

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Российский университет транспорта»
РУТ (МИИТ)

На правах рукописи



Смирнов Виктор Александрович

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ
РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Специальность 05.02.22 – Организация производства (транспорт)

Д и с с е р т а ц и я
на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант
доктор технических наук,
профессор
Воробьев А.А.

Москва – 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	7
1. Анализ современного состояния и основные тенденции развития технологических систем ремонтного производства и технического обслуживания подвижного состава	15
1.1. Современное представление теории организации промышленного производства	17
1.2. Состояние производственного комплекса предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава железных дорог	20
1.2.1. Система ремонта и технического обслуживания	20
1.2.2. Классификация технологических систем ремонтного производства и технического обслуживания подвижного состава	26
1.3. Научно-методическая база технологической подготовки и организации производства предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава.....	31
1.3.1. Выбор места размещения предприятия	31
1.3.2. Технологическое проектирование предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава	35
1.4. Качество ремонта и технического обслуживания подвижного состава	39
1.5. Технические средства и технологии ремонтного производства	47
1.6. Пути повышения эффективности производственных процессов предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава	53
1.7. Постановка задачи диссертационной работы	56
2. Теоретические основы и принципы повышения эффективности технологических систем ремонтного производства и технического обслуживания подвижного состава	60
2.1. Основные принципы системного подхода к решению задачи повышения эффективности технологических систем предприятий.....	60

2.2. Выбор критериев оценки эффективности технологических систем ремонтного производства и технического обслуживания подвижного состава	68
2.3. Классификация факторов среды функционирования предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава	76
2.4. Жизненный цикл технологической системы предприятия по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава	80
2.5. Выбор методов исследования технологических систем ремонтного производства и технического обслуживания подвижного состава	85
2.6. Модель многоуровневой оптимизации технологических систем ремонтного производства и технического обслуживания подвижного состава	98
2.7. Выводы по главе 2	108
3. Выбор оптимального места размещения и параметров функционирования предприятия по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава ..	112
3.1. Выбор оптимального места размещения, объема производства и структуры производственной мощности	112
3.1.1. Сравнительный анализ методов решения задачи оптимального размещения предприятия в условиях конкурентного рынка.....	113
3.1.2. Алгоритм выбора региона и места размещения предприятия.....	116
3.1.3. Выбор оптимального объема производства и структуры производственной мощности	120
3.2. Моделирование процессов функционирования устройств локомотивного и вагонного хозяйства в перевозочном процессе	133
3.2.1. Разработка метода системно-динамического моделирования и математической модели процессов функционирования предприятий по ремонту и ТО подвижного состава в условиях перевозочного процесса	133
3.2.2. Обработка результатов имитационного моделирования	144
3.3. Выводы по главе 3	148

4. Системотехнические принципы оптимизации проектных решений предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава ...	151
4.1. Концептуальная модель оптимального проектирования	152
4.2. Информационно-логическая модель оптимального проектирования	158
4.3. Теория и практика оптимизации частных проектных решений	165
4.3.1. Выбор формы организации ремонтного производства	165
4.3.2. Выбор технологического оборудования	172
4.3.3. Структурирование и конфигурирование технологической системы ..	175
4.3.4. Выбор оптимальной производительности и структуры транспортной системы.....	180
4.3.5. Повышение технологической гибкости ремонтного производства ..	185
4.4. Выбор проектных решений при многих критериях предпочтения	189
4.5. Выводы по главе 4	200
5. Имитационное моделирование производственных процессов ремонта и технического обслуживания подвижного состава	202
5.1. Принципы моделирования производственных процессов ремонта и технического обслуживания подвижного состава с использованием дискретных ориентированных паттерновых сетей	203
5.1.1. Общие положения дискретной теории паттернов	203
5.1.2. Анализ и синтез классов паттерновых модулей технологических процессов ремонта и технического обслуживания подвижного состава	206
5.1.3. Конфигурации паттерновых сетей при различных формах организации производства	210
5.1.3.1. Поточное производство	210
5.1.3.2. Постовое производство	215
5.1.3.3. Цеховое производство	216
5.1.4. Алгоритм создания имитационных моделей технологических систем предприятий по ремонту подвижного состава с использованием модульного принципа паттерновых сетей	217

5.2. Формализация модели	219
5.2.1. Представление объекта моделирования	219
5.2.2. Алгоритм моделирования	221
5.2.3. Информационная структура модели	225
5.3. Анализ и обработка данных вычислительного эксперимента	229
5.3.1. Общие положения	229
5.3.2. Расчет показателей проектируемой технологической системы предприятия по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава.....	233
5.3.3. Оценка качества проектных решений отдельных подсистем и элементов технологической системы	236
5.3.4. Выбор оптимальных параметров технологической системы действующего предприятия методами имитационного моделирования	240
5.4. Примеры имитационного моделирования технологических систем предприятий по ремонту подвижного состава с использованием модульного принципа паттерновых сетей	243
5.5. Выводы по главе 5	259
6. Оптимизация и оценка экономической эффективности проектов модернизации производства	262
6.1. Выбор оптимального плана технологической модернизации предприятия для заданных объемов финансирования проекта	263
6.1.1. Математическая модель объекта модернизации	263
6.1.2. Постановка оптимизационной задачи	268
6.1.3. Построение целевой функции для различных стратегий модернизации предприятия	272
6.1.3.1. Снижение себестоимости ремонта подвижного состава	272
6.1.3.2. Повышение качества ремонта	273
6.1.3.3. Повышение общего технического уровня производства	275
6.1.4. Примеры результатов вычислительного эксперимента	276

6.2. Оценка экономической эффективности проектов модернизации предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава	281
6.2.1. Основные положения и критерии оценки экономической эффективности инвестиционных проектов	281
6.2.2. Пример расчета экономической эффективности модернизации производственного комплекса группы ремонтных предприятий	285
6.2.2.1. Общая информация о проекте	285
6.2.2.2. Исходные данные и порядок расчета	286
6.2.2.3. Результаты расчета	289
6.3. Выводы по главе 6	293
Заключение и основные выводы	294
Библиографический список	300
Приложение А. Акты внедрения результатов диссертационной работы	330

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы. 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 технологической базы, обеспечивающей качественный технический сервис локомотивов и вагонов нового поколения, за счет создания новой и модернизации существующей технологической инфраструктуры, оптимизации параметров производственных процессов.

Актуальность задач модернизации предприятий железнодорожного транспорта отражена в Стратегии развития железнодорожного транспорта России до 2030 года, утвержденной распоряжением Правительства РФ от 17.06.2008 г. за №887-р, Стратегии инновационного развития ОАО «РЖД» на период до 2015 года (Белая книга ОАО «РЖД»), решениях Научно-технического совета и Совета главных инженеров ОАО «РЖД» и других организационно-распорядительных документах отрасли.

Проблемы надежности подвижного состава, безопасности движения, организации и технологической подготовки ремонта 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, эксплуатации, ремонта и ТО подвижного состава.

Наименее изученным, но не менее важным научным направлением, является повышение эффективности работы ремонтных предприятий за счет комплексной оптимизации технологических структур предприятия и процессов производства, как единой технологической системы.

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.

Диссертационная работа выполнена согласно планам фундаментальных, поисковых и прикладных научных исследований Омского государственного университета путей сообщения (№ г. р. 18601200106581). 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 ремонтного производства и технического обслуживания 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 обслуживанию 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».

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 и логики. Математическое моделирование производилось с использованием программного пакета MATLAB. При разработке 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).

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 отдельных 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.

Достоверность научных положений и результатов диссертационной работы подтверждена экспериментальными исследованиями и практической апробацией разработанных методов и технических средств. Достоверность также базируется на строго доказанных и корректно использованных положениях и постулатах теории сложных систем, имитационного моделирования, теории игр. Адекватность математических моделей подтверждена высокой степенью

согласования теоретических расчетов с экспериментальными данными и практическими результатами.

Практическая ценность и реализация 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 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.

9. 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 (акты внедрения, Приложение А).

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).

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в 58 печатных работах, в том числе 22 работ 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.

1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Подвижной состав наряду с транспортной инфраструктурой является важнейшим элементом перевозочного процесса, от эксплуатационных характеристик которого зависят результаты работы железнодорожного транспорта в целом. Задача ремонтных предприятий – обеспечение перевозочного процесса исправными единицами подвижного состава, соответствующими требованиям безопасности движения, сохранности грузов и пассажиров при оптимальном уровне экономических затрат, обеспечивающим необходимый технологический рост и рентабельность производства [25, 283].

При анализе производственно-хозяйственной деятельности предприятия принято выделять технологическую, энергетическую, организационную, кадровую и экономическую составляющие, взаимодействие которых в конечном итоге определяет результаты успешности деятельности организации.

Технологическая подсистема играет центральную системообразующую роль, определяя требования к остальным подсистемам, функции, сущность и основные параметры предприятия в целом.

