18$. Согласно приведенной методике по соотношениям (3.9), (3.10), (3.12), (3.15), (3.16) определим значение $k = 0,95$, $x_{Г1} = 13,25$, $x_{Г2} = 10,82$. При этом при выполнении плана будет получена следующая выручка:

$$y_1(x_{Г1} = 13,25) = 94,72; \quad y_2(x_{Г2} = 10,82) = 56,82.$$

Если предприятия не выполняют заявленный план, а ориентируются на благоприятные для них значения соответственно $x = 10$ усл. ед. и $x = 8$ усл. ед., то получим выручку с учетом штрафов в размере:

$$y_{1ш}(10) = 89,72; \quad y_{2ш}(8) = 53,82.$$

Пример показывает работоспособность механизма согласования противоречивых интересов ХС.

Третья постановка задачи. Рассмотрим две горки сортировочной системы станции Инская (четную и нечетную). Среди показателей работы сортировочных горок (СГ) станции Инская выбраны:

– в качестве управляющего фактора – средняя фактическая скорость надвига $x = V$ (км/ч);

– в качестве критериального показателя использован средний горочный интервал J (мин).

Данные по работе горок приведены в Приложении 1, П1.6. С увеличением интенсивности роспуска (таблицы 3.1 и 3.2) показатель J сначала убывает, но затем начинает увеличиваться, так как повышается риск сбоев (нагоны, «чужаки») и необходимо дополнительное время на коррекцию результатов роспуска.

Чтобы привести данные к виду, удобному для моделирования (в соответствие с идеологией теории активных систем, приведенной в Приложении 2), выполним преобразование $y = 25 - J$.

Таблица 3.1 – Статистика функционирования горки Инская-четная

Средняя фактическая скорость надвига $x = V$, км/ч	4,45	4,71	4,97	5,16	5,17	5,19
Средний горочный интервал J , мин	17,15	16,30	16,03	16,49	17,42	17,48
$y = 25 - J$	7,85	8,70	8,97	8,51	7,58	7,52

Таблица 3.2 – Статистика функционирования горки Инская-нечетная

Средняя фактическая скорость надвига $x = V$, км/ч	4,74	4,76	4,83	4,89	4,91	4,97
Средний горочный интервал J , мин	18,74	18,10	17,40	16,44	17,28	17,45
$y = 25 - J$	6,26	6,90	7,60	8,56	7,72	7,55

Модель функционирования горки Инская-четная с округлением коэффициентов до сотых долей в новых координатах имеет вид (с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,7181$):

$$y = -9,04x^2 + 87,12x - 200,93. \quad (3.17)$$

Если привести (3.17) к виду (П2.2), то получим модель с параметрами:

$$m_1 = 9,04, a_1 = 4,82 \text{ и } b_1 = 9,09.$$

Это значит, что в среднем на горке Инская-четная достигается минимум горочного интервала $J = 25 - 9,09 = 15,81$ мин. при скорости надвига $V = 4,82$ км/ч.

Аналогично для сортировочной горки Инская-нечетная по таблице 3.2 получено:

$$y = -81,48x^2 + 796,47x - 1938,20 \quad (R^2 = 0,8691). \quad (3.18)$$

Откуда следует: $m_2 = 81,48, a_2 = 4,89$ и $b_2 = 8,18$.

То есть, в среднем на горке Инская-нечетная достигается минимум горочного интервала $J = 25 - 8,18 = 16,82$ мин. при скорости надвига $V = 4,89$ км/ч.

Соотношения (3.17) и (3.18) представлены на рис. 3.2.

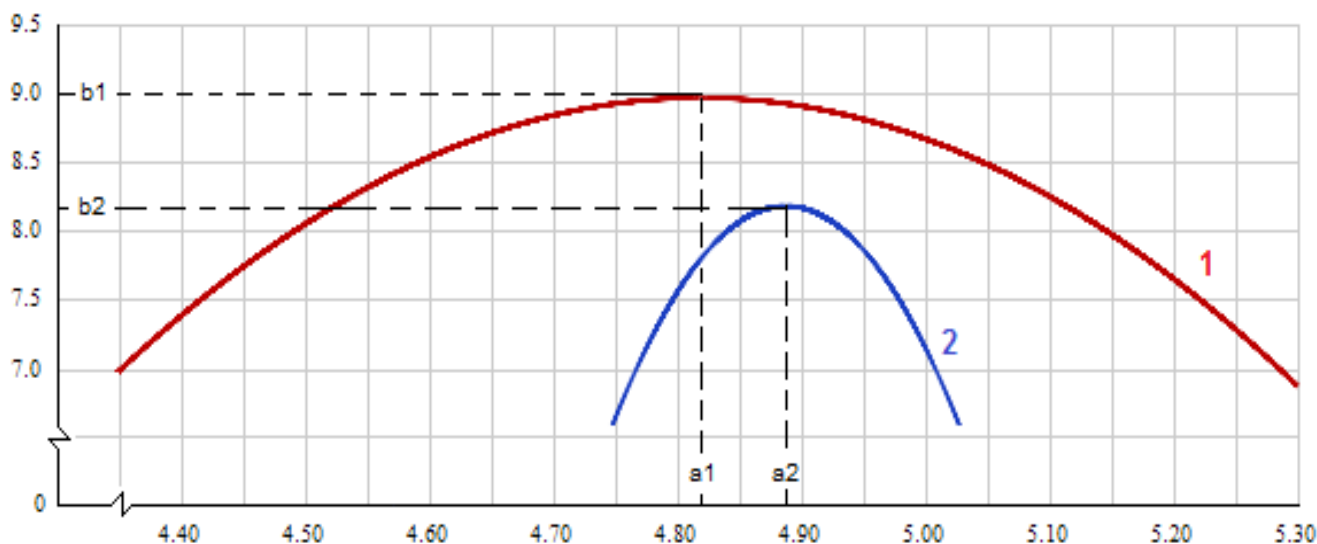


Рисунок 3.2 – Графическая иллюстрация критериев функционирования горок станции Инская: 1 – четная, 2 – нечетная

Пусть теперь интенсивность грузовых потоков увеличилась на 5% от оптимальных значений и необходимо для разгрузки парка приема увеличить средние скорости надвига на горках станции Инская. Это потребует от обеих

горок дополнительных затрат, для реализации которых необходимо вводить стимулирующие коэффициенты k_i .

Рассчитаем необходимые изменения интенсивностей отпуска.

Для горки Инская-четная $x_{Г1} = 4,82 * 1,05 = 5,061$, для горки Инская-нечетная $x_{Г2} = 4,89 * 1,05 = 5,135$.

Согласно соотношения (П2.5) будем иметь: для горки Инская-четная $k_1 = 0,942$, а для горки Инская-нечетная $k_2 = 0,402$. Так как при этом, горочный интервал увеличивается, то необходимо или совершенствовать технологию и технические средства отпуска составов на горке, или уменьшать технологические интервалы между отпусками (совершенствовать ТОиР).

Дальнейшее развитие теории активных систем применительно к функционированию ТС. В настоящее время проблемы эффективности ТС (производственной, экономической, технико-технологической) рассматриваются достаточно независимо друг от друга. Это идет в ущерб общей задаче управления транспортными процессами. Ниже акцентируется необходимость их совместного анализа.

Для оценки возможностей каналов обслуживания следует рассматривать их различные показатели: финансовые (себестоимость, рентабельность), производственные (объемы переработки), надежность, живучесть, безопасность и др.

На рисунке 3.3, *а* представлен общий вид себестоимости S в зависимости от объемов переработки V . Она достигает минимума при некотором значении V_1 .

На рисунке 3.3, *б* схематично показано изменение прибыли (производительности) P . Ее максимальное значение достигается в точке $V_2 > V_1$.

Путем несложных преобразований можно кривые типа *а* и *б* перевести к одному виду, например *б*.

Технология предлагаемого анализа состоит в следующем (рисунок 3.4):

1. Для каждого канала обслуживания строится зависимость вида *б* (см. рисунок 3.2).

2. Идентифицированные зависимости сравниваются между собой.

Становится очевидным, какой канал из ТЛЦ является сдерживающим элементом. На рисунке 3.4 это канал 2.

3. Разрабатываются меры, учитывающие специфику работы канала, обеспечивающие повышение его пропускной способности.

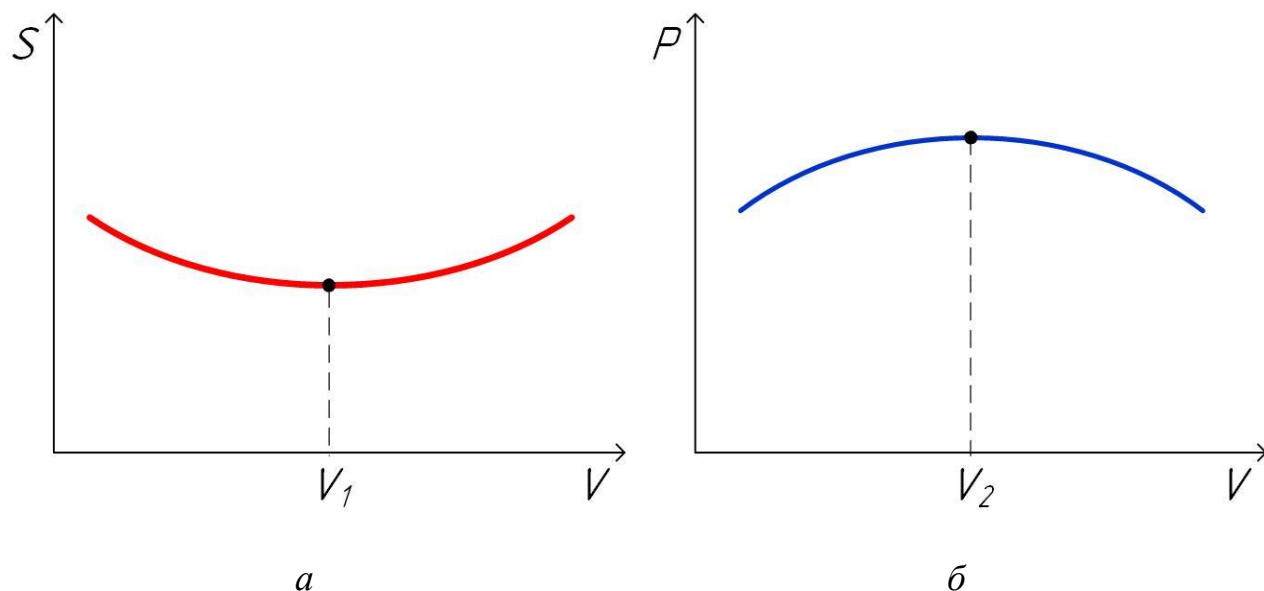


Рисунок 3.3 – Базовые зависимости экономических и производственных показателей каналов ТЛЦ

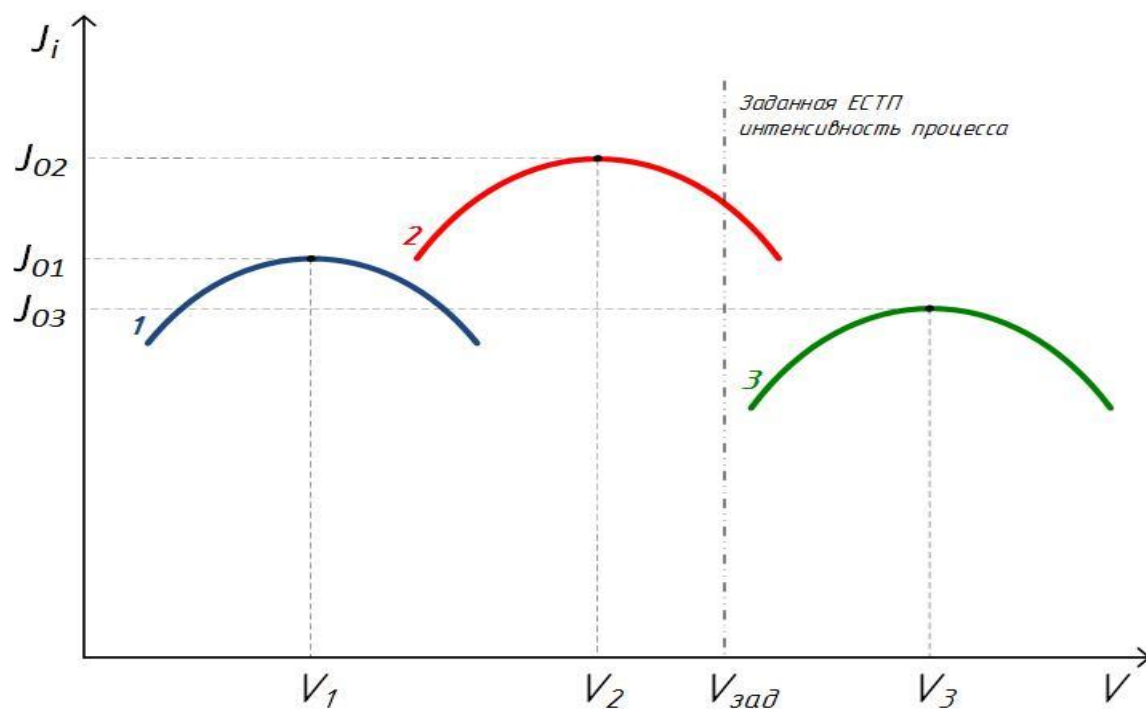


Рисунок 3.4 – Сравнение базовых показателей элементов ТЛЦ

3.3. Постановка оптимизационных задач функционирования ТС

3.3.1. Оптимизация СМО

Для СМО задача оптимизации сводится к нахождению приемлемого компромисса между двумя требованиями:

- минимизация потерь от простоя заявок, что равносильно сокращению длины очереди заявок;
- максимизация загрузки обслуживающего персонала, а также оборудования.

Эти задачи, очевидно, взаимно противоречивы: с уменьшением очереди загрузка каждого «устройства» СМО (в том числе и оператора) увеличивается.

Управляющими воздействиями реструктуризации СМО, являются:

- изменение числа обслуживающих каналов (экстенсивный механизм управления СМО);
- изменение числа фаз обслуживания (интенсификация процесса за счет декомпозиции работ).

Рассмотрим один из возможных вариантов управления развитием СМО – на основе минимизации затрат и потерь на обслуживание клиентов [77]. С этой целью вводится аналитически заданный критерий C , отражающий суммарные потери СМО в единицу времени (рисунок 3.5):

$$C = C_1 + C_2. \quad (3.19)$$

Если $C_1 \leq C_2$, то потери от простоя клиента выше, чем потери на содержание каналов обслуживания, а если $C_1 \geq C_2$, то, наоборот, затраты на персонал и оборудование превышают затраты на потери от простоя клиента.

Показатель a можно трактовать, как величину нормированной стоимости единицы интенсивности обслуживания. Рассчитывается эмпирическим путем по результатам работы СМО при различных значениях μ .

Очевидно, что C_1 пропорционально μ , потому

$$C_1 = a\mu. \quad (3.20)$$

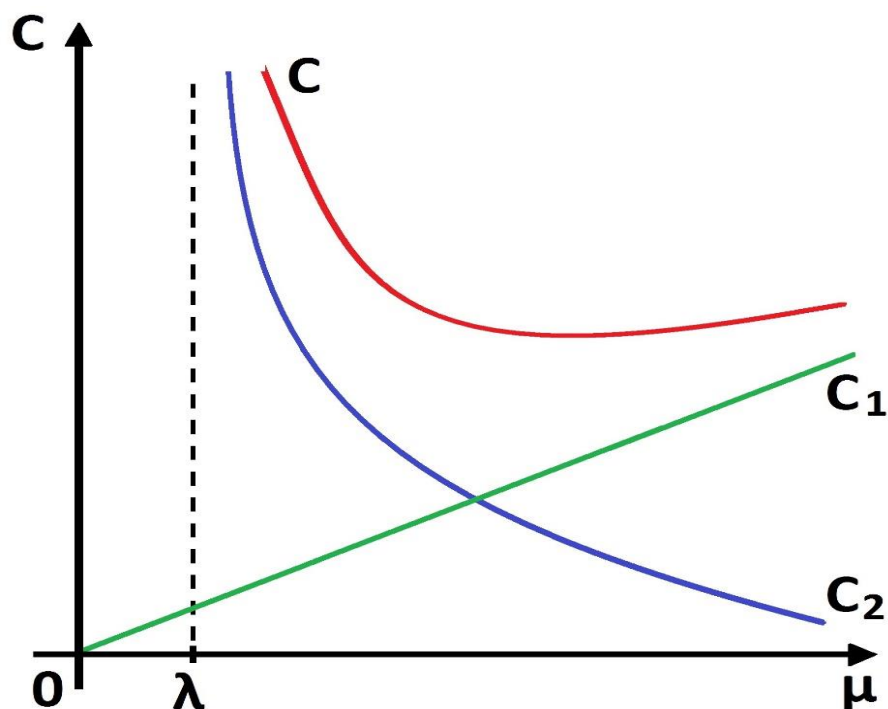


Рисунок 3.5 – Потери СМО в зависимости от интенсивности обслуживания заявок μ (выходного потока):

λ – интенсивность входного потока;

C_1 – потери от увеличения интенсивности обслуживания;

C_2 – потери от простоя клиентов;

C – суммарные потери

В [22] выведена зависимость среднего числа заявок в системе:

$$n_s = \lambda / (\mu - \lambda). \quad (3.21)$$

Из этого следует, что

$$C_2 = b n_s = b \lambda / (\mu - \lambda), \quad (3.22)$$

где b – стоимость единицы простоя клиента.

Учитывая, (3.20) и (3.22), имеем:

$$C(\mu) = a\mu + b \frac{\lambda}{\mu - \lambda}. \quad (3.23)$$

Получили зависимость затрат от интенсивности выходного потока, то есть от числа параллельно работающих каналов СМО. Таким образом, наш критерий имеет вид:

$$J = \min_{\mu} C. \quad (3.24)$$

Из (3.23) и (3.24) легко найдем значение $\mu_{\text{опт}}$, минимизирующее величину C :

$$\mu_{\text{опт}} = \lambda + (b\lambda/a)^{0,5}. \quad (3.25)$$

Соотношение (3.25) позволяет решить несколько важных задач, поставленных в диссертационном исследовании.

1. Если реальные возможности некоторой исследуемой СМО μ ниже оптимальных ($\mu < \mu_{\text{опт}}$), то необходимо совершенствовать систему (внедрять новые технологии и технические средства автоматизации).

2. Пусть имеем СМО с двумя каналами, работающими параллельно. Если параметры каналов a и b равны ($a_1 = a_2$ и $b_1 = b_2$), то легко доказать, что вся СМО работает оптимально при $\lambda_1 = \lambda_2$.

Действительно, общий показатель функционирования системы равен сумме выражений вида (3.23):

$$C = a\mu + b(\lambda_1/(\mu - \lambda_1)) + a\mu + b((\lambda - \lambda_1)/(\mu - (\lambda - \lambda_1))), \text{ так как } \lambda = \lambda_1 + \lambda_2.$$

Приравнивая производную $dC(\lambda_1)/d\lambda_1$ нулю, получим искомое $\lambda_1 = \lambda/2$.

Пример 1. На станцию Инская в августе 2020 года на четную горку в среднем прибывало 63,13 состава, а на нечетную – 65,71 (см. Приложение 1 и п. 3.2).

Для выравнивания нагрузки на горках в этот период достаточно один состав нечетной горки перебазировать для отпуска на четную горку.

Среднее число поездов, прибывающих на станцию Инская за период с августа 2020 года по июль 2021 года, составило для четной горки – 60,06 состава, а для нечетной горки – 66,57 состава.

То есть, в среднем в данном периоде следует с одной горки на другую переадресовывать в день по три состава.

Пример 2. На сортировочной станции интенсивность прихода составов для отпуска составляет величину $\lambda = 3$ шт/ч.

Одна сформированная бригада обеспечивает технический и коммерческий осмотры составов с интенсивностью $\mu_3 = 4$ шт/ч. Известно также, что величина стоимости единицы простоя клиента b в три раза превышает нормированную стоимость единицы интенсивности обслуживания a . Необходимо определить:

– оптимальную интенсивность выходного потока $\mu_{\text{опт}}$;

– число параллельно работающих бригад технического и коммерческого осмотра составов.

Согласно (3.25) получим оптимальное число обслуживаемых в парке приема составов $\mu_{\text{опт}} = 6$ шт/ч. При этом из (3.23) следуют общие минимальные потери $C(6) = 9a$.

Сравнивая μ_3 и $\mu_{\text{опт}}$, можно сделать вывод, что структура СМО с одним каналом обслуживания недостаточна ($6 > 4$), а структура с двумя параллельными каналами (бригадами) – избыточна по числу каналов обслуживания (способны осмотреть 8 составов).

Следует сравнить две возможные СМО (с одним и двумя каналами обслуживания) и выбрать наиболее приемлемый вариант.

Согласно (3.23) в условиях поставленной задачи получаем:

$$C(4) = 13a \quad \text{и} \quad C(8) = 9,8a.$$

Следовательно, если выбирать между одно- и двухканальной СМО, то по заданному критерию выгоднее иметь два канала обслуживания ($C(8) = 9,8a$ ближе к оптимальному $C(6) = 9a$, чем $C(4) = 13a$).

Можно также рекомендовать СМО повысить производительность канала за счет повышения квалификации работающих специалистов, внедрения технико-технологических инноваций (цифровых и интеллектуальных технологий).

Пусть в результате проведенных мероприятий при прочих равных условиях (значений a и b) производительность труда обслуживающей бригады повысилась на 25 %, то есть вместо $\mu_3 = 4$ шт/ч имеем $\mu_n = 5$ шт/ч. В этом случае $C(5) = 9,5a$ и одноканальная система обслуживания будет приоритетной.

3.3.2 Метод оптимальной (максимальной) алгоритмической надежности

На рисунке 3.6 условно представлены критерии *технологической, экономической эффективности* – $J_Э$, *технологической безопасности* функционирования ТК – $J_Б$, в зависимости от управляемых параметров.

К таким параметрам, например, относится *интенсивность работ* V (объемы работ, выполненных в единицу времени; скорость роспуска отцепов на горке, движения поездов по участку; сила тяги, торможения и т.д.).

С возрастанием интенсивности технологического процесса экономическая эффективность возрастает, а безопасность процесса, очевидно, падает. Точка A характеризует переход из зоны экономической опасности в зону экономической безопасности. Это точка безубыточности. Естественными являются условия функционирования ХС (ТС):

– $J_{\text{Э}} \geq J_{\text{Эгр}}$, граничное значение $J_{\text{Эгр}}$ рассчитывается из экономических потребностей ХС, достигается при $V \geq V_1$;

– $J_{\text{Б}} \geq J_{\text{Бгр}}$, граничное значение $J_{\text{Бгр}}$ рассчитывается из требований безопасности, достигается при $V \leq V_2$.

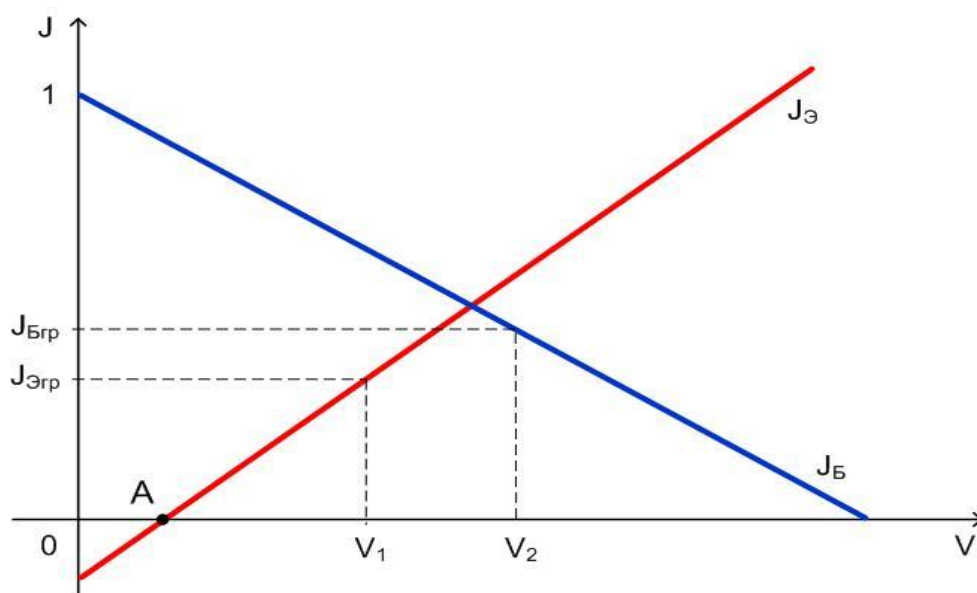


Рисунок 3.6 – Схематическое представление изменения показателей безопасности $J_{\text{Б}}$ и экономической эффективности $J_{\text{Э}}$ ТС в зависимости от интенсивности V

Таким образом, отрезок $[V_1, V_2]$ — область согласованных (для двух критериев) решений. Учитывая высокую неопределенность и зашумленность исследуемых процессов, их нестационарность, в качестве приемлемого решения следует брать середину этого промежутка, что обеспечит минимальную вероятность выхода за допустимые пределы функционирования ТС. То есть, в

данном подходе оптимизируется не конкретный показатель работы ТС, а внешний критерий: минимизация вероятности выхода за зону комфортной деятельности.

Если область согласованных решений $[V_1, V_2]$ является пустой, то это означает, что в данных условиях (требованиях к $J_{Эгр}$ и $J_{Бпр}$) работа ТС невозможна. Необходимо или пересматривать ограничения (снижать), или совершенствовать ТС.

3.3.3 Оптимизация процесса технического обслуживания объектов транспортной инфраструктуры

Рассмотрим задачу моделирования систем технического обслуживания объектов инфраструктуры транспорта средствами теории массового обслуживания, подробно рассмотренной в Приложении 2 с учетом теории организационно-технологической надежности (Приложение 4). Пусть сетевой график процесса технического обслуживания объектов инфраструктуры представлен на рисунке 3.7.

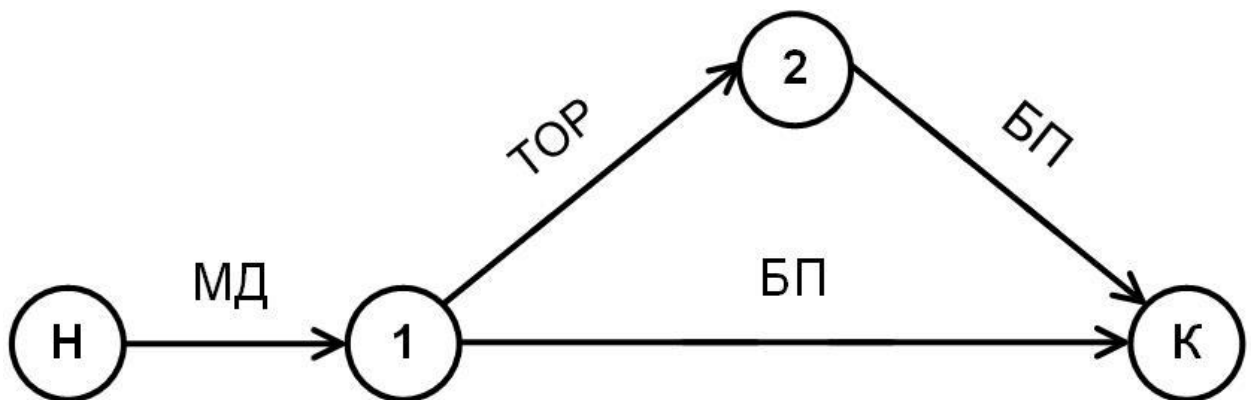


Рисунок 3.7 – Сетевой график процесса технического обслуживания объектов инфраструктуры ЖДТ:

- Н – начало работы по ТО и Р;
- К – окончание работы по ТО и Р;
- МД – процесс мониторинга и диагностики;
- ТОР – процесс технического обслуживания и ремонта;
- БП – базовый процесс.

