

На правах рукописи



Смирнов Виктор Александрович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ
РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ТЕХНИЧЕСКОГО
ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

05.02.22 – Организация производства (транспорт)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва – 2020

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет транспорта» (ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ), РУТ (МИИТ)).

Научный консультант: доктор технических наук, профессор

Воробьев Александр Алексеевич

Официальные оппоненты:

Буйносов Александр Петрович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения», кафедра «Электрическая тяга», профессор кафедры;

Козлов Петр Алексеевич, доктор технических наук, профессор, общество с ограниченной ответственностью «Научно-производственный холдинг «СТРАТЕГ», президент;

Воробьев Александр Алфеевич, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», кафедра «Технология металлов», заведующий кафедрой.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Иркутский государственный университет путей сообщения».

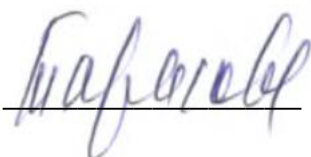
Защита состоится «10» февраля 2021 г. в 15:00 часов на заседании диссертационного совета Д 218.005.09 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» по адресу 127994, ГСП-4, Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, ауд. 1235.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте РУТ (МИИТ), www.rut-miit.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2020 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета



Тарасова Валентина Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Техничко-экономические показатели железнодорожного транспорта в значительной мере определяются конструктивными параметрами, надежностью и эффективностью использования подвижного состава. Расходы на эксплуатацию и содержание локомотивного и вагонного парка составляют более половины совокупных затрат отрасли, из них около 20% приходится на ремонт и техническое обслуживание (ТО). Техническое состояние подвижного состава остается доминирующим фактором безопасности движения. Свыше 70% браков в поездной работе и отказов технических средств связано с неисправностями локомотивов и вагонов, в том числе более 60% – по причине низкого качества ремонта и ТО.

Транспортная стратегия РФ до 2030 года предусматривает значительное увеличение грузо- и пассажирооборота железных дорог за счет строительства новых и реконструкции существующих магистральных линий, обновления парка подвижного состава и улучшения показателей его использования. Для успешной реализации намеченных планов важнейшую роль играет создание современной и эффективной производственной базы, обеспечивающей качественный технический сервис локомотивов и вагонов нового поколения, за счет создания новой и модернизации существующей производственной инфраструктуры, оптимизации параметров производственных процессов.

Актуальность задач модернизации предприятий ремонтного комплекса отражена в Стратегии развития железнодорожного транспорта России до 2030 года, утвержденной распоряжением Правительства РФ от 17.06.2008 г. за №887-р, решениях Научно-технического совета и Совета главных инженеров ОАО «РЖД» и других организационно-распорядительных документах отрасли.

Степень разработки темы исследования. Проблемы организации ремонта подвижного состава исследовались различными научными коллективами. Значительный вклад в решение этих проблем внесли: М.М. Болотин, В.П. Бугаев, А.А. Воробьев, А.Т. Головатый, А.В. Горский, В.И. Гридюшко, Д.Г. Евсеев, И.П. Исаев, В.А. Камаев, В.И. Киселев, В.А. Козырев, В.С. Коссов, В.Д. Кузьмич, В.Ф. Лапшин, В.В. Лукин, Б.Д. Никифоров, А.Т. Осяев, Е.Н. Розенберг, А.Н. Савоськин, К.А. Сергеев, Э.Д. Тартаковский, П.А. Устич, В.П. Феоктистов, В.А. Четвергов, В.А., Шабалин и другие. Усилиями научных школ отраслевых вузов, научно-исследовательских и проектных институтов создана действующая научно-методическая база в области проектирования, организации эксплуатации, ремонта и ТО подвижного состава.

Важным, но наименее изученным направлением организации эксплуатации, ремонта и обслуживания подвижного состава, являются исследования, связанные с повышением эффективности технологических систем ремонтных предприятий за счет их многоуровневой оптимизации на основных этапах жизненного цикла с использованием комплексного и системного подхода, выполняемые с участием автора диссертации.

Фундаментальная научная проблема, на решение которой направлены исследования и разработки, осуществленные в рамках диссертационной работы, - повышение эффективности функционирования предприятий по ремонту и ТО подвижного состава за счет многоуровневой оптимизации их технологических систем на основных этапах жизненного цикла.

В диссертационную работу вошли результаты исследований, которые выполнялись автором в рамках научно-технических работ в области совершенствования технических средств и технологий ремонта, разработки проектов модернизации и реконструкции предприятий по ремонту и ТО подвижного состава железных дорог России и Казахстана в период 2005 – 2017 гг.

Целью настоящей работы является разработка теоретически обоснованной совокупности методов, математических моделей, алгоритмов и технических решений, обеспечивающих повышение эффективности технологических систем предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава за счет их многоуровневой оптимизации в процессе создания, функционирования и модернизации.

Для достижения указанной цели в диссертационной работе были поставлены следующие основные задачи:

1) систематизировать и классифицировать факторы, влияющие на эффективность производственных процессов предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава, выбрать и обосновать критерии эффективности, предложить математическую модель и методику оптимизации технологических систем ремонтного производства на основных этапах жизненного цикла;

2) разработать методы выбора оптимальных технологических решений места размещения, объема производства и структуры производственной специализации предприятий по ремонту подвижного состава в условиях рисков неопределенности факторов внешней функциональной среды;

3) разработать метод математического моделирования производственных процессов предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава, обеспечивающий возможность исследования эффективности

работы предприятия на уровне макросистемы перевозочного процесса в заданных границах железнодорожной сети;

4) предложить метод математического моделирования технологических процессов ремонта узлов и агрегатов подвижного состава, позволяющий повысить достоверность моделирования при одновременном снижении трудоемкости создания моделей за счет использования модульного принципа, обеспечивающего преемственность алгоритмической и информационной структуры элементов модели;

5) создать математические модели типовых элементов технологических систем предприятий по ремонту и техническому подвижного состава, провести вычислительные эксперименты, с помощью которых исследовать влияние параметров отдельных производственных структур на показатели функционирования предприятия в целом;

6) теоретически обобщить и сформулировать системотехнические принципы оптимизации проектных решений, разработать логические схемы и алгоритмы оптимального технологического проектирования, предложить метод выбора проектных решений при многих критериях предпочтения;

7) разработать методику экспертного выбора рационального варианта технологического оснащения предприятия при модернизации в зависимости от условий финансирования и принципов организации производства.

Объектом исследования в диссертации является совокупность средств технологического оснащения и процессов производства предприятий по ремонту и ТО подвижного состава магистральных железных дорог, как сложная технологическая система.

Предметом исследований является система организации производства в части создания, функционирования и модернизации предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава. Исследование выполнено в рамках паспорта специальности 05.02.22 – Организация производства (транспорт) в соответствии со следующими пунктами:

- п.1 «Разработка научных, методологических и системотехнических основ проектирования организационных структур предприятий и организации производственных процессов. Стратегия развития и планирования организационных структур и производственных процессов»;

- п.4 «Моделирование и оптимизация организационных структур и производственных процессов, вспомогательных и обслуживающих производств. Экспертные системы в организации производственных процессов»;

- п.5 «Разработка научных, методологических и системотехнических принципов повышения эффективности функционирования и качества организации производственных систем».

Научная новизна

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны теоретические положения и методы, на основе которых получены расчетные выражения, созданы математические модели, алгоритмы и технические решения, обеспечивающие многокритериальную оптимизацию технологических систем предприятий по ремонту и ТО подвижного состава на определяющих стадиях жизненного цикла. Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Сформулированы принципы оптимальности и предложена модель многоуровневой оптимизации технологических систем ремонтного производства и технического обслуживания подвижного состава, содержащая прямые и обратные информационные связи между уровнями, циклы структурной и параметрической оптимизации с использованием средств имитационного моделирования.

2. Предложены критерии и получены расчетные выражения для оценки внутренней и внешней эффективности предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава с учетом рисков безопасности движения.

3. Предложен метод выбора оптимального места размещения, объема производства и структуры производственной специализации ремонтных предприятий в условиях рисков неопределенности факторов функциональной среды.

4. Создана динамическая математическая модель, описывающая процессы функционирования технологических систем ремонтного производства и технического обслуживания подвижного состава в системе перевозочного процесса в заданных границах железнодорожной сети с учетом структурных параметров и технологических связей.

5. Разработан метод моделирования технологических процессов предприятий по ремонту подвижного состава с использованием модульного принципа паттерновых сетей, позволяющий повысить достоверность моделирования, сократить трудоемкость и сроки создания моделей за счет преемственности информационной и алгоритмической структуры отдельных модулей;

6. Созданы математические модели ремонтных цехов и участков с различными формами организации производства, описывающие технологические процессы производства, транспортной логистики, контроля качества и управления, предложен алгоритм и критерии оценки структурной эффективности от-

дельных подсистем и технологических комплексов;

7. Сформулированы базовые принципы формализованного описания процесса оптимального проектирования, выбран комплекс показателей, разработан метод формирования многокритериальной целевой функции для оптимизации технологических проектов предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава по принципу относительных предпочтений возможных альтернатив.

8. Разработана методика выбора оптимального варианта модернизации технологических систем ремонтного производства и технического обслуживания подвижного состава в зависимости от условий финансирования и приоритетов технической политики предприятия.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Разработана методика выбора оптимального места размещения, объема производства и структуры производственной мощности предприятия по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава, обеспечивающая научно-обоснованную поддержку принятия проектных решений в условиях рисков неопределенности ситуации на рынке ремонта.

2. Получено расчетное выражение для вычисления дополнительной страховой надбавки к стоимости ремонта, обеспечивающей покрытие финансовых рисков, связанных с отказами подвижного состава в гарантийный послеремонтный период, в зависимости от программы ремонта, показателей надежности подвижного состава и заданной вероятности безубыточной работы ремонтного предприятия.

3. Разработаны и реализованы в среде MATLAB - Simulink имитационные модели, позволяющие оценить взаимное влияние параметров технологических систем ремонтного производства и технического обслуживания подвижного состава и функциональной среды участка железнодорожной сети для заданных параметров перевозочного процесса.

4. Предложены логические схемы оптимального технологического проектирования, позволяющие формализовать процесс генерации и предварительного отбора рациональных вариантов проектных решений, а также исключить возможность принятия ошибочных решений на ранних стадиях проектирования.

5. Предложен способ расчета целевой функции для выбора оптимального варианта проектных решений при многих критериях предпочтения, по принципу относительных предпочтений возможных альтернатив в сравнении с базовым (известным) вариантом, позволяющий минимизировать человеческий

фактор в принятии решений по сравнению с традиционными экспертными методами.

6. Создан метод имитационного моделирования технологических процессов ремонта и технического обслуживания подвижного состава на основе модульного принципа паттерновых сетей, использование которого обеспечивает информационную и алгоритмическую преемственность создаваемых моделей, тем самым существенно сокращая трудоемкость и сроки создания новых моделей.

7. Разработаны программные средства для имитационного моделирования технологических процессов основных производственных цехов – сборочного, тележечного и электромашинного, позволяющие решать комплекс разноплановых задач по выявлению источников потерь, организации, планированию и оптимизации производства.

8. Предложена методика анализа вариантов модернизации предприятий, позволяющая решить задачу нахождения оптимального плана инвестиционных вложений в зависимости от объемов инвестиций. Разработан метод построения целевой функции, зависящей от количественных и качественных характеристик производства, приведена постановка задачи целочисленного программирования, решениями которой являются варианты модернизации предприятия, наиболее полно соответствующие поставленным целям технологического развития.

Методология и методы исследования.

Теоретические исследования проведены на основе методов теории систем, системного анализа, теории исследований операций, принятия решений, линейной алгебры, теории игр с использованием специальных разделов вычислительной математики, математического программирования, алгебры-логики. Математическое моделирование производилось с использованием программного пакета MATLAB.

При разработке конструкторских и технологических решений использованы САПР AutoCAD, Компас 3D, а также оригинальные программные продукты, созданные в рамках диссертационного исследования (свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2012614449 и № 2013610323).

Положения, выносимые на защиту:

1. Постановка задачи, целевая функция и функциональная модель комплексной оптимизации технологических систем предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава на этапах жизненного цикла.

2. Критерии оценки функциональной эффективности технологических систем предприятий по ремонту и ТО подвижного состава с учетом рисков безопасности движения.

3. Метод выбора оптимального места размещения, объема производства и структуры производственной мощности ремонтного предприятия в условиях неопределенности факторов функциональной среды.

4. Метод моделирования и математические модели процессов функционирования предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава в системе перевозочного процесса железнодорожной сети.

5. Информационно-логическая модель оптимального проектирования и метод многокритериальной оптимизации проектных решений предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава.

6. Методология имитационного моделирования технологических процессов ремонта узлов и агрегатов подвижного состава на основе модульного принципа.

7. Методика выбора оптимального варианта модернизации технологической системы в зависимости от условий финансирования и приоритетов технической политики предприятия по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава.