Границы технологической системы, выделяющие ее в структуре системы организации (своего рода дистанцирующие ограничители), определяются ГОСТ 27.004-85 «Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения». В соответствии с этим документом понятие «Технологическая система» формулируется как совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения, предметов производства и исполнителей для выполнения в регламентированных условиях производства заданных технологических процессов или операций.

1.1. Современное представление теории организации промышленного производства

Идеи и концепции, образующие классическую теорию организации, разрабатывались многими учеными и практиками. К известным авторам, внесшим наибольший вклад в развитие классической теории, можно отнести: в области научного управления – Ф.В. Тейлора, Ф. Гилбрета, Л. Гилбрета, Г.Л. Гантта, Х. Манстерберга, Х. Эмерсона, Г. Л. Тауна, М.Л. Кука; собственно теории организации – Х. Файоля, Дж.Д. Лизнея, А.С. Рейли, Л. Урвика [242].

Прикладные аспекты теории организации активно начали разрабатываться с начала XX в. Так, в США инженерами школы научной организации и управления производством Фредерика Тейлора разработана система организации и нормирования труда, Лоуренсом Ганттом – методы организации планирования, Генри Форд и Олдс считаются основоположниками организации поточного производства. Эти исследования и разработки определили становление классического подхода к научной организации труда в различных отраслях промышленного производства, просуществовавшего до настоящего времени, в том числе при технологической подготовке производства отечественных предприятий транспортного машиностроения, депо и заводов по ремонту железнодорожного подвижного состава [4, 8, 25, 124].

Одновременно с американскими работами по прикладным вопросам теории организации в России в начале XX в. появилась книга А.А. Богданова «Тектология» (Всеобщая организационная наука) [16], в которой впервые сформулированы основы теории организации как науки, которая определяет «архитектуру системы» под воздействием целенаправленной деятельности человека. Эта работа явилась предшественницей возникновения «Общей теории систем» (Л. фон Берталанфи) [14], математической теории систем и кибернетики (Н. Винер, 1948), синергетики самоорганизующихся систем (Г. Хакен) [34, 35].

Под термином «система» (от др. греческого σύστημα - целое, составленное из частей, соединение) в диалектической философии понимается «нечто целое,

представляющее собой единство закономерно расположенных и находящихся в определенной связи частей». В Большой Советской энциклопедии приводится формулировка системы как множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определённую целостность, единство; в стандартах менеджмента качества ISO 9000 под термином система подразумевается совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов; по определению первооснователя общей теории систем Л. фон Берталанфи, система – это совокупность элементов, находящихся в определенных отношениях друг с другом и со средой [14]. В теории исследования операций С.Л. Оптнер (США) формулирует понятие системы как идущий процесс, набор имеющих данные свойства параметров, которыми являются вход, процесс, выход, управление через обратную связь и ограничение, и набор связей между параметрами и их свойствами.

Особенностями, отличающими систему от простой суммы связанных компонентов, являются: целостность – не сводимость свойств системы к сумме свойств составных ее элементов; структурность – возможность описание системы через установление ее структуры; иерархичность – каждая часть системы выступает как своего рода подсистема, обладающая своими качествами.

Система как целостность приобретает новые свойства, новые качественные характеристики, не содержащиеся в отдельности в образующих элементах – эффект эмерджентности. Данный факт обуславливает необходимость комплексного (системного) подхода к анализу процессов создания, адаптации и использования систем при котором не только рассматриваются свойства составных частей, но и результаты их взаимодействия, функционирования и развития как некоторого единого целого.

Общая теория систем как научное направление получила развитие в США с конца 50-х годов прошлого столетия. Одной из первых попыток изложения основ теории проектирования больших систем, называемой в США системной инженерией, а в отечественной науке системотехникой, являются работы Г. Гуда и Р. Макола в которых сформулированы основные вопросы системотехники и

изложены ее основные орудия [20]. Дальнейшее развитие системотехника получила в работах А. Холла, Г. Честната, А. Уилсона, М. Уилсона, М. Рабина.

Из обзора зарубежной литературы, посвященных вопросам системной инженерии, необходимо отметить ученых: А. Холла – автор ставит целью «... осознать системотехнику как процесс выбора систем ...», содержащую ее важнейшие принципы и рабочие материалы; Г. Честана, труды которого являются развитием работ [14] и содержат такие новые идеи как понятие внешней среды системы, состав показателей оценки системы и другие; П. Хилла и Д. Диксона, в работах которых подробно исследованы методология изобретательства, конструирования, принятия инженерных решений.

Непосредственно к системотехнике примыкает возникшая в США логико-аналитическая методология исследования сложных систем, разработанная корпорацией РЭНД как основа теории перспективного военного планирования, названная ее авторами анализом систем. Идеи, принципы и методы анализа систем обобщены в работах Э. Квейда [77]. Авторы методологии анализа систем рассматривают ее как необходимое развитие аппарата исследования операций при перенесении последнего на расширенные проблемы большой сложности, в частности на социально-экономические и производственные системы.

Современная методология теории организации основывается на общей теории систем, теории информации, нелинейной динамике с использованием инструментов системно-процессного анализа и управления. Системно-процессный анализ объединяет два самостоятельных понятия – «системный подход», основанный на представлении объекта как сложной системы, и «процессный подход», рассматривающий процессы управления как непрерывную серию управленческих функций, связующих их процессов коммуникации и принятия решений.

Среди наиболее значимых теоретических и практических разработок в данном направлении необходимо отметить концепцию всеобщего менеджмента на основе качества (TQM – Total Quality Management), разработанную в 80-е годы А. Фейгенбаумом, Э. Демингом, принципы которой послужили методической

основой стандартов управления качеством серии ISO 9000; производственную систему Toyota, в которой на практике были получены и апробированы основные принципы эффективной саморегулирующей организации (канбан, точно вовремя, вытягивание, автономизация, выравнивание) [92]; теорию бережливого производства (Д. Вумек, США, 1990-е) и теорию обслуживания оборудования с участием всего персонала (Н. Дэнсо, Япония); статистические методы управления качеством Motorola (критерий шесть сигм); систему сбалансированных показателей организации Р. Каплана, Д. Нортон (1992 г.) и другие, определяющие вектор научно-технического развития современного производства в самых различных отраслях промышленности, транспорта и сельского хозяйства.

Практическое применение системного подхода в организации и повышении эффективности производства предполагает: системный охват и рассмотрение объектов исследования с разных точек зрения; системное представление в виде единой модели; системную организацию принятия решений с учетом всего комплекса существенных факторов, имеющих отношение к объектам.

1.2. Состояние производственного комплекса предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава железных дорог

1.2.1. Система ремонта и технического обслуживания

Система ТО и ремонта устанавливает порядок проведения мероприятий по поддержанию подвижного состава в работоспособном и исправном состоянии, восстановлению ресурса отдельных узлов и деталей при использовании по назначению, ожидании, хранении и транспортировке, обеспечивающий возможность получения максимальных технико-экономических показателей его эксплуатационной работы. Т.е. определяет виды технического обслуживания и ремонта, их содержание и способ назначения.

Известные системы (стратегии) технического обслуживания и ремонта узлов и агрегатов подвижного состава можно представить в виде следующей классификации (рисунок 1.1) [25, 48, 274].