Критический путь этого процесса: $H \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow K$. Экспериментально можно определить параметры процедуры по каждому виду работ (таблица 3.3). Пусть также выявлено, что параметры процесса подчиняются нормальным вероятностным распределениям.

Таблица 3.3 – Исходные данные для примера по видам работ ¹³

Вид работы (по критическому пути)	T_O	T_{\min}	T_{\max}	$T_{OЖ}$	σ^2
МД в часах	0,03	0,02	0,04	0,030	0,0001
ТОР в часах	0,50	0,34	0,64	0,497	0,0025
БП в часах	4,00	3,60	4,60	4,033	0,0283

Ожидаемое значение продолжительности работы будем рассчитывать по трем временным оценкам (T_{\min} , T_O , T_{\max}) по формуле (П4.4), а дисперсию по формуле (П4.6).

Используя данные таблицы 3.3, рассчитаем для всего критического пути сетевого графика:

$$T_O = 4,53; T_{\min} = 3,96; T_{\max} = 5,28; \sum \sigma^2 = 0,0309.$$

Откуда согласно (П4.4) следует:

$$T_{OЖ} = 4,56.$$

Пусть также технологическим процессом задано:

$$T_{пл} = 4,80.$$

Тогда по (П4.8) определим:

$$\alpha = (T_{пл} - T_{OЖ}) / (\sum \sigma^2)^{0,5} = 1,365188.$$

Согласно (П4.8) будем иметь вероятность превышения критического заданного значения равной:

$$p(T_{OЖ} - T_O) = \Phi(1,37) = 0,4147.$$

¹³ Данные получены для процесса роспуска состава

В зависимости от степени ОТН объекта (переменная x на рисунке 3.8) меняются потери системы от сбоев, а, следовательно, меняется ее эффективность – переменная y .

Чем выше x , тем меньше y – потери от сбоев системы, график 1 на рис. 3.8. Однако при этом возрастают потери на поддержание того или иного уровня надежности – график 2 на рисунке 3.8.

Суммарные потери (суммарная эффективность) имеют на рисунке 3.8 вид 3. Возникает задача оптимизации ОТН системы: необходимо найти «наилучшее» значение переменной x .

В работе [150] предлагается в качестве $x_{\text{опт}}$ выбирать точку пересечения кривых 1 и 2. В этой точке потери от сбоев равны затратам на поддержание соответствующего уровня надежности.

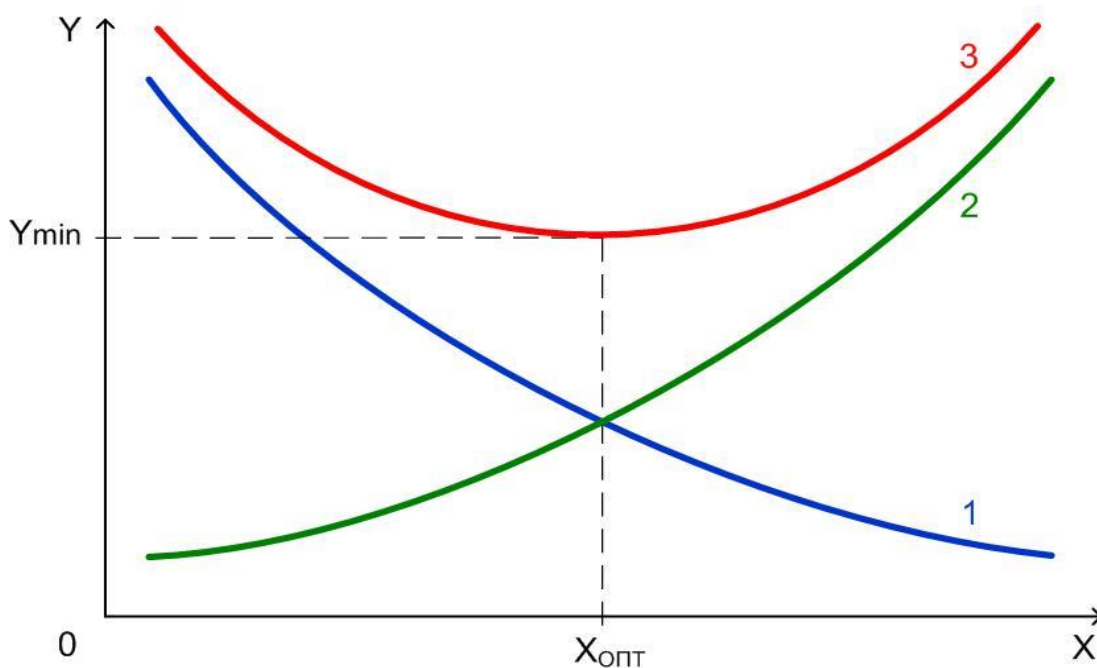


Рисунок 3.8 – Зависимости различных видов потерь от уровня ОТН

Однако легко убедиться, что при этом не всегда будут достигаться суммарные минимальные потери системы.

Достаточно взять в качестве первого графика левую часть параболы $y_1 = (x - 2)^2 + 1$, а в качестве второго – прямую $y_2 = x$.

Их пересечение дает $x_{\text{опт1}} = 1,382$, при этом $y_1(1,382) = y_2(1,382) = 1,382$, а суммарные потери составят величину 2,764.

Образуем теперь зависимость вида 3:

$$y_3 = y_1 + y_2 = x^2 - 3x + 5.$$

Ее оптимум достигается в точке $x_{\text{опт}2} = 1,5 (1,38 \neq 1,5)$.

При этом $\min y_3 = y_3(1,5) = 2,75$.

На рисунке 3.8 представлен частный случай совпадения $x_{\text{опт}1} = x_{\text{опт}2}$.

Первый вариант выбора оптимального x можно использовать, если траты на организацию ОТН и потери от ее недостаточности лежат на разных ХС.

В этом случае «работает принцип справедливости» – ХС несут равные потери. Если задача управления ОТН решается внутри одного ХС, то, очевидно, следует принять вторую стратегию оптимизации потерь на реализацию ОТН.

3.4. Выводы по главе

1. Систематизирован различный инструментарий исследования ТС в единый исследовательский комплекс (модели, описывающие процесс, модели принятия решений, технологии обеспечения ОТН). Предложенные методы и модели исследования обеспечивают возникновение положительного синергетического эффекта. В частности:

- обозначена роль когнитивного и морфологического видов анализа для структуризации проблемы исследования ТС;

- показаны сферы применимости методов теорий ценозов и теории автоматического управления и регулирования для исследования транспортных комплексов;

- систематизированы и исследованы аналитические модели развития сложных систем. Выделены модели, описывающие аддитивные и мультипликативные эффекты развития;

- задача выбора системы мониторинга и диагностики объектов транспортной инфраструктуры поставлена в рамках формализмов морфологического анализа и синтеза.

2. Для моделирования основных и базовых процессов в ТС при процессном подходе предложено использовать математический аппарат теории массового обслуживания и метод взаимного учета экономических и производственных интересов субъектов перевозочного процесса. Определены возможности и ограничения этих методов.

3. На основании применения теории активных систем развита методика согласования противоречивых интересов взаимодействующих ТС одного уровня управления при реализации целей и задач транспортно-логистической цепи.

4. Определены роль и место кластеров и технологических ценозов в исследовании и развитии транспортных комплексов. Сформулированы сущность и задачи ценологического исследования:

- оценка степени развитости техноценоза;
- исследование динамики развития техноценоза;
- оптимизация техноценоза на основе ранговых распределений.

5. Проблема обеспечения эффективности и безопасности функционирования ТК рассматривается с позиции категорий теории организационно-технологической надежности (раскрыта сущность основных понятий теории, описана методика расчета базовых показателей). В частности, раскрыта сущность методики расчета параметров ОТН объединенных основного и вспомогательных процессов.

4. ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

В данном разделе работы рассмотрен ряд практических приложений, иллюстрирующих сущность авторских исследований по теме. Они отражают технико-технологические решения, обеспечивающие цифровизацию и интеллектуализацию ТК. С их помощью прокомментированы:

– сущность процессного подхода к организации транспортного производства;

– содержание и схемы прогнозируемого ТОиР на сортировочной станции.

Представленный ниже материал позволит «достроить» ТС необходимыми механизмами поддержки и принятия решений по диагностике стационарного оборудования, динамики движения и ремонту подвижных единиц на железнодорожном транспорте.

Дана оценка различных параметров эффективности как собственно внедряемых ТС, так и результатов научного исследования.

4.1. Исследование динамики развития инфраструктуры железнодорожного транспорта (на примере локомотивного парка ОАО «РЖД»)

На заседании коллегии Ространснадзора (ноябрь 2017 г.)¹⁴ было заявлено, что состояние железных дорог в России противоречит всем существующим нормам безопасности. Так, только в 2017 году Госжелдорнадзор обнаружил на железных дорогах России порядка 27 000 различных нарушений. Ведомство выдало свыше 1600 запретов на эксплуатацию подвижного состава и технических средств. Количество пожаров в поездах за 10 месяцев 2017 года уже достигло 58. Различные происшествия на железных дорогах происходят

¹⁴ URL: <https://vostokmedia.com/news/society/01-11-2017/rostransnadzor-infrastruktura-rzhd-iznoshena-na-70>.

ежедневно. Число жертв и пострадавших в указанный период превысило 170 человек.

Эксперты считают, что система безопасности «РЖД» переживает системный кризис. Так, из более чем 10 000 железнодорожных поездов России сотрудниками «РЖД» обслуживается только пятая часть. Все это приводит к повышенной аварийности. Для изменения ситуации нужно увеличить финансирование «РЖД» и ужесточить ответственность чиновников. Необходимо проверять алгоритмы действий и автоматики на железнодорожных путях, а также строить новые путепроводы и устанавливать сигнализации.

Общий вывод коллегии Ространснадзора (на анализируемый момент): инфраструктура «РЖД» изношена на 70 %, дефицит финансирования железных дорог в России составляет 85,6 млрд. руб.

В разделе 1.1 при построении кругов Кналла отмечалась необходимость государственной поддержки ЖДТ для его устойчивого (безопасного и эффективного) развития, а в разделе 3.1 описан механизм оценки динамики развития инфраструктурных показателей. Ниже раскроем смысл этих исследований на конкретном примере, а именно оценивая развитие локомотивного парка ОАО «РЖД».

В 2014–2015 гг. государством был принят ряд регуляторных мер в области организации безопасности движения грузового подвижного состава (см. Приложение 1).

В таблице 4.1 приведены данные по годам о развитии локомотивного парка ОАО «РЖД». Здесь:

V – среднесуточный пробег локомотива (км),

S – среднесуточная производительность локомотива (тыс. т.-км, брутто),

P – средний уровень износа локомотивов на сети ОАО «РЖД» (%).

Очевидно, что нагрузка на локомотив стабильно растет, однако при этом степень износа локомотивного парка вследствие предпринимаемых мер поддержки отрасли уменьшается.

Таблица 4.1 – Характеристика локомотивного парка страны¹⁵

Год	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<i>V</i>	537,6	593,6	585,4	591,3	632,6	652,5	663,4	669,5	656,9
<i>S</i>	1631	1812	1791	1820	1965	2038	2097	2135	2137
<i>P</i>	80,3	74,9	74,6	71,4	68,9	68,4	67,3	63,7	61,4

Исследуем процесс обновления локомотивного парка по методике, предложенной в 3.1. То есть смоделируем не процесс деградации, описываемый рисунком 3.1, *a*, а процесс позитивного развития (см. рисунок 3.1, *б*).

Для этого на основании таблицы 4.1 составим расчетную таблицу 4.2 и построим зависимости вида (3.2) $P_i = kP_{i-1}$ и (3.6) $P_i = P_{i-1} + a$.

В таблице 4.2 перейдем от абсолютного времени (годы) к простой нумерации событий.

Получим соответственно (с точностью до сотых долей):

$$P_i = 0,97P_{i-1}, \quad (4.1)$$

$$P_i = P_{i-1} - 2,36. \quad (4.2)$$

Таблица 4.2 – Результаты промежуточных расчетов

<i>i</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>P_i</i>	80,3	74,9	74,6	71,4	68,9	68,4	67,3	63,7	61,4
<i>P_{ia}</i>	–	77,94	75,58	73,22	69,86	67,50	65,14	62,78	60,42
<i>P_{ik}</i>	–	77,89	72,65	72,36	66,83	66,35	65,28	61,79	59,56
$ \Delta_{ia} $	–	3,04	0,98	1,82	0,96	0,90	2,16	0,92	0,98
$ \Delta_{ik} $	–	2,99	1,95	0,96	2,07	2,05	2,02	1,01	1,84

¹⁵ Составлено автором по материалам газеты «Северная магистраль»: – URL: <https://gudok.ru/zdr/179/?ID=154585>.

Третья строка таблицы P_{ia} отражает результаты моделирования исследуемого процесса по формуле (4.2), а четвертая P_{ik} по формуле (4.1). Из сравнения моделей (4.1) и (4.2) выберем наиболее точно аппроксимирующую исследуемую зависимость. Средние ошибки по рассчитанным моделям составляют величины:

$$\Delta_k = \sum |\Delta_{ik}|/8 = 2,09 \quad \text{и} \quad \Delta_a = \sum |\Delta_{ia}|/8 = 1,47. \quad (4.3)$$

Качество (адекватность) модели (4.2) выше. Эту модель примем за основу. Она свидетельствует о том, что эффекты от преобразований ЖДТ (в данном сегменте) носят аддитивный характер.

Спрогнозируем дальнейшее развитие степени износа локомотивного парка по зависимости (4.2) (таблица 4.3). Определим момент времени, когда износ станет меньшим $P_k = 0,5$.

Таблица 4.3 – Прогноз снижения степени износа локомотивного парка страны

<i>i</i>	10	11	12	13	14
год	2019	2020	2021	2022	2023
<i>P_i</i>	59,09	56,68	54,32	51,96	49,60

Значение $P_k = 0,5$ (50%) достигается в 2023 году. Данный прогноз позволяет своевременно реагировать на изменения в параметрах инфраструктуры ЖДТ: увеличивать при необходимости поддержку отдельных секторов, планировать переориентацию средств поддержки.

Замечания по процедуре расчета и перспективам развития метода:

– округления результатов расчета параметров моделей k и a приводят к возникновению накопительной (систематической) ошибки при расчете прогнозных значений P_i ;

– уточнить модели прогноза можно за счет построения более сложных моделей временных рядов. Однако в этом случае следует позаботиться о получении репрезентативной выборки обучающих данных, что в условиях постоянного внешнего регулирования затруднительно.

4.2. Организация технического обслуживания объектов инфраструктуры сортировочной станции

Данный раздел посвящен описанию модели взаимодействия каналов мониторинга, диагностики и технического обслуживания объектов инфраструктуры сортировочной станции (компрессорные станции, замедлители и т. д.). Эта модель представляется в виде сети массового обслуживания [133].

Сетью массового обслуживания (СеМО) называется совокупность связанных между собой СМО (каналов). Эта связь может определяться как единством технологического процесса, так и производственно-экономическими отношениями. Они обмениваются между собой заявками, поступившими на обслуживание, до полного завершения обслуживания или производственного цикла.

Исследуемые СеМО включают источник заявок – технологический процесс (0), каналы: мониторинга (1), диагностики (2) и ТО (3). [133]. Схемы соединения этих каналов могут быть различными, см., например, рисунки 4.1 и 4.2.

Предполагается стационарность процесса, то есть что вероятности перехода сети из одного состояния в другое постоянны. Эти вероятности определяются статистически по результатам наблюдений за процессом [47, 77].

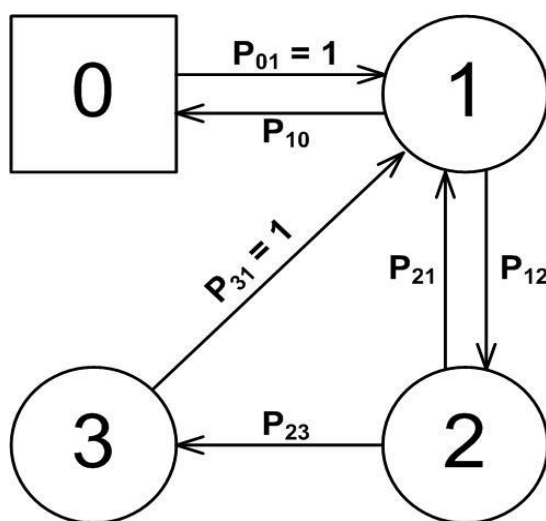


Рисунок 4.1 – Сеть массового обслуживания с повторным мониторингом после диагностики

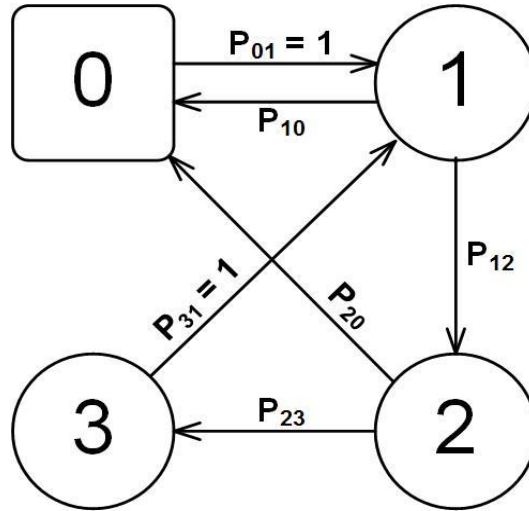


Рисунок 4.2 – Сеть массового обслуживания с возвратом объекта мониторинга в рабочий процесс после диагностики

Общей математической моделью СеМО является матрица размерности $(K+1) \times (K+1)$ – матрица передач сети вида (4.4): K штук каналов (у нас $K = 3$) и один источник заявок. Элементы матрицы P_{ij} – вероятности перехода заявки из i -й подсистемы сети в подсистему j ($i, j = 0, 1, \dots, K$):

$$P = \begin{pmatrix} 0 & P_{01} & \dots & P_{0K} \\ P_{10} & P_{11} & \dots & P_{1K} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{K0} & P_{K1} & \dots & P_{KK} \end{pmatrix}. \quad (4.4)$$

Очевидно, что элементы матрицы удовлетворяют требованиям:

$$\sum_{j=0}^K P_{ij} = 1, \quad 0 \leq P_{ij} \leq 1, \quad i = 0, 1, \dots, K.$$

В примере, представленном на рисунке 4.1, процесс развивается следующим образом.

Из источника 0 заявка попадает на мониторинг в подсистему 1 с вероятностью $p_{01} = 1$. Это случай, при котором мониторингу подвергаются все операции процесса. Если мониторинг осуществляется выборочно, то $p_{01} < 1$.

Результаты мониторинга посылаются в подсистему диагностики, если нарушены значения проверяемых параметров процесса (с вероятностью p_{12}).

Если мониторинг нарушений не выявил, то в 0 идет подтверждение о нормальном прохождении процесса (p_{10}). Очевидно, что $p_{12} + p_{10} = 1$.

Если подсистема диагностики 2 выявила причину несоответствия установленных параметров процесса, то заявка посылается в подсистему 3 – ТО (с вероятностью p_{23}). Если ей недостаточно данных, то заявка посылается обратно в подсистему 1 (с вероятностью p_{21}). Также выполняется равенство: $p_{21} + p_{23} = 1$.

Из ТО все заявки посылаются в подсистему мониторинга 1 для проверки, то есть $p_{31} = 1$.

Следовательно, для нашего примера матрица передач (4.4) имеет вид:

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ p_{10} & 0 & p_{12} & 0 \\ 0 & p_{21} & 0 & p_{23} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (4.5)$$

Определим интенсивности потоков требований в каждой системе. Интенсивность λ_j входного потока подсистемы равна сумме интенсивностей выходных потоков от других систем. При этом следует учитывать повторное обслуживание подсистемой одной и той же заявки. Таким образом,

$$\lambda_j = \sum_{i=0}^K \lambda_i P_{ij}, \quad j = 0, \dots, K, \quad (4.6)$$

где λ_0 – интенсивность источника заявок.

Система $K+1$ уравнений (4.6) с $K+1$ неизвестными λ_j является однородной. Это значит, что ее ранг не выше K [77]. Действительно, если сложить все уравнения (4.6) между собой, то получим очевидное тождество. Следовательно, одну из неизвестных переменных системы уравнений можно считать свободной.

В качестве зависимого выберем первое уравнение, а в качестве свободной переменной естественно выбрать внешнее воздействие на СеМО – λ_0 . Далее для удобства введем следующие обозначения:

$$\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_K); P_0 = (P_{01}, P_{02}, \dots, P_{0K}); P_1 = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} \dots & P_{1K} \\ P_{21} & P_{22} \dots & P_{2K} \\ \dots & \dots & \dots \\ P_{K1} & P_{K2} \dots & P_{KK} \end{pmatrix}. \quad (4.7)$$

Исключим первое, зависимое уравнение из системы (4.6). Тогда с учетом введенных обозначений (4.7) можно записать систему (4.6) следующим образом:

$$\lambda = \lambda \cdot P_1 + \lambda_0 \cdot P_0.$$

Сгруппируем в левой части члены, содержащие искомый вектор λ :

$$\lambda(E_K - P_1) = \lambda_0 \cdot P_0.$$

В последнем выражении через E_K обозначена единичная матрица K -го порядка.

Решим полученное матричное уравнение методом обратной матрицы (умножив обе части предыдущего уравнения на $(E_K - P_1)^{-1}$ [77]):

$$\lambda = \lambda_0 \cdot P_0 \cdot (E_K - P_1)^{-1}. \quad (4.8)$$

В (4.8) введем обозначение:

$$\alpha = P_0 \cdot (E_K - P_1)^{-1} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_K). \quad (4.9)$$

Теперь компоненты вектора λ можно записать в виде:

$$\lambda_i = \alpha_i \lambda_0, \quad i = 1, \dots, K. \quad (4.10)$$

Общее время $t_{\text{СеМО}}$ нахождения заявки в СеМО является взвешенной суммой с теми же коэффициентами, что и общая интенсивность λ_0 [47]. То есть, она распределяется между подсистемами СеМО с долями α_i . Следовательно:

$$t_{\text{СеМО}} = \sum_{i=1}^K \alpha_i \bar{t}_i. \quad (4.11)$$

Здесь обозначено среднее время нахождения заявки в i -й СМО системы, выраженное через средние показатели времени нахождения заявки в элементах сети \bar{t}_i .

Рассмотрим числовой пример СеМО, представленной на рисунке 4.1 Пусть для этой системы статистическим путем были получены следующие параметры:

$$\lambda_0 = 0,6; \quad p_{10} = 0,9; \quad p_{12} = 0,1; \quad p_{21} = 0,1; \quad p_{23} = 0,9. \quad (4.12)$$

Тогда согласно (4.5), (4.7) и (4.12) имеем:

$$P_0 = (1, 0, 0); \quad P_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0,1 & 0 \\ 0,1 & 0 & 0,9 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (4.13)$$

По (4.9) определим вектор

$$\alpha = (10/9; 1/9; 1/10). \quad (4.14)$$

Откуда в соответствие с (4.10) и (4.12) имеем:

$$\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = (2/3; 1/15; 3/50). \quad (4.15)$$

Легко проверить, что для (4.5) и (4.14) выполняется условие (4.6), что свидетельствует о верности проведенных расчетов.

Если дополнительно известны промежутки времени нахождения заявок в подсистемах СМО данного технико-технологического комплекса:

- в подсистеме мониторинга $\bar{t}_1 = 0,06$ мин;
- в подсистеме диагностики $\bar{t}_2 = 0,6$ мин;
- на техобслуживание $\bar{t}_3 = 50$ мин,

то среднее время нахождения заявки в СеМО согласно (4.11) и (4.14) будет равно 3,08 мин.

4.3. Выявление и исправление дефектов подвижного состава

Разработками данного исследования в этом направлении являются:

– диагностика отрицательной динамики подвижных единиц с помощью автоматизированной системы обнаружения отрицательной динамики (АСООД) [146–148];

– тепловизионная диагностика колесных пар микропроцессорным комплексом «АСТЕКО-01» [143, 144]. Этот комплекс уже прошел этап разработки, комплекс эксплуатационных испытаний и смонтирован на ст. Батайск СКЖД – филиала ОАО «РЖД».

Рассмотрим эти системы в содержательном плане подробнее.

1. Модуль диагностики отрицательной динамики. Способ автоматического выявления боковых составляющих отрицательной динамики

основан на измерении мгновенных расстояний от неподвижной контрольной точки до борта движущегося вагона. Этот способ применяется в АСООД, где в качестве измерительного элемента используется триангуляционная система, состоящая из лазерных маркеров, направленных под определенным углом на борт движущегося вагона, и регистрирующей видеокамеры. Подобная система позволяет делать до 25 измерений расстояния до вагона в секунду. Что соответствует значению от 12 до 20 точек на вагон в диапазоне скоростей 50–80 км/ч, на которых наиболее вероятно проявление отрицательной динамики для распространенных типов грузовых вагонов.

Анализ эксплуатации системы АСООД на четырех станциях СКЖД позволил выявить следующую особенность ее работы: помимо обнаружения вагонов с отрицательной динамикой система позволяет определить такие дефекты вагона, как повреждение борта и несоосность крепления котлов цистерн. Эти дефекты определяются с помощью специального программного обеспечения, отображающего характер колебания подвижной единицы. Пример диагностирования цистерны представлен на рисунке 4.3.

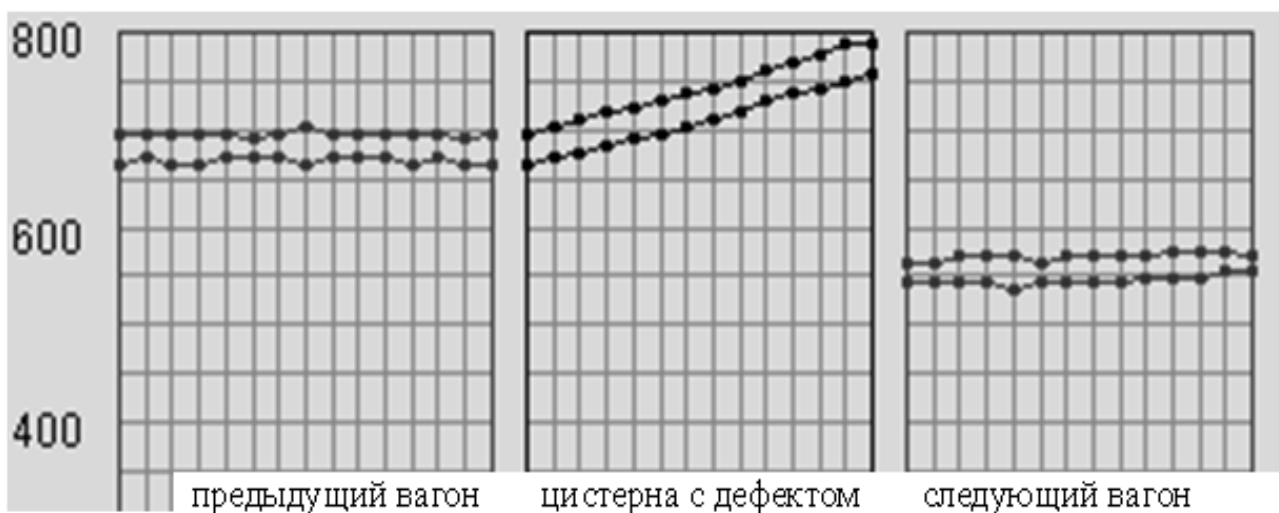


Рисунок 4.3 – Пример диагностирования цистерны

Характер графика колебаний позволяет исключить повышенное значение отрицательной динамики подвижной единицы и сделать вывод о несоосности крепления котла цистерны.

Вместе с тем получение более качественных результатов за счет сканирования подвижных единиц сверху и с двух сторон одновременно, повышения частоты сканирования, увеличения числа точек измерения мгновенных значений расстояния для каждой подвижной единицы возможно при использовании в качестве регистрирующих устройств лазерных 2D-сканеров.