Реализация результатов работы.

На основе теоретических положений диссертационного исследования, реализованы проекты модернизации и реконструкции 12 предприятий локомотивного и вагонного хозяйства России и Казахстана.

Результаты научных исследований использованы при разработке проекта развития Екатеринбургского железнодорожного узла; проектов комплексной модернизации и реконструкции ремонтных депо; выполнении ряда научно-технических работ и подготовки нормативно-методических документов ОАО «РЖД» в области совершенствования технологий ремонта подвижного состава и экономии топливно-энергетических ресурсов.

Степень достоверности научных положений и результатов диссертационной работы обеспечена применением строго доказанных и корректно использованных положений и постулатов теории сложных систем, математического моделирования, теории игр и подтверждается официальными актами внедрения результатов исследований в производство. Адекватность математических моделей подтверждена высокой степенью согласованности теоретических расчетов с экспериментальными данными и практическими результатами.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены, обсуждены и одобрены на Международных научно-практических конференциях «Инновации для транспорта» (Омск, 2010), «Инновационные факторы развития Транссиба на современном этапе» (Новосибирск, 2012), «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» (Днепропетровск, 2012), «Конструкция, динамика и прочность подвижного состава» (Москва, 2014); «Транспорт-2014» (Ростов, 2014), Пятом Международном симпозиуме железнодорожных вузов Европы и Азии (Алма-Ата, 2012), «Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов» (Москва, 2015, 2018); Всероссийских научно-технических конференциях «Безопасность движения поездов» (Москва, 2012), «Проблемы проектирования, строительства, диагностики и технического содержания объектов железнодорожного транспорта» (Чита, 2013), «Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава» (Омск, 2011, 2013, 2015, 2017); на межкафедральных научно-технических семинарах УрГУПС, ПГУПС, МГУПС (2014); технических советах Свердловской и Куйбышевской железных дорог, ОАО «Росжелдорпроект» (г. Москва), технических советах железнодорожных компаний АО «Казтеміртранс», ТОО «Исткомтранс» (Казахстан), заседаниях кафедры «Электропоезда и локомотивы» РУТ (МИИТ) в 2019 и 2020 г.г.

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в 58 печатных работах, в том числе 22 работы в изданиях учитываемых ВАК для публикаций результатов докторских диссертаций – в журналах «Железнодорожный транспорт», «Вестник РГУПС», «Известия Транссиба», «Известия ПГУПС», «Мир Транспорта», «Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока», «Транспорт Урала».

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Общий объем – 344 страницы, в том числе 294 страницы основного текста, 68 рисунков, 35 таблиц, 300 источников и 1 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационного исследования, приведена краткая характеристика работы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна и практическая ценность.

В первом разделе выполнен анализ теоретической базы фундаментальных и прикладных научных исследований в области организации и технологической подготовки производства в промышленности и на железнодорожном транспорте; методов математического описания и исследования сложных систем. Обобщены и систематизированы сведения о современном состоянии технологической инфраструктуры предприятий по ремонту подвижного состава в России и за рубежом, применяемых технических средствах и технологиях.

Проведенные исследования показали, что в области оптимизации технологических систем предприятий по ремонту и ТО подвижного состава можно выделить две независимые, но взаимосвязанные научные проблемы. Первая проблема связана с разработкой совокупности понятий, методик и алгоритмов, которые позволяют сформулировать достаточно полное и непротиворечивое описание сущности процесса оптимизации и сформировать базовую аксиоматику, описывающую механизмы принятия решения, множество критериев и решающих правил. Вторая проблема связана с созданием средств оптимизации, в том числе методов моделирования и разработки оптимальных технологических решений. На основе анализа научных исследований сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Во втором разделе теоретически обобщены и сформулированы принципы повышения эффективности технологических систем ремонтного производства и ТО подвижного состава при их проектировании, создании, использовании по назначению, модернизации и реконструкции.

Систематизированы и классифицированы влияющие факторы, предложены критерии оценки эффективности технологических систем предприятий по ремонту и ТО подвижного состава: а) внешней Y_1 – коэффициент затрат c_p на поддержание заданного уровня оперативной готовности подвижного состава $K_{ог}$ в гарантийный послеремонтный период τ ; б) внутренней Y_2 – рентабельность ремонта r с учетом возможных затрат на покрытие ущерба от технических отказов подвижного состава.

Для решения задачи научного обоснования прогнозируемых издержек на покрытие ущерба по обязательствам в гарантийный период, предложен метод расчета на основе краткосрочного страхования рисков безопасности движения.

Получено расчетное выражение для вычисления дополнительной страховой надбавки к стоимости ремонта, обеспечивающей покрытие финансовых рисков, связанных с отказами подвижного состава в гарантийный послеремонтный период, в зависимости от программы ремонта, показателей надежности подвижного состава и заданной вероятности безубыточной работы ремонтного предприятия (рисунок 1):

$$s_{\text{ст}} = u \cdot \left(\omega + x_{\alpha} \sqrt{\frac{\omega}{N} \cdot (1 - \omega)} \right), \quad (1)$$

где u – средний размер ущерба от одного страхового случая; ω – среднегодовой параметр потока отказов подвижного состава в гарантийный период, N – годовая программа ремонта; x_{α} – квантиль вероятности не разорения α (0,9 – 0,95):

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \alpha. \quad (2)$$

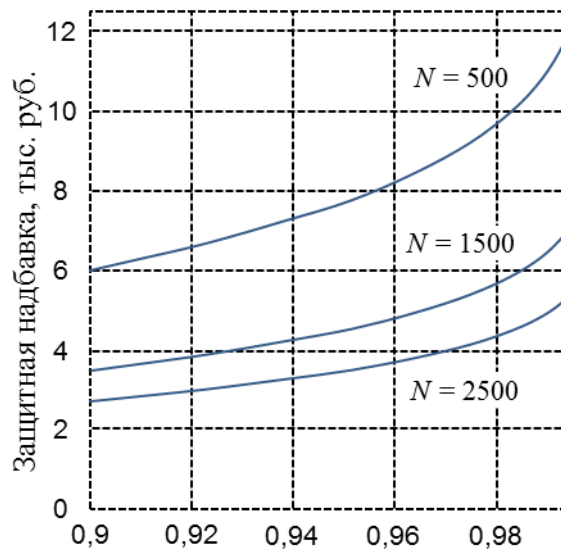


Рисунок 1 - Защитная надбавка при различных объемах ремонта

Сформулирована задача комплексной оптимизации технологической системы как выбор вариантов структуры и технологии использования активных средств производства $u_k \in U$ на интервалах функционирования T_k , таким образом, чтобы суммарная среднегодовая эффективность за время жизненного цикла системы T была максимальной $Y_T(T) = F(Y_{1k}, Y_{2k}) \rightarrow \max$.

Получены выражения целевой функции для двух характерных случаев:

а) при организации деятельности ремонтного предприятия доминируют интересы операторов подвижного состава (например, предприятие входит в состав холдинговой структуры)

$$\frac{1}{T} \sum_{k=1}^n \frac{K_{\text{ор}k}}{c_{\text{р}k}} T_k \rightarrow \max, \quad (3)$$

где $k = 1, 2, \dots, n$ - функциональные состояния технологической системы предприятия; T_k – периоды времени между сменой состояния (модернизации) технологической системы, лет; $K_{\text{ор}k}$ – средний коэффициент оперативной готовности подвижного состава в k -й период; $c_{\text{р}k}$ – удельные затраты на ремонт;

б) ремонтное предприятие административно и хозяйственно самостоятельное

$$\frac{1}{T} \sum_{k=1}^n \left[\left(1 + \frac{d_k}{s_k + g_k/T_k} \right)^{T_k} - 1 \right] \rightarrow \max, \quad (4)$$

где d_k , $s_k = s_{kp} + s_{kcr}$ – среднегодовой доход и эксплуатационные затраты соответственно, зависящие от активных средств технологической системы u_k и факторов функциональной среды H_k ; s_{kp} – себестоимость ремонта; g_k/T_k – приведенные к году инвестиционные затраты для перехода технологической системы из одного состояния в другое $u_{k-1} \rightarrow u_k$ за счет модернизации;

В качестве ограничений в первом случае принимается минимальный размер среднегодовой рентабельности, обеспечивающий возможность устойчивого развитие предприятия, а во втором – условия соблюдения безопасности движения поездов и контрактных обязательств, задаваемые через стандартные показатели надежности и использования подвижного состава.

Для решения рассмотренной задачи предложена *функциональная модель многоуровневой оптимизации*, содержащая прямые и обратные информационные связи между элементами, циклы структурной и параметрической оптимизации с использованием средств имитационного моделирования (рисунок 2).

На первом уровне осуществляется оптимизация исследуемой технологической системы как элемента системы более высокого уровня - перевозочного процесса. Решаются задачи выбора места размещения, специализации и производственной мощности предприятия, осуществляется проверка параметров функционирования системы.

Второй уровень соответствует оптимизации проектных решений путем формирования рационального множества проектных альтернатив, выбора и доработки предпочтительного варианта проекта. На завершающем этапе оптимизируются параметры действующего производства и формируются планы технологического развития при модернизации.

Внутри каждого уровня реализованы циклы структурной и параметрической оптимизации, по результатам которых принимается решение о возможном переходе на следующий уровень или необходимости корректировки с возвратом на предыдущий уровень, решаются частные оптимизационные задачи на уровне технологических подсистем и комплексов.

Проверка вариантов решений производится с использованием математических моделей на макроуровне - «Предприятие - функциональная среда», и микроуровне - «Технологическая система».

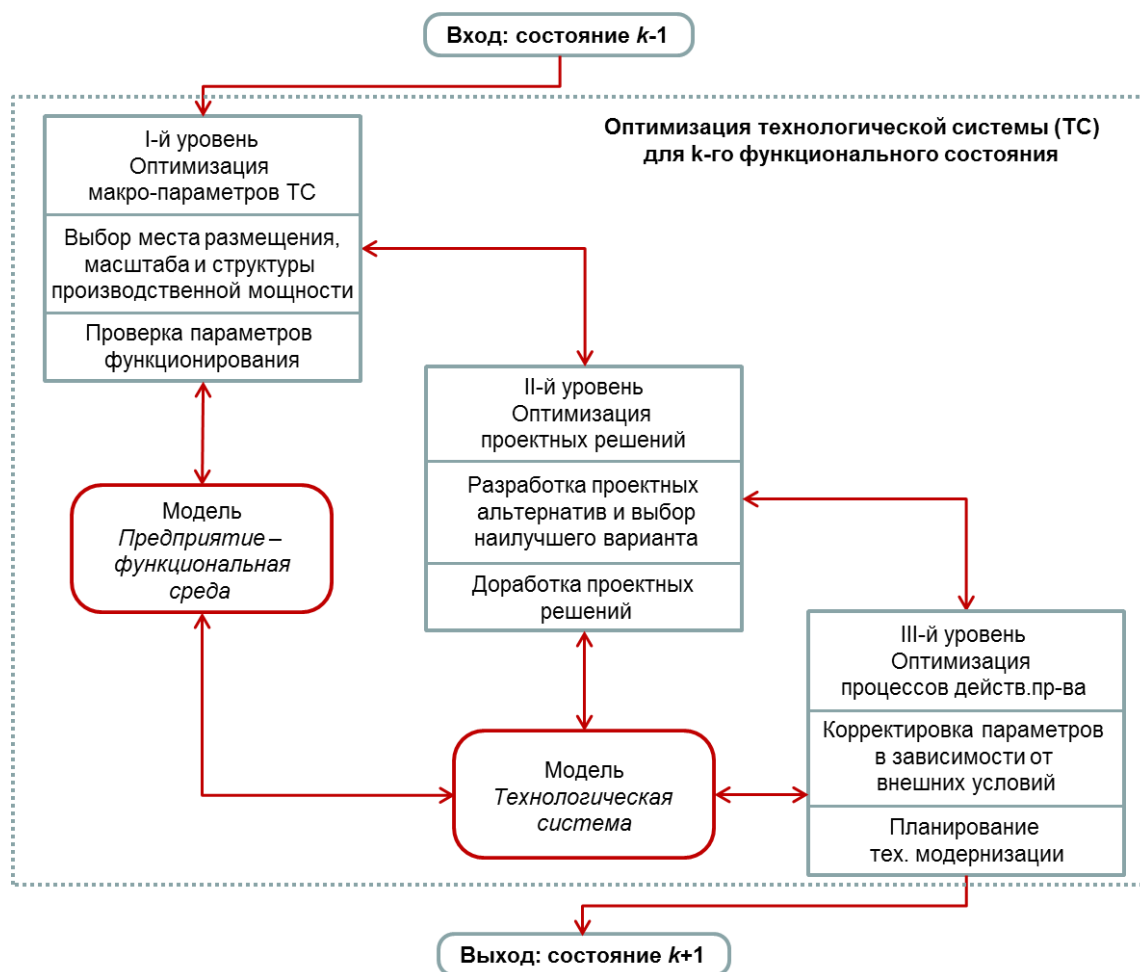


Рисунок 2 – Функциональная модель многоуровневой оптимизации технологических систем предприятий по ремонту и ТО подвижного состава

В третьем разделе рассматриваются вопросы оптимизации макро-параметров технологической системы предприятия в зависимости от факторов функциональной среды перевозочного процесса. Предлагается метод решения задачи выбора оптимального места размещения, объема производства и структуры производственной специализации в условиях неопределенности.