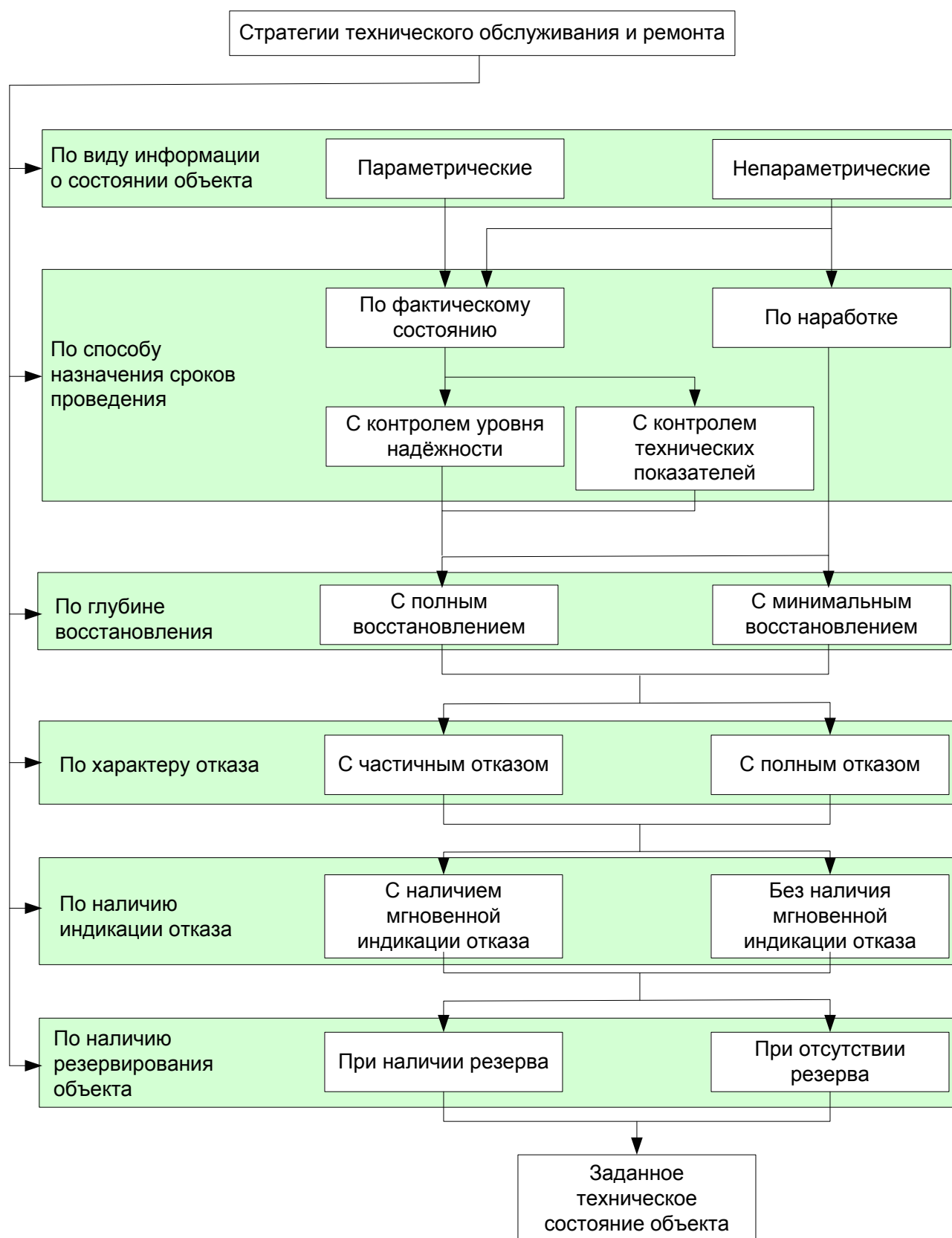


Рисунок 1.1 – Классификация стратегий технического обслуживания и ремонта подвижного состава (составлено автором)

По типу исходной информации стратегии можно разделить на непараметрические (информация об объекте в виде факта «отказал» или «не отказал») и параметрические (используется информация о параметрах и показателях объекта определяющих его работоспособность). По способам назначения сроков ремонта и ТО - на стратегии по наработке и по фактическому состоянию.

В случае непараметрических стратегий отсутствуют затраты на диагностирование и не требуется высокая квалификация персонала. Однако, т.к. фактическое состояние объекта неизвестно, для предотвращения отказа стремятся сократить срок проведения очередного технического обслуживания (ремонта), что приводит к недоиспользованию ресурса объекта.

Непараметрические стратегии обслуживания по состоянию позволяют полностью использовать ресурс узлов и деталей подвижного состава, но при этом допускаются отказы. В отличие первых, параметрические стратегии, позволяют наиболее полно использовать ресурс и предотвратить отказы.

Большое разнообразие возможных подходов к организации ремонта по состоянию можно объединить в две основные группы - с контролем уровня надежности и контролем параметров объектов эксплуатации. В первом случае техническое обслуживание и ремонт сводятся к управлению уровнем надежности определенной совокупности однотипных изделий, а во втором - к управлению техническим состоянием каждого конкретного изделия.

На железных дорогах России и большинства стран ближнего и дальнего зарубежья принята планово-предупредительная система ремонта подвижного состава по наработке, предусматривающая в себе несколько видов технического обслуживания и ремонтов. Объем и порядок выполнения обязательных работ при плановом техническом обслуживании и ремонте, браковочные признаки и допускаемые методы восстановления деталей и сборочных единиц определяются действующей эксплуатационной и ремонтной документацией.

Нормативы периодичности ремонта и ТО устанавливаются по единичному критерию выполненной работы или календарной продолжительности

эксплуатации (наработка) или по комбинированному критерию, учитывающему как фактически выполненный объем работ, так и календарную продолжительность эксплуатации.

Структура ремонтного цикла определяется порядком чередования видов технического обслуживания и ремонта, согласованных и утвержденных в установленном порядке. Система ТО и ремонта подвижного состава ОАО «РЖД» (за исключением специального) предусматривает [25, 86, 163, 293]:

- по локомотивам и электропоездам – проведение технических обслуживаний ТО-1, ТО-2, ТО-3, ТО-4, ТО-5; текущих ремонтов ТР-1, ТР-2, ТР-3; среднего ремонта СР и капитального ремонта КР;
- для грузовых вагонов – технического обслуживания ТО; текущих ремонтов ТР-1, ТР-2; деповского ДР и капитального ремонта КР;
- по пассажирским вагонам – технического обслуживания ТО-1, ТО-2, ТО-3; текущего ремонта ТР; деповского ДР, капитального КР-1 и КР-2 ремонтов.

Техническое обслуживание – комплекс мероприятий по поддержанию работоспособности и исправности подвижного состава [163, 293]. Периодические технические обслуживания ТО, ТО-1, ТО-2, ТО-3 проводят с целью предупреждения появления неисправностей подвижного состава в эксплуатации, поддержания его в работоспособном и надлежащем санитарно-гигиеническом состоянии, обеспечения пожарной безопасности и безаварийной работы, а также заданного уровня комфортности при использовании в пассажирских перевозках. Техническое обслуживание ТО-4 тягового подвижного состава предназначено для обточки бандажей колесных пар без выкатки их из-под локомотива или мотор-вагонного подвижного состава (МВПС) с целью поддержания оптимальной величины проката и толщины гребней.

Специальные виды технического обслуживания предусмотрены для подготовки подвижного состава к длительному хранению, подготовке к транспортированию в нерабочем состоянии или к эксплуатации после постройки, капитального ремонта или передислокации (ТО-5а, ТО-5б, ТО-5в тягового подвижного состава).

Ремонт – комплекс операций по восстановлению работоспособности, исправности и ресурса техники. Применительно к подвижному составу различают несколько видов ремонта, которые могут быть объединены в следующие группы.

Текущий ремонт (ТР) – ремонт, выполняемый для поддержания работоспособности подвижного состава, восстановления его основных эксплуатационных характеристик путем ревизии, регулировки, ремонта, замены или восстановления отдельных узлов и систем, а также частичной модернизации [163, 283]. Текущий ремонт может выполняться в плановом порядке по наработке подвижного состава или по фактическому состоянию в случае обнаружения при техническом обслуживании узлов и деталей, требующих ремонта.

Потребность в ремонте подвижного состава возникает при утрате им работоспособности или внешнего вида в результате повреждения или чрезмерного износа деталей, выходящего за пределы эксплуатационных допусков или близких к ним. При ремонте подвижной состав частично или полностью разбирают, снятое оборудование передают для разборки и последующего ремонта в специализированные мастерские и цехи.

В зависимости от степени восстановления ресурса различают средний и капитальный ремонт подвижного состава. *Средний ремонт* – ремонт, выполняемый для восстановления исправности и частичного восстановления ресурса составных частей ограниченной номенклатуры. *Капитальный ремонт* – ремонт, выполняемый для восстановления исправности, полного или близкого к полному восстановлению ресурса подвижного состава с заменой и восстановлением составных частей включая базовые (несущие конструкции кузова, рам тележек и т.д.).

Подготовка производства для проведения среднего и капитального ремонта требует значительных капиталовложений для приобретения технологического оборудования, строительства и обустройства производственной инфраструктуры, наличия высококвалифицированного рабочего и инженерно-технического персонала, отлаженной системы технологической документации. В связи с чем,

проведение данных видов ремонта возможно только на базе наиболее крупных ремонтных депо и на ремонтных заводах.

Текущий ремонт тягового подвижного состава, деповской (ДР) ремонт вагонов, капитальный ремонт являются плановыми, постановка на которые осуществляется в соответствии с требованиями нормативно-технической документации по наработке. Более высокая конструкционная надежность подвижного состава нового поколения позволяет говорить об устойчивой тенденции повышения норм межремонтных пробегов, которые по сравнению с показателями 60-х годов выросли в 1,5 – 2,5 раза.

В последние годы, в связи с острым дефицитом подвижного состава, получил распространение капитальный *ремонт с продлением срока полезного использования* (КРП), предусматривающий неразрушающий контроль технического состояния всех несущих элементов конструкции с восстановлением их назначенного ресурса, заменой или восстановлением любых составных частей, включая базовые и назначением нового срока службы.

В виду морального старения эксплуатируемого парка, зачастую КРП подвижного состава совмещают с глубокой модернизацией основных систем, что позволяет не только временно восполнить нехватку локомотивов и вагонов в связи с выбытием по сроку службы, но и улучшить их характеристики, за счет использования элементов, характерных для новых серий. Капитальный ремонт с продлением срока полезного использования является неплановым, осуществляется без предварительного назначения по техническим условиям, согласованным установленным порядком.