Эксперименты с использованием системы лазерного контроля подвижного состава подтвердили принципиальную возможность выявления отрицательной динамики подвижных единиц с помощью сканирования движущихся объектов. На несущей конструкции над железнодорожными путями были установлены три 2D-сканера с частотой сканирования 100 линий в секунду (рисунок 4.4), что соответствует примерно 50–80 линиям для наиболее распространенных типов грузовых вагонов, движущихся в диапазоне скоростей, на которых проявляется отрицательная динамика.

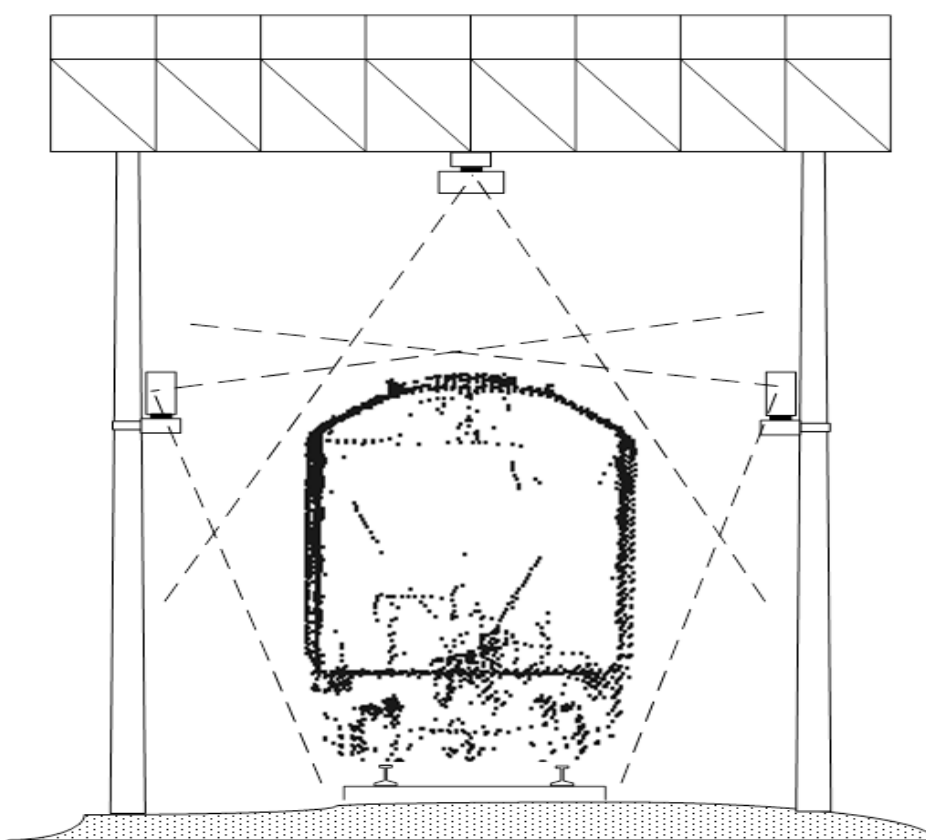


Рисунок 4.4 – Примерная схема расположения лазерных 2D-сканеров и зон сканирования

Кроме того, такой способ выявления отрицательной динамики подвижного состава позволяет дополнительно к колебаниям в горизонтальной плоскости выявлять опасные значения колебаний в вертикальной плоскости при галопировании подвижных единиц и дифференцировать их от влияния конструктивных особенностей и дефектов кузовов вагонов.

Разработанный принцип выявления опасных колебаний подвижных единиц в поперечной плоскости в процессе движения подвижных единиц в составе поезда послужил основой для создания функционального алгоритма и программного обеспечения универсального встраиваемого аппаратно-программного модуля выявления отрицательной динамики грузовых вагонов на ходу поезда.

Функциональные алгоритмы были использованы в модуле выявления отрицательной динамики, разработанном АО «ИГТ-ЮГ» и использованном в системе лазерного контроля отрицательной динамики подвижного состава (ЛКПС).

В настоящее время ЛКПС является одной из подсистем Интегрированного поста автоматизированного приема и диагностики составов на сортировочных станциях (ППСС), разработанного в рамках комплексного научного проекта ОАО «РЖД» «Цифровая железная дорога (КНП-5)».

Интегрированный пост ППСС успешно прошел приемочные испытания, получил высокую оценку и поддержку руководства ОАО «РЖД». В настоящее время три диагностических комплекса ППСС находятся в постоянной эксплуатации на южных и северных подходах к станции Батайск СКЖД, по два комплекса эксплуатируются на подходах к станциям Вышестеблиевская и Тамань-Пассажирская. Также начато тиражирование ППСС на сети железных дорог ОАО «РЖД» в рамках инвестиционной программы развития 26 крупнейших сортировочных станций страны. Общее количество ППСС, планируемых к внедрению в рамках данной программы, – 89 комплексов.

2. «АСТЕКО-01». Выявление температурных аномалий в проходящих грузовых поездах, которые являются следствием разрегулированной тормозной

рычажной передачи, неполного отпуска тормозов, отключенных тормозов и других неисправностей тормозного оборудования, осуществляется комплексом тепловой диагностики «АСТЕКО-01» [143].

Комплекс «АСТЕКО-01» позволяет сформировать четыре классификационные группы наиболее распространенных тепловых аномалий (А) тормозного оборудования грузовых вагонов:

1. А1 – «Нетормозной вагон», характеризуется низкой температурой колесных дисков вагона.

2. А2 – «Перегрев по средней температуре вагона».

3. А3 – «Разность температур между колесными дисками осей в тележке».

4. А4 – «Разность средних температур колес в тележках одного вагона».

В каждой группе, в зависимости от количественного значения признака аномалии, выделяются три состояния: «Подозрение», «Тревога 1» и «Тревога 2».

Этим состояниям соответствует предписанный регламентом порядок действий оперативно-технологического персонала, направленный на подтверждение и устранение выявленных неисправностей.

И наконец, в зависимости от соотношения вида неисправности и степени её опасности комплекс «АСТЕКО-01» предлагает один из трех вариантов действия человека в данном человеко-машинном комплексе:

1) «Подозрение» – вагон рекомендуется к осмотру;

2) «Тревога 1» – вагон рекомендуется к осмотру и безотцепочному ремонту в парке;

3) «Тревога 2» – вагон рекомендуется к отцепке и ремонту на путях ПТО.

Разработанный инструментарий позволяет наблюдать динамику и прогнозировать изменения состояния тормозного оборудования грузовых вагонов через измерение температуры колесных дисков.

При прохождении вагоном точек мониторинга соответствующие значения температур фиксируются и передаются по пути его следования (используются технологии Big Data – больших данных).

Пусть, например, возможный диапазон изменения температуры исследуемого объекта оценивается промежутком $[T_n; T_k]$.

Разобьем его на четыре области («Нормальное функционирование», «Подозрение», «Тревога 1» и «Тревога 2») тремя точками – переходами из одного состояния в другое: $T_0; T_1; T_2$.

Наблюдая измеряемую температуру P_1, P_2, \dots, P_n , по приближенным формулам (3.2) и (3.6), как это сделано в п. 4.1, можно спрогнозировать наступление событий $T_0; T_1; T_2$. Более точный прогноз можно получить по моделям временных рядов (3.7).

Это позволит быть заранее готовым (организационно и технически) к возможным изменениям состояния исследуемого объекта. Управление этим состоянием осуществляется посредством проведения технического обслуживания объекта. Таким образом, в результате реализации этой методики получаем «прогнозируемое ТОиР».

Анализ статистики показаний микропроцессорного комплекса тепловизионной диагностики «АСТЕКО-01», установленного на ст. Батайск СКЖД, позволил сформировать четыре классификационные группы наиболее распространенных тепловых аномалий тормозного оборудования грузовых вагонов.

Несмотря на то, что невозможно точно установить соответствие типа тепловой аномалии неисправности конкретного конструктивного элемента тормозной системы грузового вагона, анализ статистики показаний комплекса «АСТЕКО-01» позволил выявить для каждого типа аномалии группы наиболее вероятных неисправностей.

Соответствие типов тепловых аномалий кодам наиболее вероятных неисправностей по классификатору неисправностей подвижного состава представлено в таблице 4.4.

Таблица соответствия позволяет организовать «адресную» работу осмотрщиков вагонов и ремонтных бригад по выявленным тепловым аномалиям,

что существенно снижает время обработки состава в пунктах технического обслуживания.

Таблица 4.4 – Соответствие типов тепловых аномалий кодам наиболее вероятных неисправностей тормозного оборудования

Тип аномалии	Код неисправности
A1 – «Нетормозной»	404, 411, 412, 418, 420, 426, 427
A2 – «Перегрев по средней температуре вагона»	403, 426, 427
A3 – «Разность температур между колесными дисками осей в тележке»	401, 402, 407, 421
Аномалия 4 (А4) – «Разность средних температур колес в тележках одного вагона»	402, 407

Таким образом, при выявлении тепловой аномалии первого типа А1 наиболее вероятными причинами являются неисправности тормозного цилиндра, воздухораспределителя, авторежима и авторегулятора, а также выключение тормоза вагона.

Тепловой аномалии второго типа А2 наиболее часто соответствуют неисправности (утечки) тормозной магистрали и подводных, неисправности авторежима и авторегулятора.

Третий тип тепловой аномалии А3, как правило, связан с неисправностями тормозных колодок и подвески башмака, или тормозной рычажной передачи. Более точно неисправный элемент при этом выявляется путем анализа в автоматическом режиме тепловизионных изображений тормозных колодок. При этом определяются абсолютные значения температур верхней и нижней частей колодки, а также разность между ними.

Аномалиям четвертого типа А4 соответствуют неисправности тормозной рычажной передачи.

Процесс выявления неисправностей включает в себя автоматическую тепловизионную съемку ходовых частей грузовых вагонов в автоматическом режиме на ходу поезда, распознавание элементов тормозного оборудования и ходовой части, распознавание неисправностей на основе анализа изображений объектов в инфракрасном диапазоне.

Применение в составе комплекса современных быстродействующих микроболометрических матриц позволяет существенно повысить допустимую скорость движения диагностируемых подвижных единиц без снижения достоверности показаний.

Совершенствование технических средств и программного обеспечения комплекса «АСТЕКО-01» направлено на сопряжение с современными системами автоматического распознавания бортовых номеров вагонов, а также на унификацию информационных протоколов комплекса для его интеграции в информационно-диагностические системы пунктов комплексного контроля грузовых вагонов.

Разрабатываемые программно-технические решения позволят сформировать диагностический паспорт грузового вагона с привязкой к его инвентарному номеру, отслеживать динамику изменения технического состояния тормозного оборудования вагона, прогнозировать развитие неисправностей, перейти от выявления неисправностей к их предупреждению.

В цитируемых выше источниках описана технология измерения и анализа аномалий, к которой в данном исследовании дополнительно разработаны:

1. Механизм взаимодействия каналов обслуживания (измерения тепловых параметров колесных дисков, диагностики аномалий, исправления повреждений) – рисунок 4.5.

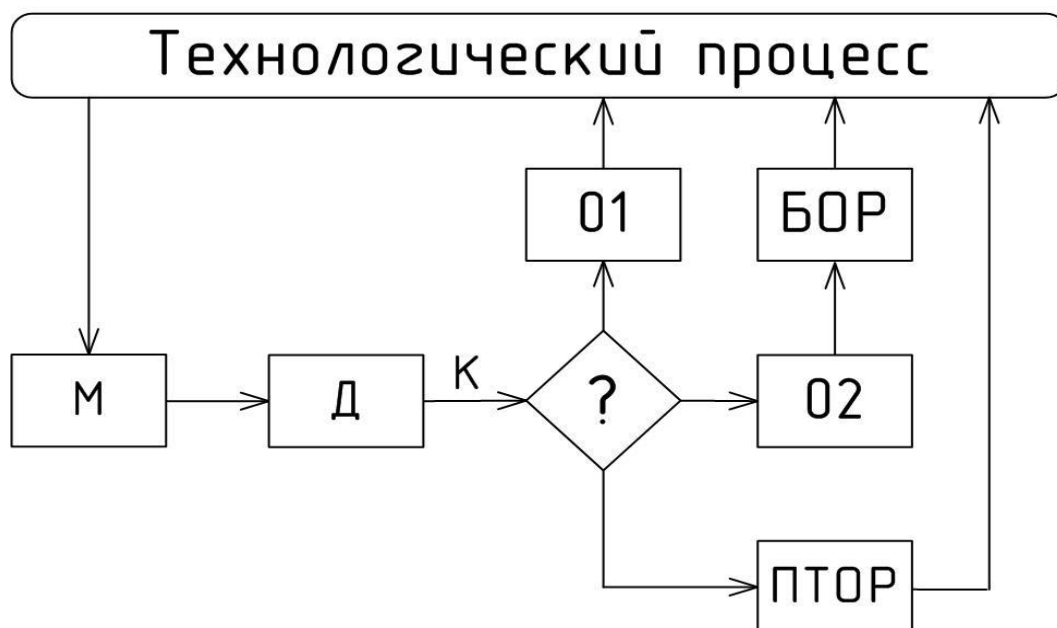


Рисунок 4.5 – Блок-схема ТОиР с помощью «АСТЕКО-01»:

- М – подсистема мониторинга,
- Д – подсистема диагностики,
- 01 – технологический процесс без изменения,
- 02 – изменение технологического процесса,
- БОР – безотцепочный осмотр и ремонт,
- ПТОР – пункт технического осмотра и ремонта.

Схема работает следующим образом: если неисправности нет, то технологический процесс продолжается без изменения (на схеме направление 01), если возникло состояние «Подозрение», то объект рекомендуется к осмотру и, возможно, безотцепочному ремонту (направление 02), если обнаружены серьезные нарушения регламента технологического процесса, то вагон рекомендуется к отцепке и ремонту на путях ПТО.

2. Модель анализа и оптимизации процесса взаимодействия каналов исследуемой СМО. Анализ этого процесса осуществляется по аналогии с исследованием обслуживания составов в парке приема (см. п. 4.2, рисунок 4.2, соотношения (4.5), (4.7), (4.11)). Диаграмма распределения неисправностей тормозного оборудования, выявленных комплексом «АСТЕКО-01», представлена на рисунке 4.6.



Рисунок 4.6 – Диаграмма распределения неисправностей тормозного оборудования, выявленных комплексом «АСТЕКО-01» [143]

Эта диаграмма дает вероятности возникновения аномалий A_i :

$$p(A_1) = 0,7647; \quad p(A_2) = 0,0384; \quad p(A_3) = 0,0409; \quad p(A_4) = 0,1560.$$

Так как разработка, установка и эксплуатация внедряемых СМД требует различных затрат (финансовых, материальных, кадровых, организационных и пр.), то в каждом конкретном случае возникает вопрос о целесообразности такого внедрения.

В таблице 4.5 приведены экспертные оценки величин, соответствующих потерям Π_i при наступлении аномального события и приведенным затратам на создание средств, упреждающих появление такого события, C_i . Потери Π_i возникают с вероятностью $p(A_i)$. Поэтому средние потери равны произведению $\Pi_i p(A_i)$.

Если $\Pi_i p(A_i) \leq C_i$, то нет необходимости в разработке новых средств по повышению ОТН по данной аномалии. Если $\Pi_i p(A_i) > C_i$, то целесообразно предпринять меры по совершенствованию систем мониторинга и диагностики. То есть, не зная аналитического вида кривой 3 (рисунок 3.8), мы этой процедурой дискретно (по отдельным задачам) осуществляем движение к оптимуму.

Таблица 4.5 – Сравнение потерь от проведения и не проведения ТОиР при различных видах аномалий

Виды трат	Виды аномалий			
	A1	A2	A3	A4
При поломке Π_i	1,44	0,36	0,36	0,72
На создание подсистемы C_i	0,54	0,022	0,028	0,084
$\Pi_i p(A_i)$	0,842	0,014	0,014	0,112

Из анализа результатов расчета следует: систему контроля тормозов вагона следует развивать в направлении исключения аномалий A1 и A4. В данном случае мы имеем хорошую иллюстрацию вопроса, рассмотренного в Приложении 4 – использование показателей организационно-технологической надежности для определения направлений инновационного развития.

Как показывает анализ статистики показаний комплекса, неисправности, связанные с недостаточным тормозным усилием и, соответственно, нагревом меньше нормы (неисправность тормозного цилиндра, выключенный тормоз, неисправность воздухораспределителя и т. д.), являются наиболее распространенными и опасными.

Комплекс тепловизионной диагностики «АСТЕКО-01» является фактически единственным средством, позволяющим выявлять не только неисправности, приводящие к излишнему нагреву узлов ходовой части вагонов, но и неисправности, при которых температура не достигает свойственных исправным узлам значений в заданном режиме торможения.

Экспертная оценка возможностей внедрения комплекса «АСТЕКО-01» приведена в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Сравнение результатов внедрения комплекса «АСТЕКО-01»

Варианты Критерии	B_1	B_2	B_3	B_4
J_1	1	0,8	0,6	0,1
J_2	1	0,9	0,7	0,1
J_3	1	0,8	0,7	0,1
J_4	0,1	0,2	0,7	1
J_5	0,1	0,2	0,8	1
Min J_i	0,1	0,2	0,6	0,1

Комплекс может внедряться в различных вариантах:

B_1 – широкомасштабное внедрение системы в максимальной конфигурации с максимальным функционалом;

B_2 – внедрение системы с ограниченными функциональными возможностями;

B_3 – внедрение системы только в наиболее подходящих для этого точках, на подходах к крупнейшим сортировочным узлам;

B_4 – отказ от внедрения системы.

В качестве критериев внедрения далее рассматриваются:

J_1 – повышение безопасности движения;

J_2 – снижение убытков из-за неисправностей тормозного оборудования;

J_3 – повышение интенсивности движения на заданных участках;

J_4 – затраты на внедрение системы;

J_5 – затраты на ежегодное техническое обслуживание и ремонт.

Первые три критерия требуют максимума, четвертый и пятый – минимума, поэтому в итоговой таблице для них применено преобразование $J = 1 - J_u$.

Проведение процедуры расчетов, разработанной в разделе 2.4, дает:

$$\text{Arg max}_j \min_i C_{ij} = B_3.$$

Это значит, что наиболее выгодным является внедрение системы только в наиболее подходящих для этого точках, на подходах к крупнейшим сортировочным узлам.

4.4. Разработка и внедрение новой техники и технологий как подпроцесс процессной организации транспортного производства

Тренды современного развития экономики и производства (на ЖДТ в том числе) формируют новый подпроцесс – разработку и внедрение новой техники и технологий, который следует «вписать» в два уже обозначенных выше подпроцесса: основное производство и обеспечение безопасности и эффективности транспортного производства.

Рассмотрим подробнее этот подпроцесс на примере создания и внедрения Интегрированного поста автоматизированного приема и диагностики подвижного состава на сортировочных станциях [124]. Целью разработки ППСС является формирование межхозяйственной аппаратно-программной платформы для обеспечения перехода к малолюдным технологиям в процессе технического и коммерческого осмотра подвижного состава.

Общий вид ППСС, установленного на станции Батайск Северо-Кавказской железной дороги в 2017 - 2018 гг. представлен на рис. 4.7.



Рисунок 4.7 - Интегрированный пост автоматизированного приёма и диагностики подвижного состава на сортировочных станциях

Предлагается комплекс следующих технико-технологических подсистем:

- 1) автоматизированного визуального контроля технических характеристик подвижного состава «Техновизор»;
- 2) распознавания номеров вагонов АРНВ;
- 3) контроля веса и вертикальных динамических нагрузок СЖДК;
- 4) лазерного контроля отрицательной динамики и габарита подвижной единицы ЛКПС.

ППСС имеет модульную иерархическую структуру. Состав подсистем ППСС может изменяться в зависимости от требований функциональных заказчиков. Структурная схема ППСС представлена на рисунке 4.8.

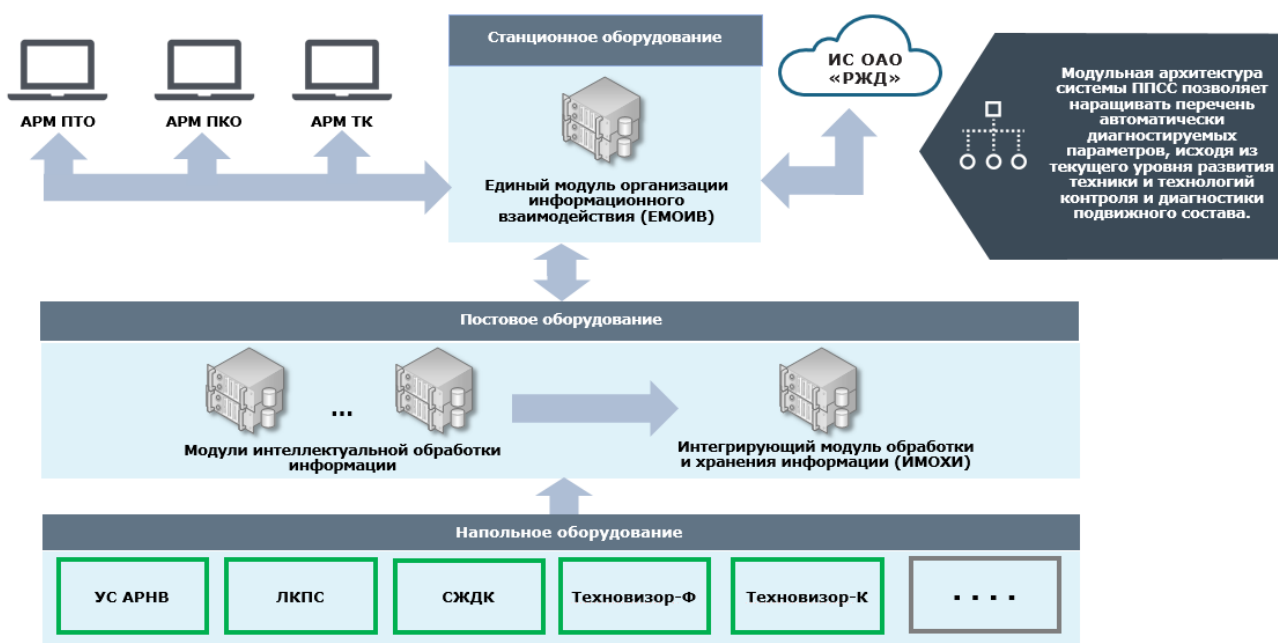


Рисунок 4.8 – Структурная схема ППСС

В соответствие с принятой логикой организации процессного подхода (см. п. 2.2, 3.1) сформулируем критерии оценки процесса:

1. *Безопасность основного процесса* (разрабатываемые методы и технические средства должны повышать безопасность предоставления транспортных услуг).

2. *Технологическая эффективность*, отражающая организационные, социальные, производственные показатели.

3. *Экономическая эффективность*.

Рассмотрим подробнее эти аспекты.

Безопасность основного процесса оценивается традиционными показателями надежности составляющих систем: вероятность отказа в течение заданного времени работы, срок службы до отказа и пр.

Проблема состоит в том, что даже при высоких показателях отдельных подсистем интегральный показатель может быть достаточно низким.

Так, например, при схеме соединения восьми элементов, соответствующей рисунку П2.1, и при вероятности безотказной работы в течение заданного периода времени каждого из них равной 0,99 вероятность безотказной работы всей системы будет уже равна только 0,9227.

Поэтому так важно рассматривать весь технологический процесс в целом, на что и сориентирован процессный подход.

Внедрение ППСС обеспечивает:

- повышение точности идентификации различных видов неисправностей;
- прогнозирование состояния подвижного состава;
- повышение адресности выявляемых неисправностей (установление причинно-следственных связей, ответственных и исполнителей – регламентация рекламационной работы);
- переход к безлюдным и безбумажным режимам работы;
- автоматическое формирование сортировочного листа;
- отправку на специальные пути отстоя вагонов, у которых выявлены неисправности, требующие ремонта [124].

Экономические и технологические эффекты внедрения ППСС. ППСС оптимизирует структуру «межхозяйственного взаимодействия, сокращает трудозатраты на технический и коммерческий осмотры составов, сокращает эксплуатационные расходы на регламентные работы за счет определения предотказных состояний подвижного состава. В свою очередь это обеспечивает:

- снижение времени обработки составов по прибытию на станцию;
- повышение уровня безопасности движения» [124].

В числовом выражении внедрение системы ППСС позволяет получить основные экономические эффекты, приведенные на рисунке 4.9.

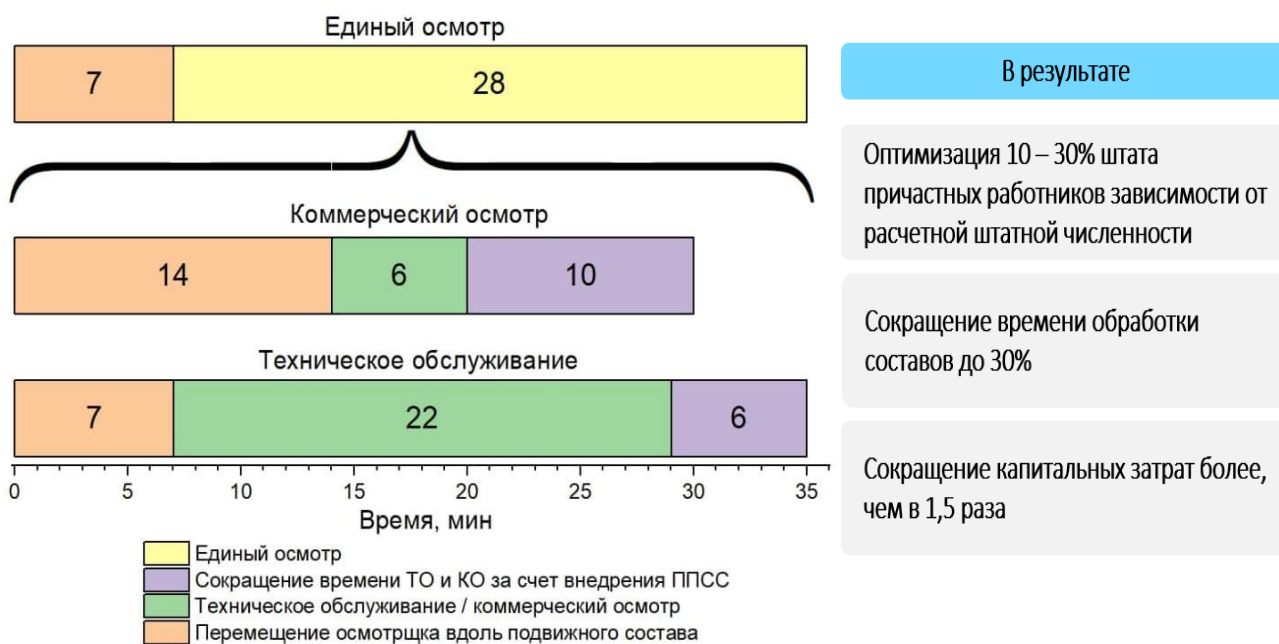


Рисунок 4.9 – Экономические эффекты от внедрения системы ППСС

«Технологические эффекты от внедрения системы ППСС состоят в следующем:

- увеличение значения показателя подтверждаемости различных видов неисправностей. Этому способствует комплексный интеллектуальный анализ информации от различных источников диагностических данных.

- расширение горизонта прогнозирования состояния подвижного состава по всем контролируемым параметрам. На их основе система определяет два интегрирующих показателя: вероятность схода вагона и степень его влияния на инфраструктуру ЖДТ.

- повышение адресности и интерпретируемости выявляемых неисправностей.

Процессный подход, развиваемый в работе, реализуя оперативный переход по причинно-следственной цепочке, выявляет причины, характер проявления и последствия иных неисправностей в ТС.

Оценка состояния подвижной единицы по значению этих интегрирующих показателей, применение современных высокоточных средств контроля, а также удобное графическое представление результата (фотографии, 3D-модели, схемы и др.) позволяет точнее локализовать возникшие неисправности, минимизировать неточности в их интерпретации в спорных случаях рекламационной работы с собственниками подвижного состава» [124].

Основные показатели эффективности внедрения ППСС рассчитанные для сортировочной станции Батайск за 2020 год приведены на рисунке 4.10.