Для решения задачи выбора оптимальной структуры производственной программы предприятия в условиях неопределенности рынка ремонта, предложен метод поиска компромиссного варианта по критерию оптимальности Гурвица – максимума линейной комбинации минимального и максимального выигрыша:

$$F_i = k \cdot \min_{1 \leq j \leq K} \{E_{ij}\} + (1-k) \cdot \max_{1 \leq j \leq K} \{E_{ij}\}, \quad (5)$$

где $k, 0 \leq k \leq 1$ – отношение инвестора к риску, чем ближе k к единице, тем осторожнее решение; E – матрица прибыли, формируемая из возможных объемов производства и рыночных ситуаций (рисунок 3). Элементы матрицы в

зависимости от выбранного варианта i и рыночной ситуации j находятся по формуле:

$$E_{ij} = S_j \cdot \min\{N_i, U_j\} \cdot T - C_i, \quad (6)$$

где S_j – прибыль на единицу услуг; N_i – варианты ремонтного задания; U_j – оценка объема спроса, формируемого собственной потребностью $U_{\text{соб}}$ и конкурентным рынком $U_{\text{конк}}$; C_i – суммарный объем затрат на создание производства при выборе i -ой стратегии и T – горизонт планирования в годах.

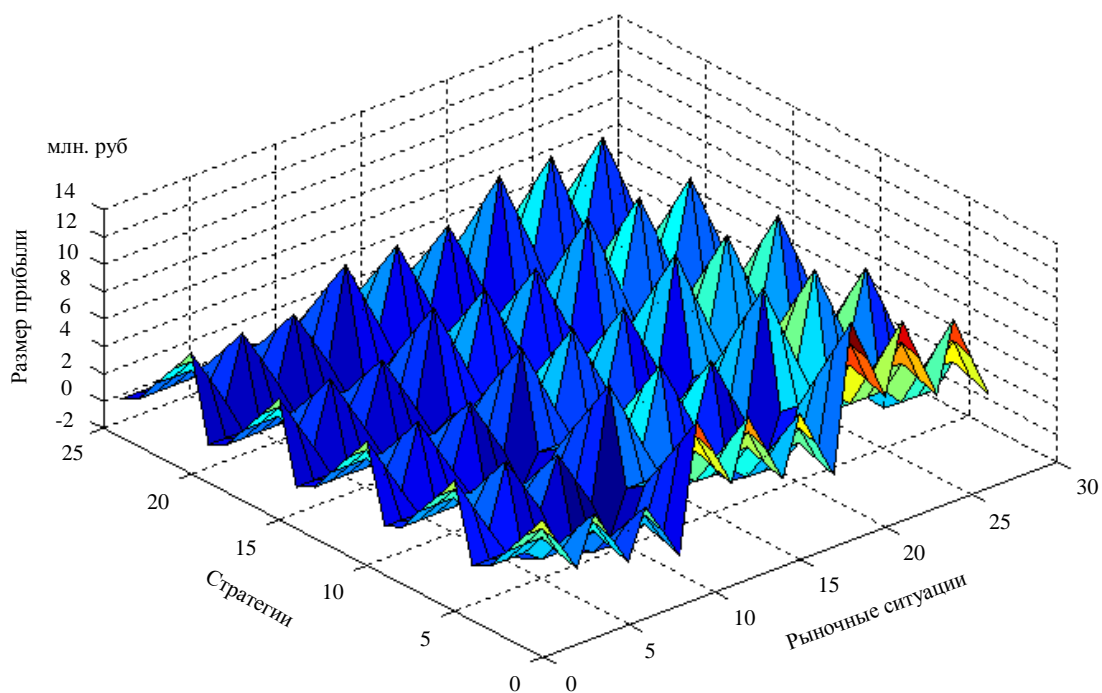


Рисунок 3 – Размер прибыли в зависимости от выбранной альтернативы и рыночной ситуации

Для оценки граничных значений объема спроса $U = U_{\text{соб}} + \alpha \cdot U_{\text{конк}}$ предложен способ расчета вероятной доли конкурентного рынка α по принципу минимизации совокупных расходов на ремонт и пересылку подвижного состава при допущении о равномерном распределении парка подвижного состава в пределах региона:

$$\alpha = \frac{l_{\text{св}} + 0.5 \cdot \left(l_{\text{кон}} + \sum_{i=1}^n l_{\text{max},i} \right)}{l_{\text{рег}}} \quad (7)$$

где α – доля конкурентного рынка при допущении о равномерном распределении парка подвижного состава в пределах региона; $l_{\text{рег}}$ –

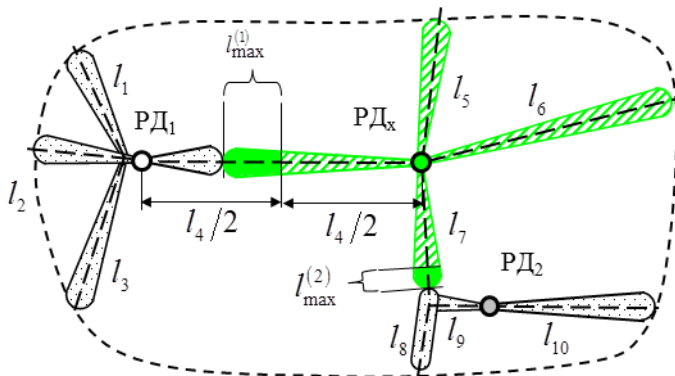


Рисунок 4 – Пояснения к формуле (7)

протяженность ж.д. путей региона; $l_{св}$, $l_{кон}$ – протяженность путей свободных от конкурентов и связывающих с конкурентами; l_{max} – максимальная экономически оправданная дальность пересылки объектов ремонта; n – количество конкурирующих ремонтных предприятий в регионе.

При отсутствии явного лидера для различных k , выбор оптимальной структуры производственной специализации осуществляется путем поиска смешанной альтернативы, дающей наибольшее среднее значение прибыли. Для этого, каждой альтернативе $i=1, \dots, n$ сопоставляется вес x_i и решается задача на максимум $P \rightarrow \max$ при следующих условиях:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n x_i \cdot E_{ij} \geq P, j = 1, \dots, K \\ \sum_{i=1}^n x_i = 1, x_i \geq 0, i = 1, \dots, n \end{cases}, \quad (8)$$

Оптимальная производственная мощность предприятия определяется как средневзвешенное значение возможных альтернатив

$$N_{opt} = \sum_{i=1}^n x_i^* \cdot N_i, \quad (9)$$

где x^* – решение задачи (8).

Для исследования процессов функционирования предприятий локомотивного и вагонного хозяйства в макро-системе перевозочного процесса, разработан метод динамического моделирования. Проведена систематизация и классификация факторов внешней функциональной среды, с учетом которых созданы соответствующие математические модели элементов технологической инфраструктуры перевозочного процесса (см., пример рисунок 5).

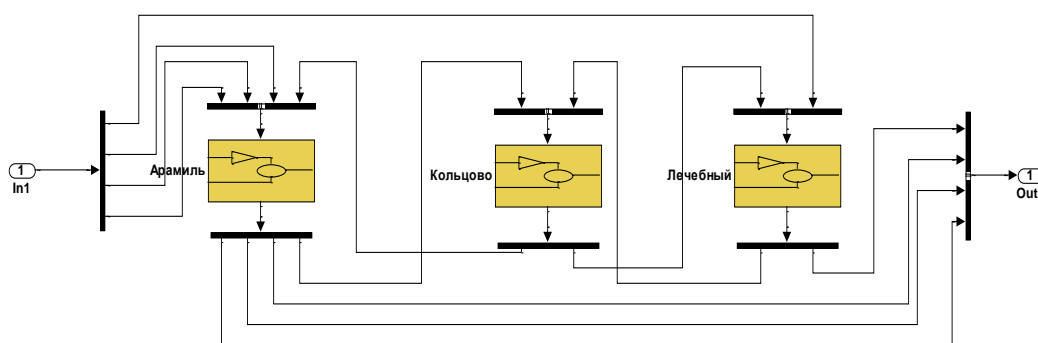


Рисунок 5 – Динамическая модель фрагмента железнодорожной сети в системе MATLAB - Simulink

В качестве формы представления потоков объектов ремонта и ТО предложена вероятностная модель, сигналами которой являются функции почасо-

вой интенсивности поступления подвижного состава m различных видов поездов $Pot(t) = (pot_1(t), \dots, pot_m(t), t = 1, \dots, 24)$, задаваемых в виде дискретных случайных величин.

С целью универсализации и упрощения создаваемых моделей, формализовано математическое описание функциональной структуры рассматриваемого участка железнодорожной сети в форме шин сигналов. Возможные маршруты движения потоков внутри объектами описываются маршрутной и технологической матрицей. Работа объектов железнодорожной инфраструктуры реализована с помощью общих функциональных модулей – генерирующего, распределительного, перерабатывающего и накопительного.

Результаты расчетов хранятся в специальной структуре данных: текущие размеры движения, интенсивность поступления объектов ремонта, объем переработки, задержки по времени, что позволяет получить подробную исчерпывающую информацию о работе устройств на каждом шаге моделирования.

На основе данного подхода разработаны математические модели объектов локомотивного и вагонного хозяйства, как подсистем модели железнодорожной сети, реализующих линейные, нелинейные и интегральные преобразования и обратные связи (рисунок б).

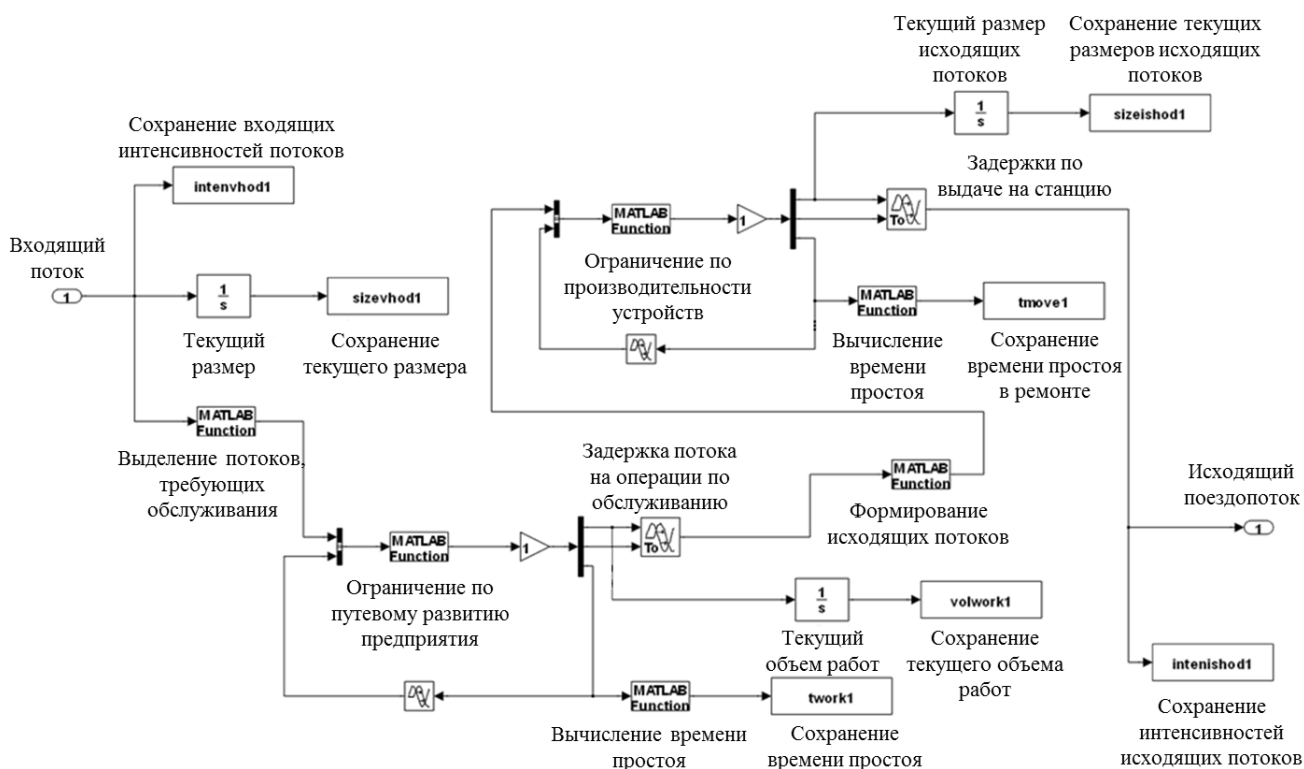


Рисунок б – Обобщенная имитационная модель технологической системы предприятия по ремонту и ТО подвижного состава в системе MATLAB – Simulink на макроуровне

Распределение потока $PV(t)$ по видам переработки задается матрицей B размера $l \times K$, в которой элемент b_{kj} – это доля j -го элементарного потока, поступающая на k -ый вид переработки.

$$B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1K} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2K} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{l1} & b_{l2} & \dots & b_{lK} \end{pmatrix}, \quad b_{kj} \geq 0, \quad \sum_{k=1}^l b_{kj} = 1. \quad (10)$$

Поток, поступающий на k -ый вид переработки, имеет вид:

$$L_k(t) = (b_{k1} \cdot pv_1(t), \dots, b_{kK} \cdot pv_K(t)). \quad (11)$$

Поток $L(t) = (L_1(t), \dots, L_l(t))$ задает распределение потока $PV(t)$ по видам переработки и содержит $N = m \cdot s \cdot l$ элементарных потоков $l_k(t)$.