Современное научное видение организации ремонта и технического обслуживания подвижного состава основывается на сочетании системы планово-предупредительного ремонта и ремонта и обслуживания по техническому состоянию. В этом случае назначение срока технического обслуживания и ремонта производится по наработке подвижного состава, а объем ремонта определяется состоянием узлов и агрегатов, которое контролируется с помощью средств технического диагностирования [25, 134, 135].

Предпосылками для такого решения может служить повышение конструкционной надежности и контролепригодности оборудования подвижного состава, а также интенсивное внедрение встроенных средств контроля и диагностирования технического состояния соответствующих узлов в процессе эксплуатации. В перспективе, ремонт по техническому состоянию позволит не только снизить суммарную трудоемкость работ, но и уменьшить количество приработочных отказов после вмешательства в сборочные узлы при плановом демонтаже и ревизии оборудования [135, 218].

1.2.2. Классификация технологических систем ремонтного производства и технического обслуживания подвижного состава

Ремонт и ТО подвижного состава осуществляется в локомотивных и вагонных ремонтных депо, эксплуатационно-ремонтных пассажирских вагонных депо, на ремонтных заводах, эксплуатационных вагонных депо. На рисунке 1.2 показана классификация технологических систем предприятий по ремонту и ТО подвижного состава железнодорожного транспорта.

В основу классификации положены характерные признаки, влияющие на производительность и организационно-технологическую способность технологических систем, отражающие особенности ремонтного производства. Важнейшими из этих признаков являются: характер технологического процесса и вид продукции; формы организации производства; уровень механизации и автоматизации технологического процесса; степень непрерывности производственного процесса, стабильности и способа поддержания ритма; особенности межоперационного транспорта и типа технологического оборудования, структуры и конфигурации логистических связей.

Вагоноремонтный комплекс Российской Федерации включает в себя 124 вагонных ремонтных депо трех дочерних обществ ОАО «РЖД» и 27 частных вагоноремонтных предприятий, в составе которых действуют 25 вагонных колесных мастерских (ВКМ).



Рисунок 1.2 – Классификация технологических систем ремонтного производства и технического обслуживания подвижного состава (составлено автором)

Приведенная производственная мощность вагоноремонтного комплекса России составляет около 490 тысяч вагонов деповского ремонта в год [45].

С 2007 года реализуется Программа по комплексному техническому и технологическому перевооружению вагонных депо ОАО «РЖД». Модернизация осуществлялась в направлении превращения вагонных депо, пунктов подготовки вагонов к перевозкам и пунктов технического обслуживания в предприятия с поточно-конвейерными линиями и агрегатно-узловым методом ремонта. В настоящее время около 25% предприятий вагонного хозяйства заменили стационарную систему ремонта более прогрессивными поточными методами ремонта, при которых на 18-20 % сокращается простой вагонов в ремонте и повышается его качество [9].

Одновременно происходит процесс дальнейшей специализации депо на ремонте определенных типов вагонов и концентрация ремонтов на меньшем числе ремонтных предприятий. Часть вагонных депо была кооперирована между собой и специализирована на ремонте крупных узлов вагонов в целях расширения сферы применения агрегатно-узлового метода ремонта. Так средняя производственная мощность вагоноремонтных депо возросла с 2000 до 6000 деповских ремонтов в год, объем капитального ремонта увеличился до 1200 вагонов в год, колесных пар от 10000 до 25000 в год.

Текущий ремонт, техническое обслуживание и подготовка вагонов к перевозкам осуществляется вагонными эксплуатационными депо ОАО «РЖД», в состав которых входят: около 400 пунктов технической передачи вагонов, 190 постов опробования тормозов, 680 контрольных постов выявления неисправностей у вагонов на ходу поезда, 450 пунктов текущего ремонта, 360 пунктов технического обслуживания грузовых вагонов. Средняя протяженность гарантийного участка составляет 400 – 500 км. В собственности компаний операторов вагонного парка находится более 30 пунктов подготовки к наливу и промывочно-пропарочных станции цистерн.

Производительность эксплуатационных предприятий зависит от грузонапряженности участка железнодорожной сети и может изменяться в

широких пределах: от нескольких десятков вагонов при подготовке под погрузку до нескольких тысяч обработанных вагонов в сутки.

Техническое обслуживание, подготовка к перевозкам, текущий и деповской ремонт пассажирских вагонов производится на предприятиях ОАО «Федеральная пассажирская компания» - дочернего общества ОАО «РЖД». В состав производственного комплекса входят 36 вагонных участков и 38 пассажирских вагонных депо. Капитальный ремонт пассажирских вагонов осуществляют три ремонтных завода ОАО «РЖД», а также ряд сторонних предприятий, включая ОАО «Трансмашхолдинг».

Локомотиворемонтный комплекс включает в себя 111 сервисных локомотивных депо компаний «СТМ-Сервис» и «ТМХ-Сервис», 46 депо по ремонту и техническому обслуживанию мотор-вагонного подвижного состава, 10 заводов по капитальному ремонту локомотивов и производству запасных частей. Из общего количества локомотиворемонтных депо 55 относятся к категории основных (базовых), в которых концентрируется производство средних СР и текущих в объеме ТР-3 ремонтов локомотивов, в остальных предусматривается выполнение текущих ремонтов и ТО [45].

Современные способы организации ремонта подвижного состава по функциональному принципу и характеру привязки к объекту ремонта могут быть разделены на два класса – стационарные и нестационарные. В стационарных системах объект ремонта остается неподвижным, а выполнение заданной технологической последовательности операций производится путем перемещения в зону проведения работ необходимого оборудования и персонала. Для нестационарных систем напротив характерно перемещение объектов ремонта относительно технологических позиций. Классические формы организации производства включают в себя: постовое, цеховое, поточное производство и производство по предметно-замкнутому циклу.

Постовое производство представляет собой стационарную форму производства с привязкой ремонтируемого узла или детали к одному месту до окончания его ремонта, благодаря чему не происходит прерывание материального

потока. Движение материальных потоков ограничивается перемещением между складом материалов и комплектующих, рабочим и смежными участками. Принципы пространственного размещения рабочих мест регламентируются логистическими связями со складами и смежными участками, требованиями оснащённости технологических позиций с учетом зон безопасного производства работ, технического обслуживания оборудования, хранения узлов, деталей и комплектующих, транспортных проходов.

Постовой принцип организации производства получил широкое распространение для сборочных цехов локомотиворемонтных депо и заводов, ремонтных цехов и участков мелкосерийного и штучного производства для крупногабаритных объектов ремонта или объектов ремонта с незначительной номенклатурой технологических операций.

Цеховое производство ориентировано на технологию обработки, при этом рабочие места группируются и размещаются в пространстве вне зависимости от материального потока. Данный тип технологии характерен для заготовительного производства, где в составе цеха формируются участки, специализирующиеся на выполнении полного цикла технологических операций одного вида (например, токарные, фрезерные и т.д.), тем самым достигается гибкость технологической системы к меняющимся производственным задачам при широкой номенклатуре и относительно небольшом количестве объектов ремонта.

При крупных видах ремонта грузовых вагонов и локомотивов широкое распространение получили поточные методы с использованием механизированного технологического оборудования и средств доставки [5, 8, 9, 43, 124, 201].

Поточное производство предполагает привязку технологического цикла «к месту и времени». Это означает, что технологические позиции располагают в соответствии с последовательностью технологических операций, через которые проходит объект ремонта. Такое подчеркнуто привязанное к объекту ремонта построение технологического процесса предполагает наличие большого количества единиц идентичных или в значительной степени схожих объектов

ремонта, что возможно в условиях крупного ремонтного производства базовых депо и ремонтных заводов.

Практика проектирования последних лет показывает, что ни одной из приведенных форм организации ремонтного производства не может быть отдано однозначное предпочтение. Эффективным способом решения возникающих противоречий является создание так называемых интегрированных форм организации производства, сочетающими высокую производительность поточных линий с адаптивностью и технологичностью постового метода [17, 134]. Эффективное внедрение последних предполагает наличие соответствующей научно-методической базы организации и технологической подготовки производства, учитывающей особенности ремонтных предприятий.

Обобщая вышеизложенное, следует отметить, что производственный комплекс предприятий по ремонту и ТО подвижного состава характеризуется весьма сложной и динамически изменяющейся производственной структурой, объединяя в себя многообразные объекты, существенно отличающиеся как по масштабу, так и по принципам организации производства. Исследование вопросов повышения эффективности функционирования последних требует наличия универсальных аналитических и вычислительных методов, адекватно соответствующих современной финансово-хозяйственной и технологической структуре отрасли.

1.3. Научно-методическая база технологической подготовки и организации производства предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава

1.3.1. Выбор места размещения предприятия

В основе действующих инструктивных указаний (ТПЭ, норм проектирования и т.д.) и наиболее широко распространенных научных и инженерных методик планирования размещения предприятий по ремонту и ТО подвижного состава на сети железных дорог лежит функциональный подход.