Рисунок 4.10 – Экономический эффект от внедрения ППСС на ст. Батайск

Исследуемый подпроцесс – разработка и внедрение новой техники и технологий – «вписывается» в вышеобозначенные два подпроцесса (производственный и обеспечения безопасности) с помощью механизма согласования жизненных циклов проектов.

На рисунке 4.11 представлена последовательность трех проектов, находящихся на разных стадиях развития. Выделены следующие стадии для проекта 1:

- 1) 0-А – создание;
- 2) А-В – внедрение;
- 3) В-С – активная эксплуатация;
- 4) С-Д – утилизация.

Первая, вторая и четвертая стадии требуют вливания средств и ресурсов, а третья, напротив, приносит доход. Совмещая процессы, мы обеспечиваем в рамках процессного подхода стабильность функционирования транспортных комплексов.

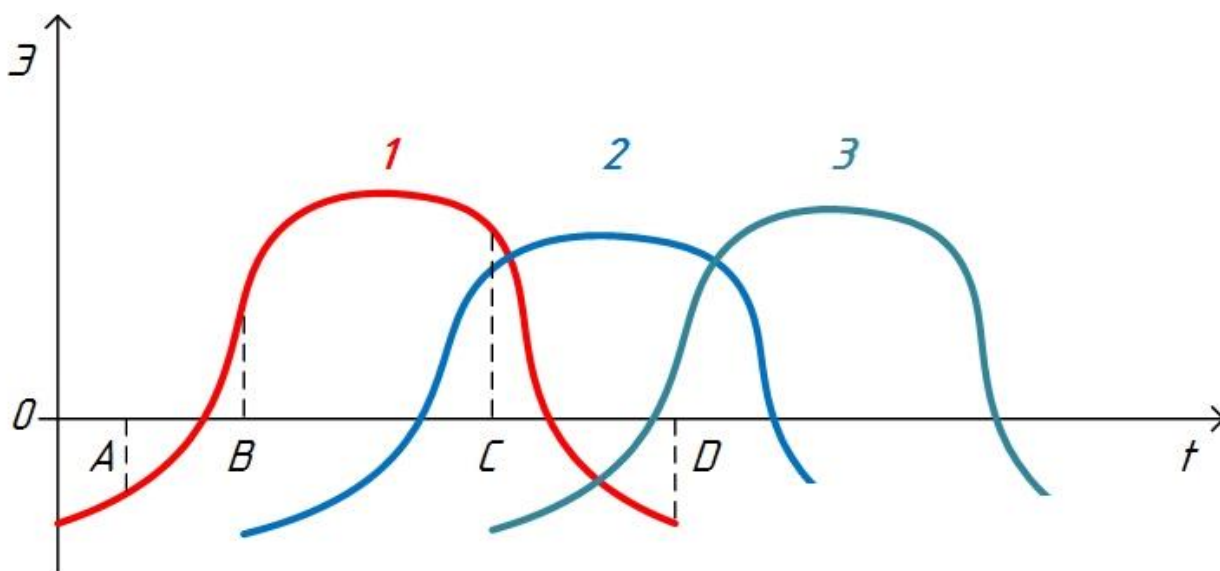


Рисунок 4.11 – Согласование жизненных циклов проектов

4.5. Выводы по главе

На примере локомотивного парка ОАО «РЖД» исследована динамика развития инфраструктуры железнодорожного транспорта. Построены две аналитические модели, оценена их адекватность, осуществлен прогноз развития степени изношенности парка локомотивов ОАО «РЖД».

Описаны математические модели, методика расчета основных параметров при организации технического обслуживания объектов инфраструктуры сортировочной станции.

Рассмотрены технические средства, включенные в процесс мониторинга и диагностики, обеспечивающие выявление и исправление дефектов подвижного состава.

Сформирован новый подпроцесс – разработка и внедрение новой техники и технологий, который «вписан» в основное производство (оказание транспортных услуг) и в процесс обеспечения безопасности и эффективности транспортного производства с помощью механизмов согласования жизненных циклов проектов. На примере разработки Интегрированного поста автоматизированного приема и диагностики составов на сортировочных станциях прокомментированы аспекты: безопасность, технологическая и экономическая эффективность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Во введении работы обоснована актуальность темы диссертационного исследования, определены его цель и основные задачи, сформулированы предмет и объект, авторская концепция исследования и управления эффективностью и безопасностью функционирования ТС; указаны теоретико-методологическая основа и практическая значимость работы, сформулированы научная новизна и положения, выносимые на защиту. Также приведены сведения о формальных результатах исследования: публикациях, апробации, актах о внедрении.

Актуальность исследования подтверждается рядом основополагающих документов развития страны и транспортной отрасли, рассмотренных в работе через призму заявленной темы:

– Стратегия научно-технического развития холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и перспективу до 2025 года («Белая книга», 2015 год).

– Долгосрочная программа развития ОАО «РЖД» до 2025 года (дата официального опубликования 28.03.2019).

– «Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы», утвержденная Указом Президента РФ от 9 мая 2017 г. № 203.

– Программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р.

– Указ Президента РФ «О развитии искусственного интеллекта в РФ» от 10 октября 2019 года № 490.

В первой главе исследования рассмотрены проблемы развития транспортной отрасли России, связанные с обеспечением эффективности и безопасности их функционирования. В части работы нашли свое отражение следующие аспекты темы исследования:

1. Организационно-экономические факторы развития транспорта России (п. 1.1). Автором построены круги Кналла, объясняющие факторы и механизмы

деградации (развития) сложных объектов, к каковым относятся транспортные комплексы страны.

2. Сравнительный анализ отечественного и зарубежного опыта обеспечения технико-технологической эффективности и безопасности движения поездов (п. 1.2). Выявлены основные мировые тренды развития ТК: цифровизация и интеллектуализация организационных и технологических процессов на транспорте.

3. Основные принципы инновационной организации перевозочного процесса на железнодорожном транспорте (п. 1.3):

– трехуровневая структура управления, включающая системную составляющую (ЕСТП), квазирыночную (саморегулируемые организации на транспорте), рыночную (сектор свободной конкуренции);

– процессная организация работ;

– системное объединение базового (производства транспортных услуг) и вспомогательных (обеспечение безопасности движения поездов) процессов;

– развитие и внедрение технологий технического обслуживания объектов инфраструктуры ЖДТ по состоянию;

– кибернетический подход к исследованию (использование SWOT-анализа, когнитивного, морфологического, ценологического видов анализа) и управлению (применение моделей теории массового обслуживания, теории активных систем, теории организационно-технологической надежности и пр.) транспортными процессами.

Во второй главе осуществлен анализ категориального аппарата исследования. А именно через призму задач исследования прокомментированы и уточнены понятия «транспортные комплексы», «системы», «сети», «системы мониторинга и диагностики», «безопасность», «организационно-технологическая надежность». Показано, что в различных научных специальностях понятия «система» и «сеть» имеют неоднозначные толкования, которые следует учитывать при формировании методологии исследования транспортных комплексов (п. 2.1).

В рамках темы данного исследования процессный подход развит объединением базового и вспомогательных процессов (п. 2.2).

В п. 2.3 главы 2 проанализированы преимущества и недостатки трех подходов к ТОиР объектов транспортной инфраструктуры: плановый, по состоянию, по прогнозируемому состоянию. Предложено разработать третий подход за счет учета прогноза будущих состояний.

Актуализирована проблема синтеза систем мониторинга и диагностики транспортных систем. Для ее решения предложены методы морфологического анализа и синтеза. Оптимизация решения поставленной задачи рассмотрена в двух вариантах: полной определенности данных (детерминированная постановка) и статистической неопределенности (п. 2.4).

Обозначены роль и место цифровизации и интеллектуализации транспортных процессов, а также раскрыты особенности их проявления в заявленных базовых и вспомогательных процессах на железнодорожном транспорте (п. 2.5).

В главе 3 диссертации:

- систематизирован математический инструментарий исследования ТС и принятия решений при процессной организации работ. Осуществлен общий анализ методов и моделей исследования сложных (нестационарных, зашумленных, слабо определенных) транспортных комплексов (п. 3.1.1);

- проанализированы и усовершенствованы модели описания процессов развития и деградации ТС (п. 3.1.2);

- предложено для моделирования процессного подхода использовать математический аппарат теории массового обслуживания и метод взаимного учета экономических интересов субъектов перевозочного процесса (см. Приложение 2);

- развит метод согласования противоречивых интересов ТС одного уровня управления, составляющих транспортно-логистическую цепь (п. 3.2);

- определены роль и место кластеров и технологических ценозов в исследовании и развитии транспортных комплексов (см. Приложение 3);

- проблема обеспечения эффективности и безопасности функционирования ТК рассматривается с позиции категорий теории организационно-технологической надежности: раскрыта сущность основных

понятий теории, описана методика расчета базовых показателей (п. 3.3, Приложение 4).

В главе 4 исследованы:

1) динамика развития инфраструктуры железнодорожного транспорта (на примере локомотивного парка ОАО «РЖД») (п. 4.1). Определены параметры процесса обновления локомотивного парка ОАО «РЖД»;

2) организация технического обслуживания объектов инфраструктуры сортировочной станции (п. 4.2). В качестве базовой модели рассмотрена сеть массового обслуживания, состоящая из объекта анализа и управления, подсистем мониторинга, диагностики и технического обслуживания;

3) процессы выявления и исправления дефектов подвижного состава (п. 4.3) с помощью автоматизированной системы обнаружения отрицательной динамики (АСООД) и микропроцессорного комплекса тепловизионной диагностики колесных пар «АСТЕКО-01»;

4) процесс разработки и внедрения новой техники и технологий. Он рассмотрен как подпроцесс процессной организации транспортного производства и проиллюстрирован на примере создания и внедрения Интегрированного поста автоматизированного приема и диагностики составов на сортировочных станциях (п. 4.4).

Выявленные проблемы:

1. Известные математические постановки, используемые для решения научно-технологических задач транспортного развития, не соответствуют существующим регламентам. Например:

– при вероятностном и статистическом моделировании в условиях нестационарности функционирования ТК и постоянном внешнем управлении невозможно гарантировать репрезентативность выборок данных, используемых для моделирования сложных процессов;

– применение моделей теории массового обслуживания, как правило, осуществляется при невыполнении условий пуассоновских потоков;

– методы теории активных систем основаны на предположениях, не соответствующих в полном объеме сложившимся реалиям управления на ЖДТ.

2. Нет устойчивых схем органической связи фундаментальных, научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ и внедрения на ЖДТ. Существующие механизмы (подготовка высококвалифицированных кадров, взаимодействие РФФИ и «РЖД», поддержка молодых ученых, поддержка научных школ на транспорте и др.) системно не объединены.

3. Интеллектуальные ресурсы отрасли (патенты, программные пакеты и пр.) не стали интеллектуальным капиталом предприятий транспорта. Необходима система поощрения создания и внедрения комплекса программно-математических инструментов исследования и управления ТК.

Проблемы и перспективы дальнейших исследований по теме.

1. Совершенствование математического инструментария исследования ТС как в плане теории вопроса, так и в плане создания специализированных программных продуктов, доступных широкому кругу пользователей.

2. Создание цифровых платформ различного назначения: реализации технологических процессов, ведения бизнеса на транспорте.

3. Разработка и внедрение систем мониторинга и диагностики на транспорте, использующих виртуальную и дополненную реальность.

4. Совершенствование и изменение стандартов, регламентирующих основные понятия и базовые технологии работы ТС.

Список сокращений и условных обозначений

- АСООД – автоматизированная система обнаружения отрицательной динамики грузовых вагонов;
- ЕСТП – Единый сетевой технологический процесс;
- ЖДТ – железнодорожный транспорт;
- ИСУЖТ – интеллектуальная система управления на железнодорожном транспорте;
- ИТС – интеллектуальная транспортная система;
- КДК – контрольно-диагностический комплекс;
- КСАУ СП – комплексная система автоматизации управления сортировочным процессом;
- ЛКПС – система лазерного контроля отрицательной динамики грузовых вагонов;
- НИОКР – научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы;
- ОАО «РЖД» – открытое акционерное общество «Российские железные дороги»;
- ОТИ – объект транспортной инфраструктуры;
- ОТН – организационно-технологическая надежность;
- ППСС – Интегрированный пост автоматизированного приема и диагностики подвижного состава на сортировочных станциях;
- СКЖД – Северо-Кавказская железная дорога;
- СеМО – сеть массового обслуживания;
- СМД – система мониторинга и диагностики;
- СМО – система массового обслуживания;
- СППР – система поддержки принятия решений;
- СРО – саморегулируемая организация;
- ТК – транспортный комплекс;
- ТС – транспортная система;
- ТМД – технический мониторинг и диагностика;
- ТЛК – транспортно-логистический комплекс;
- ТЛЦ – транспортно-логистическая цепь;

ТО – техническое обслуживание;

ТОиР – техническое обслуживание и ремонт;

УРРАН – система управления ресурсами, рисками и надежностью объектов железнодорожного транспорта;

ХС – хозяйствующий субъект;

ЦП – цифровое производство;

PEST-анализ – анализ политических, экономических, социальных и технико-технологических факторов развития объектов инфраструктуры;

SWOT-анализ – анализ сильных и слабых сторон объектов инфраструктуры, его возможностей и угроз развития.

Список использованной литературы

1. Апатцев, В. И. Обеспечение безопасности движения поездов на основе снижения влияния человеческого фактора / В. И. Апатцев, А. М. Завьялов, И. Н. Синякина, Ю. В. Завьялова, Е. В. Гришина // Наука и техника транспорта. – 2014. – № 2. – С. 75–78.
2. Бакалов, М. В. Методические основы и механизмы развития транспортных полигонов : учебное пособие / М. В. Бакалов, В. Н. Зубков, А. Г. Черняев ; РГУПС. – Ростов-на-Дону, 2017. – 78 с.
3. Балабанов, И. В. Роль технической диагностики в цифровой трансформации / И. В. Балабанов // АСИ. – 2019. – № 5. – С. 23–26.
4. Безопасность жизнедеятельности : учебник / под редакцией Э. А. Арустамова. – 10-изд., перераб. и доп. – Москва : Дашков и К°, 2006. – 476 с.
5. Белоцерковский, А. Саморегулируемые организации в высшем профессиональном образовании: «прогноз погоды» / А. Белоцерковский // Высшее образование в России. – 2008. – № 12. – С. 3–9. – ISSN 0869-3617.
6. Стратегия научно-технологического развития холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и на перспективу до 2025 года (Белая книга) / ОАО «РЖД». – Москва, 2015. – 57 с.
7. Белых, А. Обратный эффект / А. Белых // Бизнес журнал для малого и среднего бизнеса. – 2007. – № 4. – С. 27.
8. Берзин, А. Умный локомотив для цифровой дороги / А. Берзин. – Текст : электронный // Гудок. – 2007. – № 65. – URL : <https://www.gudok.ru/newspaper/?archive=2017.04.19> (дата обращения: 23.10.2021).
9. Берталанфи, Л. фон. История и статус общей теории систем / Л. фон Берталанфи // Системные исследования. Методологические проблемы : ежегодник. – Москва : Наука, 1973. – С. 20–37.
10. Бирюзов, В. П. Об основных направлениях развития систем диагностики и мониторинга путевого хозяйства до 2025 г. / В. П. Бирюзов // Путь и путевое хозяйство. – 2015. – № 4. – С. 4–8.

11. Боровикова, М. С. Организация перевозочного процесса на железнодорожном транспорте / М. С. Боровикова. – Москва : Автограф, 2014. – 412 с.

12. Бочкарев, А. А. Теория и методология процессного подхода к моделированию и интегрированному планированию цепи поставок : специальность 08.00.05 : диссертация на соискание ученой степени доктора экономических наук / Бочкарев Андрей Александрович. – Санкт-Петербург, 2009. – 291 с.

13. Бугаенко, В. М. Мониторинг и диагностика инфраструктуры скоростными мобильными комплексами / В. М. Бугаенко // Путь и путевое хозяйство. – 2015. – № 4. – С. 12–16.

14. Бурков, В. Н. Человек. Управление. Математика / В. Н. Бурков. – Москва : Просвещение, 1989. – 160 с.

15. Бутакова, М. А. Управление процессами обеспечения безопасности на основе оценки рисков, связанных с программным обеспечением интеллектуальных систем на железнодорожном транспорте / М. А. Бутакова, В. Д. Верескун, А. Н. Гуда // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2016) : Пятая научно-техническая конференция с международным участием, Москва, 17 ноября 2016 года. – Москва : Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте», 2016. – С. 144–147.

16. Бутакова, М. А. Способ построения маршрута общественного транспорта в реальном времени на основании отношения подобия / М. А. Бутакова, Г. С. Мизюков, С. В. Чубейко // Автоматизация. Современные технологии. – 2019. – Т. 73. – № 5. – С. 206-210.

17. Венецкий, И. Г. Основные математико-статистические понятия и формулы в экономическом анализе / И. Г. Венецкий, В. И. Венецкая. – Москва : Статистика, 1974. – 278 с.

18. Венцевич, Л. Е. Локомотивные устройства обеспечения безопасности движения поездов и расшифровка информационных данных их работы : учебник

/ Л. Е. Венцевич. – Москва : Учебно-методический центр по образованию на ж.-д. трансп., 2009. – 328 с.

19. Верескун, В. Д. Математический инструментарий управления сетевым технологическим процессом / В. Д. Верескун, Е. Г. Шепилова // Транспорт: наука, техника, управление. – 2013. – № 8. – С. 12–13.

20. Верескун, В. Д. Организационно-технологическая надежность и эффективность функционирования производственных объектов железнодорожного транспорта / В. Д. Верескун. – Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2010. – 256 с.

21. Вишневский, В. М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / В. М. Вишневский. – Москва : Техносфера, 2003. – 512 с.

22. Вишневецкий, Д. Г. Применение методов теории массового обслуживания для оптимизации работы сортировочных станций / Д. Г. Вишневский // Сборник работ лауреатов конкурса молодых ученых 1997 г. – [Б. г.]: СКНЦ ВШ, 1998. – С. 73–84.

23. Власов, А. С. Проблемы и практика реализации процессного подхода в управлении персоналом ОАО «Российские железные дороги» / А. С. Власов, Н. А. Латышева // Экономика, управление, финансы : материалы VIII Международной научной конференции. – Краснодар : Новация, 2018. – С. 130–133.

24. Волков, А. А. Умная инфраструктура, цифровые технологии в системе диагностики и мониторинга / А. А. Волков // Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте : сборник докладов Девятой Международной научно-практической конференции ТрансЖАТ-2018. – Ростов-на-Дону: [б. и.], 2018. – С. 56–60.

25. Волкова, В. Н. Основы теории систем и системного анализа : учебник / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. – Санкт-Петербург : СПбГПУ, 2005. – 520 с.

26. Гапанович, В. А. Прогрессивные технологии обеспечения безопасности движения поездов и сохранности перевозимых грузов : монография / В. А. Гапанович, И. И. Галиев, Ю. И. Матяш, В. П. Клюка – Москва : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на ж.-д. транспорте», 2008. – 220 с.

27. Гнатюк, В. И. Закон оптимального построения техноценозов : монография / В. И. Гнатюк. – 3-е изд., перераб. и доп. – Калининград : КИЦ «Техноценоз», 2019. – 896 с.

28. Головаш, А. Н. Концептуальные основы планово-предупредительного ремонта подвижного состава с учетом его технического состояния / А. Н. Головаш // Научное обеспечение инновационного развития и повышения эффективности деятельности железнодорожного транспорта : монография членов и научных партнеров Объединенного ученого совета ОАО «РЖД» / редактор Б. М. Лapidус. – Москва : MittelPress, 2014. – С. 169–180.

29. Головаш, А. Н. Состояние и перспективы перехода на планово-предупредительную систему ремонта с учетом технического состояния подвижного состава / А. Н. Головаш, Н. Б. Курашкова // Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов : материалы Всероссийской научно-технической конференции / ОГУПС. – Омск, 2012. – С. 32–45.

30. Горелова, Г. В. Методы теории графов в когнитивном анализе и моделировании социально-экономических систем / Г. В. Горелова, В. П. Карелин // Вестник Таганрогского института управления и экономики. – 2005. – № 1. – С. 74–78.

31. Государственная программа «Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года» : Распоряжение Правительства РФ от 11.06.2014 № 1032-р. – Текст : электронный. – URL: <http://rosavtodor.ru/documents/transport-strategy-2030> (дата обращения: 19.12.2020).

32. Гуда, А. Н. Эволюционные методы онлайн-диспетчеризации на основе темпоральных моделей / А. Н. Гуда, А. И. Долгий, С. М. Ковалев // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2014. – № 4(56). – С. 48–58.

33. Диагностика объектов инфраструктуры с применением КСПД ИЖТ / Ю. А. Черногоров, В. П. Бирюзов, А. И. Лисицын [и др.] // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 11. – С. 30–32.

34. Долгий, И. Д. Гибридные нейро-стохастические модели обработки первичной информации в системах железнодорожной автоматики / И. Д. Долгий,

А. И. Долгий, В. С. Ковалев, С. М. Ковалев // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2011. – № 9. – С. 58–63.

35. Дружинин, Г. В. Автоматизация управления безопасностью движения / Г. В. Дружинин, Л. Н. Косарев, В. В. Петрухина, В. И. Скороходов // Железнодорожный транспорт. – 1992. – № 4. – С. 34–37.

36. Егупов, Н. Д. Методы классической и современной теории автоматического управления. Синтез регуляторов систем автоматического управления. В 5 т. Т. 3 / Н. Д. Егупов, К. А. Пупков. – Москва : МГТУ им. Баумана, 2004. – 616 с.

37. Единый сетевой технологический процесс железнодорожных грузовых перевозок. – Москва : ОАО «РЖД», 2012. – 118 с.

38. Елисеев, С. Ю. Процессный подход как основа повышения эффективности системы обслуживания грузовладельцев на железнодорожном транспорте / С. Ю. Елисеев, Е. С. Кулиева // Наука и техника транспорта. – 2017. – № 2. – С. 57–62.

39. Железнодорожный транспорт: на пути к интеллектуальному управлению : монография / С. Е. Ададунов В. А. Гапанович, Н.Н. Лябах, А.Н. Шабельников. – Ростов-на-Дону : ЮНЦ РАН, 2010. – 322 с.

40. Железнодорожный транспорт ищет пути саморегулирования. – Текст : электронный // Гудок. – 2012. – 23 мая. – URL : <https://www.gudok.ru/news/transport/?ID=865222> (дата обращения: 12.12.2019).

41. Железнодорожный транспорт России: вызовы до 2025 года : аналитический доклад. – Текст : электронный // Ведомости Института проблем естественных монополий (ИПЕМ). – 2019. – 22 мая. – URL : http://www.ipem.ru/files/files/research/20190405_rail_2025_report.pdf (дата обращения: 05.02.2021).

42. Жилин, Д. М. Теория систем / Д. М. Жилин. – Москва : УРСС, 2004. – 183 с.

43. Журавлёва, Н.А. Бизнес-моделирование работы сортировочной станции / Н.А. Журавлёва, В.Г. Карчик, В.С. Юрченко // Экономика железных дорог. – 2012. – № 4. – С. 92-118.

44. Журавлёва, Н.А. Результаты бизнес-моделирования работы сортировочной станции / Н.А. Журавлёва, В.Г. Карчик, В.С. Юрченко // Экономика железных дорог. – 2012. – № 5. – С.61-81.

45. Завьялов, А. М. Применение методологии когнитивного моделирования для оценки и анализа влияния человеческого фактора на безопасность движения поездов и безопасность производственных процессов на транспорте / А. М. Завьялов // Наука и техника транспорта. – 2014. – № 3. – С. 80–84.

46. Замышляев, А. М. Комплексный подход к организации безаварийной работы станции / А. М. Замышляев // Инфотранс-2004 : доклады Девятой международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург, 2004. – С. 105–107.

47. Ивченко, Г. И. Теория массового обслуживания : учебное пособие для вузов / Г. И. Ивченко, В. А. Каштанов, И. Н. Коваленко. – Москва : Высшая школа, 1982. – 256 с.

48. Ильина, О. Н. Методологическое обеспечение управления проектами, программами и портфелями проектов в организации / О. Н. Ильина // Менеджмент в России и за рубежом. – 2010. – № 1.

49. Инструкция по техническому обслуживанию устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ). ЦШ-720 / Департамент сигнализации, централизации и блокировки МПС РФ. – Москва : Трансиздат, 2000. – 88 с.

50. Инструкция по техническому обслуживанию и ремонту устройств сигнализации, централизации и блокировки механизированных и автоматизированных сортировочных горок. № ЦШ-762 / Департамент сигнализации, централизации и блокировки МПС РФ. – Москва : Трансиздат, 2001. – 89 с.

51. Интрилигатор, М. Математические методы оптимизации и экономическая теория / М. Интрилигатор. – Москва : Айрис-Пресс, 2002. – 553 с.

52. Информационные технологии на железнодорожном транспорте / под редакцией Э. К. Лецкого. – Москва : УМК МПС России, 2001. – 668 с.

53. Ковалев, В.И. Управление эксплуатационной работой на железнодорожном транспорте / В. И. Ковалев, А. Т. Осьминин, В. А. Кудрявцев [и др.]. – Москва : ГОУ УМЦ, 2009. – 263 с.

54. Козырь, Г. О. Внедрение процессного подхода в управленческой деятельности / Г. О. Козырь // Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте : сборник докладов 9-й Международной научно-практической конференции ТрансЖАТ-2018, 17–18 октября 2018 г. Сочи / ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов-на-Дону, 2018. – С. 85–96.

55. Кокурин, И. М. Технологические основы инновационной системы автоматического управления движением поездов / И. М. Кокурин, Д. В. Ефанов // Автоматика, связь, информатика. – 2019. – № 5. – С. 19–23.

56. Колесников, М. В. Методика разработки морфологической идентификации параметров управления предприятием / М. В. Колесников // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2005. – № 1. – С. 81–83.

57. Колесников, М. В. Математический инструментарий процессного подхода при организации транспортно-логистических цепей / М. В. Колесников, Ю. В. Шаповалова // Вестник РГУПС. – 2019.

58. Колесников, М. В. Разработка методов анализа и идентификации параметров организационного управления : монография / М. В. Колесников. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2008. – 127 с.

59. Колесников, М. В. Системный подход развития организационного управления компанией на основе методов ценоза / М. В. Колесников // Транспорт: наука, техника, управление. – 2012. – № 11. – С. 30–35.

60. Колесников, М. В. Развитие холдинга ОАО «РЖД» через совершенствование теории и практики организационного управления / М. В. Колесников, Ю. В. Шаповалова // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 5. – С.

61. Колесников, М. В. Разработка морфологической модели обеспечения сложных транспортных процессов системами мониторинга и диагностики / М. В. Колесников, Ю. В. Шаповалова // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 2. – С. 58–63.

62. Красковский, А. Е. Безопасность движения на железнодорожном транспорте : учебное пособие / А. Е. Красковский, С. Я. Ройтман. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2013. – 48 с.

63. Кудрин, Б. И. Классика технических ценозов / Б. И. Кудрин // Общая и прикладная ценология. – 2006. – Вып. 31 : Ценологические исследования. – 220 с.

64. Кузьминов, А. Н. Методология ценологического анализа социально-экономических систем / А. Н. Кузьминов. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2009. – 257 с.

65. Кузьминов, А. Н. О концепции структурно сбалансированного реформирования железнодорожной отрасли России / А. Н. Кузьминов, М. В. Колесников // Новые технологии. – 2011. – № 4. – С. 174–180.

66. Кульба, В. В. Использование сценарного и индикаторного подходов для управления живучестью, стойкостью и безопасностью сложных технических систем : научное издание / В. В. Кульба, Д. А. Кононов, С. А. Косяченко, А. А. Кочкаров, Д. С. Сомов. – Москва : ИПУ РАН, 2011. – 116 с.