Поступающий на переработку объединенный поток L ограничивается в соответствии с производительностью технологической системы и формируется поток, ожидающих переработки составов:

$$L = d \cdot L + (1 - d) \cdot L = LP + LO, \quad (12)$$

где $d = (d_1, \dots, d_N)$, $0 \leq d_k \leq 1$ – ограничивающие коэффициенты, определяемые для групп элементарных потоков. Пусть $\{l_{k_1}, \dots, l_{k_p}\}$ – группа элементарных потоков, поступающая на переработку в j -ое устройство технологической системы и p_j – производительность в час данного устройства. Тогда

$$d_{k_1} = d_{k_2} = \dots = d_{k_p} = \min \left(\frac{\sum_{l=1}^p l_{k_l}}{p_j}, 1 \right). \quad (13)$$

Потоки, ожидающих переработки составов LO , на каждом расчетном шаге, накапливаются в очереди $O1 = O1 + LO$, а потоки из очереди $O1$, на следующем расчетном шаге, вновь поступают на переработку. По размеру потоков в очереди определяется и записывается в файл время простоя на переработке.

Для каждого технологического потока $lp_k(t)$ определяется текущий объем переработки

$$vp_j(t) = \int_0^t lp_j(t) dt, \quad j = 1, \dots, N. \quad (14)$$

Далее к каждому элементарному потоку применяется задержка на время,

равное среднему времени переработки единицы этого потока для соответствующего вида ТО или ремонта:

$$tp_j = E_j/p_j + G_j, \quad (15)$$

где E_j и G_j – константы, зависящие от конструкции и технического состояния подвижного состава, состава технологических операций, p_j – производительность технических средств.

Созданный метод моделирования позволяет исследовать взаимное влияние макропараметров объектов локомотивного и вагонного хозяйства (место размещения, количество позиций, производительность, количества путей накопления и отстоя подвижного состава) на показатели перевозочного процесса в конкретных границах железнодорожной сети.

В главе 4 с использованием принципов системного подхода обобщаются, теоретически обосновываются и формулируются базисные принципы оптимизации проектных решений предприятий по ремонту подвижного состава, предлагается метод выбора рационального варианта технологического проекта по группе критериев предпочтений.

Разработаны логические схемы проектирования технологических систем предприятий локомотивного и вагонного хозяйства, представляющие сложную многоуровневую и многомерную задачу проектирования в виде алгоритмической последовательности задач меньшей сложности, в ходе которых формируются промежуточные модели системы, каждая из которых определяется предыдущей в результате выполнения проектных процедур над исходными данными $a_i \in A$ с учетом ограничений $c_i \in C$ (рисунок 7):

$$X_i : (a_i, c_i, a_i \in A, c_i \in C) \rightarrow R_i. \quad (16)$$

Отображение X , имеющее смысл проектной процедуры, обладает свойствами существования и полноты, т.е. все множество задач проектирования считаются полностью разрешимыми, имеются процедуры решения и соблюдается принцип их единства.

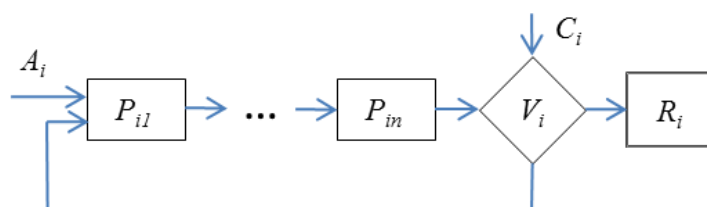


Рисунок 7 – Логическая модель обобщенной проектной процедуры

Аналитически установлено, что принятие решений на промежуточных этапах технологического проектирования производится в условиях неопреде-

ленности, что обуславливает необходимость разработки нескольких альтернативных вариантов проекта с их последующим сравнением по совокупности показателей (рисунок 8).

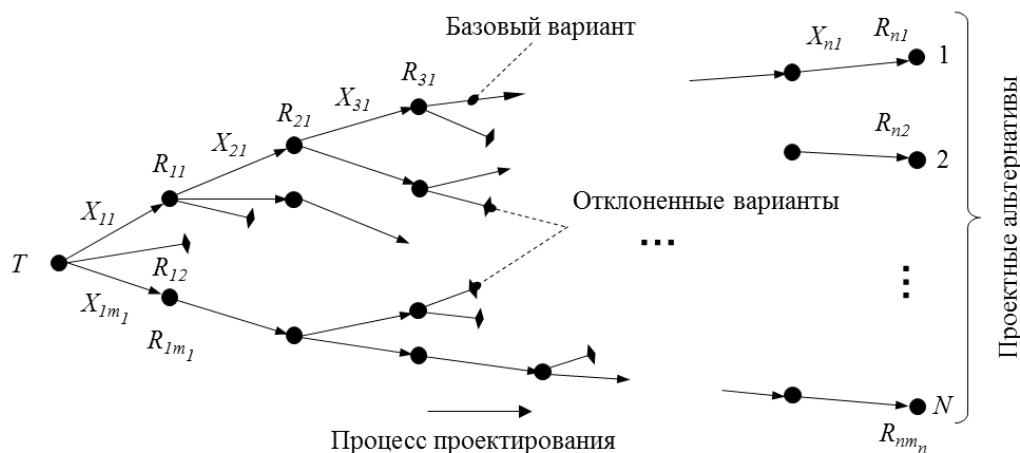


Рисунок 8 – Процесс проектирования с частичным промежуточным отбором альтернативных вариантов

Для получения рациональных вариантов проектных решений систематизированы и уточнены методы и алгоритмы выбора формы организации ремонтного производства, технологического оборудования, структурирования и конфигурирования исследуемой технологической системы.

Предложен метод многокритериальной оптимизации по принципу относительных предпочтений возможных альтернатив проектных решений в сравнении с некоторым базовым вариантом, обладающим известными значениями производственно-технических показателей.

Нормировка целевых показателей осуществляется относительно базового варианта $v_{ij} = V_{ij}/V_{0j}$ таким образом, что $v_{ij} > 0, v_0 = 1$, а увеличение каждого показателя приводит к увеличению себестоимости ремонта.

Предложено решение оптимизационной задачи относительно себестоимости ремонта по обобщенному критерию вида:

$$D_i = \sum_{j=1}^m k_j \cdot v_{ij} \rightarrow \min, \quad (17)$$

где в качестве коэффициентов $k_j, j = 1, \dots, m$ введены показатели чувствительности себестоимости ремонта относительно нормированных целевых показателей v_{ij} при увеличении показателя на заданную фиксированную величину (например, на один процент):

$$k_j = \delta_j / S_0, \quad (18)$$

где S_0 – себестоимость для базового варианта; δ_j – увеличение себестоимости ремонта при увеличении j -го показателя v_j на заданную величину при условии, что остальные показатели остаются неизменными.

Использование предлагаемого метода позволяет произвести предварительный отбор проектных решений для последующей структурной и параметрической оптимизации методами математического моделирования.

На основе сформулированных принципов и предложенных алгоритмов оптимального проектирования разработаны технологические проекты группы предприятий по ремонту подвижного состава России и Казахстана.

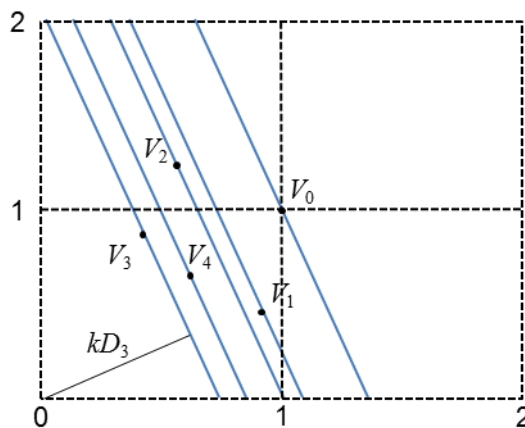


Рисунок 9 – Графическая интерпретация критерия оптимальности для двух показателей

В пятой главе описывается разработанная методология имитационного моделирования, позволяющая значительно упростить и сократить время создание имитационных моделей сложных технологических систем предприятий по ремонту и ТО подвижного состава за счет модульного принципа построения моделей на основе регулярных конфигураций паттерновых сетей.

Паттерновая сеть строится из образующих (технологических операций) $g_i \in G$ путем попарного объединения их связей. Образующая может быть визуально представлена в виде графической схемы (рисунок 10).

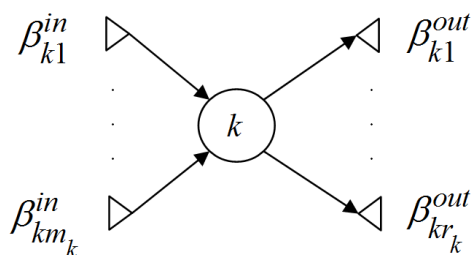


Рисунок 10 – Представление образующей в виде графической схемы

Информационная модель элементов паттерновой сети $g_i \in G$ представляется в виде уникального вектора признаков:

$$a(g_i) = a(i, \gamma_{i1}, \dots, \gamma_{il_i}, \beta_{i1}^{in}, \dots, \beta_{im_i}^{in}, \beta_{i1}^{out}, \dots, \beta_{ir_i}^{out}), \quad (19)$$

где i – порядковый номер технологической операции; $y_{ik}, k = 1, \dots, l_i$ – атрибуты операции (условия, время выполнения, координаты рабочей позиции, показате-

ли энергоемкости и т.д.); m_i и r_i – количество входящих и исходящих связей в сетевом графике технологического процесса; $\beta_{ik}^{in}, k = 1, \dots, m_i$ и $\beta_{ik}^{out}, k = 1, \dots, r_i$ – показатели входных и выходных связей технологической операции.

Выполнен синтез классов элементарных объектов регулярных конфигураций паттерновых модулей (рисунок 11), описаны характеристики связей, условия и результаты выполнения технологических операций (таблица 1).

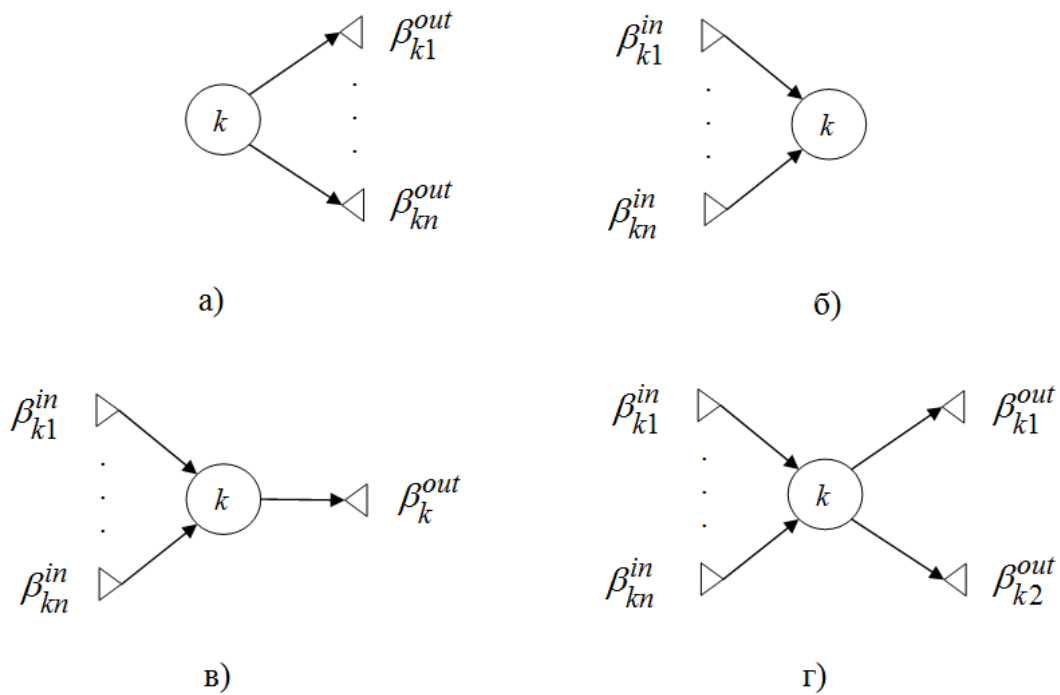


Рисунок 11 – Графическое представление паттерновых модулей ремонтного производства: а) начальная образующая; б) конечная образующая; в) линейная образующая, образующая синтеза; г) образующая анализа, вероятностная образующая

Принцип формирования динамической паттерновой сети заключается в следующем. На каждой связке паттерновой сети устанавливается бинарное отношение между двумя переменными β^{out} и β^{in} , принимающее значение "истина" (соединено), либо "ложь" (разъединено). Изменение связей происходит при перемещении объекта ремонта с одной позиции на другую.