Согласно ПТЭ размещение и техническое оснащение депо, пунктов технического обслуживания, мастерских, экипировочных устройств и других сооружений и устройств локомотивного и вагонного хозяйства должны обеспечивать установленные размеры движения поездов, эффективное использование локомотивов и материальных ресурсов, высококачественный ремонт и техническое обслуживание, безопасные условия труда [25].

Задача выбора рационального варианта специализации и размещения ремонтных депо и ПТО может быть сформулирована как задача минимизации приведенных расходов на поддержание исправного состояния подвижного состава при заданных параметрах системы ремонта. Для планово-предупредительной системы ремонта в качестве таких параметров рассматриваются: интервал наработки между плановыми видами ремонта, время и совокупные затраты на восстановление.

В условиях плановой экономики в качестве основных факторов, влияющих на структуру, размещение и производственные мощности ремонтных депо принимались особенности обеспечения предприятий объектами ремонта. В качестве критерия оптимальности развития, размещения и специализации ремонтной базы используется величина совокупных транспортных расходов при доставке вагона на станцию расположения ремонтного депо [21, 173, 174].

При отраслевой структуре локомотивного и вагонного хозяйства рациональный вариант специализации и размещения ремонтных депо производится по условию минимизации приведенных расходов на ремонт с учетом производственных и транспортных затрат [25, 86]:

$$E = \sum_{i=1}^r \sum_{a=1}^{m_i} \Pi_{ia}^B + \sum_{i=1}^r \sum_{a=1}^{m_i} \sum_{j=1}^n T_{iaj} x_{iaj} \rightarrow \min, \quad (1.1)$$

где a – номер депо ($a=1, 2, \dots, m$); j – номер станции на которой производится отбор объектов ремонта ($j=1, 2, \dots, n$); i – тип подвижного состава, ремонтируемого в депо ($i=1, 2, \dots, r$); m_i – количество депо, специализирующихся на ремонте i -го типа подвижного состава; n – количество станций, на которых производится отбор объектов ремонта; r – общее количество типов подвижного

состава; v – вариант производственной структуры ремонтного комплекса; Π_{ia}^B – производственные затраты в a -м депо при v -м варианте производственной структуры и специализации на ремонте i -го типа подвижного состава; T_{iaj} – транспортные расходы по доставке в a -е депо одной единицы подвижного состава i -го типа с j -й станции; x_{iaj} – количество единиц подвижного состава i -го типа, направляемых в a -е депо с j -й станции.

На решение задачи накладывается ряд ограничений.

- суммарная мощность ремонтной базы на сети железных дорог должна соответствовать потребности в ремонте подвижного состава каждого типа;
- мощность ремонтной базы на рассматриваемом полигоне должна приближаться к потребности в ремонте, рассчитываемой по инвентарному парку;
- среднесуточное наличие объектов ремонта равно или превосходит потребность в них.

Для грузовых вагонов, эксплуатируемых в составе единого парка, потребность в деповском и капитальном ремонте в рассматриваемом регионе (на рассматриваемой дороге) может быть удовлетворена в результате организации ремонта не всех, а только некоторых типов вагонов, но в увеличенном количестве при одновременном обеспечении ремонта других типов вагонов на смежных дорогах.

При оперативном планировании работы ремонтных депо задача оптимума транспортных связей решается обычно при заданных размерах и размещении ресурсов и потребностей. В качестве оптимального решения принимается то, которое обеспечит минимум транспортных расходов [21, 25, 86].

В условиях рыночной экономики при финансовом разделении функций ремонта и эксплуатации подвижного состава, для ремонтного комплекса первоочередной задачей становится оптимизация ремонтных мощностей с целью сокращения затрат на содержание инфраструктуры. При этом задача специализации существующих и размещения новых депо должна решаться с учетом рациональной реконструкции существующих депо по принципу

минимума приведенных затрат и оптимальной фактической загрузки производственных мощностей.

Непосредственно сам выбор места размещения предприятия, его специализации и производственной мощности производится в условиях *рыночной неопределенности*, обусловленной совокупностью факторов среды функционирования. Данные обстоятельства обуславливают необходимость изменения существующих классических подходов на основе экономико-математических методов с использованием инструментов теории игр и системного анализа [272, 294].

Проблемы технологического развития устройств локомотивного и вагонного хозяйства тесно взаимосвязаны с развитием железнодорожных станций, что требует их комплексного решения. Интенсификация использования подвижного состава и значительный рост объема переработки составов требует соответствующего развития самих станций и устройств локомотивного и вагонного хозяйства, а также их более эффективного взаимодействия [3, 8].

При развитии на станциях вагонного депо и увеличения его мощности без соответствующего наращивания емкости станционных путей для отстоя вагонов наблюдаются потери в перерабатывающей способности станции вследствие повторной сортировки вагонов, поступающих на плановый ремонт. Возрастают расходы на маневровую работу, увеличиваются задержки поездов по неприему и простой составов, поступающих в расформирование.

Принципы размещения устройств локомотивного и вагонного хозяйства сформулированы в основополагающем документе по проектированию железнодорожных линий ВСН 56-78 «Инструкция по проектированию станций и узлов на железных дорогах Союза ССР» [32].

Непрерывно возрастающие требования к эффективности использования подвижного состава и устройств технологической инфраструктуры перевозочного процесса, увеличение скоростей движения, пропускной и провозной способности железных дорог требуют создания современных методов исследования процессов функционирования предприятий локомотивного и вагонного хозяйства в единой

системе перевозочного процесса с использованием средств компьютерного моделирования.

1.3.2. Технологическое проектирование предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава

Единые требования при разработке технологических проектов производственного комплекса при новом строительстве, расширении и реконструкции депо для ремонта каждого из видов подвижного состава устанавливаются в соответствующих ведомственных нормах технологического проектирования (ВНТП) [28, 33].

Содержание норм технологического проектирования затрагивает следующие вопросы:

- штатная численность персонала;
- площади производственных и вспомогательных участков и цехов;
- рекомендуемые показатели производственного ритма и графика производственного процесса при поточном и стационарном методах ремонта;
- размеры основных сборочных цехов и путевое развитие.
- количество технологического оборудования и подъемно-транспортных средств для заданной производственной программы;
- расход топливных и энергетических ресурсов.

Дополнительно в ВНТП могут устанавливаться рекомендуемые методы ремонта, состав объектов производственной инфраструктуры, принципы выбора размещения предприятия, режимы работы основных и вспомогательных цехов, объемно-планировочные и конструктивные решения производственных зданий, путевое развитие, принципы размещения и компоновки основных и вспомогательных производственных цехов, основные требования к средствам автоматизации производственных процессов [28, 151, 152].

Типовые проектные методики основываются на значениях средней трудоемкости технологических операций, приводимых для некоторой базовой единицы подвижного состава (например, четырехосного крытого вагона). Для других серий расчет трудоемкости осуществляется путем умножения базовых

значений на поправочные коэффициенты, учитывающие изменение трудоемкости в зависимости от особенностей конструкции, эксплуатационных требований и других факторов. Подробное описание расчетных методик приведено в соответствующей научной, методической и справочной литературе [28, 33]. Остановимся отдельно на наиболее важных для работы моментах.

Оценка проектных решений производится по технико-экономическим показателям, в качестве которых наиболее часто используются: производительность труда, коэффициенты механизации и автоматизации производства, удельный вес рабочих ручного труда в основном и вспомогательном производстве, прибыль на единицу товарной продукции, фондоотдача, удельные капитальные вложения на единицу производственной мощности и ряд других [1, 2, 107, 152, 189, 244].

Исследование значимости и влияния факторов, определяющих производственную мощность предприятия может осуществляться на основе различных методических подходов. В наиболее простых случаях применяется метод прямых расчетов, который предполагает расчет непосредственного влияния изменения фактора, формирующего производственный потенциал, на количественные характеристики производственной мощности предприятия [2, 7, 17, 100, 107, 108].

В качестве примера можно привести уравнение производительности вагоноремонтного депо при поточном методе ремонта с гибким маневрированием, учитывающее показатели надежности технологического оборудования и прогрессивности организации производства [17, с. 6]:

$$N = \frac{k_r \cdot \Phi \cdot R \cdot e^{(-F\lambda\theta)}}{k_n \cdot T}, \quad (1.2)$$

где k_r – коэффициент гибкости технологической линии ($k_r \approx 1,1 \dots 2$); Φ – годовой фонд рабочего времени, ч; R – численность рабочих в смене, чел; F – время работы поточной линии, ч; λ – приведенная интенсивность отказов машин технологической линии, 1/ч; θ – приведенное число ремонтных позиций; k_n –

коэффициент прогрессивности и оснащенности ($k_n \approx 0,85 \dots 0,95$); T – трудоемкость ремонта одного вагона, чел·ч.