67. Кульба, В. В. Концептуальные основы исследований проблем безопасности на железнодорожном транспорте / В. В. Кульба, С. А. Косяченко, А. Б. Шелков // Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения : труды 3-й Всероссийской конференции с международным участием, (УКИ-2012, Москва). – Москва : ИПУ РАН, 2012. – С. 1228–1233.

68. Кульба, В. В. Управление безопасностью и живучестью объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта на основе индикаторного подхода / В. В. Кульба, В. Л. Шульц, А. Б. Шелков, И. В. Чернов, Д. А. Кононов, Д. С. Сомов // ВВ: Экономика, тренды и управление. – 2013. – № 2. – С. 1–107.

69. Куприяновский, В. П. Цифровая железная дорога – прогнозы, инновации, проекты / В. П. Куприяновский, Г. В. Суконников, П. М. Бубнов, С. А. Синягов, Д. Е. Намиот // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4, № 9. – С. 34–43.

70. Куренков, П. В. Задачи ситуационно-процессного управления сортировочной станцией / П. В. Куренков, М. А. Нехаев // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 4. – С. 29–31.

71. Лабькин, А. Как не угробить локомотив экономики / А. Лабькин. – Текст : электронный // Эксперт. – 2016. – № 47. – URL : <http://expert.ru/expert/2016/47/kak-ne-ugrobit-lokomotiv-ekonomiki> (дата обращения: 08.09.2021).

72. Лapidус, Б. М. Макроэкономическая роль железнодорожного транспорта. Теоретические основы, исторические тенденции и взгляд в будущее / Б. М. Лapidус, Д. А. Мачерет. – Москва : Красанд, 2014. – 236 с.

73. Лёвин, Б. А. Цифровая железная дорога: принципы и технологии / Б. А. Лёвин, В. Я. Цветков // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16, № 3. – С. 50–61.

74. Лисенков, В. М. Статистическая теория безопасности движения поездов / В. М. Лисенков. – Москва : ВИНТИ РАН, 1999. – 332 с.

75. Лисенков, В. М. Управление безопасностью требует новых подходов / В. М. Лисенков // Евразия вести. – 2003. – № 4. – С. 5–6.

76. Лябах, Н. Н. Обеспечение экономической безопасности хозяйствующих субъектов различного уровня управления через развитие процедуры согласования противоречивых интересов / Н. Н. Лябах, М. В. Бакалов, Ю. В. Шаповалова // Проблемы управления безопасностью сложных систем : XXVII Международная конференция / ИПУ им. Трапезникова, РАН. – Москва, 2019. – С. 142–150.

77. Лябах, Н. Н. Системы массового обслуживания: развитие теории, методология моделирования и синтеза / Н. Н. Лябах, М. А. Бутакова. – Ростов на-Дону : ЮНЦ РАН, РГУПС, 2004. – 283 с.

78. 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 : труды Пятой научно-технической конференции с международным участием ИСУЖТ-2016, г. Москва, 17 ноября 2016 г. / НИИАС. – Москва, 2016. – С. 173–175.

79. Лябах, Н. Н. Моделирование деятельности транспортных предприятий / Н. Н. Лябах, М. В. Колесников, М. В. Бакалов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2018. – № 1(69). – С. 72–77. – ISSN 0201-727X.

80. Лябах, Н. Н. Техническая кибернетика на железнодорожном транспорте / Н. Н. Лябах, А. Н. Шабельников. – Ростов-на-Дону : СКНЦ ВШ, 2002. – 232 с.

81. Мамаев, Э. А. Контроллинг и управление логистическими рисками : учебное пособие / Э. А. Мамаев, Л. В. Маколова. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2017. – 89 с.

82. Мамаев, Э. А. Модели согласования интересов в транспортно-технологических многоагентных логистических системах / Э. А. Мамаев, Б. И. Алибеков // Фундаментальные и прикладные проблемы математики и информатики : Материалы XIII Международной конференции, приуроченной к 55-летию факультета математики и компьютерных наук, Махачкала, 16–20 сентября 2019 года. – Махачкала: Дагестанский государственный университет, 2019. – С. 104-105.

83. Мамаев, Э. А. Управление региональными транспортными системами в условиях изменений: проблемы и модели : монография / Э. А. Мамаев. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2005. – 195 с.

84. Марков, А. А. Ультразвуковая дефектоскопия рельсов / А. А. Марков, Д. А. Шпагин. – Санкт-Петербург : Образование-Культура, 2008. – 223 с.

85. Марков, Д. С. Определение загрузки станций и узлов Петербургского метрополитена в экспертной системе / Д. С. Марков, В. А. Яковлев, В. Б. Соколов // Автоматика и телемеханика железных дорог России. Техника, технология, сертификация : сборник научных трудов. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2009. – С. 45–50.

86. Матюхин, В. Г. Комплексный подход к обеспечению информационной безопасности в ИСУЖТ / В.Г. Матюхин, А.А. Галдин // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование : труды Шестой научно-технической конференции ИСУЖТ-2017, Москва, 16 ноября 2017 г. – Москва, 2017. – С. 46– 51.

87. Матюхин, В. Г. Единая интеллектуальная система управления и автоматизации производственных процессов на железнодорожном транспорте / В. Г. Матюхин, А. Б. Шабунин // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование

: труды Пятой научно-технической конференции с международным участием ИСУЖТ-2016, г. Москва, 17 ноября 2016 г. / НИИАС. – Москва, 2016. – С. 9–11.

88. Мачерет, Д. А. Проблемы эффективного управления производственной деятельностью и их особенности на железнодорожном транспорте / Д. А. Мачерет // Экономика железных дорог. – 2002. – № 4. – С. 6–22.

89. Мачерет, Д.А. Процессное управление при реализации услуг на рынке грузовых перевозок / Д.А. Мачерет, А.В. Рышков, М.Е. Воронцова // Экономика железных дорог. – 2007. – № 11. – С. 25–36.

90. Михалкин, И. К. Новые задачи и принципы построения системы диагностики и мониторинга инфраструктуры ОАО «РЖД» / И. К. Михалкин, О. Б. Симаков // Путь и путевое хозяйство. – 2015. – № 4. – С. 9–11.

91. Москвичев, О. В. Методологические основы размещения транспортных объектов на основе методов кластерного анализа / О. В. Москвичев // Вестник транспорта Поволжья. – 2017. – № 2(62). – С. 74-81.

92. Набойченко, И. О. Многоуровневая система безопасности / И. О. Набойченко, Н. Г. Шабалин // Железнодорожный транспорт. – 2003. – № 9. – С. 76–79.

93. Новиков, Д. А. Состояние и перспективы теории активных систем / Д. А. Новиков // Управление большими системами : сборник трудов. – 2004. – № 9. – С. 7–26.

94. Новиков, Д. А. Теория управления организационными системами / Д. А. Новиков. – Москва : МПСИ, 2005. – 584 с.

95. Нуреев, Р. М. Теории развития: кейнсианские модели становления рыночной экономики / Р. М. Нуреев // Вопросы экономики. – 2000. – № 4. – С. 137–146.

96. Орлов, А. И. Принятие решений. Теория и методы разработки управленческих решений / А. И. Орлов. – Москва : МарТ, 2005. – 496 с.

97. Осьминин, А. Т. О динамической модели загрузки инфраструктуры как инновационной цифровой трансформации планирования грузовых железнодорожных перевозок / А. Т. Осьминин // Сборник научных трудов IV международной научно-практической конференции «Транспорт и логистика:

пространственно-технологическая синергия развития», Ростов-на-Дону, 03–04 февраля 2020 года. – Ростов-на-Дону: РГУПС, 2020. – С. 226-229.

98. Осьминин, А. Т. О разработке интеллектуальной системы управления перевозочным процессом / А. Т. Осьминин // Железнодорожный транспорт. – 2021. – № 3. – С. 17-27.

99. 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.

100. Перегудов, Ф. И. Введение в системный анализ : учебное пособие / Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасенко. – Москва : Высшая школа, 1989. – 368 с.

101. Петров, М. Б. Региональная транспортная система: концепция исследования и модели организации / М. Б. Петров. – Екатеринбург : Институт экономики УрО РАН, УРГУПС, 2003. – 187 с.

102. Плеханов, П. А. Теория безопасности движения поездов : учебно-методическое пособие / П. А. Плеханов, П. Н. Ерлыков. – Санкт-Петербург : ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015. – 15 с.

103. Поттгофф, Г. Теория массового обслуживания : перевод с немецкого / Г. Поттгофф. – Москва : Транспорт, 1979. – 144 с.

104. Пультяков, А. В. Марковские процессы при исследовании состояний объектов в задачах надежности / А. В. Пультяков // Актуальные проблемы развития средств железнодорожной автоматики и телемеханики и технологий управления движением поездов : международный межвузовский сборник научных трудов, к 75-летию РГУПС / редактор И. Д. Долгий ; РГУПС. – Ростов-на-Дону, 2004. – С. 56–62.

105. Распоряжение от 15 апреля 2015 г. № 983р «Об утверждении типовых требований к системе менеджмента безопасности движения в ОАО «РЖД». – Текст : электронный. – URL: <https://jd-doc.ru/2015/aprel-2015/14477-rasporuyazhenie-oao-rzhd-ot-15-04-2015-n-983r> (дата обращения: 17.08.2021).

106. Расчет организационно-технологической надежности строительных систем : методические указания к выполнению практических работ по дисциплине «Управление организационно-технологической надежностью транспортного строительства» для студентов дневной формы обучения

специальности 271501 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей» / составитель С. А. Галанский. – Самара : СамГУПС, 2015. – 20 с.

107. Редреев, Г. В. Оценка организационно-технологической надежности процессов производства и сервиса АПК в условиях неопределенности / Г. В. Редреев, А. Е. Метелев // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – С. 323.

108. Репин, В. В. Бизнес-процессы компании: построение, анализ, регламентация / В. В. Репин. – Москва : Стандарты и качество, 2007. – 240 с.

109. Репин, В. В. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес процессов / В. В. Репин, В. Г. Елиферов. – Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2013. – 544 с.

110. Рогов, С. А. Эффективность внедрения микропроцессорных систем автоматизации сортировочных процессов / С. А. Рогов // Автоматизация и механизация технологических процессов на СС : межвузовская научно-практическая конференция. – Москва, 2010.

111. Розенберг, Е. Н. Цифровая железная дорога – ближайшее будущее / Е. Н. Розенберг // Автоматика, связь, информатика. – 2016. – № 10. – С. 4–7.

112. Розенберг, Е. Н. Методы и модели функциональной безопасности технических систем : монография / Е. Н. Розенберг, И. Б. Шубинский. – Москва : ВНИИАС, 2004. – 188 с.

113. Розенберг, И. Н. Системы управления сортировочными процессами в рамках идеологии цифровой железной дороги : монография / И. Н. Розенберг, А. Н. Шабельников, Н. Н. Лябах. – Москва : ВИНТИ РАН, 2019. – 244 с.

114. Сай, В. М. Образование, функционирование и распад организационных сетей : монография / В. М. Сай, С. В. Сизый. – Екатеринбург : УрГУПС, 2011. – 270 с.

115. Сапожников, В. В. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Гавзов, Х. Христов ; под редакцией Вл. В. Сапожникова. – Москва : Транспорт, 1995. – 272 с.

116. Сборник статей по системам управления безопасностью движением поездов / Евразия вести. – 2002. – № 12. – 28 с.

117. Седёлкин, Ю. А. Новые горизонты технологии УРРАН / Ю. А. Седёлкин, В. В. Атапин // Путь и путевое хозяйство. – 2015. – № 8. – С. 15–17.

118. Семенов, Д. О. Повышение эффективности, безопасности и надежности на железнодорожном транспорте / Д. О. Семенов // Transport Business in Russia. – 2017. – № 3 – С. 102–104.

119. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта на базе интеллектуальных технологий / ВНИИЖТ, 2002. – 30 с.

120. Современные бортовые системы удаленного мониторинга // Железные дороги мира. – 2017. – № 2. – С. 61–67.

121. Техническая эксплуатация устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики : учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / Вл. В. Сапожников, Л. И. Борисенко, А. А. Прокофьев, А. И. Каменев ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – Москва : Маршрут, 2003. – 336 с.

122. Транспортный комплекс. – Текст : электронный. – URL: <https://geography.ofrussia.com/transportnyj-kompleks> (дата обращения: 13.09.2021).

123. О развитии искусственного интеллекта в РФ : указ Президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490. – Текст : электронный. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/44731/page/1> (дата обращения: 20.10.2021).

124. Хатламаджиян, А. Е. Интегрированный пост автоматизированного приёма и диагностики подвижного состава на сортировочных станциях / А. Е. Хатламаджиян, А. И. Лебедев // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2019. – № 2(58).

125. Хохлов, А. А. Технические средства обеспечения безопасности движения на железных дорогах / А. А. Хохлов, В. И. Жуков. – Москва : ГОУ УМЦ, 2009. – 553 с.

126. Царегородцев, А. В. Один из подходов к управлению информационной безопасностью при разработке информационной инфраструктуры организации / А. В. Царегородцев, А. К. Качко // Национальная безопасность. – 2012. – Т. 1. – С. 46–59.

127. Честа, А. В. Управление живучестью систем железнодорожного транспорта и безопасностью движения поездов: принципы, механизмы, инструменты : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических

наук: 05.13.06, 05.22.08 / Честа Александр Викторович. – Ростов-на-Дону: РГУПС, 2009. – 163 с.

128. Числов, О. Н. Взаимодействие видов транспорта : учебно-методическое пособие для практических занятий и выполнения расчетно-графической работы / О. Н. Числов, Н. Н. Коренякина, Д. С. Безусов, И. А. Мрулишвили ; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов-на-Дону: [б. и.], 2017. – 43 с.

129. Числов, О. Н. Методы формирования и принципы интеллектуализации в управлении терминально-складской системой транспортного узла / О. Н. Числов, В. В. Трапенов, М. В. Бакалов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 1(81). – С. 104-114.

130. Шабалин, Н. Г. Многоуровневая система обеспечения безопасности движения поездов / Н. Г. Шабалин // Мир транспорта. – 2004. – № 2. – С. 68–78.

131. Шабалин, Н. Г. Автоматизированная система управления качеством технологических процессов движения поездов / Н. Г. Шабалин [и др.] // ТелеКомТранс-2004 : тезисы докладов Второй межведомственной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону, 2004. – С. 72.

132. Шабалин, Н. Г. Концепция информационной подсистемы многоуровневой системы управления и обеспечения безопасности движения поездов (АСУ МС) / Н. Г. Шабалин, И. К. Лакин [и др.] ; под редакцией Н. Г. Шабалина. – Москва : ВНИИУП, 2003. – 56 с.

133. Шабельников, А. Н. Моделирование систем технического обслуживания объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта на основе теории массового обслуживания / А. Н. Шабельников, Ю. В. Шаповалова // Вестник ВНИИЖТ. – 2018. – № 3. – С. 165–171.

134. Шабунин, А. Б. Интеграционная платформа для реализации сетецентрического подхода к созданию распределенных интеллектуальных систем управления ресурсами ОАО «РЖД» / А. Б. Шабунин, С. Н. Марков, Д. В. Дмитриев, Н. А. Кузнецов, П. О. Скобелев, С. С. Кожевников, Е. В. Симонова, А. В. Царев // Программная инженерия. – 2012. – № 9. – С. 23–28.

135. Шалягин, Г. Л. Организационно-технологическая надежность : методическое пособие по проведению практических занятий / Г. Л. Шалягин, И. В. Потапова. – Хабаровск : ДВГУПС, 2006. – 52 с.

136. Шанайца, П. С. Требуется новая система управления безопасностью перевозок / П. С. Шанайца // Евразия вести. – 2003. – № 4. – С. 1–2.

137. Шаповалова, Ю. В. Инновационный подход к организации перевозочного процесса на железнодорожном транспорте / Ю. В. Шаповалова // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2018. – № 1.

138. Шаповалова, Ю. В. К вопросу применения речевых коммуникаций в системах оперативно-диспетчерского управления на железнодорожном транспорте / Ю. В. Шаповалова // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2001. – № 1. – С. 87–91.

139. Шаповалова, Ю. В. Методы исследования сложных транспортных комплексов / Ю. В. Шаповалова // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 2. – С. 84–89.

140. Шаповалова, Ю. В. Транспортные комплексы: определения и классификация / Ю. В. Шаповалова. // Современное развитие науки и техники: сборник научных трудов Всероссийская национальная научно-практическая конференция «Наука-2017». – Ростов-на-Дону, 2017. – Т. 1 : Технические и естественные науки. – С. 126–130.

141. Шаповалова, Ю. В. Обеспечение эффективности и безопасности движения поездов на основе синтеза систем управления техническим состоянием инфраструктуры железнодорожного транспорта / Ю. В. Шаповалова // Транспорт: наука, образование, производство : сборник научных трудов международной научно-практической конференции «Транспорт-2019» / ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов-на-Дону, 2019. – Т. 4 : Технические и естественные науки. – С. 326–330.

142. Шаповалов, В. В. Выявление дефектов колесных дисков методом тепловой диагностики / В. В. Шаповалов, Ю. Е. Пустовой, Ю. В. Шаповалова // Транспорт: наука, образование, производство : сборник научных трудов

международной научно-практической конференции «Транспорт-2017» / ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов-на-Дону, 2017. – Т. 2 : Технические науки. – С. 225–228.

143. Шаповалов, В. В. Комплекс тепловой диагностики «АСТЕКО-01». Методы анализа тепловых аномалий тормозного оборудования грузовых вагонов. / В. В. Шаповалов, Ю. Е. Пустовой, Ю. В. Шаповалова // Транспорт-2015 : труды Международной научно-практической конференции, апрель 2015 г. : в 4 ч. / ФГБОУ ВПО РГУПС. – Ростов-на-Дону, 2015. – Ч. 2 : Технические науки. – С. 290–292.

144. Шаповалов, В.В. Комплекс тепловой диагностики тормозного оборудования грузовых вагонов / В. В. Шаповалов, Ю. Е. Пустовой, Ю. В. Шаповалова // Транспорт-2013 : труды Международной научно-практической конференции / ФГБОУ ВПО РГУПС. – Ростов-на-Дону, 2013. – Ч. 2 : Технические науки. – С. 102–104.

145. Шаповалова, Ю.В. Развитие подходов и методов к управлению эффективностью и безопасностью движения поездов / Ю. В. Шаповалова // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 1. – С. 115–121.

146. Шаповалов, В. В. Особенности автоматической диагностики отрицательной динамики подвижных единиц на ходу поезда / В. В. Шаповалов, Ю. В. Шаповалова, Ю. Е. Пустовой // Транспорт-2012 : труды Всероссийской научно-практической конференции, апрель 2012 г. : в 3 ч. / РГУПС. – Ростов-на-Дону, 2012. – Ч. 1 : Естественные и технические науки. – С. 137.

147. Шаповалов, В. В. Особенности построения сети передачи данных системы обнаружения отрицательной динамики грузовых вагонов на СКЖД / В. В. Шаповалов, Ю. Е. Пустовой, Ю. В. Шаповалова // Транспорт-2012 : труды Всероссийской научно-практической конференции., апрель 2012 г. : в 3 ч. / РГУПС. – Ростов-на-Дону, 2012. – Ч. 1 : Естественные и технические науки. – С. 126–127.

148. Шаповалов, В. В. Способ выявления вертикальной составляющей отрицательной динамики подвижных единиц / В. В. Шаповалов, Ю. Е. Пустовой, Ю. В. Шаповалова // Транспорт: наука, образование, производство: сборник научных трудов международной научно-практической конференции Транспорт-

2017 / ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов-на-Дону, 2017. – Т. 2 : Технические науки. – С. 175–179.

149. Шаповалов, В. В. О комплексных микропроцессорных системах диагностирования тормозного оборудования грузовых вагонов на ходу поезда / Шаповалов В.В., Шаповалова Ю.В., Пустовой Ю.Е. // Современное развитие науки и техники (Наука-2020). Всероссийская национальная научно-практическая конференция: сборник научных трудов / ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов-на-Дону, 2020. – С. 337-339.

150. Шепилова, Е. Г. Инновационное развитие отраслевых вузовских комплексов / Е. Г. Шепилова // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2015. – № 3 (44). – С. 223–228.

151. Шубинский, И. Б. Основные научные и практические результаты разработки системы УРРАН / И. Б. Шубинский, А. М. Замышляев // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 10. – С. 23–28.

152. Экономика России, цифры и факты. Часть 3 : Транспорт. – Текст : электронный. – URL: <https://utmagazine.ru/posts/10280-ekonomika-rossii-cifry-i-fakty-chast-3-transport> (дата обращения : 18.11.2021).

153. Яковлев, П. Г. Интеллектуальные технологии контроля и диагностики / П. Г. Яковлев // Железные дороги мира. – 2017. – № 2. – С. 61–67.

154. Яушев, Р. А. Теория массового обслуживания в оптимизации транспортных систем / Р. А. Якушев // Теория и практика инновационного менеджмента: отечественный и зарубежный опыт. – Караганда, 2013.

155. Adaptive Fuzzy Systems for Predictive Diagnostics of Railway Facilities / Y. V. Gurov, A. E. Khatlamadzhiyan, D. V. Khilkov, Y. Shapovalova // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2022. – Vol. 330 LNNS. – P. 170-179.

156. Becker, J. Process Management: A Guide for the Design of Business Processes / J. Becker, M. Kugeler, M. Rosemann. – Berlin: Springer, 2003. – 356 p.

157. Brown, C. L. Designing a Process-Based IT Organization / C. L. Brown, J. W. Ross // Information Strategy: The Executive's Journal. – 2003. – № 19 (4). – P. 35–41.

158. 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 // *Lecture Notes in Networks and Systems*. – 2022. – Vol. 330 LNNS. – P. 638-646.

159. Efficient and secure logistics transportation system / M. V. Kolesnikov, N. N. Lyabakh, E. A. Mamaev, M. V. Bakalov // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* : 8, Novosibirsk, 22–27 мая 2020 года. – Novosibirsk, 2020. – P. 012031.

160. Chang, J. F. *Business Process Management Systems – Strategy and Implementation* / J. F. Chang. – Boca Raton: Auerbach Publications, 2006. – 304 p.

161. Crosetto, G. *The Process-Based Organization – A Natural Organization Strategy* / G. Crosetto, J. Macazaga. – Amherst : HRD Press, 2005. – 300 p.

162. Madison, D. *Process Mapping, Process Improvement, and Process Management* / D. Madison. – Chico : Paton Press LCC, 2005. – 328 p.

163. Majchrzak, A. *Breaking the Functional Mind-Set in Process Organizations* / A. Majchrzak, Q. Wang // *Harvard Business Review*. – 1996. – No. 74(5). – P. 93–99.

164. Rogov, S. *Steuerung von Effektivität und Qualität des Rangierbetriebes* / S. Rogov // *Kybernetika*. – 2010. – № 1. – P. 32–37.

165. Rummler, G. A. *Improving Performance. How to Manage the White Space on the Organization Chart*. 2.p. / G. A. Rummler, A. P. Brache. – San Francisco: Jossey-Bass Publisher, 1995. – 226 p.

166. Seltsikas, P. *Organizing the Information Management Process in Process-Based Organizations* / P. Seltsikas // *Proceedings of the 34th Hawaii International Conference on System Sciences*. – 2001. – P. 8066–8074.

167. *Time Parameters Optimization of the Export Grain Traffic in the Port Railway Transport Technology System* / O. N. Chislov, T. V. Bogachev, A. S. Kravets [et al.] // *Advances in Intelligent Systems and Computing* (см. в книгах). – 2020. – Vol. 1091. – P. 126-137.

Приложение 1

СТАТИСТИЧЕСКИЕ, ПОНЯТИЙНЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

П1.1 Степень обеспеченности России железнодорожными перевозками

Недостаточное транспортное обеспечение многих регионов России (прежде всего в восточных и северных районах страны) является причиной недоступности перспективных ресурсов развития (лесов, месторождений).

Например:

- 70 % процентов лесных запасов страны не могут в настоящее время быть освоены из-за инфраструктурных ограничений;

- программа «Дальневосточный гектар» не развивается в основном вследствие ограниченной транспортной доступности.

Семь субъектов Федерации: Республики Алтай и Тыва, Ненецкий и Корякский автономные округа, Магаданская область, Чукотка и Камчатка вообще не имеют рельсовых путей.

Диспропорция загрузки в других регионах лишает их возможности организовать точки экономического роста территорий. Последнее касается четверти железных дорог в центральных регионах страны и крупных городах, которые работают в режиме, превышающем оптимальный уровень их загрузки.

То есть, ЖДТ не обеспечивает связность экономических центров и равномерность развития региональных экономик. Необходим анализ региональных экономик и транспортных комплексов с точки зрения кластерного и ценологического анализов (см. п. 3.4 и Приложение 3).

П1.2 Государственная поддержка развития транспортной инфраструктуры РФ

На государственную поддержку развития транспортной инфраструктуры в 2018 г. было выделено 221,7 млрд. руб., наибольшая доля которой (58 %) приходится на автомобильный транспорт. Доля ЖДТ в «общем объеме финансовой поддержки развития транспортной инфраструктуры составляет всего 17 %. На государственную поддержку покупки транспортных средств в 2018 г. было выделено 43,3 млрд. руб. Более половины поддержки получил воздушный транспорт, а железнодорожный – только 13 %. Это меньше всех остальных видов транспорта.

В то же время государственная поддержка ЖДТ включает в себя и иные важные меры:

- обнуление НДС на перевозку пассажиров и багажа во внутригосударственном сообщении;
- предоставление скидок перевозчикам на услуги инфраструктуры для перевозок пассажиров в пригородном сообщении в размере 99 % (компенсация соответствующих затрат ОАО «РЖД» в размере 25 млрд. руб. ежегодно);
- заключение долгосрочных контрактов на поставку техники и пр.» [41].

П1.3. Состояние парка грузовых вагонов в России

В настоящее время в управлении парком грузовых вагонов применяется функциональный подход, разработанный более 70 лет назад «в условиях плановой экономики, одного собственника вагонов и единого обезличенного парка. То есть сейчас, как и при плановой экономике, базовыми являются эксплуатационные показатели (грузооборот, скорость, средний вес, производительность локомотивов, погрузка, оборот вагона), а в изменившихся условиях важнейшим показателем является доходность на вагон в единицу времени. Многочисленным собственникам подвижного состава безразлично значение какого-либо эксплуатационного показателя, если он не отражается на их доходах. А в настоящее время вагоны предоставляются более 1800 собственниками (30 из них владеют более 5 тыс. вагонов каждый, 100 – более 1 тыс. вагонов и 1700 – менее 100 вагонов).

Проблему актуализируют рост числа грузовых вагонов, увеличение порожнего пробега и оборота вагона.

Вследствие этого осуществляется переход от управления «единым парком» к самостоятельному построению логистических цепей частными компаниями-операторами (под погрузку подается вагон собственника, с которым заключен договор на оказание услуги, а не просто ближайший вагон). Эффективность использования грузовых вагонов падает, возникает дополнительная нагрузка на инфраструктуру ЖДТ, снижается скорость движения поездов, замедляется товародвижение. Общая численность парка грузовых вагонов России сегодня составляет более 1,2 млн. единиц, из них «лишними» вагонами, по оценкам экспертов, являются порядка 250 тыс. вагонов. Если тенденцию увеличения вагонного парка не переломить, то движение по железнодорожной инфраструктуре будет заблокировано и многие предъявленные к перевозке грузы не будут доставлены в срок» [38].

П1.4. Категориальный аппарат исследования

Железнодорожная транспортная система определяется как «совокупность функционально взаимосвязанных технических средств и технического персонала,

предназначенная для осуществления в регламентированных условиях перевозки грузов и пассажиров по железным дорогам». ¹⁶

Ключевым смыслом в этом определении является «функциональная взаимосвязь элементов». Функциональная – то есть четко обусловленная. Элемент подчинен системе и проявляет себя только как часть системы. В отличие от «системы» понятие «сеть» предполагает у составляющих ее частей (агентов) наличие собственных целей и ресурсов, способность самостоятельно принимать решения, то есть функциональная взаимосвязь элементов теряется.