Основываясь на принципах системного подхода, разработан обобщенный алгоритм (рисунок 12), для которого описаны и формализованы процедуры анализа, синтеза и проверки адекватности имитационных моделей технологических систем с использованием паттерновых сетей.

Таблица 1 – Характеристики связей, условия и результаты выполнения

Класс операции	Характеристики связей	Условия и результат выполнения
Начальная образующая (подача объекта ремонта в цех)	$m = 0;$ $r \geq 1$	Выполняется в моменты времени, определенные внешней средой и внутренним состоянием модели. После выполнения становится возможным замыкание одной из выходящих связей β_k^{out} .
Образующая анализа (разборка объекта ремонта)	$m \geq 1;$ $r \geq 2$	Выполняется при замыкании одной из входящих связей β_{ki}^{in} . После выполнения становится возможным последовательное замыкание связей β_{k1}^{out} и β_{k2}^{out} .
Вероятностная образующая (контроль и диагностирование)	$m \geq 1;$ $r \geq 2$	Выполняется при замыкании одной из входящих связей β_{ki}^{in} . После выполнения операции случайным образом выбирается одна из двух выходящих связей и становится возможным ее замыкание.
Линейная образующая (ремонт, восстановление)	$m \geq 1;$ $r = 1$	Выполняется при замыкании одной из входящих связей β_{ki}^{in} . После выполнения становится возможным замыкание выходящей связи β_k^{out} .
Образующая синтеза (сборка объекта ремонта)	$m \geq 2;$ $r = 1$	Операция выполняется при последовательном замыкании двух из входящих связей β_{ki}^{in} и β_{kj}^{in} . После выполнения становится возможным замыкание выходящей связи β_k^{out} .
Конечная образующая (выдача отремонтированного оборудования)	$m \geq 1;$ $r = 0$	Выполняется при замыкании одной из входящих связей β_{ki}^{in} .

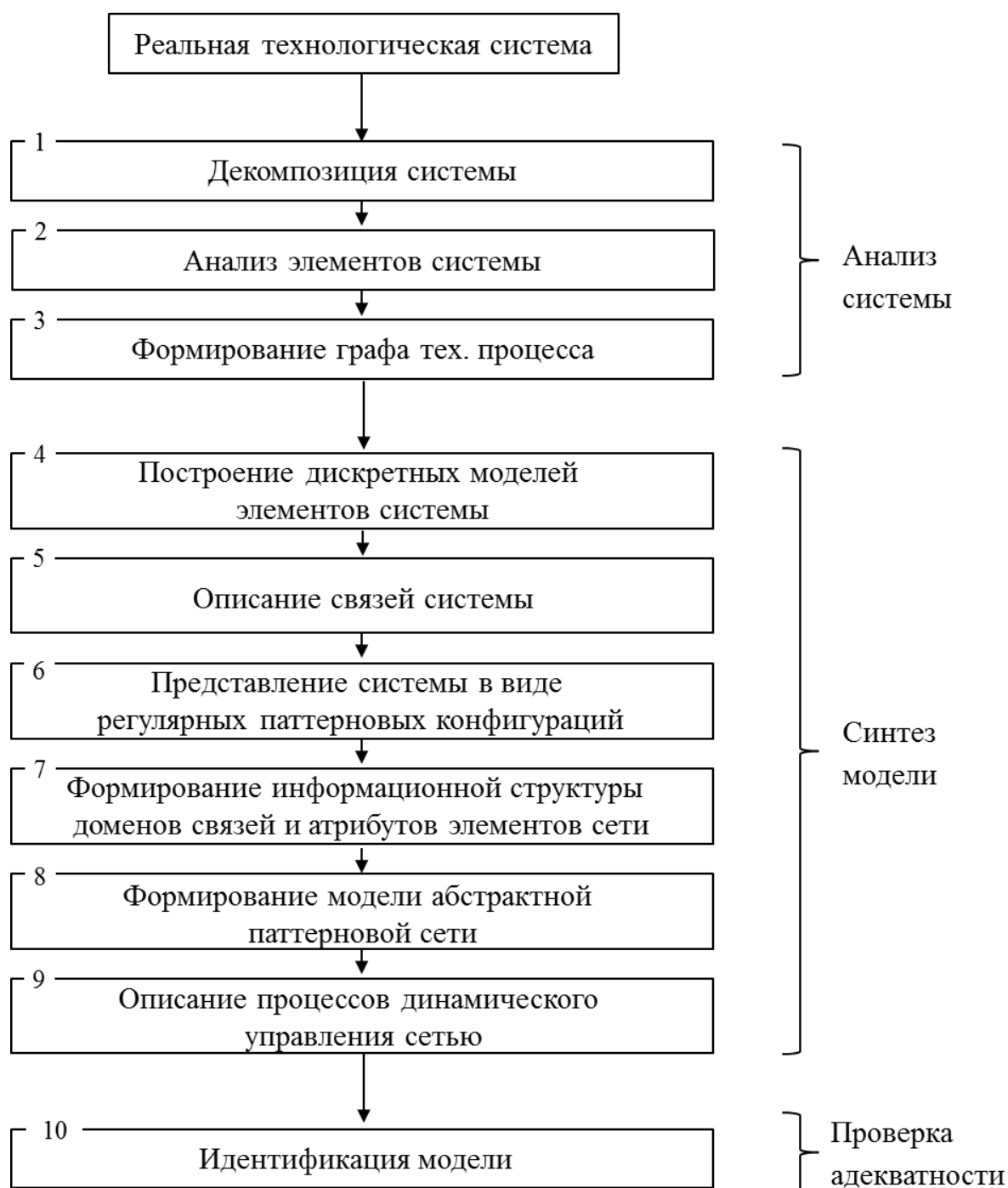


Рисунок 12 – Обобщенный алгоритм создания математической модели с использованием модульного принципа паттерновых сетей

Предложена функциональная схема программной реализации имитационной модели, содержащая генератор модельного времени, модуль управления заявками, модули хранения информации о технологических операциях и заявках, параметрах вычислительного эксперимента и формирования отчетов, связанные между собой прямыми и обратными информационными связями.

Алгоритм динамического моделирования разработан по принципу особых состояний системы, заключающийся в пошаговом изменении состояния модели в моменты разъединения хотя бы одной связей паттерновой сети (рисунок 13).



Рисунок 13 – Алгоритм моделирования работы технологической системы

При каждом изменении времени обновляются значения атрибутов и показателей связей и, тем самым, определяется новая ассоциированная с абстрактной (первоначальной) паттерновая сеть.

В процессе моделирования изменяется текущее время, положение средств доставки, параметры состояния технологических позиций, обновляются очереди в накопителях, выполняются технологические операции, формируются новые и редактируются имеющиеся заявки на транспортное обслуживание,

рассчитываются основные параметры и показатели исследуемой технологической системы:

1) параметры производительности технологической системы:

- фактическая производительность цеха (участка), ед./день;
- среднее время производственного цикла изделия;

2) показатели использования производственных мощностей технологического оборудования и средств доставки:

- коэффициент загрузки оборудования по времени;
- среднее количество узлов или деталей в p -ом накопителе

$$d_{\text{ср}} = \frac{1}{T_{\text{мод}}} \cdot \sum_{k=1}^{T_{\text{мод}}} d_{pk}, \quad (20)$$

где d_{pk} – количество деталей в p -ом накопителе на k -ой минуте моделирования.

3) показатели работы транспортной системы:

- среднее время ожидания средства доставки, мин

$$t_{\text{ожт}} = \frac{1}{d} \cdot \sum_{k=1}^d (t_{\text{нв}}(k) - t_{\text{п}}(k)), \quad (21)$$

где d – общее количество заявок на перемещение ремонтируемых узлов и агрегатов, $t_{\text{нв}}(k)$ – время начала выполнения заявки и $t_{\text{п}}(k)$ – время поступления заявки;

- средняя длина очереди заявок на перемещение ремонтируемых узлов и деталей, шт:

4) показатели качества компоновочных и планировочных решений:

- средняя дальность единичного перемещения объекта ремонта, м
- грузовая работа подъемно-транспортных механизмов за цикл ремонта одной единицы оборудования подвижного состава, т·м.

Применение предлагаемого метода имитационного моделирования позволяет решить комплекс важных производственных задач, ранее недоступных для решения аналитическими методами, в том числе: оценка фактической производственной мощности с учетом ограничений по производительности отдельных единиц оборудования; получение графиков загрузки производственных ресурсов в течение рабочей смены, оценка продолжительности пиковых нагрузок; оптимизация производственных графиков, оценка параметров технологических систем содержащих общие производственные ресурсы, работа которых обеспечивает производственный процесс нескольких единиц или групп технологического оборудования (например, мостовых кранов) и т.д.

Для оценки качества проектных решений отдельных подсистем и комплексов технологической системы введен новый критерий – показатель структурной эффективности, рассчитываемый по результатам вычислительных экспериментов, как отношение производительности технологической системы при заданных параметрах исследуемой подсистемы p_i к производительности подсистемы с «идеальными» параметрами p_0 :

$$k_i^{\text{э}} = p_i / p_0 \rightarrow 1 . \quad (22)$$

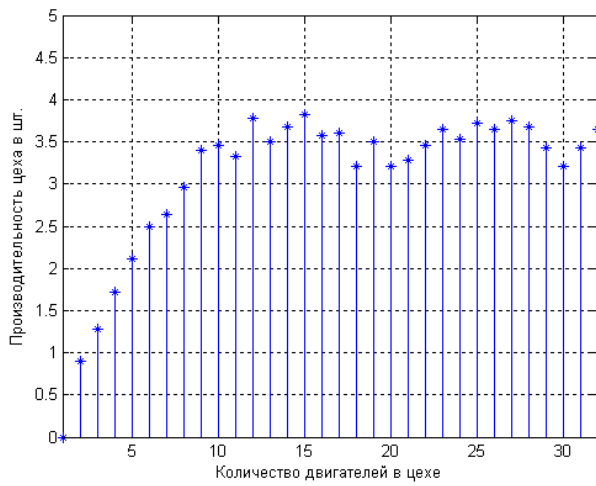
Проведена серия вычислительных экспериментов на примере электромашиного цеха локомотиворемонтного депо Дема, которая подтвердила адекватность предлагаемого метода моделирования и создаваемых на его основе математических моделей.

На основании полученных результатов моделирования исследованы ранее малоизученные вопросы влияния на работу ремонтного предприятия подсистем производственной логистики, управления и контроля качества. В частности установлен факт существенного влияния на производительность цеха объема незавершенного производства – объектов ремонта, одновременно находящихся в процессе технологической обработки (рисунок 14 а - г).

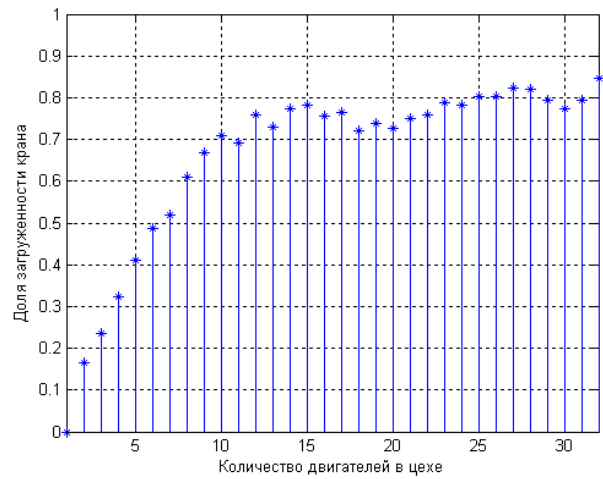
Экспериментально доказана неточность традиционных методов расчета производственной мощности предприятия по показателям производительности оборудования при использовании общих производственных ресурсов (краны, электропогрузчики).

Выявлен нелинейный характер зависимости прироста производственной мощности технологической системы при увеличении производительности основного оборудования. Как показала серия экспериментов, данный факт обусловлен прогрессивным возрастанием непроизводительных затрат и ограничениями со стороны транспортной системы. В исследуемом случае, при повышении производительности оборудования в два раза наблюдался прирост мощности цеха только на 30 % (рисунок 14 д, е).