Метод предполагает наличие стабильных производственных условий и расчет по факторам, имеющим конкретные измерители и проявления в производственном потенциале. Факторы, не имеющие прямого количественного измерения, могут быть учтены экспертным методом.

Методы статистических исследований позволяют выявить определенные устойчивые закономерности и зависимости между значимостью факторов и значимостью показателей, оценивающих использование производственного потенциала. Для установления форм связей между производительностью и другими параметрами процессов и машин применяют многофакторные и однофакторные уравнения регрессии.

В общем случае зависимость производительности предприятия от технологических параметров может быть представлена в виде модели множественной регрессии:

$$N(x) = c_0 + c_1 \cdot x_1 + c_2 \cdot x_2 + \dots + c_m \cdot x_m + \varepsilon, \quad (1.3)$$

где $c_0, \dots, c_n$ – коэффициенты регрессии; $x_1, \dots, x_n$ – параметры технологической системы, например: уровень механизации и автоматизации производства, штатная численность работников, число параллельных технологических позиций стойловой части, средняя трудоемкость ремонта и другие; ε – ошибка регрессии.

Оценка коэффициентов регрессии может быть найдена одним из классических известных способов, например методом наименьших квадратов из системы нормальных уравнений. Проблемой использования статистических методов является отсутствие достоверных статистических данных для новых, а следовательно и наиболее прогрессивных технологических решений.

Средства математического моделирования технологических процессов ремонта подвижного состава на практике не получили широкого распространения в виду отсутствия научно-методической базы создания моделей, учитывающих технологические особенности ремонтного производства и специфику решаемых проектных задач.

В известных задачах имитационного моделирования ремонтное производство представляется в виде системы массового обслуживания (СМО) многоразового использования, выполняющей набор однотипных процедур. Каждая СМО состоит из определенного набора технологических устройств (позиций) образующих один или несколько каналов обслуживания [69, 72, 73].

Поступление заявок в СМО происходит случайным образом, при этом образуется случайный поток заявок с дискретным временем $\{X_n\}, n > 0$,

$$P(X_{n+1} = i_{n+1} | X_n = i_n, X_{n-1} = i_{n-1}, \dots, X_0 = i_0) = P(X_{n+1} = i_{n+1} | X_n = i_n) \quad (1.4)$$

где $\{X_n\}$ – область значений случайных величин (пространство состояний цепи); n – номер шага.

Время обслуживания заявок также представляется случайной величиной. Вероятностный характер потока заявок и времени обслуживания приводит к неравномерной загрузке СМО в течение рабочего времени.

При невозможности своевременного обслуживания заявок, например из-за их большого количества, возникают очереди:

$$P_{\text{отк}} = P_n = \frac{\frac{\rho^n}{n!}}{\sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!}} = \rho^n \frac{P_0}{n!} \quad (1.5)$$

В периоды спада производственной загрузки СМО простаивает:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!}}, \quad (1.6)$$

где P_0, P_n – вероятности отказа и вероятность простоя технологической линии; $\rho = \lambda/\mu$ – загрузка системы, отношение интенсивности входящего потока λ к исходящему μ ; k – количество занятых аппаратов.

Имитационная модель технологической системы связывает параметры элементов СМО с показателями ее эффективности СМО по обработке потока заявок.

Обобщая вышеизложенное можно констатировать, что использование традиционных аналитических и статистических методик моделирования технологических процессов ремонта и ТО сводится к решению задач нахождения приближенных значений основных макропараметров (производственная мощность, производительность, время технологического цикла ремонта) [198].

Результаты имитационного моделирования с использованием известных подходов также не дают достаточно четкого представления о свойствах и параметрах проектируемой системы в виду ее существенного упрощения. Проблемой использования регрессионных моделей является отсутствие достаточного объема достоверных статистических данных.

Не решенной остается задача по оценке параметров работы технологической системы в граничных условиях с точки зрения его устойчивого функционирования (пиковые загрузки, выведение в ремонт части технологического оборудования, динамические изменения программы ремонта).

1.4. Качество ремонта и технического обслуживания подвижного состава

Главным назначением объектов производственного комплекса локомотивного и вагонного хозяйства является выполнение двух взаимосвязанных функций:

- 1) ТО и подготовка к перевозкам эксплуатируемого парка;
- 2) проведение планового и внепланового ремонта подвижного состава.

Качество технического обслуживания подвижного состава в ОАО «РЖД» оценивается по трем группам стандартных показателей: количество крушений и аварий, особых случаев брака и случаев брака в работе. Оценка эффективности выполнения второй функции производится по статистическим показателям безотказности подвижного состава в межремонтный период: вероятности безотказной работы, средней наработки на отказ и параметру потока отказов [6, 25].

А. *Вероятность безотказной работы* – вероятность того, что наработка до отказа τ оборудования окажется не меньше заданной t :

$$P(t) = P\{\tau \geq t\}. \quad (1.7)$$

На практике оценивается показатель безотказной работы:

$$K^E(m) = \left(1 - \frac{n(t)}{N}\right) \cdot 100\% \quad (1.8)$$

где N - число единиц подвижного состава работоспособных (выпущенных из плановых видов ремонта или изготовленных) в начальный момент времени m ; $n(t)$ - число единиц подвижного состава, отказавших на отрезке от m до t ; t - заданное время эксплуатации или суммарная наработка (пробег).

В. *Средняя наработка на отказ* – отношение наработки восстанавливаемого оборудования к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки или, иначе, математическое ожидание случайной величины наработки на отказ:

$$T_o(t) = M(\tau) = \int_0^{\infty} f(t) dt, \quad (1.14)$$

где $f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$ – функция плотности распределения наработки на отказ.

При неизвестной функции распределения показатель средней наработки на отказ может быть найден по формуле:

$$T^E(m) = \frac{t_{np}}{r(t_{np})}, \quad (1.9)$$

где t_{np} - суммарная наработка вагона, тыс. км; $r(t_{np})$ - число отказов на отрезке от m до t , произошедших за суммарную наработку единицы подвижного состава.

В. *Параметр потока отказов*

Характеризует скорость нарастания числа отказов $H(t)$ при различных значениях наработки t :

$$\omega(t) = \frac{dH(t)}{dt}. \quad (1.10)$$

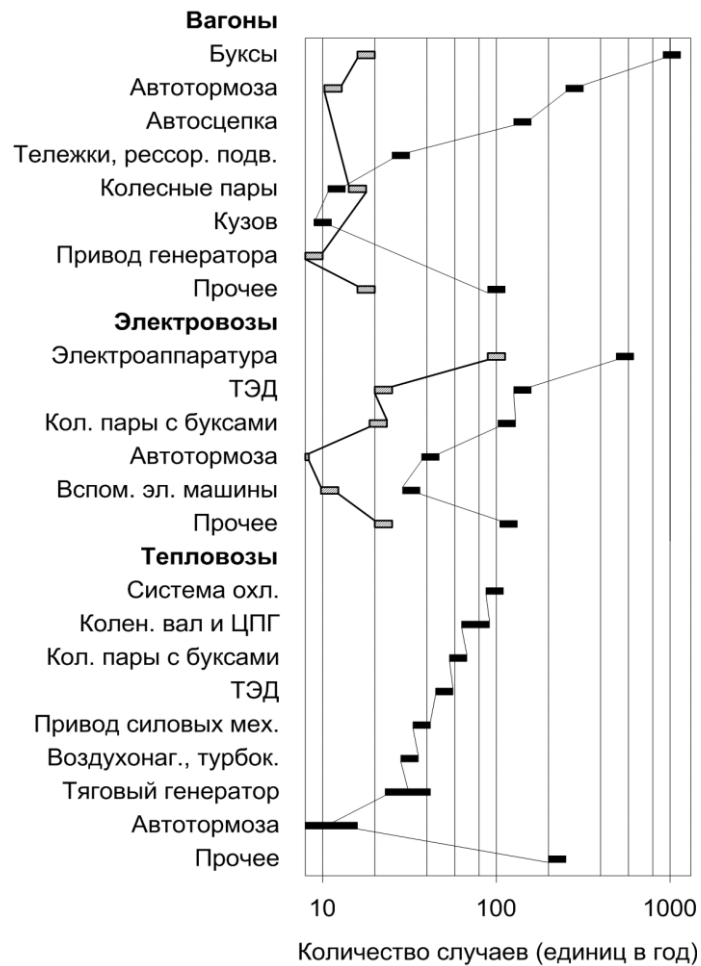
В вагонном хозяйстве этот показатель известен как "коэффициент качества", который рассчитывается как отношение количества отказавших вагонов в гарантийный период после ремонта к общему количеству отремонтированных.

На сети железных дорог РФ ежегодно происходит более 5,5 тысяч случаев нарушения безопасности движения – браков в работе по вине отказов подвижного состава (рисунок 1.3). Из них около 700 случаев – браки особого учета, связанные с авариями, сходами и крушениями [6].