Согласно ГОСТ Р 55056-2012 «Транспорт железнодорожный. Основные понятия. Термины и определения» ¹⁷ далее принимаем также нижеследующие определения.

Железнодорожная логистическая цепь – линейно упорядоченное множество физических и/или юридических лиц, осуществляющих железнодорожные логистические операции.

Безопасность движения поезда – свойство движения поезда находиться в неопасном состоянии за расчетное время, когда отсутствует угроза сохранности жизней и здоровья пассажиров, технического персонала, населения, сохранности грузов, объектов хозяйствования, технических средств транспортной системы.

Безопасность движения железнодорожного транспорта – защищенность процесса движения железнодорожного подвижного состава и состояние самого железнодорожного подвижного состава, при котором отсутствует недопустимый риск возникновения транспортных происшествий и их последствий, влекущих за собой причинение вреда жизни или здоровью граждан, вреда окружающей среде, имуществу физических или юридических лиц.

Обеспечение безопасности движения железнодорожного транспорта – система экономических, организационно-правовых, технических и иных мер, предпринимаемых органами государственной власти, органами местного самоуправления, организациями железнодорожного транспорта, иными юридическими лицами, а также физическими лицами и направленных на предотвращение транспортных происшествий и снижение риска причинения вреда жизни или здоровью граждан, вреда окружающей среде, имуществу физических или юридических лиц.

Под *инфраструктурой транспорта* понимаем стационарные и подвижные средства обеспечения транспортного производства. Для железнодорожного транспорта это вокзалы, станции, пути, компрессорные установки, средства измерения параметров

¹⁶ ГОСТ Р 22.2.08-96, статья 3.1.8.

¹⁷ Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 ноября 2012 г. № 721-ст.

перевозочного процесса (датчики, камеры слежения и т. д.) и управления им (стрелки, замедлители), а также локомотивы, составы, отдельные вагоны.

Безопасность инфраструктуры железнодорожного транспорта: состояние инфраструктуры железнодорожного транспорта, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, а также окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений.

Эффективность транспортного комплекса. В самом общем смысле под эффективностью системы понимается отношение полученного на выходе эффекта к объему затраченных ресурсов (средств, времени, труда, интеллекта). Различают экономическую (финансовую или производственную), социальную, экологическую и др. виды эффективности.

Социальная эффективность транспорта определяется уровнем получаемых социальных благ. Экологическая эффективность ЖДТ характеризует степень защищенности окружающей среды от воздействия транспорта на единицу произведенных услуг.

В свою очередь экономическая эффективность определяется отношением прироста выпуска продукции, прироста прибыли к затратам, обуславливающим этот прирост.

Следует отметить, что переход к рыночным схемам взаимодействия ТС на ЖДТ повысил его экономическую эффективность за счет снижения его социальной эффективности.

П1.5. Перспективные и дискуссионные исследования по теме

Российский федеральный ядерный центр и ВНИИЖТ ведут обширные совместные разработки в области диагностики и мониторинга объектов инфраструктуры. Эти исследования касаются следующих тем: демонтаж строительных конструкций, диагностика пути с визуализацией, очистка путей, контроль состояния кабелей, элементов контактной сети, а также узлов и деталей подвижного состава (вибродиагностика, акустоэмиссия, электромагнитная локация).

Разрабатываемая инновационная система диагностики позволит прогнозировать состояние технических средств, что в перспективе может стать базой для системы их ремонта по фактическому состоянию. Помимо этого, разработки направляются на предотвращение случаев нарушения безопасности движения, в том числе на контроль схода колесных пар и целостность рельсового пути.¹⁸

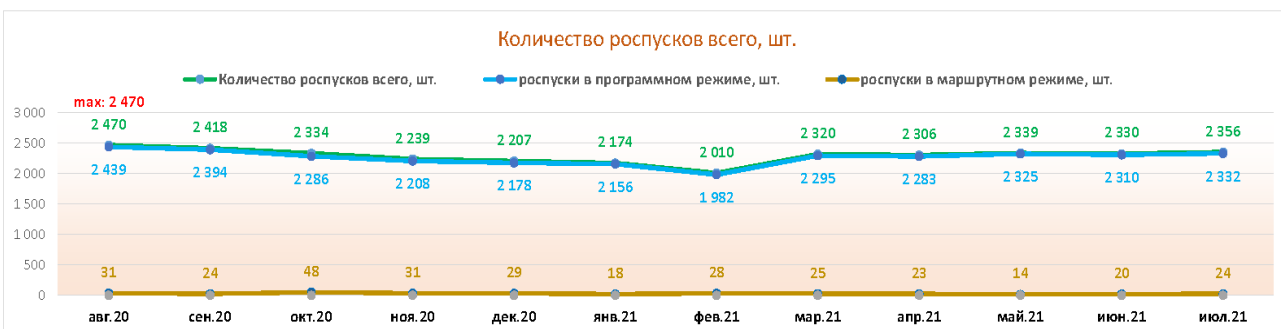
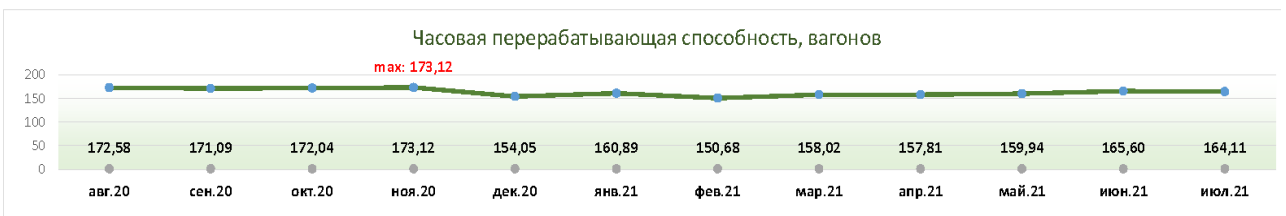
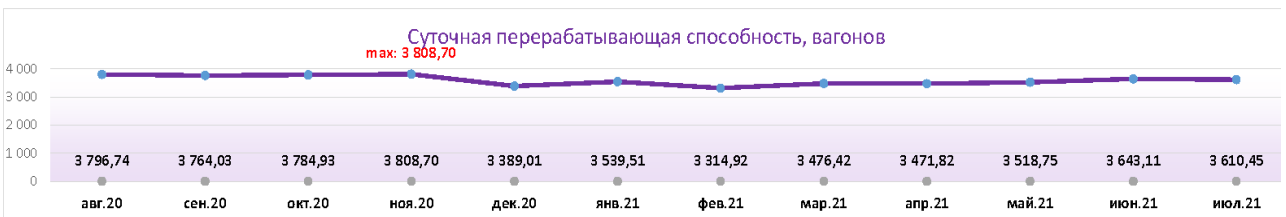
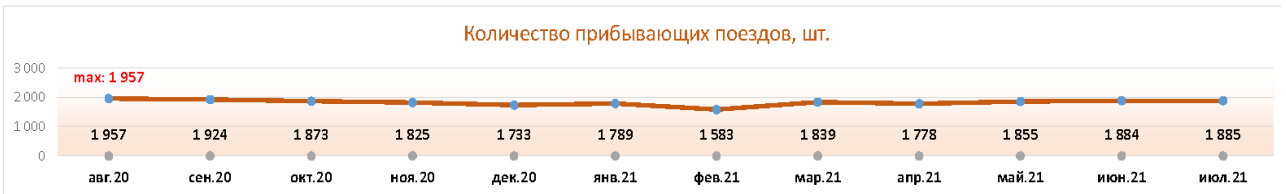
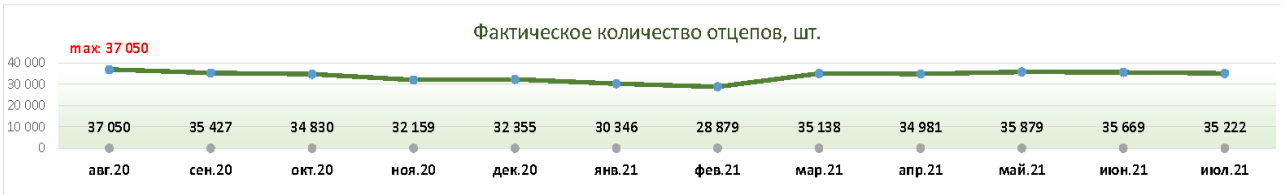
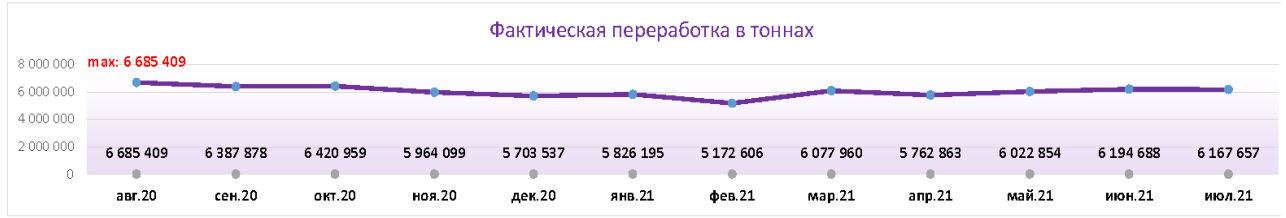
¹⁸ URL: <http://www.corp.vniizht.ru/?id=20&news=21>.

П1.6. Статистические данные по работе сортировочных систем станции Инская

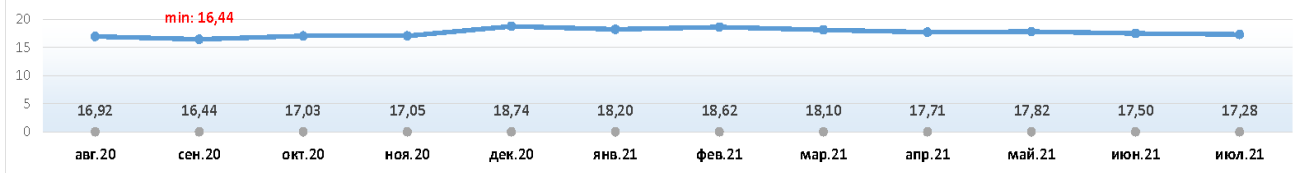
Подготовлено по материалам анализа работы СППР КДК КСАУ СП.

Таблица П1.1 –Показатели работы сортировочной горки ст. Инская четная за период: с августа 2020 по июль 2021г.

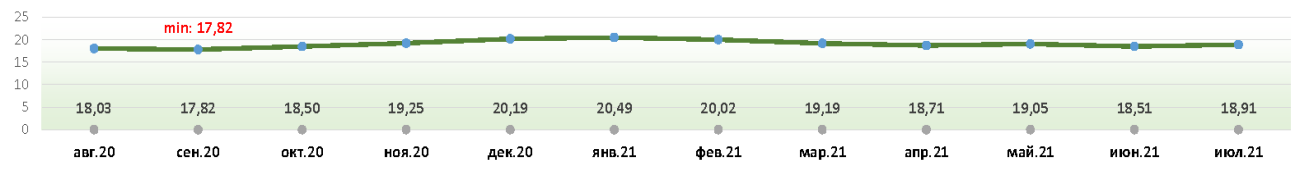
Наименование	авг.20	сен.20	окт.20	ноя.20	дек.20	январь.21	фев.21	мар.21	апр.21	май.21	июнь.21	июль.21
Фактическая переработка в вагонах, шт.	110 194	103 890	107 854	101 078	97 414	97 277	86 160	101 352	98 462	101 825	103 132	102 067
Фактическая переработка в тоннах	6 685 409	6 387 878	6 420 959	5 964 099	5 703 537	5 826 195	5 172 606	6 077 960	5 762 863	6 022 854	6 194 688	6 167 657
Фактическое количество отцепов, шт.	37 050	35 427	34 830	32 159	32 355	30 346	28 879	35 138	34 981	35 879	35 669	35 222
Количество прибывающих поездов, шт.	1 957	1 924	1 873	1 825	1 733	1 789	1 583	1 839	1 778	1 855	1 884	1 885
Среднее количество прибывающих поездов в сутки, шт.	63,13	64,13	60,42	60,83	55,90	57,71	56,54	59,32	59,27	59,84	62,80	60,81
Среднее количество переработанных вагонов в сутки, шт.	3 554,16	3 463,00	3 370,65	3 366,07	3 139,84	3 137,97	3 077,14	3 269,42	3 282,07	3 284,68	3 437,73	3 292,48
Средний горочный интервал, мин.	16,92	16,44	17,03	17,05	18,74	18,20	18,62	18,10	17,71	17,82	17,50	17,28
Суммарный период отсутствия поездов для расформирования, час	49,03	58,40	60,80	84,70	56,70	86,32	50,17	44,82	41,28	52,83	41,95	67,42
Количество ролпусков всего, шт.	2 470	2 418	2 334	2 239	2 207	2 174	2 010	2 320	2 306	2 339	2 330	2 356
ролпуски в программном режиме, шт.	2 439	2 394	2 286	2 208	2 178	2 156	1 982	2 295	2 283	2 325	2 310	2 332
ролпуски в маршрутном режиме, шт.	31	24	48	31	29	18	28	25	23	14	20	24
Среднее количество ролпусков в сутки, шт.	79,68	80,60	75,29	74,63	71,19	70,13	71,79	74,84	76,87	75,45	77,67	76,00
Время на тех. операции при «прерванных ролпусках», час.	83,70	77,15	85,42	73,48	92,75	76,70	85,58	86,82	89,40	87,60	81,78	86,20
Средний горочный цикл, мин.	18,03	17,82	18,50	19,25	20,19	20,49	20,02	19,19	18,71	19,05	18,51	18,91
Средняя длительность ролпуска, мин.	8,58	8,44	8,42	8,55	9,07	8,86	8,78	8,90	9,02	9,17	8,86	8,68
Средний интервал между ролпусками, мин.	9,46	9,38	10,08	10,70	11,12	11,63	11,24	10,29	9,69	9,89	9,65	10,23
Процент чужаков на общее количество отцепов	0,67	0,50	0,53	0,50	0,50	0,54	0,57	0,44	0,49	0,46	0,51	0,53
Количество чужаков на 1000 вагонов	2,25	1,69	1,70	1,60	1,65	1,69	1,90	1,54	1,74	1,61	1,76	1,84
Средняя фактическая скорость надвига, км/ч	4,98	4,89	5,09	4,97	4,74	4,80	4,73	4,76	4,62	4,65	4,83	4,91
Темп работы горки в час, поездов	3,55	3,65	3,52	3,52	3,20	3,30	3,22	3,32	3,39	3,37	3,43	3,47
Коэффициент загрузки горки	0,79	0,79	0,78	0,81	0,78	0,82	0,79	0,79	0,77	0,79	0,81	0,80
Коэффициент использования горочных механизмов	0,51	0,51	0,49	0,50	0,48	0,49	0,47	0,49	0,51	0,51	0,51	0,50
Суточная перерабатывающая способность, вагонов	3 796,74	3 764,03	3 784,93	3 808,70	3 389,01	3 539,51	3 314,92	3 476,42	3 471,82	3 518,75	3 643,11	3 610,45
Часовая перерабатывающая способность, вагонов	172,58	171,09	172,04	173,12	154,05	160,89	150,68	158,02	157,81	159,94	165,60	164,11



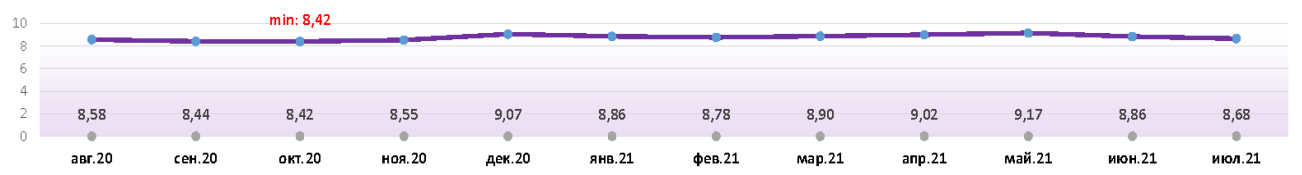
Средний горочный интервал, мин.



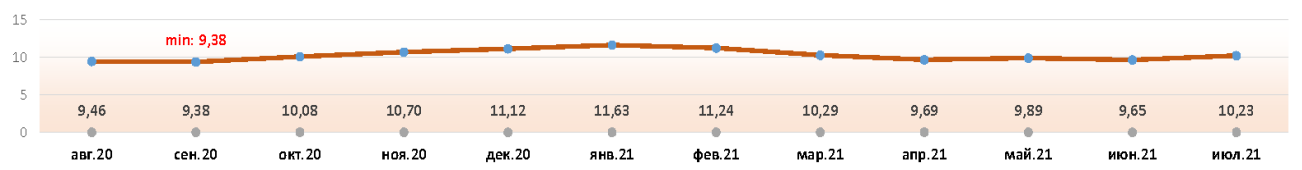
Средний горочный цикл, мин.



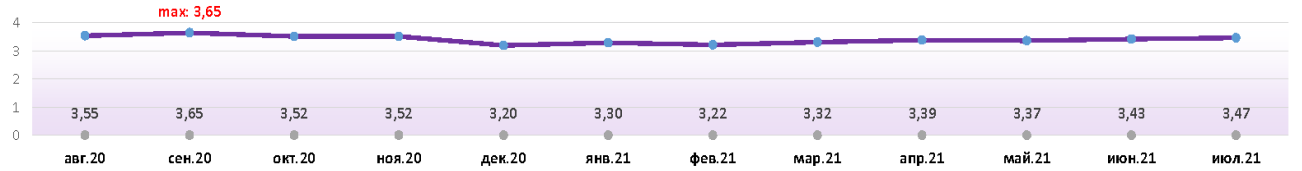
Средняя длительность роспуска, мин.



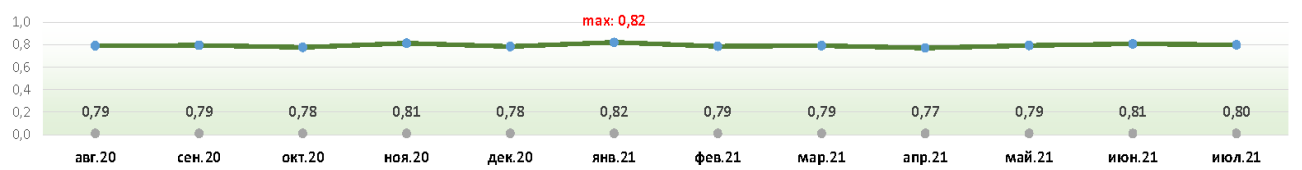
Средний интервал между роспусками, мин.



Темп работы горки в час, поездов



Коэффициент загрузки горки



Коэффициент использования горочных механизмов

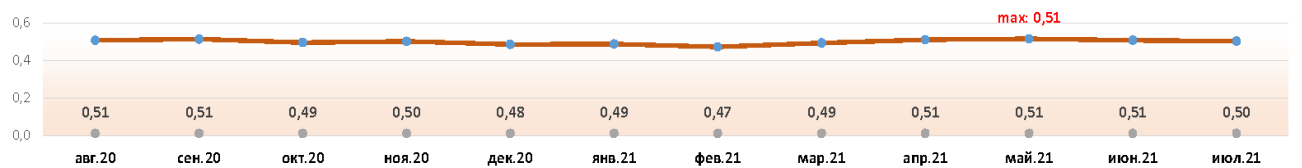
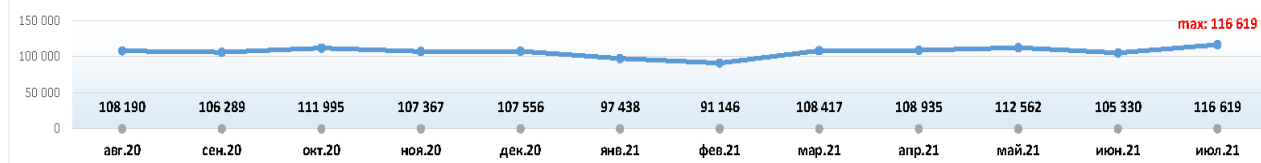


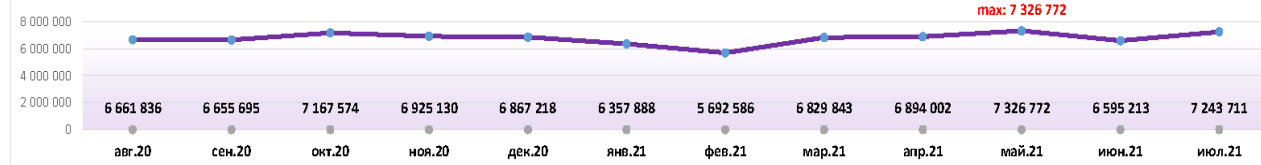
Таблица ПП.1 –Показатели работы сортировочной горки ст. Инская нечетная за период: с августа 2020 по июль 2021г.

Наименование	авг.20	сен.20	окт.20	ноя.20	дек.20	январ.21	фев.21	мар.21	апр.21	май.21	июн.21	июл.21
Фактическая переработка в вагонах, шт.	108 190	106 289	111 995	107 367	107 556	97 438	91 146	108 417	108 935	112 562	105 330	116 619
Фактическая переработка в тоннах	6 661 836	6 655 695	7 167 574	6 925 130	6 867 218	6 357 888	5 692 586	6 829 843	6 894 002	7 326 772	6 595 213	7 243 711
Фактическое количество отцепов, шт.	38 808	37 844	37 254	34 403	34 787	29 528	30 380	37 530	38 446	38 832	36 738	39 755
Количество прибывающих поездов, шт.	2 037	1 997	2 117	2 069	2 099	1 894	1 778	2 082	2 062	2 097	1 954	2 116
Среднее количество прибывающих поездов в сутки, шт.	65,71	66,57	68,29	68,97	67,71	61,10	63,50	67,16	68,73	67,65	65,13	68,26
Среднее количество переработанных вагонов в сутки, шт.	3 490,00	3 542,97	3 612,74	3 578,90	3 469,55	3 143,16	3 255,21	3 497,32	3 631,17	3 631,03	3 511,00	3 761,90
Средний горочный интервал, мин.	16,83	16,92	16,37	15,70	16,37	17,13	17,19	16,83	16,54	16,53	17,61	17,29
Суммарный период отсутствия поездов для расформирования, час	68,65	46,92	49,47	71,92	66,37	108,58	60,18	53,02	40,08	51,63	52,75	32,17
Количество роспусков всего, шт.	2 408	2 397	2 550	2 493	2 491	2 231	2 141	2 475	2 476	2 526	2 282	2 482
роспуски в программном режиме, шт.	2 370	2 380	2 503	2 460	2 472	2 195	2 110	2 447	2 452	2 507	2 264	2 472
роспуски в маршрутном режиме, шт.	38	17	47	33	19	36	31	28	24	19	18	10
Среднее количество роспусков в сутки, шт.	77,68	79,90	82,26	83,10	80,35	71,97	76,46	79,84	82,53	81,48	76,07	80,06
Время на тех. операции при «прерванных роспусках», час.	56,97	72,28	70,92	67,53	71,90	61,37	71,13	67,58	68,60	71,37	59,75	63,73
Средний горочный цикл, мин.	18,46	18,02	17,46	17,32	17,88	19,96	18,81	18,05	17,44	17,66	18,90	17,96
Средняя длительность роспуска, мин.	9,39	9,24	9,27	8,77	8,91	9,06	8,80	9,11	9,31	9,40	9,86	9,95
Средний интервал между роспусками, мин.	9,07	8,78	8,19	8,55	8,97	10,90	10,00	8,94	8,13	8,25	9,03	8,01
Процент чужаков на общее количество отцепов	1,65	1,43	0,98	0,65	0,72	0,72	0,86	0,75	1,05	1,22	1,08	1,52
Количество чужаков на 1000 вагонов	5,92	5,11	3,27	2,09	2,32	2,20	2,86	2,61	3,69	4,19	3,75	5,19
Средняя фактическая скорость надвига, км/ч	5,11	5,29	5,14	5,16	5,09	5,06	5,26	5,19	5,11	5,02	4,88	4,99
Темп работы горки в час, поездов	3,57	3,55	3,66	3,82	3,67	3,50	3,49	3,57	3,63	3,63	3,41	3,47
Коэффициент загрузки горки	0,84	0,83	0,83	0,83	0,84	0,85	0,83	0,84	0,83	0,83	0,85	0,85
Коэффициент использования горочных механизмов	0,56	0,55	0,57	0,56	0,54	0,53	0,51	0,54	0,56	0,57	0,56	0,58
Суточная перерабатывающая способность, вагонов	3 845,24	3 773,48	3 862,56	3 950,04	3 799,07	3 670,62	3 565,53	3 748,25	3 829,65	3 881,07	3 774,22	3 913,68
Часовая перерабатывающая способность, вагонов	174,78	171,52	175,57	179,55	172,68	166,85	162,07	170,38	174,08	176,41	171,56	177,89

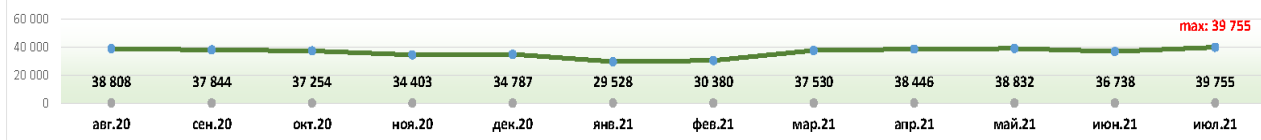
Фактическая переработка в вагонах, шт.



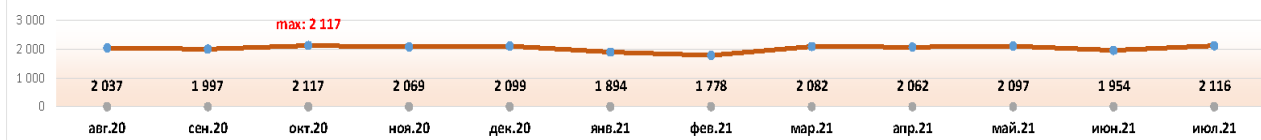
Фактическая переработка в тоннах



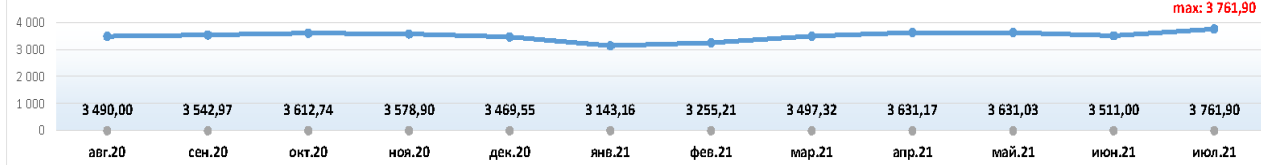
Фактическое количество отцепов, шт.



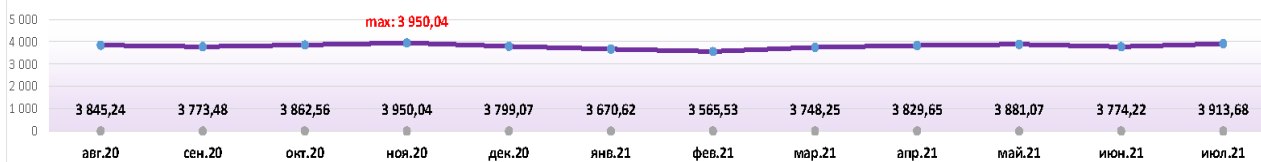
Количество прибывающих поездов, шт.



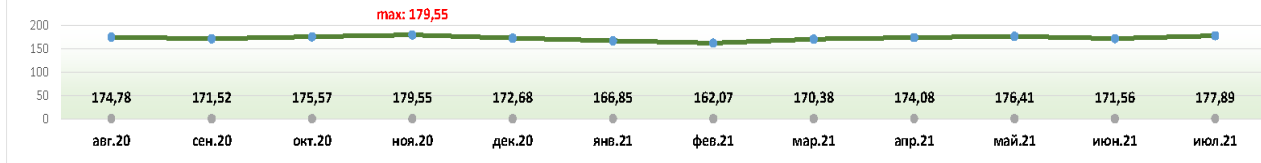
Среднее количество переработанных вагонов в сутки, шт.