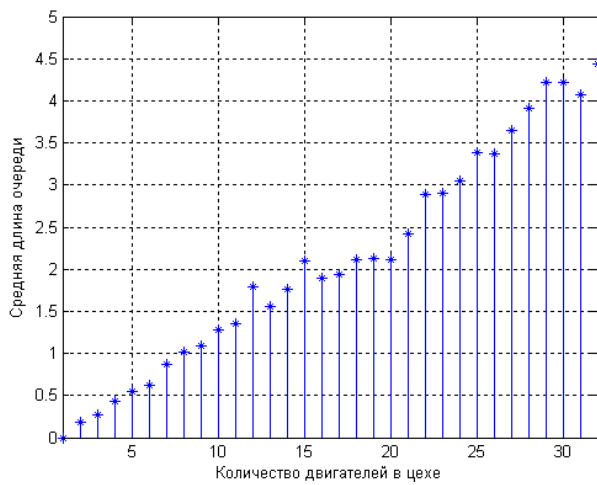
Для уже функционирующих ремонтных предприятий применение данных моделей позволяет выявить и исключить источники потерь, оптимизировать значения параметров технологической системы в зависимости от внешних и внутренних условий, оценить потенциал повышения эффективности конкретных подсистем и комплексов, снизить размер переходного запаса узлов и деталей, сократить время простоя подвижного состава на ремонте.



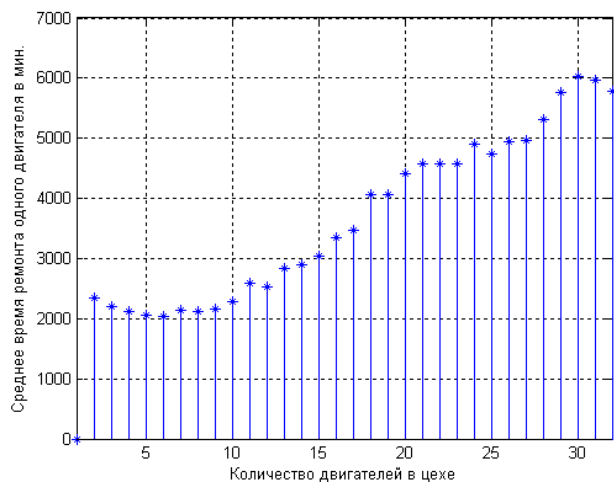
а)



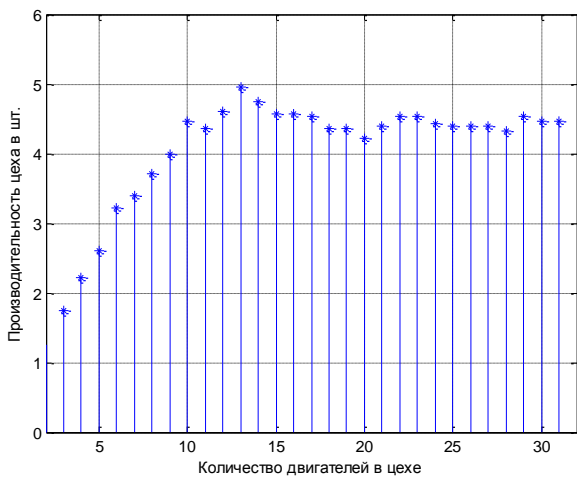
б)



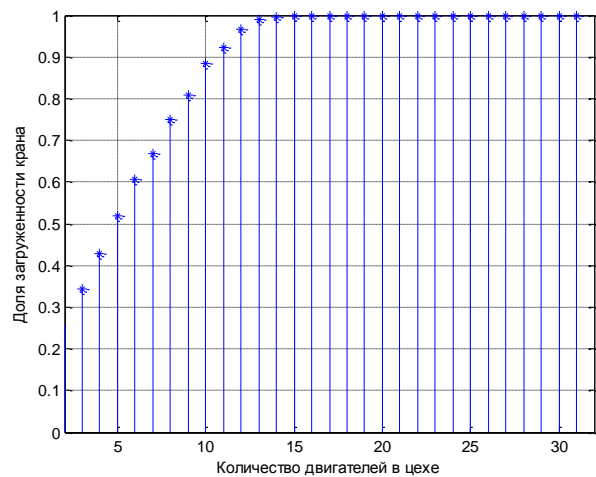
в)



г)



д)



е)

Рисунок 14 – Параметры работы электромашинного цеха по результатам моделирования в зависимости от установленного максимального объема незавершенного производства (количества двигателей в цехе)

В шестом разделе рассматриваются вопросы планирования, управления рисками и оценки технико-экономической эффективности проектов модернизации предприятий по ремонту и ТО подвижного состава. Разработана обобщенная математическая модель процессов технологической модернизации, предложена методика формирования оптимального плана технического перевооружения с выбором одного из вариантов частичной или полной замены оборудования для заданного объема инвестиций.

Предложен способ математического описания плана технологического развития производства в виде матрицы модернизации X размера $n \times k$, элементы которой равны либо 1, либо 0. Если элемент $x_{ij} = 1$, то для i -ой технологической операции выбран j -ый вариант замены оборудования $j = 2, \dots, k_i$ ($j = 1$ если замена не планируется), где $k = \max\{k_1, \dots, k_n\}$. При ограничениях для каждой строки матрицы X

$$\sum_{j=1}^{k_i} x_{ij} = 1, \quad i = 1, \dots, n \quad \text{и} \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=k_i+1}^k x_{ij} = 0.$$

Расчет количественных характеристик будущей технологической системы при заданном плане модернизации X производится с учетом степени важности технологических операций. Каждой характеристике технологических операций сопоставлена матрица $H_m, m = 1, 2, \dots, s$ размера $n \times k$. Элемент h_{ij}^m матрицы H_m является значением m -ой характеристики для i -ой технологической операции при j -ом варианте замены оборудования. Элементы матриц с индексами $(i, j), j > k_i$ равны нулю.

$$H_m(X) = \sum_{i,j} g_{im} \cdot h_{ij}^m \cdot x_{ij}, \quad m = 1, 2, \dots, s, \quad (23)$$

где g_{im} – элементы матрицы G размера $n \times s$, задающие степень важности i -ой технологической операции для улучшения m -ой характеристики производства, $0 < g_{im} \leq 1$. Диапазоны изменения характеристик $H_m, m = 1, 2, \dots, s$ представляют собою отрезки $[a_m, b_m]$.

Получены расчетные выражения для нормировки характеристик технологической системы:

$$R_m(X) = \frac{H_m(X) - a_m}{b_m - a_m}, \quad m = 1, 2, \dots, s, \quad (24)$$

где $a_m = \min_X H_m(X) = \sum_i g_{im} \cdot \min_j h_{ij}^m$ и $b_m = \max_X H_m(X) = \sum_i g_{im} \cdot \max_j h_{ij}^m$. Диапазон изменения каждой нормированной характеристики есть отрезок $[0, 1]$.

Для вариантов модернизации X определен вектор приращения нормиро-

ванных характеристик производства $\Delta(X) = (\Delta_1(X), \Delta_2(X), \dots, \Delta_s(X))$, где $\Delta_m(X) = R_m(X) - R_m(X_0)$, $m = 1, 2, \dots, s$. Все координаты данного вектора удовлетворяют условию $-1 \leq \Delta_m(X) \leq 1$. Положительное направление вектора $\Delta(X)$ описывается сигнатурой $q = (q_1, q_2, \dots, q_s)$, где $q_m = 1$, если целью модернизации является уменьшение значения m -ой общей характеристики производства, и $q_m = -1$, если целью модернизации является увеличение значения m -ой общей характеристики производства.

Введено понятие множества целей модернизации, в соответствии с которыми каждой общей характеристике производства сопоставляется вес w_m . Чем большее значение придается характеристике производства, тем больше соответствующее значение w_m . Веса позволяют количественно задать приоритетные направления модернизации предприятия, например: минимизация себестоимости ремонта; обеспечение высокого качества; повышение безопасности и культуры производства.

Таким образом, приоритетная политика модернизации предприятия задается весовым вектором $w = (w_1, w_2, \dots, w_s)$, где $w_m \geq 0$, $m = 1, \dots, s$ и $\sum_{m=1}^s w_m = 1$. Тогда вектор $d = (d_1, d_2, \dots, d_s)$, где $d_m = q_m \cdot w_m$ определяет положительное и оптимальное, с точки зрения приоритетной политики, направление вектора $\Delta(X)$.

Сформулирована целевая функция оптимизации технологической системы как скалярное произведение векторов $F(X) = d \cdot \Delta(X)$

$$F(X) \rightarrow \min \quad (25)$$

при следующих естественных ограничениях:

- ограничение на объем инвестиций

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=2}^k s_{ij} x_{ij} \leq I, \quad (26)$$

где s_{ij} – стоимость оборудования для i -ой технологической операции и j -го варианта замены оборудования, I – заданный объем инвестиций;

- ограничения на матрицу плана модернизации:

$$\sum_{j=1}^{k_i} x_{ij} = 1, \quad i = 1, \dots, n; \quad x_{ij} = 0, \quad i = 1, \dots, n; \quad j = k_i + 1, \dots, k; \quad (27)$$

$$\sum_{k=2}^{s_p} x_{i_k^p j_k^p} = (s_p - 1) \cdot x_{i_1^p j_1^p}, \quad p = 1, \dots, l;$$

- ограничения на значения переменных

$$x_{ij} \in \{0,1\}, i=1,\dots,n, j=1,\dots,k. \quad (28)$$

Предложен способ и алгоритм решения поставленной задачи методом ветвей и границ в системе MATLAB. На каждом шаге решения формулируется обычная задача линейного программирования с ослабленными ограничениями на переменные $0 \leq x_{ij} \leq 1, i=1,\dots,n, j=1,\dots,k$.

Исследованы показатели модернизации в зависимости от различных объемов инвестиций I при условии их оптимального распределения $Z(I)$. Для выбранного набора характеристик положительное направление вектора приращения $\Delta(X)$ общих нормированных характеристик производства определяется сигнатурой q – решение задачи (25) для ряда различных объемов инвестиций I . Для каждого значения I вычислены относительные значения общих характеристик

$$T_m(Z(I)) = \frac{H_m(Z(I))}{H_m(X_0)}, m=1,\dots,s \quad (29)$$

и рассчитаны относительные изменения общих характеристик производства

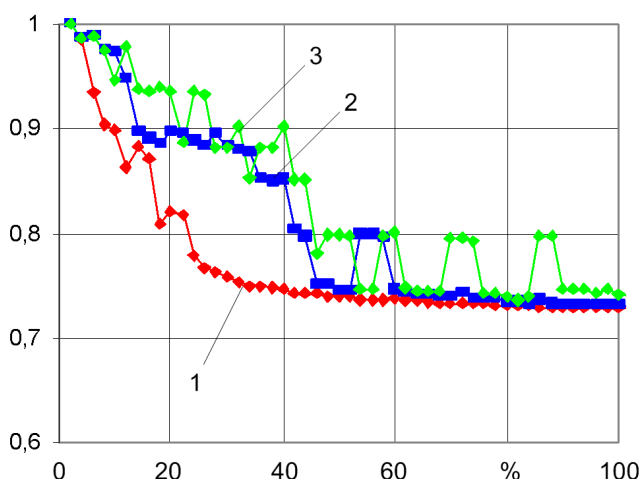
$$\delta_m(Z(I)) = T_m(Z(I)) - 1, m=1,\dots,s. \quad (30)$$

Относительное изменение характеристики показывает на сколько процентов увеличилась или уменьшилась соответствующая характеристика ремонтного производства в результате модернизации предприятия.

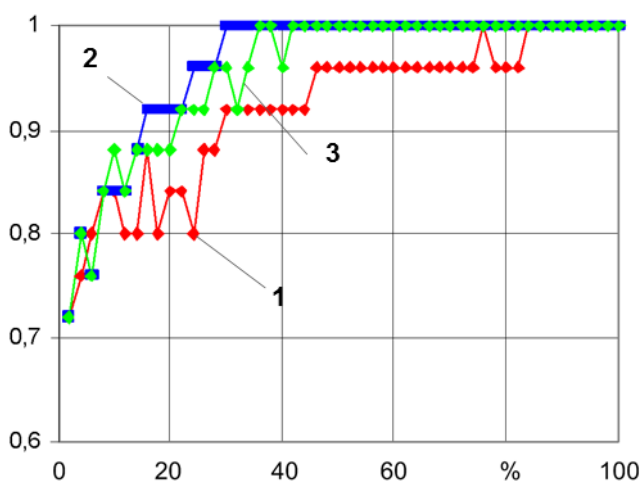
На рисунке 15 представлены результаты расчетов для модернизации электромашиного производства Новосибирского электровозоремонтного завода для трех вариантов целей модернизации: снижение себестоимости (графики 1), повышение качества ремонта (2), улучшение условий труда (3).