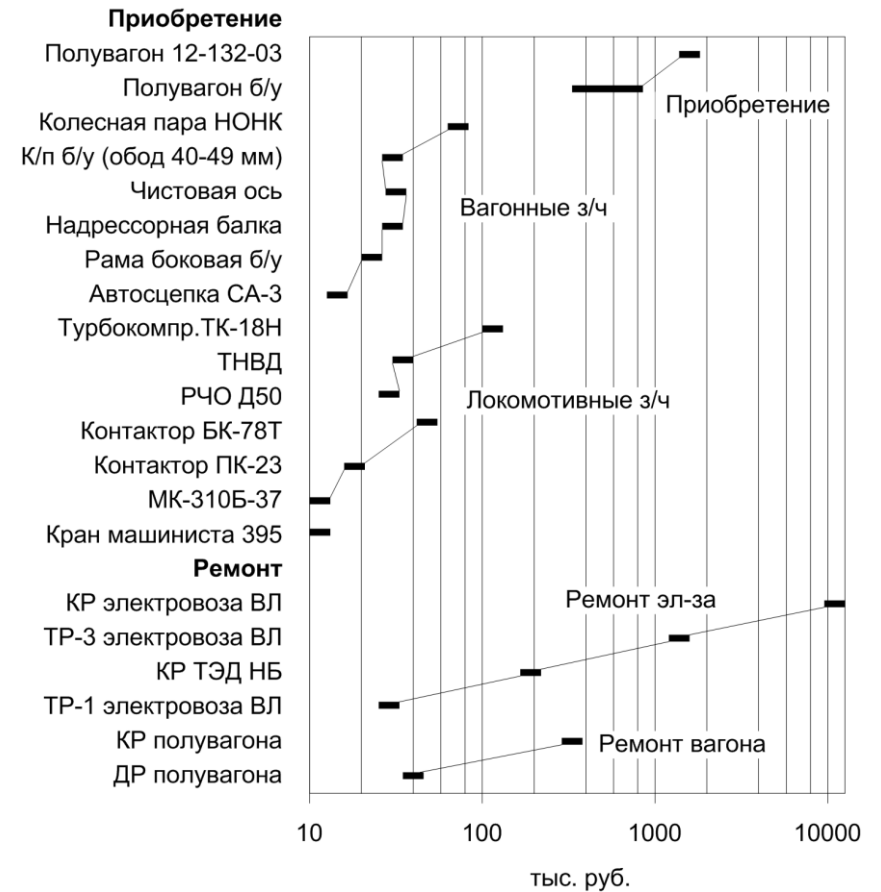
На долю неудовлетворительного технического состояния грузовых вагонов приходится около 35 %, локомотивов – до 30 %, на пассажирские вагоны и электропоезда – менее 0,5 % случаев. Ежегодно для устранения последствий отказов оборудования проводится более 14 тыс. внеплановых ремонтов локомотивов и более 2,5 млн. отцепок в текущий ремонт грузовых вагонов.

Наиболее тяжелые последствия имеют неисправности механического оборудования, по причине которых происходит до 80 % сходов в поездах по вине вагонов и около 50 % сходов по вине локомотивов (усталостные трещины колесных пар, рам тележек, редукторов тяговой передачи, приводящие к их излому; дефекты подшипников буксового узла; отдельные случаи нарушения крепежа и падения на путь автосцепок, люков, кожухов зубчатой передачи и неисправностей экипажной части) [55].

За 2013 год на сети железных дорог зафиксировано около 1,9 тыс. случаев брака в вагонном хозяйстве, из которых более 70% составляют отцепки по техническим неисправностям вагонов (преимущественно по неисправностям буксового узла), 8% приходится на саморасцепы и обрывы автосцепного устройства. По статистике каждый вагон в среднем поступает на внеплановый ремонт 1,5 раза в год. Данный факт свидетельствует о недостаточном качестве плановых видов ремонта в целом по эксплуатируемому парку вагонов РФ. По отдельным категориям вагонов данный показатель составляет более 2 (например, для полувагонов – 2,125).



а)

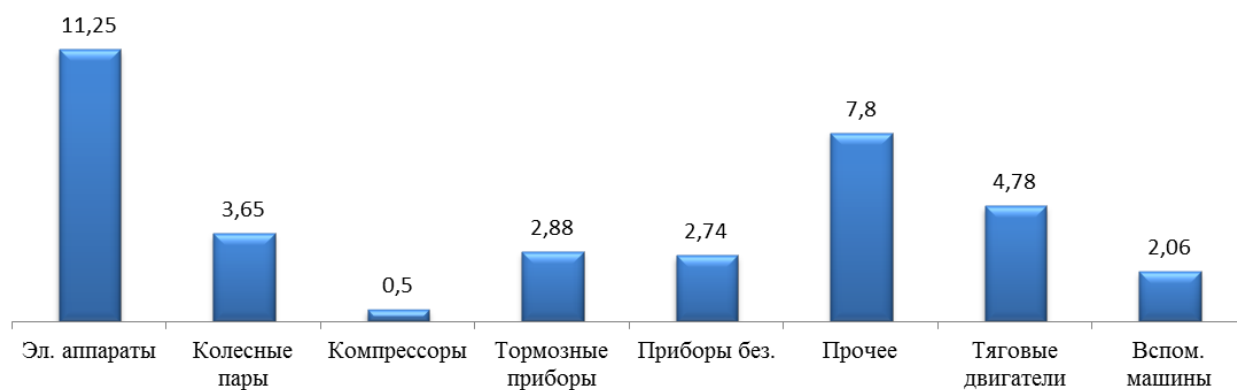


б)

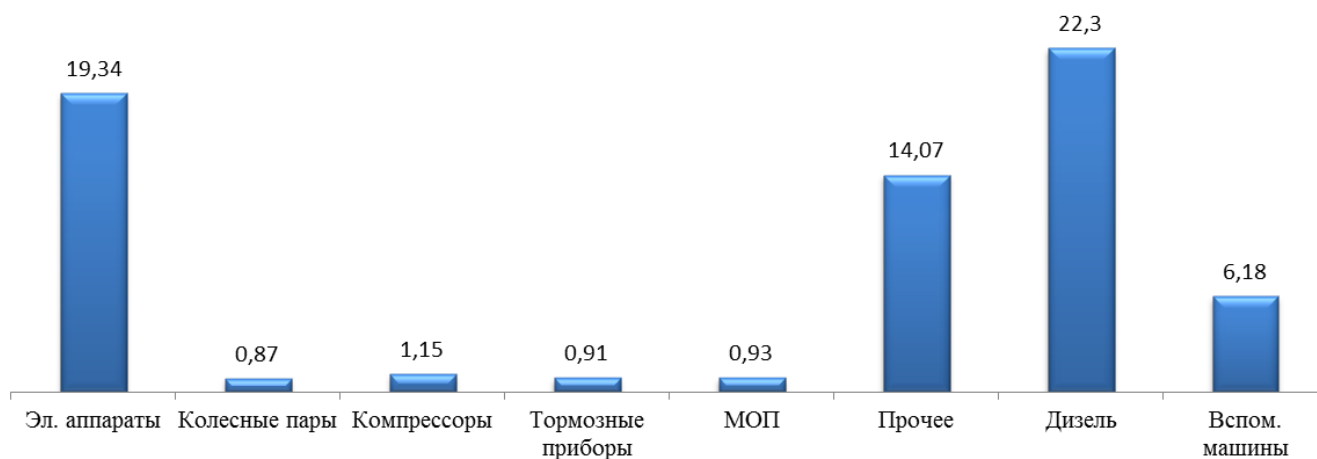
Рисунок 1.3 – Повреждаемость подвижного состава в эксплуатации
(составлено автором)

Среднесетевой коэффициент качества ремонта грузовых вагонов в России в 2011 - 2015 г.г. составил 0,17. Это значит, что из 100 вагонов выпущенных из ремонта 17 не выдерживают гарантийного послеремонтного срока. В частных вагоноремонтных депо и на вагоноремонтных заводах данный показатель еще выше и может доходить до 0,7 [161, 164].

Основная доля отказов *электроподвижного состава* связана с неисправностями электрических машин и аппаратов – более 75 % всех случаев; автотормозного оборудования – около 4 %; колесных пар и буксовых узлов – от 8 до 10 % (рисунок 1.4а) [201, 221, 227].



а)



б)

Рисунок 1.4 – Браки и отказы магистральных локомотивов на линии по техническим неисправностям, на млн. км пробега: а) электровозов; б) тепловозов (составлено автором)

Наибольший вес по тепловозному парку имеют неисправности дизеля, составляющие 40 всех случаев браков и отказов тепловозов на линии (рисунок 1.4б) [6, 118]. Основную долю отказов дизеля формируют: дефекты деталей кривошипно-шатунного механизма и цилиндропоршневой группы, неисправности топливной аппаратуры, турбокомпрессора и повреждения системы охлаждения. На втором месте после дизеля электрические аппараты, отказы которых составляют около 25% от общего количества.