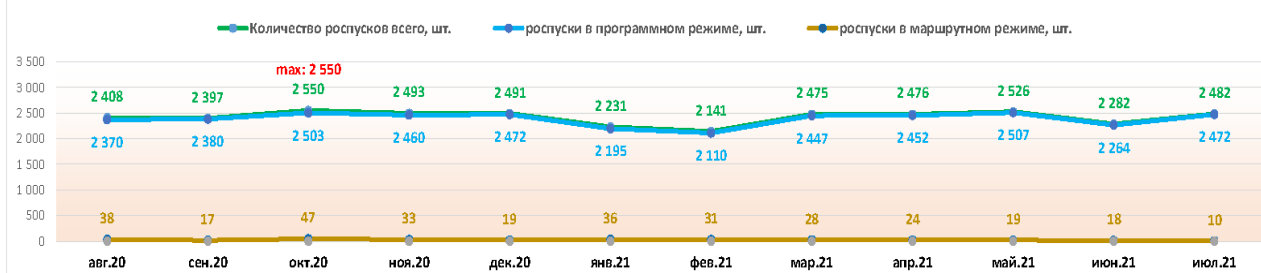
Суточная перерабатывающая способность, вагонов



Часовая перерабатывающая способность, вагонов



Количество роспусков всего, шт.





Приложение 2

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ ПРОЦЕССНОГО ПОДХОДА ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

В данном разделе анализируются два подхода:

– процессное управление, рассматриваемое с позиции теории массового обслуживания (анализируются производственные показатели исследуемого процесса) [22, 77];

– процессное управление, осуществляемое с учетом экономических критериев деятельности [2].

Ниже рассмотрены роль, место, возможности и ограничения обозначенных подходов.

П2.1. Возможности и ограничения теории массового обслуживания

В настоящее время уже провозглашена перспективная концепция перехода к прогнозируемому обслуживанию объектов инфраструктуры ЖДТ [6, 10, 13, 28, 29], но по факту продолжает доминировать регламентное (плановое) ТОиР. Весомой причиной тому является отсутствие моделей, механизмов и технологий, обеспечивающих этот процесс.

Железнодорожный транспорт в целом и ТС, его составляющие, в частности оказывают населению, экономике страны транспортные услуги, позиционируясь, таким образом, как системы массового обслуживания (СМО) [85, 154]. Поэтому в качестве математического инструментария описания СМО естественно выступает теория массового обслуживания.

Вот ряд характерных примеров СМО на ЖДТ (подробнее см. гл. 4):

- обслуживание грузов в грузовом терминале станции;
- обслуживание пассажиров: у турникетов, у билетных касс, в точках общественного питания и пр.;
- прием и обслуживание поездов на станцию, отцепов при роспуске составов на сортировочных горках сортировочных станций и т. д.);
- движение поездов по участкам железных дорог.

Подробнее рассмотрим процессы массового обслуживания, входящие в сферу интересов данной работы.

Организация технического обслуживания составов в парке приема.

Роспуск составов на сортировочных горках сортировочных станций сопровождается:

а) ТОиР объектов инфраструктуры станции и горки (датчиков, стрелок, замедлителей, компрессорных и т. д.). Общая идеология этого процесса представлена выше в разделах 2.3 и 2.4;

б) техническим обслуживанием и коммерческим осмотром составов поездов в парке приема (для прибывающих составов) и в парке отправления (для составов, покидающих станцию). В результате выявляются и устраняются неисправности оборудования станции и горки, вагонов, несоответствия в сопроводительных документах.

Для объектов по п. (а) можно говорить о плановом (регламентированном) ТОиР, а процедура по п. (б) не вписывается в концепцию планового ТОиР, поэтому эффективность и безопасность функционирования рассматриваемых ТС существенным образом зависит от ее организации. Подробнее решение этой задачи рассмотрено в разделе 4.2 [133].

Выявление и исправление дефектов колесных пар. Исправные и дефектные колесные пары поездов нагреваются по-разному. Комплекс тепловой диагностики «АСТЕКО-01» [143, 144] по температурным аномалиям выявляет неисправности тормозного оборудования вагонов.

В цитируемом источнике описаны оборудование, технология измерения и анализа тепловых аномалий. Вместе с тем дополнительного развития требуют:

– структура и механизм взаимодействия каналов обслуживания, которыми являются мониторинг тепловых параметров колесных дисков, диагностика аномалий, исправление повреждений;

– математическая модель анализа и оптимизации параметров исследуемой СМО (см. п. 4.3).

Система диагностирования колебаний грузовых вагонов. В процессе движения состава кузова грузовых вагонов колеблются в горизонтальной и вертикальной плоскостях. В работах [146–148] описаны системы, которые оценивают динамические характеристики движущихся вагонов. Они используют в качестве регистрирующего устройства лазерный 2D-сканер.

Таким образом, техническая составляющая процесса решена – есть механизм диагностики подвижных единиц. Необходима процедура математического моделирования исследуемых эффектов (колебание кузовов подвижных единиц, обнаружение аномалий) и принятия обоснованного решения (о содержании и порядке ТОиР) по результатам мониторинга. Это составляет предмет настоящего исследования (см. п. 4.3).

Логистическая цепь транспортировки грузов. Транспортировка грузов, заключающаяся в реализации последовательности операций (погрузка-выгрузка вагонов, формирование составов, переформирование составов на станции, движение по участкам, обслуживание в порту), – также система массового обслуживания.

Для решения сформулированных проблем предлагается использовать аппарат теории массового обслуживания [77, 80, 103], где весь процесс обслуживания (вне зависимости от его содержания) представляется в виде последовательно соединенных звеньев отдельных процедур (рисунок П2.1).



Рисунок П2.1 – Система массового обслуживания из последовательно соединенных звеньев

В рамках одного звена логистической цепи (см. рисунок П2.1) может быть организована параллельная работа: одновременная разгрузка-погрузка вагонов, параллельный роспуск составов на станции, движение по «параллельным» участкам, одновременное ТО и т. д. (рисунок П2.2).

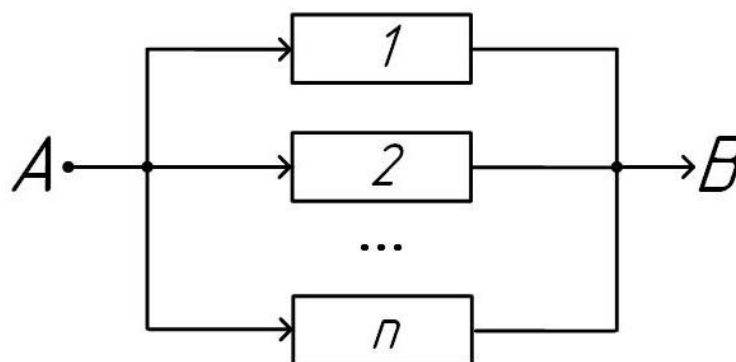


Рисунок П2.2 – Параллельное соединение каналов

Реальное транспортное обслуживание осуществляется по схемам, комбинирующим схемы рисунков П2.1 и П2.2.

На вход каждого звена поступает входной поток заявок на обслуживание (составы, отцепы, информация о состоянии объекта и сбоях и т. д.). В результате обслуживания на выходе звена появляется выходной поток.

Из обширного перечня моделей потоков (простейший, иначе, пуассоновский; Пальма; Эрланга первого, второго и т. д. порядков) первый получил наибольшее распространение, так как обладает рядом удобных свойств.

Отсутствие последствия – предыстория развития процесса не влияет на появление заявок в будущем. Очевидно, что для всех четырех представленных выше задач это свойство выполняется.

Ординарность. Согласно этому свойству одновременное появление заявок исключается. Выполняется аналогично предыдущему. Вагоны к осмотру (в парке

приема сортировочной станции), к измерительному устройству для измерения параметров (теплоизлучения диска колеса или динамики катящегося вагона) подаются последовательно.

Стационарность. Это свойство означает, что статистические характеристики процесса (средние интенсивности, разброс около среднего и др.) сохраняются в течение анализируемого периода. Износ колесных дисков, состояние конструкций вагонов в зависимости от состояния системы обеспечения диагностики и ремонта могут быть нестационарными. Но это чрезвычайно инерционный процесс, и потому на ограниченных промежутках времени исследования его можно считать стационарным. Для сортировочных процессов это свойство выполняется ограниченно, по крайней мере для каждого роспуска составов.

В общем, анализируя условия работы ТК и составляющих его предприятий транспорта, можно утверждать, что простейший поток является удовлетворительной моделью многих их процессов (на отдельных промежутках времени и/или параметрах системы) [22, 77, 103].

В рамках данного исследования идеология теории массового обслуживания применена для описания комплекса мониторинга, диагностики и технического обслуживания объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта (см. п. 4.2).

П2.2. Метод взаимного учета экономических и производственных интересов ТС разного уровня управления

Инструментарий теории массового обслуживания, хорошо отражая сущность процессного подхода к моделированию транспортных процессов, позволяет описать ТЛЦ с точки зрения изменения их производственных показателей (объемы погрузки-выгрузки, перевезенных грузов, оказанных услуг и т. д.). Финансовые показатели (рентабельность, доход, прибыль) ТС при этом остаются в тени.

В научной и методической литературе концепции системного и процессного подходов к управлению, как правило, обсуждаются в рамках одного хозяйствующего субъекта [54]. Например, показано, что нет сомнений в необходимости реализации принципов процессного управления в ОАО «РЖД». Для этого в 2014 году разработана и утверждена единая методологическая платформа. По результатам внедрения процессного управления в хозяйствах холдинга эта платформа периодически совершенствовалась в 2016–2017 годах.

В настоящем исследовании речь идет об управлении транспортно-логистическими цепями разного назначения, а именно:

- поставки грузов населению и предприятиям;
- организации процесса прогнозируемого ТОиР, включающего звенья: мониторинг объекта исследования, диагностика, ТО (или ремонт).

Характерным примером первого акцента может являться продвижение грузов из российских регионов в порты Черного и Азовского морей. Такие цепи охватывают деятельность различных транспортных систем: автомобильных, железнодорожных, речных, морских. Управлять таким процессом значит выйти за рамки одной системы – системы, определенной одним ХС.

Таким образом, возникают транспортно-логистические комплексы (ТЛК), обеспечивающие продвижение грузов по сложным маршрутам с участием различных ведомств и транспортных предприятий. Организация работ ТЛК требует согласованных действий различных транспортных систем и предприятий. Вследствие этого возникают задачи согласования противоречивых интересов ХС.

На организационном уровне решение этой сложной задачи возлагается на Единый сетевой технологический процесс [37, 137]. В качестве математического инструментария согласования противоречивых интересов ХС одного (между предприятиями, осуществляющими перевозку грузов) и разного уровня (между предприятиями, осуществляющими перевозку грузов и ЕСТП) управления можно предложить формализованные алгоритмы теории активных систем [14, 79, 93, 94].

Такое развитие ЕСТП позволит регламентировать отношения участников перевозочного процесса с целью обеспечения безопасности, своевременности и обязательности всех функций транспортного процесса.

Наличие формальных (математических) средств объективизации отношений ХС придаст новый импульс к разработке транспортных технологий и позволит получить положительный синергетический эффект от внедрения ЕСТП.

Другая проблема малой эффективности ЕСТП связана с ее ведомственной ограниченностью: в настоящее время задачи и функции ЕСТП ограничены ОАО «РЖД», а следует расширить их на весь ТЛК, включая другие задействованные транспортные комплексы.

Второй акцент ТЛЦ иллюстрируется механизмом организации совместного протекания основного и вспомогательных процессов (подробнее см. п. 4.2).

Целью настоящего исследования является разработка методики и математического инструментария процессного подхода, внедряемого при организации транспортно-логистических цепей, выходящих за рамки одного ХС.

Несмотря на различия постановок, основные методические положения процессного управления в хозяйствах холдинга можно распространить и на процессное управление в рамках ЕСТП. Используем следующие положения:

- описание сложных процессов следует осуществлять «сверху вниз», рассматривая стратегический, тактический, оперативный уровни управления;
- входные и выходные параметры управляемого процесса задают потребители транспортных услуг и владельцы средств производства;

- на выходе процесса должны быть продукты или услуги, удовлетворяющие установленным требованиям по скорости, точности, качеству транспортировки грузов;
- процессы формируются на четырех стадиях: общее описание процессов, декомпозиция процессов (для перехода на нижеследующий уровень управления), подробное описание типовых процессов, оценка и разработка сценариев процессов.

Принятая в ОАО «РЖД» платформа процессного управления подразделяет процессы на основные и вспомогательные. В качестве примера следует, например, рассматривать процессы мониторинга и диагностики объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта [61, 147]. От их качества и своевременности существенным образом зависят показатели основного процесса (доставка грузов потребителю).

В работе [2] рассмотрена одна из возможных методик анализа транспортно-логистических цепей, содержащих последовательное соединение звеньев (см. рисунок П2.1).

Сущность методики состоит в следующем:

1. Для каждого ХС идентифицируется зависимость выручки предприятия от объема выполненных работ (перевезенных грузов). Показана возможность представления в окрестности точки экстремума с помощью квадратичной зависимости общего вида:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 . \quad (\text{П2.1})$$

2. Соотношение (П2.1) преобразовывается к виду:

$$y = -m(x - a)^2 + b . \quad (\text{П2.2})$$

Здесь параметры модели $a > 0$ и $b > 0$ имеют известный экономический смысл: a – оптимальное значение загрузки предприятия, при котором достигается максимум выручки, равный b (рисунок П2.3).

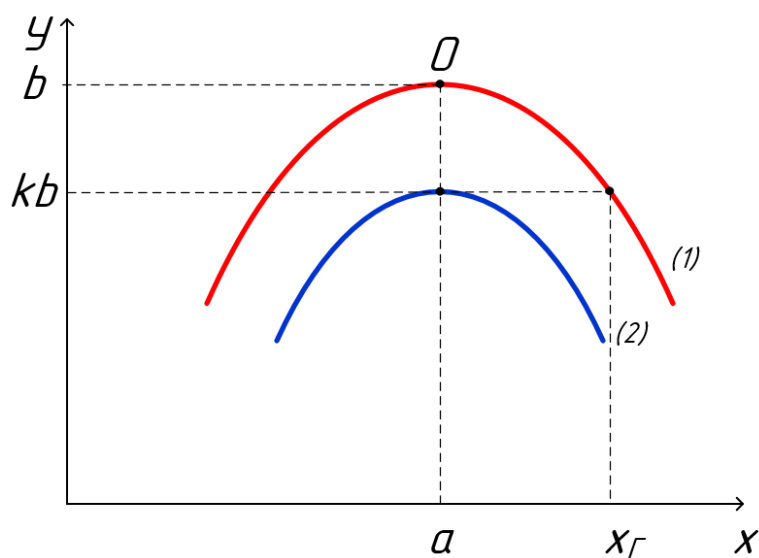


Рисунок П2.3 – Критерии эффективности транспортного предприятия

В исследовании предлагалось выделить полный квадрат из полученного квадратного трехчлена для идентификации параметров процесса a и b . Эту задачу можно решить проще, традиционным методом: найти производную от y , приравнять ее 0, решить простое линейное уравнение (получим значение a) и значение функции в этой точке (значение b).

3. Задается план на объемы выполненных работ (интенсивность их выполнения).

4. Осуществляется анализ состояния ТЛЦ:

– если ХС выполняет план перевозок, установленный ЕСТП, то его вознаграждение осуществляется по зависимости (П2.2), представленной на рисунке П2.3 графиком (1);

– если ХС не выполняет план, на него накладываются санкции путем пропорционального снижения величины b (штрафные санкции) с коэффициентом $0 < k < 1$.

То есть, при невыполнении плана предприятие работает по зависимости, представленной на рисунке П2.3 графиком (2):

$$y = -m(x - a)^2 + kb . \quad (\text{П2.3})$$

В [76] выведены соотношения для ключевых параметров процедуры k и x_{Γ} :

$$x_{\Gamma} = a + \sqrt{\frac{b(1-k)}{m}} \quad (\text{П2.4})$$

$$k = 1 - \frac{m(x_{\Gamma} - a)^2}{b} \quad (\text{П2.5})$$

Очевидно, что пока значение плана принадлежит промежутку $[a; x_{\Gamma}]$, предприятию (участку ТЛЦ) выгодно выполнять этот план. Если верхний уровень управления назначит план $x > x_{\Gamma}$, то предприятию выгодно осуществить перевозку грузов в объеме $x = a$ и получить выручку в объеме kb . Таким образом, промежуток $[a; x_{\Gamma}]$ – область согласованных решений ЕСТП и ХС.

Приложение 3

РОЛЬ И МЕСТО КЛАСТЕРОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕНОЗОВ В РАЗВИТИИ ТРАНСПОРТНЫХ КОМПЛЕКСОВ

В данном разделе раскрывается сущность:

- ценологического анализа и синтеза в задаче управления транспортными комплексами [27, 63, 65];
- кластерной организации взаимодействия ТС.

Кластерная организация взаимодействия ТС сохраняет конкуренцию между партнерами, так как при объединении их ключевых компетенций они признаются всеми участниками кластера.

Следует отразить два важных аспекта:

1. Формирование регионального кластера ТС, в котором ТК и его предприятия – составляющая часть – агенты кластера. В этом случае ТС входят составными частями в экономику регионов.

2. Создание транспортного кластера, объединяющего различные виды транспорта и предприятия, обеспечивающие обработку и транспортировку грузов. В настоящее время эта форма взаимодействия ТС развивается в полигонной организации транспортного производства.

Две вышеназванные категории (ценоз и кластер) рассматриваются в одном разделе, так как их содержательная сущность в данном случае совпадает: представление задачи транспортировки грузов с системных позиций, как единого организма, в рамках которого решаются обе сформулированные в теме проблемы – обеспечение безопасности и эффективности.

В этой связи заслуживают внимания механизмы использования ценологических моделей как моделей кластеров и наоборот.

На стратегическом уровне исследования сложных объектов любой природы к формальным (аналитическим) методам относится ценологический анализ. В нашем случае он представляет ТК как «живой» организм, обладающий свойствами самоорганизации, самосовершенствования. Если достичь этого состояния ТК, то ручное вмешательство в его работу, а также негативная роль человеческого фактора будут сведены к минимуму.

Сущность ценологического анализа. Все сложные системы (ТК не исключение) под воздействием универсальных природных законов (законы сохранения: энергии, массы, вещества, количества движения; законы причинно-следственных связей и пр.) стремятся к формированию устойчивых состояний. Пребывание системы в таком состоянии называется **ценозом**. Привычны и понятны биоценозы. В нашем случае речь идет о техноценозах [27, 63, 65].

Структуру ценозов можно описывать разными распределениями. «Рассматривают видовое распределение – зависимость числа видов от количества особей в виде, ранго-видовое распределение (ранг – номер по порядку при расположении видов в порядке уменьшения численности) и ранговое по параметру, при расположении видов в порядке уменьшения какого-либо параметра». Для моделирования невозрастающей функции всех трех распределений применяется закон Ципфа (рисунок ПЗ.1):

$$N(r) = A/r^G, \quad (\text{ПЗ.1})$$

где $N(r)$ – в частности, для ранго-видового распределения, количество особей в виде с рангом r , шт.; A , G – коэффициенты, постоянные распределения.

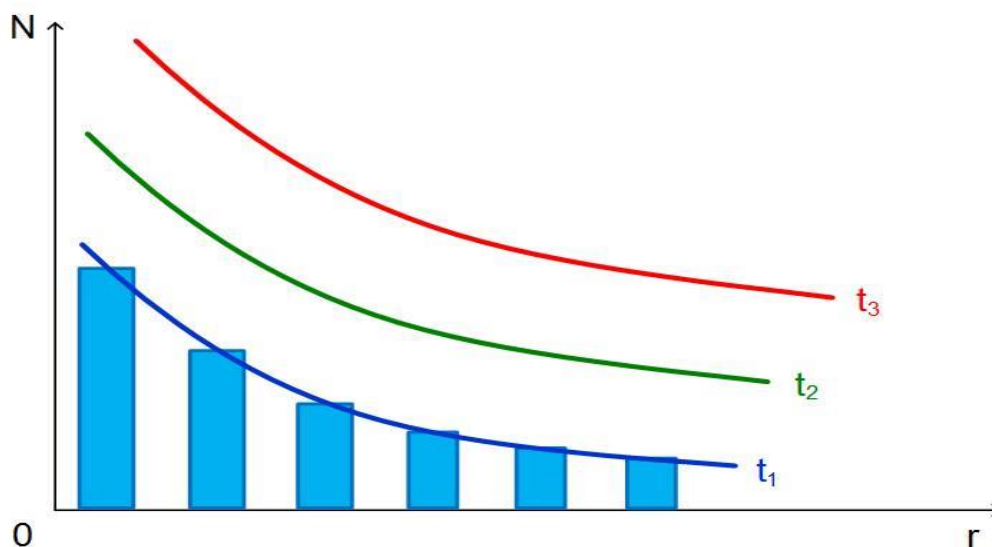


Рисунок ПЗ.1 – Семейство ценологических кривых

Практически модель (ПЗ.1) рассчитывается следующим образом:

1. Выбирается параметр исследования. В работе [59] это параметры деятельности СКЖД (тяговые, подвижные средства), в работе [150] – уровень и содержание образования сотрудников ТК, в работе [2] – числовые характеристики транспортных полигонов (объекты инфраструктуры).

2. Средствами пассивного и/или активного экспериментов формируется база статистических данных, характеризующая выбранные параметры исследуемого объекта.

3. По этим статистическим данным строится гистограмма распределения исследуемого параметра (см. рисунок П4.1).

4. Гистограмма аппроксимируется кривой вида (П4.1).

5. Оценивается ошибка аппроксимации.

6. Процедуры 1–4 повторяются для различных моментов времени t_1, t_2, t_3, \dots . Получаем семейство кривых вида (П4.1) и, соответственно, ряды параметров A_i и G_i .

Модель ценологического анализа объясняет ряд производственных показателей:

– существующие диспропорции в размерах производства и бизнеса, которые оцениваются по значению ошибки аппроксимации – пункт 5 алгоритма. Чем она (ошибка) меньше, тем в большей степени ТК является техноценозом, так как точки гистограммы в этом случае «точнее» лежат на аппроксимируемой кривой;

– степень развитости системы (по изменению коэффициентов зависимости (П4.1)). Оптимальным случаем является значение $G = 1$. Если значение G «уходит» от 1, то техноценоз «рассыпается».

Полнота и высокая степень развитости ценоза обеспечивают его устойчивость и эффективность.

Процедуре непосредственного построения ценологических кривых предшествуют следующие этапы-процедуры [27]:

1. Выделение техноценоза из среды его погружения.
2. Определение перечня видов в техноценозе.
3. Задание видообразующих параметров.
4. Параметрическое описание техноценоза.

Рассмотрим эти процедуры более подробно.

1. Техноценоз должен быть локализован как в пространстве, так и во времени. В нем должно быть представлено значительное количество (тысячи, десятки тысяч) отдельных технических изделий различных видов (изготовленных по разной технической документации), не связанных друг с другом сильными связями. Но в техноценозе должна явно просматриваться единая инфраструктура связей, среди элементов техноценоза должна иметь место конкуренция, направленная на достижение общей цели (необязательно четко и формализовано сформулированной).

Для описания техноценоза необходимо создать специальную базу данных, включающую максимально систематизированную и стандартизированную, достаточно полную и в то же время без излишних частных информации о видах и особях техноценоза.

2. Определение перечня видов. Это также трудноформализуемая процедура. Суть ее заключается в определении полного перечня видов техники в уже выделенном техноценозе. Делается это путем анализа разработанной информационной базы.

По опыту исследования техноценозов (в различных областях человеческой деятельности), в перечне видов рекомендуется иметь двести-триста наименований (при общем количестве технических изделий-особей до десятков тысяч единиц). Выделенный перечень видов должен быть зафиксирован в отдельном списке.

3. Выполняя процедуру задания видообразующих параметров ценологического анализа, в качестве видообразующих рекомендуется задавать несколько функционально значимых для техноценоза, физически измеряемых и доступных для исследования параметров. Желательно, чтобы они были комплексными и в

совокупности представляли группу, достаточно полную для качественного описания техноценоза с точки зрения конечной цели его функционирования. Такими параметрами могут быть стоимость, энергетическая мощность, сложность структуры (если ее можно описать), надежность, живучесть, численность обслуживающего персонала, массогабаритные показатели, топливная экономичность и др. Как видим, любой из перечисленных параметров весьма емко характеризует технические изделия. Наиболее важными из них представляются стоимость, энергетическая мощность и количество обслуживающего персонала.

4. Параметрическое описание техноценоза. После задания видообразующих параметров необходимо определить и внести в базу данных техноценоза конкретные значения этих параметров, которыми обладает каждый вид техники из его состава. Это длительная и кропотливая статистическая работа, однако вполне доступная для каждого исследователя. Работа по созданию информационной базы техноценоза завершается после того, как будет создана многомерная электронная таблица (база данных, включающая банк данных и систему управления). Эта таблица вбирает в себя систематизированную в определенном порядке (по укрупненным видам техники, подразделениям техноценоза, граничным значениям параметров или другим признакам) информацию о видах технических изделий, входящих в техноценоз, и значениях видообразующих параметров, которыми характеризуется каждый из этих видов.

Ключевым параметром, о котором мы пока не говорили, но который обязательно должен присутствовать в сформированной базе данных, причем на первом месте, является количество единиц техники каждого из видов, которым они представлены в техноценозе. Мы знаем, что группа технических изделий одного вида в составе техноценоза называется популяцией, а их численность – мощностью популяции.

Здесь полезным будет еще раз напомнить о принципиальной разнице между видом и особью. Вид – это абстрактное объективированное понятие, по сути, наше внутреннее представление об облике технического изделия, сформированное на основе знаний и опыта. Вид мы именуем маркой или образцом техники (локомотив, грузовой вагон, компрессорная станция, диагностический комплекс и др.).

В составе исследуемого техноценоза функционирует техническая особь, например, конкретный локомотив (серия ТГЭМ10, шасси № 011337, заводской номер двигателя – 17429348, пробег на данный момент – 300 тыс. км и т.д.).

Таким образом, в базе данных должна быть запись: вид – локомотив серии ТГЭМ10; количество в техноценозе (мощность популяции) – 50 единиц; стоимость – 100 тыс. долларов; масса – 15 тонн и т. д.

Оптимизация техноценоза на основе ранговых распределений [27].

Рассмотрим несколько простейших оптимизационных процедур, уже хорошо апробированных на практике.

А. Определение направления трансформации ранго-видового распределения. Основывается на понятии об идеальном распределении, которое на рисунке П3.2 обозначено цифрой 2. Единицей обозначено реально полученное в результате анализа техноценоза ранго-видовое распределение. Здесь N – это количество видов, а r_B – видовой ранг.

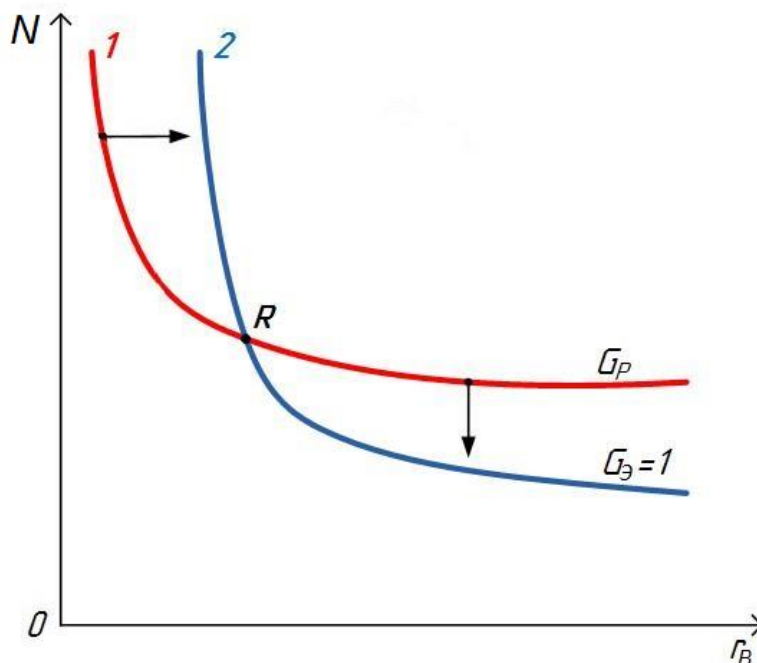


Рисунок П3.2 – Оптимизация ранго-видового распределения

1 – реальный техноценоз,
2 – эталонный техноценоз ($\beta = 1$),
 N – количество видов,
 r_B – видовой ранг.