Затраты приведены в относительных единицах, где базовому значению 100% соответствует уровень инвестиционных вложений при комплексной замене всего оборудования в соответствии с регламентом оснащения. Экспериментально установлено, что около 80% от общего потенциала повышения эффективности приходится на первые 30-40% от общего плана финансовых затрат. Дальнейшее вложение денег оказывает влияние преимущественно на качественные показатели производства.

Дана технико-экономическая оценка эффективности инвестиций модернизации производства на примере группы из 4 вагоноремонтных предприятий за счет оптимизации проектных решений технологической системы, устранения технических, технологических и логистических потерь, внедрения автоматизированных систем контроля качества ремонта.

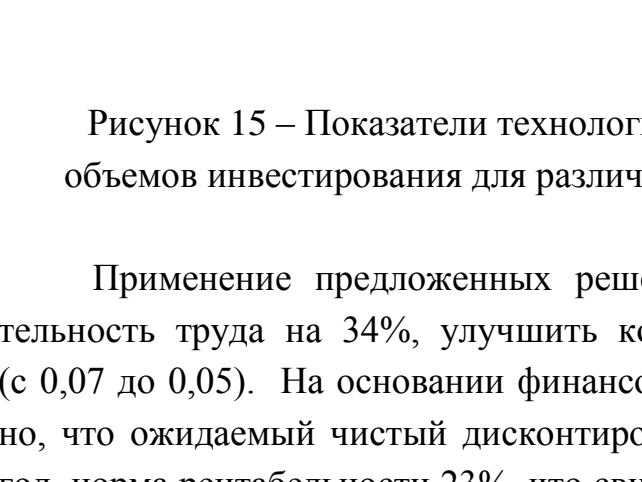


а) снижение трудоемкости процессов



б) сокращение потребления электроэнергии

в) удовлетворенность внутренних и внешних потребителей



г) соответствие современному технологическому уровню

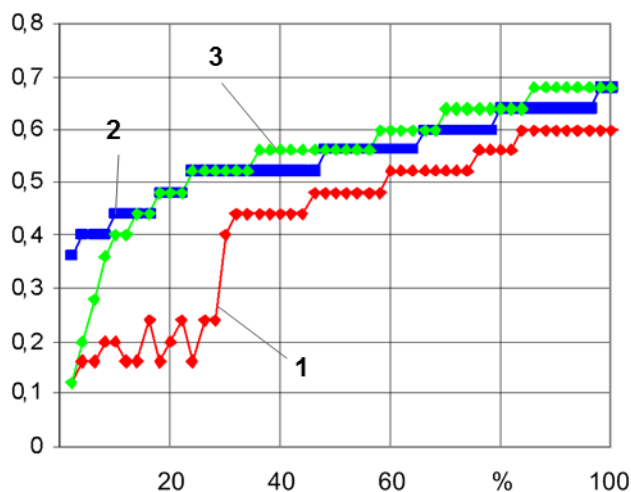


Рисунок 15 – Показатели технологической системы в зависимости от объемов инвестирования для различных вариантов целей модернизации

Применение предложенных решений позволило повысить производительность труда на 34%, улучшить коэффициент качества ремонта на 0,02 (с 0,07 до 0,05). На основании финансово-экономических расчетов установлено, что ожидаемый чистый дисконтированный доход составит 595,1 млн р. в год, норма рентабельности 23%, что свидетельствует о высокой экономической эффективности развиваемого направления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований решена комплексная научно-техническая задача создания совокупности методов, математических моделей и технических средств, обеспечивающих повышение эффективности ремонтного производства и ТО подвижного состава за счет оптимизации производственных процессов предприятия от момента проектного замысла до принятия решения о необходимости модернизации и реконструкции.

Применение разработанных математических моделей и методов позволяет повысить качество проектных решений для новых и модернизируемых предприятий, оптимизировать размещение, масштаб и структуру производственной мощности, обеспечить эффективное взаимодействие отдельных элементов производственного процесса, решить частные оптимизационные задачи по выявлению степени влияния различных факторов на эффективность, выявлению предельных функциональных возможностей активных средств производства, сравнению вариантов проектных решений с выбором наилучшего при нескольких критериях предпочтения.

Созданные в период 2005 - 2017 гг. технические средства и технологические решения внедрены на ремонтных предприятиях железных дорог России и Казахстана. Их использование обеспечивает снижение затрат, повышение качества и сокращение времени простоя подвижного состава в ремонте.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы состоят в следующем:

1. Теоретически обобщены и сформулированы принципы повышения эффективности технологических систем предприятий по ремонту и ТО подвижного состава при их проектировании, создании, использовании по назначению, модернизации и реконструкции. Создана модель многоуровневой оптимизации, содержащая циклы структурной и параметрической оптимизации с использованием средств имитационного моделирования, прямые и обратные информационные связи между отдельными элементами.

2. Предложены критерии оценки эффективности производственных процессов предприятий по ремонту и ТО подвижного состава: внутренней – рентабельность ремонта с учетом рисков безопасности движения, и внешней – коэффициент затрат на поддержание оперативной готовности подвижного состава.

3. Разработана методика оценки себестоимости ремонта с учетом вероятных затрат на покрытие ущерба от случаев нарушения безопасности движения

методом краткосрочного страхования рисков, получена расчетная формула страховой надбавки для заданных значений среднегодового параметра потока отказов подвижного состава в гарантийный период и вероятности безубыточной работы ремонтного предприятия.

4. Предложен метод решения задачи выбора оптимальных технологических решений места размещения, объема производства и структуры производственной мощности предприятия в условиях рисков неопределенности ситуации на рынке ремонта как поиск варианта для которого максимальна линейная комбинация минимального и максимального выигрыша при различных значениях уровня цен на ремонт, потребности в ремонте и капитальных затрат на создание технологического комплекса.

5. Разработан метод системно-динамического моделирования, созданы в среде MATLAB-Simulink имитационные модели объектов локомотивного и вагонного хозяйства в заданных границах железнодорожной сети, позволяющие исследовать процессы взаимодействия «предприятие – функциональная среда» и оценить влияние параметров производственных процессов ремонта подвижного состава на показатели перевозочного процесса.

6. Теоретически обобщены и сформулированы принципы оптимизации проектных решений предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава, на основе чего предложены логические алгоритмы оптимального технологического проектирования, позволяющие формализовать процесс генерации и предварительного отбора рациональных вариантов проектных решений, а также исключить возможность принятия ошибочных решений на ранних стадиях проектирования.

7. Предложен метод выбора проектных решений при многих критериях предпочтения на основе обобщенной целевой функции, показатели которой рассчитываются по принципу относительных предпочтений возможных альтернатив в сравнении с базовым вариантом (отработанным и известным), с последующей нормировкой по коэффициентам чувствительности показателей относительно себестоимости ремонта для базового варианта.

8. Предложен метод имитационного моделирования технологических процессов ремонта и технического обслуживания подвижного на основе модульного принципа паттерновых сетей; выполнен синтез классов паттерновых модулей – образов технологических операций, характерных для ремонтного производства, с описанием характеристик связей, условий и результатов выполнения; разработана информационная структура моделей, функциональная схема и алгоритм создания имитационных моделей.

Разработан алгоритм динамического моделирования, заключающийся в пошаговом изменении состояния модели в момент разрыва или соединения хотя бы одной связки паттерновой сети, соответствующий выполнению технологической операции или возникновению заявки на транспортное обслуживание (принцип особых состояний).

Использование предлагаемого метода моделирования обеспечивает информационную и алгоритмическую преемственность создаваемых моделей, тем самым сокращая трудоемкость и сроки создания новых моделей, а также повышение достоверности моделирования за счет динамического формирования полного комплекса параметров производственного процесса ремонта и технического обслуживания подвижного состава во времени (время выполнения операций, производительность, занятость технологических позиций и накопителей, потребляемая мощность и т.д.).

9. С использованием предложенного метода разработаны и реализованы программно в среде MATLAB математические модели технологических процессов ремонта и ТО подвижного состава для основных форм организации ремонтного производства (постового, поточного, поточного с гибким маневрированием, цехового способов), учитывающие основные и вспомогательные технологические операции, подсистемы логистики, материально-технического снабжения, контроля качества и управления.

Применение предлагаемых имитационных моделей позволяет выявить и исключить источники потерь, приводящие к непроизводительным затратам, техническим, технологическим и логистическим задержкам, тем самым снизить себестоимость ремонта, повысить производительность труда, снизить размер переходного запаса узлов и деталей, сократить время простоя подвижного состава на ремонте.

10. Предложена методика анализа вариантов модернизации предприятий, позволяющая решить задачу нахождения оптимального плана инвестиционных вложений в зависимости от объемов инвестиций. Разработан метод построения целевой функции, зависящей от количественных и качественных характеристик производства. Приведена постановка задачи целочисленного программирования, решениями которой являются варианты модернизации предприятия, наиболее полно соответствующие поставленным целям технологического развития.

11. На основе разработанных теоретических положений, методов и математических моделей реализованы на практике проекты комплексной модернизации и реконструкции ряда предприятий локомотивного и вагонного

хозяйства, в том числе: вагоноремонтных депо Арысь, Кушмурун, Балхаш, Уральск (Казахстан); локомотиворемонтных депо Егоршино, Кинель ОАО «РЖД».

12. Дана технико-экономическая оценка эффективности инвестиций модернизации производства на примере группы из 4 вагоноремонтных предприятий за счет оптимизации проектных решений, устранения технических, технологических и логистических потерь, внедрения автоматизированных систем контроля качества ремонта.

Применение предложенных решений позволило повысить производительность труда на 34%, улучшить коэффициент качества ремонта на 0,02 (с 0,07 до 0,05). На основании финансово-экономических расчетов установлено, что ожидаемый чистый дисконтированный доход составит 595,1 млн. р. в год, норма рентабельности 23%, что свидетельствует о высокой экономической эффективности развиваемого направления.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

I. Издания, входящие в список реферируемых ВАК Минобрнауки России:

1. **Смирнов В.А.** Многоцелевой анализ возможных вариантов модернизации машиностроительного предприятия / В.А. Смирнов, В.Ф. Кузнецов, А.М. Семенов // Проблемы современной экономики. – 2008. – № 3. – С. 258-261.

2. **Смирнов В.А.** Планирование модернизации и реконструкции предприятий транспортного машиностроения / В.А. Смирнов, В.Ф. Кузнецов, А.М. Семенов // Транспорт Урала. – 2010. – № 2. – С. 7 – 11.

3. **Смирнов В.А.** Риски модернизации и реконструкции предприятий по ремонту подвижного состава / В.А. Смирнов, А.М. Семенов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2011. – № 2. – С. 31-36.

4. **Смирнов В.А.** Стратегическое планирование вагоноремонтного производства с учетом рыночных рисков / В.А. Смирнов, А.М. Семенов, В.И. Хомутских // Транспорт Урала. – 2011. – № 4. – С. 39 – 44.

5. **Смирнов В.А.** Энергосбережение при ремонте и техническом обслуживании локомотивов / В.А. Смирнов, А.С. Талызин // Известия Транссиба. – 2011. – № 4. – С. 41 – 49.

6. **Смирнов В.А.** Энергосберегающие технологии испытаний тягово-энергетического оборудования локомотивов после ремонта / В.А. Смирнов, В.О. Мельк // Известия ПГУПС. – 2011. – №4. – С. 71 – 80.

7. **Смирнов В.А.** Выбор показателей технологического оснащения предприятий по ремонту железнодорожного подвижного состава с учетом рисков безопасности движения / В.А. Смирнов, В.Ф. Кузнецов, А.М. Семенов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2012. – № 1. – С. 112 – 117.

8. **Смирнов В.А.** Имитационное моделирование технологических процессов предприятий транспортного машиностроения / В.А. Смирнов, А.М. Семенов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2012. – № 2. – С. 67 – 74.

9. **Смирнов В.А.** Моделирование перевозочного процесса и систем обслуживания подвижного состава на железнодорожном транспорте / В.А. Смирнов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2012. – № 2. – С. 13-18.

10. **Смирнов В.А.** Модульный принцип моделирования ремонта ПС / В.А. Смирнов, А.М. Семенов // Мир транспорта. – 2012. Т. 41. – № 3. – С. 158-163.

11. **Смирнов В.А.** Повышение эффективности производственной логистики предприятий по ремонту подвижного состава / В.А. Смирнов // Известия ПГУПС.– 2012. – №4. – С. 22 – 32.

12. **Смирнов В.А.** Оценка производственно-технологических параметров предприятий по ремонту подвижного состава методами математического моделирования / В.А. Смирнов, А.М. Семенов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2012. – № 4. – С. 45-53.

13. **Смирнов В.А.** Целевые показатели оценки качества технологических решений предприятий по ремонту подвижного состава / В.А. Смирнов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2013. – № 1. – С. 32-38.

14. **Смирнов В.А.** Функциональная модель предприятия по ремонту подвижного состава при работе в современных условиях / В.А. Смирнов // Транспорт Урала. – 2013. – № 1. – С. 97-100.