Опыт исследования техноценозов из различных областей человеческой деятельности показывает, что наилучшим является такое состояние техноценоза, при котором в аппроксимационном выражении ранго-видового распределения

$$N(r_B) = \frac{B}{r_B^\beta}, \quad (\text{П3.2})$$

параметр β находится в пределах

$$0,5 \leq \beta \leq 1,5. \quad (\text{П3.3})$$

На рисунке П3.2 идеальная кривая (обозначенная цифрой 2) имеет $\beta = 1$.

Мы видим, что реальное распределение (кривая 1) резко отличается от идеального, причем кривые пересекаются в точке R . Отсюда вывод: среди видов техники с рангами $r_B < R$ следует увеличивать разнообразие. Одновременно там, где $r_B > R$, наоборот, необходимо проводить унификацию, что на рисунке П3.2 показано стрелками. Такой представляется первая оптимизационная процедура.

Б. Устранение аномальных отклонений на видовом распределении. Как уже отмечалось, на видовом распределении техноценоза можно выделить области максимальных аномальных отклонений (они условно показаны на рисунке П3.3).

На рисунке ПЗ.3 хорошо видны три ярко выраженные аномалии, где реально полученные в ходе анализа эмпирические точки, явно отклоняются от плавной аппроксимационной кривой. При этом кривая строится, как мы уже знаем, методом наименьших квадратов по данным табулированного рангового распределения и описывается выражением:

$$N(x) = \frac{\omega_0}{x^\alpha}, \quad (\text{ПЗ.4})$$

где N – количество видов (см. рисунок П4.3);
 x – непрерывный аналог мощности популяции;
 ω_0 и α – параметры распределения.

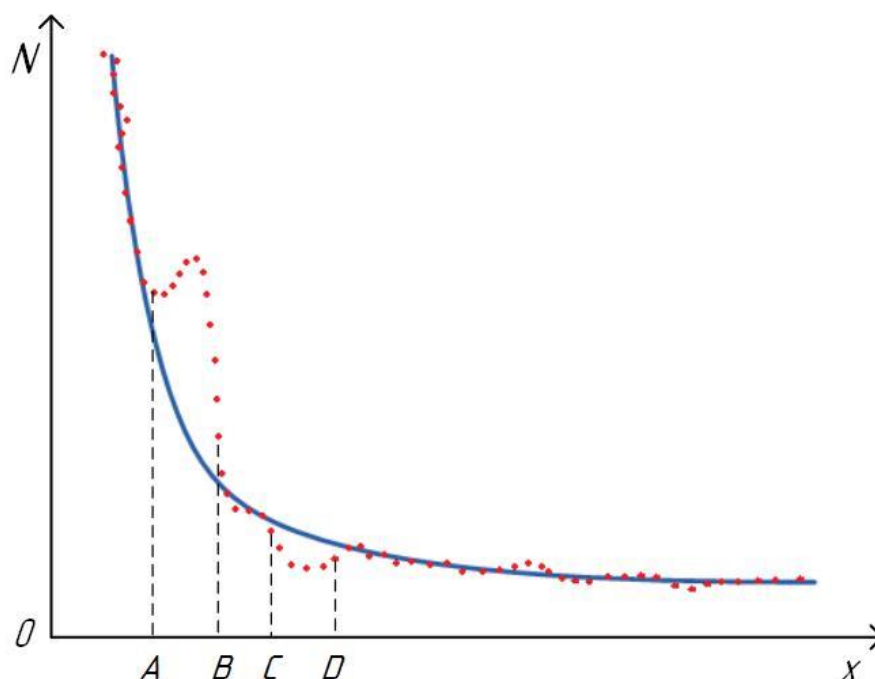


Рисунок ПЗ.3 – Минимизация аномалий ценоза

После выявления аномалий на видовом распределении по тому же табулированному распределению определяются виды техники, «ответственные» за аномалии, и намечаются первоочередные мероприятия по их устранению. При этом отклонения вверх от аппроксимирующей кривой свидетельствуют о недостаточной унификации, а вниз – наоборот, об избыточной.

Следует заметить, что первая и вторая процедуры взаимосвязаны, причем первая показывает стратегическое направление изменения видовой структуры техноценоза в целом, а вторая – помогает локально выявить самые «больные» зоны в номенклатуре (перечне видов) техники.

В. Верификация номенклатурной оптимизации техноценоза. Очевидно, что в любом реальном техноценозе номенклатурная оптимизация, осуществляемая в рамках первой и второй процедур, может быть выполнена лишь в течение длительного промежутка времени.

Кроме того, реализация на практике предлагаемых мероприятий может натолкнуться на ряд трудностей субъективного характера. Поэтому весьма полезной представляется дополнительная оптимизационная процедура – верификация (рисунок ПЗ.4).

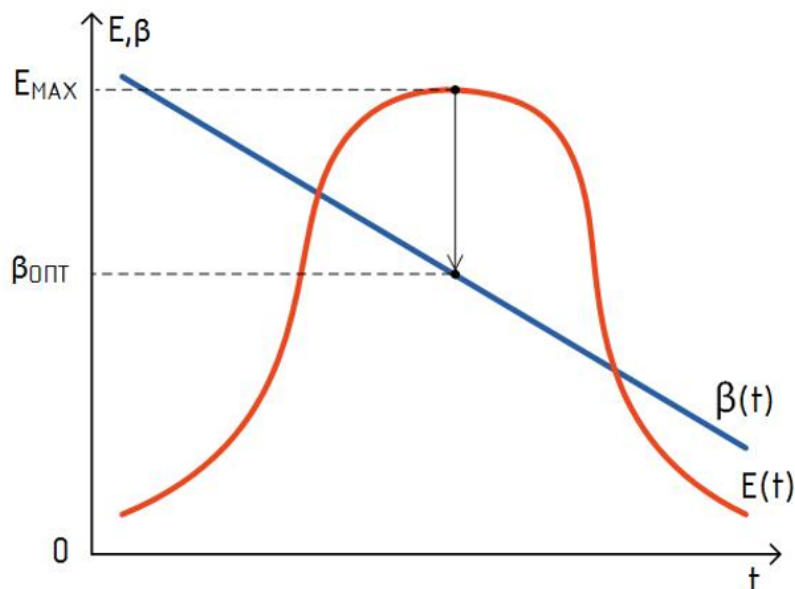


Рисунок ПЗ.4 – Верификация номенклатурной оптимизации техноценоза

E – ключевой параметр, характеризующий функционирование техноценоза в целом (эффективность и безопасность, прибыль),
 t – время или иной управляемый параметр технологического ценоза

Для ее осуществления требуется статистическая информация о состоянии техноценоза за обозримый промежуток времени. Это позволит исследователю построить зависимость параметра β ранго-видового распределения во времени t . Предположим, что эта зависимость получилась такой, как показано на рисунке ПЗ.4. То есть видовой состав техноценоза со временем трансформировался, изменялся и параметр β .

С зависимостью $\beta(t)$ на одном графике необходимо сопоставить зависимость $E(t)$, где E – некоторый ключевой параметр, характеризующий функционирование техноценоза в целом, например – прибыль.

В случае если дополнительный корреляционный анализ покажет, что взаимообусловленность E и β значима, сопоставление их временных зависимостей позволит сделать целый ряд чрезвычайно важных выводов. В качестве примера на рисунке ПЗ.4 стрелкой показан способ определения оптимального значения $\beta_{\text{опт}}$.

Приложение 4

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ КОМПЛЕКСОВ СРЕДСТВАМИ ТЕОРИИ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ

В современных условиях функционирования ТК, характеризующихся многочисленными и разнородными участниками перевозочного процесса, объединенными единой технологией; дефицитом времени на принятие и исполнение решений; высокой динамичностью и неопределенностью технологического процесса; многообразием критериев функционирования, значительно усложняются процедуры принятия согласованных технических, технологических, организационных, экономических и управленческих решений. Внедрение процессного подхода (см. п. 2.2), обеспеченного соответствующим математическим инструментарием, позволяет решить эту проблему. Ранее в Приложении 2 в качестве моделей процессного подхода при организации транспортно-логистических цепей предложено использовать модели теории массового обслуживания и метод взаимного учета экономических и производственных интересов субъектов перевозочного процесса. В настоящем разделе описывается инструментарий, необходимый для обеспечения надежности и устойчивости, эффективности и безопасности функционирования ТК в рамках процессного подхода.

Он опирается на понятие организационно-технологической надежности сложных систем. Наибольшего развития ОТН достигла в сфере строительства [106], имеются разработки, использующие аппарат ОТН в сельском хозяйстве [107] и, конечно, на ЖДТ [19, 20, 135, 150].

Идеология ОТН на ЖДТ продвигается в работах Верескуна В.Д. [19, 20]. Интерес к этому циклу работ определяется следующими соображениями:

- организационно-технологическая надежность расширяет сферу исследований надежности, и как следствие эффективности и безопасности, на области менеджмента ЖДТ.

- инструментарий ОТН (в частности, сетевые модели) хорошо подходит к исследованию динамических процессов, то есть служит средством формализации процессного подхода.

- ОТН синергетически объединяет в себе учет различных аспектов процессного процесса (техническую, технологическую, организационную надежность).

Классическая теория надежности базируется на методах теории вероятностей, математической статистики и теории массового обслуживания. Они предполагают ряд жестких ограничений на исследуемые системы и составляющие их элементы (независимость, аддитивность, выполнение принципа суперпозиции и др.). ТК, как

следует из вышесказанного, в рамки этих ограничений не вписываются, что и потребовало дальнейшего развития теории надежности.

На практике используют количественные характеристики:

- вероятность безотказной работы $p(t)$ в течение заданного времени t ;
- вероятность отказа $q(t)$ в тот же период времени.

Очевидно, что $q(t) = 1 - p(t)$.

Так как для ТК полные отказы являются исключением, а характерны частичные сбои в работе, то в качестве основного показателя надежности ТК будем использовать коэффициент готовности K_r , определяемый как отношение продолжительности безотказной работы системы за данный период ее функционирования к общему времени функционирования. Сбои могут быть устранены в процессе непрерывного функционирования системы (этой цели и служат разрабатываемые СМД).

Если обозначить планируемое время работы ТК через $T_{пл}$, а фактическое через $T_{ф}$, то состояние отказа возникает при $T_{ф} > T_{пл}$, а безотказность фиксируется при $T_{ф} \leq T_{пл}$. При этом:

$$K_r = T_{ф}/T_{пл}. \quad (П5.1)$$

Критерий надежности ТК можно представить в виде:

$$p(T_{ф} < T_{пл}) \rightarrow \max. \quad (П5.2)$$

Вероятностный характер организационно-технологических процессов ТК определяется следующими классами случайных факторов [80, 96]:

- технического порядка: поломки машин, устройств, транспортных средств, сетей энергообеспечения и т. п.;
- технологического порядка: нарушение регламентированной технологии, влияние человеческого фактора, и т. п.;
- организационного порядка: несогласованность интересов подсистем ТК, несоответствие параметров организации друг другу (структуры, корпоративной культуры, стилей управления) и т. п.;
- форс-мажорные факторы: погодные-климатические условия случайного характера (снегопад, гололед), оползни, ураганы и т. п.;
- социального порядка: нарушение трудовой дисциплины, несогласие работников с условиями труда и т. п.

ОТН имеет в своем арсенале разнообразные подходы, методы и модели (аналитические, графические, статистические, имитационные и др.) исследования. Наиболее распространенными являются сетевые графики (модели), которые делятся на два класса: детерминированные и вероятностные (стохастические) [134].

Существуют три основных способа изображения событий и работ на сетевых графиках: вершины-работы, вершины-события и смешанные сети [106, 135, 150].

В качестве примера на рисунке 5.1 представлен сетевой график работы на сортировочной станции.

При наличии высокой степени неопределенности в данных в ОТН пользуются двумя или тремя вероятностными оценками работ.

Например:

T_{\min} – оптимистическая оценка времени (учитывает благоприятное стечение обстоятельств и рассчитывается по критическому пути сетевого графика);

T_{\max} – пессимистическая оценка (учитывает все возможные задержки на каждом звене сетевого графика);

T_0 – наиболее вероятная продолжительность работ при нормальных и часто встречающихся условиях. Она учитывает средние значения задержек.

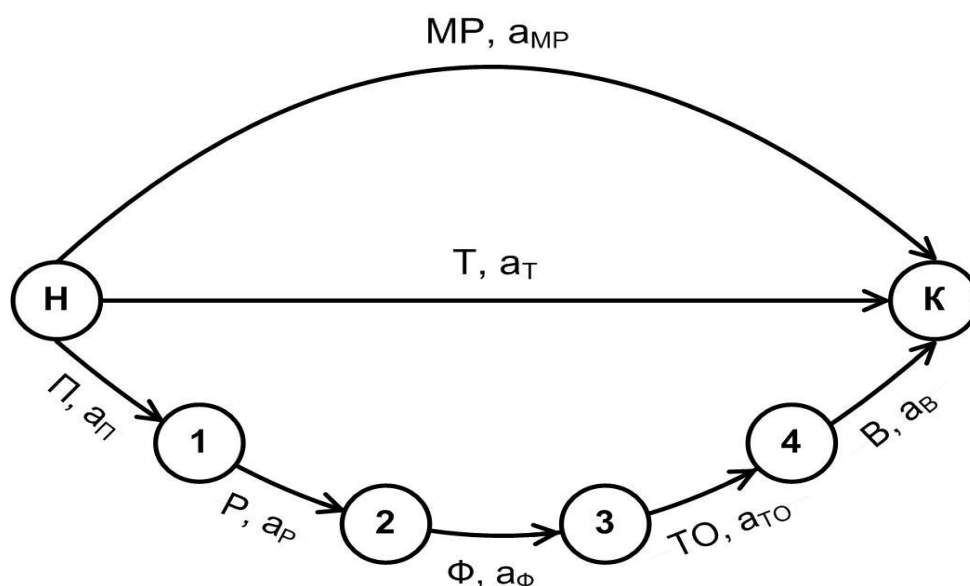


Рисунок П4.1 – Сетевой график «вершины-события» работы сортировочной станции:

Н – начало работы смены;

К – окончание работы смены;

MP – местная работа, длительностью a_{MP} ;

T – транзит, длительностью a_T ;

П – прием составов в парке приема станции, длительностью a_P ;

Р – роспуск составов с горки, длительностью a_R ;

Ф – формирование новых составов в парке формирования станции, длительностью a_F ;

ТО – технический и коммерческий осмотр в парке отправления, длительностью a_{TO} ;

В – вытяжка составов со станции в нитку графика, длительностью a_B .

Логика организации и практика проведения работ показали, что их продолжительность подчиняется или нормальному закону распределения, или бета-распределению [106]. Как и нормальный закон, бета-распределение зависит от двух параметров – α и β . Однако этот закон более гибкий и легко настраивается под различные виды зависимостей.

На рисунке П4.2 представлены различные варианты бета-распределения. Графики 2–5 соответствуют значениям $\alpha > 1$ и $\beta > 1$. При $\alpha < 1$ и $\beta < 1$ функция распределения принимает форму колодца (график 1).

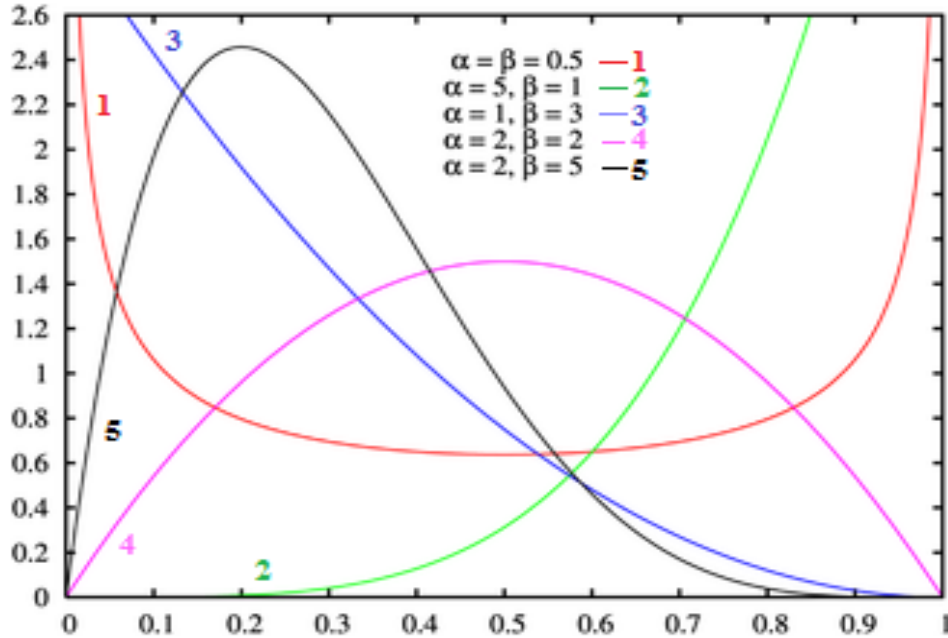


Рисунок П4.2 – Варианты графиков бета-распределения ¹⁹

В [106] показано, что предпочтительными параметрами этого распределения для оценки длительности работ являются $\alpha = 1$ и $\beta = 2$ (рисунок 4.3).

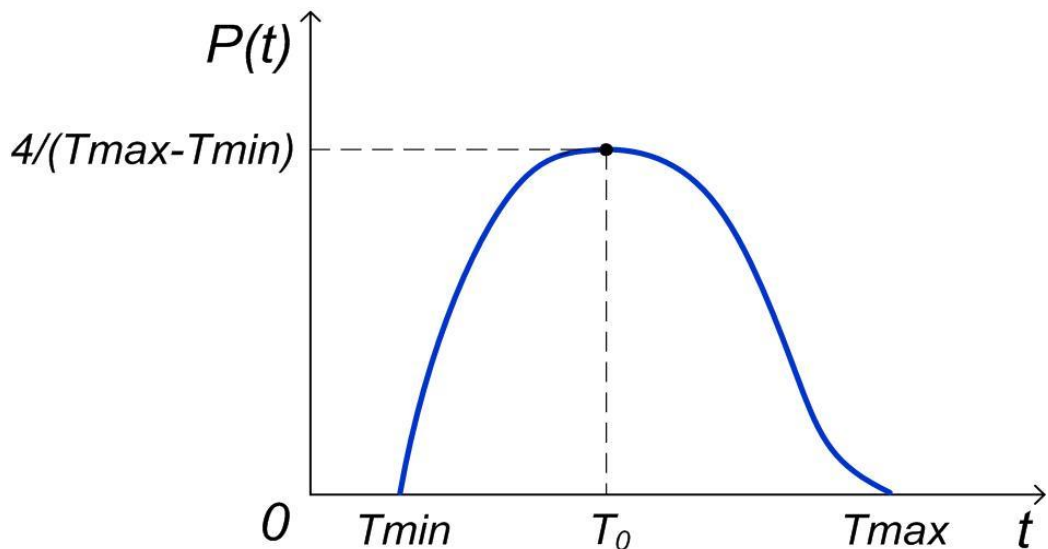


Рисунок П4.3 – График бета-распределения при $\alpha = 1$ и $\beta = 2$

¹⁹ Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В. С. Королук, Н. И. Портенко, А. В. Скороход, А. Ф. Турбин. – М.: Наука, 1985.– 640 с.

Бета-распределение в этом случае имеет вид:

$$P(t) = 12(t - T_{\min})(T_{\max} - t)^2 / (T_{\max} - T_{\min})^4. \quad (\text{П4.3})$$

Вместо законов распределения на практике часто используют их числовые характеристики. Это оценка ожидаемой продолжительности работы $T_{\text{ОЖ}}$ и мера неопределенности этой продолжительности – дисперсия σ^2 .

При нормальном законе распределения времени эти характеристики рассчитываются по трем временным оценкам (T_{\min} , $T_{\text{О}}$, T_{\max}) по формулам:

$$T_{\text{ОЖ}} = (T_{\min} + 4T_{\text{О}} + T_{\max})/6; \quad (\text{П4.4})$$

$$\sigma^2 = [(T_{\max} - T_{\min})/6]^2. \quad (\text{П4.5})$$

При бета-распределении они вычисляются по двум оценкам (T_{\min} , T_{\max}) по формулам:

$$T_{\text{ОЖ}} = (3T_{\min} + 2T_{\max})/5; \quad (\text{П4.6})$$

$$\sigma^2 = [(T_{\max} - T_{\min})/5]^2. \quad (\text{П4.7})$$

По параметрам $T_{\text{ОЖ}}$ и σ^2 определяются ранние и поздние сроки свершения событий, продолжительность критических путей, общий и частные резервы времени, дисперсия продолжительности критического пути (или свершения любого события). Под надежностью сетевой модели понимается вероятность завершения входящих в нее работ в заданный срок.

Таким образом, вероятность свершения завершающего события сетевой модели в установленный срок (надежность сетевой модели) может быть определена по формуле:

$$p(T_{\text{ОЖ}} \leq T_{\text{пл}}) = \Phi((T_{\text{пл}} - T_{\text{ОЖ}})/(\sum \sigma^2)^{0,5}) = \Phi(\alpha), \quad (\text{П4.8})$$

где $\Phi(\alpha)$ – функция Лапласа (в табличном или графическом виде приводится во всех пособиях по математической статистике).

Из опыта сетевого планирования и управления рекомендуется интервал значений вероятностей $[0,35; 0,65]$.

При этом если $p < 0,35$, то вероятность срыва запланированного срока выполнения комплекса работ велика, поэтому необходима оптимизация сетевого графика; если $p > 0,65$, то комплекс работ будет выполнен в запланированный срок, но при этом в план заложено избыточное количество ресурсов; если $0,35 < p < 0,65$, то сетевой график может быть принят без изменений.

Приложение 5

Утверждаю



Директор РостФ НИИАС, д.т.н., профессор

Шабельников А.Н.

4 февраля 2019 года

Акт

о внедрении результатов научных исследований Шаповаловой Ю.В., выполненных в рамках темы «Обеспечение безопасности и эффективности движения поездов на основе управления техническим состоянием инфраструктуры железнодорожного транспорта по состоянию» в перспективное развитие РостФ НИИАС

В исследовании соискателя Шаповаловой Ю.В. проведен анализ проблем управления техническим состоянием инфраструктуры железнодорожного транспорта (ЖДТ), развита идеология управления ремонтом и техническим обслуживанием (ТО) объектов инфраструктуры (ОИ) по состоянию, разработан математический инструментарий обеспечения мониторинга и диагностики объектов инфраструктуры ЖДТ.

К внедрению приняты:

- Механизм мониторинга состояния ОИ, основанный на моделях сетей массового обслуживания.
- Математические модели процессов износа и диагностики объектов инфраструктуры и методы принятия решений о своевременном ТО объектов инфраструктуры ЖДТ.
- Механизм оценки эффективности внедрения систем управления техническим состоянием объектов инфраструктуры ЖДТ.

Форма внедрения:

- Отчет по заявленной теме.
- Научная публикация: Шабельников А.Н., Шаповалова Ю.В. Моделирование систем технического обслуживания объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта на основе теории массового обслуживания // Вестник ВНИИЖТ, №3, 2018.

Заместитель начальника Центра инновационных
и интеллектуальных технологий РостФ НИИАС,
д.т.н., профессор

Н.Н. Лябах



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ИНТЕХГЕОТРАНС-ЮГ»

Юридический адрес:
344068, г. Ростов-на-Дону, ул. Погодина, д. 8
Тел./факс: +7 (863) 245-03-99, 245-27-18 / 245-24-05

Банковские реквизиты:
ИНН 6167069466 р/с № 40702810020050006827
КПП 616101001 в Филиале
ОГРН 1036167013475 № 2351 ВТБ (ПАО) г.
ОКПО 70673060 Краснодар,
БИК 040349758 к/с № 30101810703490000758

Дата 19/03/2020 № 53

на № _____ от _____

АКТ ВНЕДРЕНИЯ результатов диссертационной работы Шаповаловой Юлии Владимировны

Результаты исследований, выполненных в диссертационной работе Шаповаловой Юлии Владимировны на тему «Повышение эффективности и безопасности функционирования транспортно-технологических систем на основе процессной организации производства» внедрены в АО «ИГТ-ЮГ».

Проектно-процессный подход к организации перевозочного процесса используется при создании современных информационно-диагностических систем для железнодорожного транспорта и организации их информационного взаимодействия с системами ОАО «РЖД» верхнего уровня.

Разработанный Ю.В. Шаповаловой подход к выявлению опасных колебаний подвижных единиц в процессе их движения в составе поезда послужил основой для создания функционального алгоритма и программного обеспечения универсального встраиваемого аппаратно-программного модуля выявления отрицательной динамики грузовых вагонов на ходу поезда. Указанный функциональный алгоритм использован в модуле выявления отрицательной динамики, разработанном АО «ИГТ-ЮГ» для системы лазерного контроля отрицательной динамики и габарита подвижного состава (ЛКПС).

В настоящее время система ЛКПС является одной из технико-технологических подсистем Интегрированного поста автоматизированного приема и диагностики составов на сортировочных станциях (ППСС). Комплекс ППСС успешно прошел приемочные испытания, получил высокую оценку и поддержку руководства ОАО «РЖД». В настоящее время три диагностических комплекса ППСС находятся в постоянной эксплуатации на подходах к станции Батайск СКЖД.

Генеральный директор



/Егоренкова О.И./



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

пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2, г. Ростов-на-Дону, 344038
 Тел. (863) 245-06-13, Факс (863) 255-32-83, 245-06-13, E-mail: up_del@dep.rgups.ru
 ОКПО 01116006, ОГРН 1026103709499, ИНН/КПП 6165009334/616501001



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

М.А. Кравченко

«декабря» 2021 г.

АКТ

внедрения в учебный процесс результатов диссертации
 на тему «Повышение эффективности и безопасности функционирования
 транспортно-технологических систем на основе процессной организации производства»,
 представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
 05.22.01 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны,
 ее регионов и городов, организация производства на транспорте,
 автор – Шаповалова Юлия Владимировна

В учебном процессе ФГБОУ ВО РГУПС при реализации Основных профессиональных образовательных программ высшего образования по специальности 23.05.05 Системы обеспечения движения поездов используются следующие результаты научных исследований, выполненных в диссертационной работе Шаповаловой Юлии Владимировны.

1 В составе Учебно-методического комплекса дисциплины «Математическое моделирование систем и процессов» (раздел «Основы теории массового обслуживания») – при проведении лекционных и практических занятий используются разработанные методы, алгоритмы и примеры построения математических моделей на основе сетей массового обслуживания для интеграции производственного процесса и процессов технического обслуживания (мониторинга, диагностики, обслуживания, ремонта), а также математическая модель процессного подхода на основе взаимного учета экономических интересов субъектов перевозочного процесса.

2 В составе Учебно-методического комплекса дисциплины «Основы теории надежности» (раздел «Обеспечение надежности и безопасности систем обеспечения движения поездов») – при проведении лекционных и практических занятий используются разработанные модели описания процессов развития и деградации транспортных систем, методика расчета базовых показателей надежности, эффективности и безопасности функционирования транспортно-технологических систем.

Заведующий кафедрой
 «Автоматика и телемеханика
 на железнодорожном транспорте»,
 д.т.н., профессор

Начальник отдела докторантуры и аспирантуры,
 к.т.н., доцент

И.Д. Долгий

А.В. Костюков