15. **Смирнов В.А.** Логические схемы и алгоритмы проектирования технологических систем предприятий по ремонту подвижного состава / В.Т. Черемисин, В.А. Смирнов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2013. – № 1. – С. 217-223.

16. **Смирнов В.А.** Технологическое проектирование предприятий по ремонту подвижного состава / В.А. Смирнов // Известия Транссиба. – 2013. – № 2. – С. 118-126.

17. **Смирнов В.А.** Многокритериальная оптимизация проектных решений предприятий по ремонту подвижного состава железнодорожного транспорта / В.А. Смирнов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2013. – № 4. – С. 94 – 100

18. **Черемисин В.Т.** Имитационное моделирование при технологическом проектировании предприятий / В.Т. Черемисин, В.А. Смирнов, А.М. Семёнов // Железнодорожный транспорт. – 2013. – № 5. – С. 55-57.

19. **Смирнов В.А.** Повышение технологической гибкости ремонтного производства / В.А. Смирнов, К.В. Панов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока, №1, 2014. – С. 47 – 50.

20. **Смирнов В.А.** Применение метода активной лазерной триангуляции для решения задач автоматизации технологических процессов ремонта подвижного состава/ В.А. Смирнов, К.В. Панов // Транспорт Урала. – 2018. – №2. – С. 52 – 57.

21. **Бублик В. В.** Анализ состояния существующего технологического процесса ремонта тяговых электродвигателей грузовых электропоездов постоянного тока с помощью теории сетевого планирования и управления / В. В. Бублик, О. В. Гателюк, Н.В. Есин, В.А. Смирнов, Д.В. Юрасов // Транспорт Урала. – 2020. – № 2. – С. 70 – 74.

22. **Смирнов В.А.** Оценка предельных параметров функционирования сложных технологических систем предприятий с общими производственными ресурсами / В.А. Смирнов // Транспорт Урала. – 2020. – № 3. – С. 28 – 31.

II. Патенты и свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

1. Головаш А. Н. Пат. 2364501 РФ МКП8 В 25 J 5/00, В08В 7/00. Роботизированный мобильный комплекс очистки и дезинфекции системы вентиляции и кондиционирования воздуха / А. Н. Головаш, А. П. Семенов, Ю. И. Матяш, Н. В. Семенов, А. В. Кураков, **В. А. Смирнов** (РФ). № 2008100867/02. Заявл. 19.09.2008. Опубл. 20.08.2009. Бюл. № 23.

2. **Смирнов В.А.** Пат. на полезную модель 169641 RUS МКП В60S 3/00. Автоматизированный комплекс очистки деталей и узлов подвижного состава / В. А. Смирнов, К.В. Панов (РФ). № заявки 2016115036 Дата регистрации 18.04.2016.

3. **Смирнов В.А.** Пат. на полезную модель 170076 RUS МКП В60S 3/04. Автоматизированный комплекс дробеструйной очистки кузовов подвижного состава железных дорог / В. А. Смирнов, К.В. Панов (РФ). № заявки 2016125051 Дата регистрации 22.06.2016.

4. **Смирнов В.А.** Комплекс имитационного моделирования технологических процессов ремонта тяговых электрических двигателей подвижного состава / В.А. Смирнов, А.М. Семенов // Федеральный институт промышленной собственности. Отдел регистрации программ для ЭВМ. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2012614449. Заявка №2012612464. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 18 мая 2012 г.

5. **Смирнов В.А.** Математическая модель транспортной системы железнодорожного узла / В.А. Смирнов, В.Ф. Кузнецов, А.М. Семенов // Федеральный институт промышленной собственности. Отдел регистрации программ для ЭВМ. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2013610323. Заявка №2012619905. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 9 января 2013 г.

III. Прочие работы:

1. Молчанов В.В. Комплексная система контроля качества ремонта электрических аппаратов подвижного состава / В. В. Молчанов, Е. В. Молчанов, В. А. Смирнов // Вестник 14-й науч. конф. с междунар. участием «Транспорт 2004». / Высшее транспортное училище «Теодора Каблешкова». Болгария, София, 2004. – С. 359, 360.

2. Молчанов В.В. Новые технологии контроля и диагностики электрической аппаратуры подвижного состава / В.В. Молчанов, Е.В. Молчанов, В.А. Смирнов // Вестник Украинского государственного университета им. Владимира Даля. Научный журнал, серия транспорт 2, №8 (78), 2004.

3. Молчанов Е.В. Комплексная система мониторинга подвижного состава / Е.В. Молчанов, В.В. Молчанов, В.А. Смирнов // Специальный выпуск журнала «Железнодорожный транспорт Украины» №3/1: «Материалы Международной научно-практической конференции «Наука в транспортном измерении». Киев, 2005. – С. 187 – 189.

4. Головаш А.Н. Сквозная система контроля и диагностирования колесно-моторных блоков подвижного состава / А.Н. Головаш, В.В. Молчанов, В.Ю. Тэттер, В.А. Смирнов // Повышение ресурса тяговых электродвигателей: Сб. докладов и сообщений науч.-тех. конф. / ОАО «РЖД». Москва, 2004.

5. Смирнов В.А. Неразрушающий контроль подвижного состава на железных дорогах Германии и Франции/ В.А. Смирнов, А.А. Скачков, В.Л. Лазарев, Н.Ю. Ильющенко // В мире неразрушающего контроля. – 2007. – № 12.

6. Смирнов В.А. Комплексный подход к обеспечению ресурсосбережения и энергетической эффективности при модернизации и реконструкции ремонтных предприятий железнодорожного транспорта / В.А. Смирнов //

Ресурсосберегающие технологии на Западно-Сибирской железной дороге: Материалы научно-практической конференции / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2010.

7. Смирнов В.А. Выбор оптимальной производственной мощности предприятия по ремонту подвижного состава в условиях конкурентного рынка / В.А. Смирнов, А.М. Семенов // Современные направления теоретических и прикладных исследований '2012: сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции. – Выпуск 4. Том 2. – Одесса, 2011. С. 20 – 23.

8. Смирнов В.А. Вопросы ресурсосбережения при ремонте подвижного состава железнодорожного транспорта/ В.А. Смирнов // Технические науки: теоретические и прикладные аспекты: материалы международной заочной научно-практической конференции. (19 марта 2012 г.); [под ред. Я.А. Полонского]. Новосибирск: Изд. «Сибирская ассоциация консультантов», 2012. – С. 130 – 135.

9. Смирнов В.А. Имитационное моделирование технологических процессов ремонта подвижного состава/ В.А. Смирнов, А.М. Семенов // Современные направления теоретических и прикладных исследований '2012: сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции. – Выпуск 1. Том 1. – Одесса, 2012. – С. 74 – 77.

10. Смирнов В.А. Расчет производственной мощности предприятий по ремонту подвижного состава/ В.А. Смирнов, А.М. Семенов // Технические науки – от теории к практике: материалы IX международной заочной научно-практической конференции. (17 апреля 2012 г.); [под ред. Я.А. Полонского]. Новосибирск: Изд. «Сибирская ассоциация консультантов», 2012. С. 88 – 93.

11. Смирнов В.А. Многокритериальная оптимизация производства при модернизации предприятий по ремонту подвижного состава/ В.А. Смирнов, В.Ф. Кузнецов, А.М. Семенов // Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте: материалы VI научно-практической конференции, посвященной Дню Российской науки / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2012.

12. Смирнов В.А. Автоматизация испытаний железнодорожного подвижного состава после ремонта/ В.А. Смирнов, В.О. Мельк// Перспективы развития информационных технологий: сборник материалов VII Международной научно-практической конференции / Под общ. ред. С.С. Чернова. – Новосибирск: Издательство НГТУ, 2012. – С. 180 – 185.

13. Смирнов В.А. Моделирование работы распределенных технологических систем железнодорожного транспорта при организации перевозочного процесса/ В.А. Смирнов// Сборник материалов V Международного симпозиума железнодорожных вузов Европы и Азии / Казахская академия транспорта и коммуникаций имени М. Тынышпаева. Алма-Ата, 2012.

14. Смирнов В.А. Анализ технологических процессов производства и ремонта подвижного состава методами имитационного моделирования/ В.А. Смирнов, А.М. Семенов // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы 72 Международной научно-практической конференции (Днепропетровск 19 – 20 апреля 2012 г.) – Д.: ДИИТ, 2012. – С. 32 – 33.

15. Смирнов В.А. Оптимизация проектных технологических решений модернизации предприятий по ремонту подвижного состава методами имитационного моделирования/ В.А. Смирнов// Материалы международной научно-практической конференции «Инновационные факторы развития Транссиба на современном этапе» / Сибирский гос. ун-т путей сообщения. Новосибирск, 2012.

16. Смирнов В.А. Функциональная модель предприятия по ремонту подвижного состава с учетом факторов безопасности движения/ В.А. Смирнов// Материалы всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов» (6-7 декабря 2012 г.) / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2012. – С. 25 – 31.

17. Смирнов В.А. Выбор проектных решений при нескольких критериях предпочтения/ В.А. Смирнов// Материалы всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава» / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2013.

18. Смирнов В.А. Совершенствование средств и методов испытаний тяговых электрических машин ЭПС/ В.А. Смирнов, В.О. Мельк // Материалы всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Повышение эффективности эксплуатации коллекторных электромеханических преобразователей энергии» / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2013.

19. Смирнов В.А. Сравнение проектных альтернатив при нескольких критериях предпочтения/ В.А. Смирнов// Материалы всероссийской научно-практической конференции «Проблемы проектирования, строительства, диагностики и технического содержания объектов железнодорожного транспорта» / ЗаБИЖТ. Чита, 2013. – С. 77 – 82.

20. Смирнов В.А. Оптимизация технологических систем предприятий по ремонту подвижного состава/ В.А. Смирнов// Материалы Пятой международной научно-практической конференции «Транспортная инфраструктура Сибирского региона»/ ИрГУПС. Иркутск, 2014.

21. Смирнов В.А. Повышение эффективности технологических систем предприятий по ремонту подвижного состава/ В.А. Смирнов// Материалы международной научно-практической конференции «Транспорт-2014»/ РГУПС. Ростов-на-Дону, 2014.

22. Смирнов В.А. Перспективные формы организации локомотиворемонтного производства/ В.А. Смирнов, К.В. Панов// Материалы международной научно-практической конференции «Транспорт-2014»/ РГУПС. Ростов-на-Дону, 2014.

23. Смирнов В.А.. Повышение качества контроля тяговых электрических аппаратов электрического подвижного состава после ремонта / В.А. Смирнов, В.О. Мельк, С.Г. Сотников // Метрологическое и нормативное обеспечение качества и безопасности продукции: Материалы Всероссийской научно-технической конференции / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2014.

24. Смирнов В.А. Анализ эксплуатационной надежности и причин повреждаемости электрических аппаратов электровозов 2ЭС6, 2ЭС10 / В.А. Смирнов, С.Г. Сотников // Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов: Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2014.

25. Смирнов В.А. Современное состояние и перспективы развития средств механизации электромашинного производства/ В.А. Смирнов, К.В. Панов// Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов: Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2014.

26. Смирнов В.А. Автоматизированная система управления технологическим процессом на предприятиях по ремонту подвижного состава/ В.А. Смирнов, К.В. Панов// Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава: Материалы III Всероссийской научно-технической конференции с международным участием/ Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2015. – С. 192 – 196.

27. Смирнов В.А. Анализ эффективности функционирования технологических комплексов сервисного обслуживания локомотивов методами имитаци-

онного моделирования / В.А. Смирнов // Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов: материалы второй Международной научно-практической конференции. – М.: ООО «Локомотивные технологии», 2015. – С. 292 – 297.

28. Смирнов В.А. Сравнительный анализ современных форм организации локомотиворемонтного производства/ В.А. Смирнов, К.В. Панов // Вестник института тяги и подвижного состава. 2015. № 11. – С. 11 – 15.

29. Смирнов В.А. Дискретно-событийная модель железнодорожного узла в среде ANYLOGIC / В.А. Смирнов, А.А. Любченко, С.В. Бартош, Р.А. Castillo // Динамика систем, механизмов и машин. 2016. Т. 4. № 1. – С. 87 – 92.

30. Смирнов В.А. Автоматизированный комплекс дробеструйной очистки вагонов подвижного состава / В.А. Смирнов, К.В. Панов // Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава: материалы IV Всероссийской конференции с международным участием. Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2017. ч. 1. – С. 42 – 47.

31. Смирнов В.А. Роботизация технологических процессов ремонта: проблемы и варианты решения / В.А. Смирнов, К.В. Панов // Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов: материалы третьей международной научно-практической конференции. М.: ООО «ЛокоТех», 2018 г. – С. 365 – 370.

СМИРНОВ ВИКТОР АЛЕКСАНДРОВИЧ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ
РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

05.02.22 – Организация производства (транспорт)

Типография ОмГУПСа. 2020. Тираж 100 экз. Заказ 453.
644046, г. Омск, пр-т. Маркса, 35