По техническим неисправностям *пассажирских вагонов* за аналогичный период зарегистрировано 134 случая брака в работе, что составляет 3,3 случая на 100 млн. вагоно-км. Наибольшую долю отказов формируют неисправности роликовых букс - 25 %; тормозного оборудования - 21 %; колесных пар - 20 %; привода генератора - 14 %.

Все случаи брака по техническим неисправностям грузовых и пассажирских вагонов, а также более половины случаев отказов тягового подвижного состава произошли по причине низкого качества ремонта, что свидетельствует в первую очередь о недостаточной эффективности системы контроля качества ответственных узлов и деталей подвижного состава при выпуске из ремонта.

Среди наиболее значимых объектов совершенствования технологий контроля и диагностирования следует отметить: высоконагруженные детали механической части (колесные пары, рамы тележек, элементы рессорного подвешивания, автосцепное устройство); тяговые электрические машины и аппараты; тормозные приборы; дизель-генераторные установки. Как показывает современная отечественная и зарубежная практика, ключевым элементом технологического прорыва в данном направлении является широкая автоматизация контрольно-испытательных операций с использованием средств микропроцессорной техники и электронных баз данных [115, 116, 117, 213, 214].

Своевременность проведения ремонта и ТО подвижного состава оценивается по коэффициенту соблюдения нормативов продолжительности ремонтов и технического обслуживания [51]:

$$K_{\text{рем}}^{\text{норм}} = \frac{T_{\text{пл.рем}}^{\text{факт}} + T_{\text{н/пл.рем}}^{\text{факт}}}{T_{\text{пл.рем}}^{\text{норм}}}, \quad (1.11)$$

где $T_{\text{пл.рем}}^{\text{факт}}$ - время нахождения подвижного состава на плановых видах ремонта и технического обслуживания, кроме ТО-2, ед.- сутки;

$T_{\text{н/пл.рем}}^{\text{факт}}$ - время нахождения подвижного состава на неплановых видах ремонта, ед.- сутки.

Под нормативной продолжительностью технического обслуживания или ремонта подвижного состава понимается регламентированное время проведения всех предусмотренных плановых видов технического обслуживания и ремонта, исключая возможные логистические, административные, технические и технологические задержки.

Под логистическими задержками подразумевается увеличение времени нахождения подвижного состава на плановых видах ремонта и ТО вследствие необеспеченности ресурсами. Расчет технической задержки предполагает оценку времени выполнения вспомогательных технических действий, связанных с соответствующим заданием технического обслуживания или ремонта единицы подвижного состава. К технологическим задержкам относятся задержки, связанные с постановкой железнодорожного подвижного состава в место проведения технического обслуживания или ремонта, за исключением административной, логистической и технической задержки.

Нормы простоя на плановых видах ремонта устанавливаются распоряжениями и приказами ОАО «РЖД» для конкретных серий подвижного состава с учетом эксплуатационных условий.

По данным статистической отчетности ОАО «РЖД» выполнение норм простоя на ремонте и ТО подвижного состава является одним из наиболее сложных вопросов, решение которого в первую очередь должно базироваться на снижении всех видов потерь, приводящих к логистическим, техническим и технологическим задержкам. Так в результате реконструкции и внедрения современного (в том числе инновационного) оборудования в Ремонтном

локомотивном депо Волховстрой производительность труда за 2005 год выросла на 44 процента. При этом фактическое время простоя электровозов в ремонте так и не достигло установленных норм. В частности, простой электровозов ВЛ10 на среднем ремонте при плане шесть суток составил 6,7, а ВЛ10у – 12,7. Простой ВЛ10 на текущем ремонте специального регламента вместо положенных 96 часов – 175, ВЛ10у вместо 116 – 216.

Плановое расчетное время деповского ремонта четырехосного вагона согласно ранее действующих норм МПС России составляло около 40 ч (1.7 суток) [86], в том числе: в ожидании подачи в депо – 11 ч.; непосредственно в ремонте – 8 ч.; выпуска из ремонта и отправки – 21 ч. Фактическое время простоя может существенно отличаться от планового. Так по данным открытых интернет источников среднее время простоя вагона на ремонте составляет 2,2 – 3,5 суток, а на отдельных предприятиях может достигать 15 суток.

В международной практике в качестве одного из основных критериев, характеризующих эффективность системы ремонта и ТО, рассматривается готовность подвижного состава к эксплуатации. Оценка готовности производится по трем коэффициентам: внутренней, технической и оперативной готовности.

Коэффициент внутренней готовности выражает вероятность того, что в любой период установленной наработки подвижной состав будет в состоянии работоспособности. Величина коэффициента готовности определяется как:

$$K_{\text{вг}} = \frac{T_{\text{он}}}{T_{\text{он}} + T_{\text{в}}}, \quad (1.12)$$

где $T_{\text{он}}$ – наработка на отказ; $T_{\text{в}}$ – время восстановления.

Коэффициент технической готовности, характеризует те же свойства, что и коэффициент внутренней готовности, но учитывает дополнительно предупредительные ремонты и ТО:

$$K_{\text{тг}} = \frac{T_{\text{он}}}{T_{\text{он}} + T_{\text{в}} + T_{\text{п}}}, \quad (1.13)$$

где $T_{\text{п}}$ – время производства профилактических работ при ремонте и ТО.

Коэффициент оперативной готовности $K_{ог}$ – это вероятность того, что единица подвижного состава будет работоспособна в произвольный момент времени t и безотказно проработает заданное время τ :

$$K_{ог}(t, \tau) = K_{тр}(t) \cdot P(\tau). \quad (1.14)$$

При расчете коэффициентов технической и оперативной готовности учитываются административные, логистические и технологические задержки.

Для локомотивов в мировой практике нормальными считаются значения коэффициента технической готовности $0,9 \div 0,95$. Уменьшение данного показателя ниже $0,7$ свидетельствует о серьезных проблемах в организации ремонта и обслуживания подвижного состава.

Численные значения коэффициентов готовности подвижного состава непосредственно зависят от качества, своевременности и продолжительности его ремонта. Последние в свою очередь определяются эффективностью функционирования объектов производственного комплекса ремонтных предприятий.

Так в результате перехода на фирменное сервисное обслуживание электровазозов ВЛ85 на Восточно-Сибирской железной дороге за счет снижения логистических и технологических потерь времени на плановых видах ремонта удалось добиться повышения коэффициента технической готовности локомотивов этой серии с $0,905$ до $0,964$ (рост на $6,5\%$) [31].

1.5. Технические средства и технологии ремонтного производства

Для существующего состояния ремонтного комплекса характерна узкая специализация предприятий по сериям и видам ремонта подвижного состава, с концентрацией наиболее трудоемких видов ремонта в так называемых базовых ремонтных депо. Данное обстоятельство создает предпосылки механизации производственных процессов с использованием индустриальных методов ремонта [222].

Средства механизации служат материальной базой изменения характера труда и содержания ремонтного производства, обеспечивают высвобождение исполнителей, оказывают существенное влияние на коэффициент технической готовности подвижного состава, качество и себестоимость ремонта.

Отличительной особенностью средств технологического оснащения предприятий по ремонту и ТО подвижного состава является их нестандартность, обусловленная специфичностью объектов ремонта и самих технологических операций. Специфическими для крупных видов ремонта подвижного состава являются технологии очистки, разборки и сборки узлов и агрегатов, восстановления ресурса изношенных деталей, неразрушающего контроля, диагностирования и испытаний оборудования.

Для технического обслуживания и текущего ремонта – методы осмотра, контроля, ревизии, восстановительных работ, связанных с регулировкой, слесарной обработкой, заменой изнашивающихся деталей, подтяжка креплений, добавление или замена смазки в узлах трения, обточка колесных пар, экипировка водой, топливом, песком, устранение повреждений несущих металлоконструкций сваркой и наплавкой [157, 179].

На рисунке 1.6 приведена классификация механизированного технологического оборудования, применяемого при ремонте подвижного состава.

В условиях крупных специализированных ремонтных предприятий отдельные машины и механизмы образуют организованный взаимосвязанный процесс, объединяясь в поточные линии при помощи механизированных транспортных устройств. На ремонтных заводах, крупных локомотивных и вагонных ремонтных депо получили широкое распространение поточные механизированные линии очистки, разборки, ремонта кузова и сборки подвижного состава, ремонта тележек, колесных пар, автосцепок, деталей тормозной рычажной передачи, тяговых электрических двигателей и вспомогательных электрических машин, роликовых подшипников и другие.



Рисунок 1.6 – Классификация механизированного технологического оборудования для ремонта подвижного состава (составлено автором)

Отдельные механизированные поточные линии могут объединяться в единый общезаводской комплексно-механизированный комплекс. В этом случае один из элементов технологической системы, как правило, наиболее функционально-сложный и важный, например, сборочный цех, является базовым (системообразующим) и определяет единый темп работы всех технологических звеньев и общий период времени нахождения в ремонте подвижного состава. Синхронизация работы отдельных участков и линий производится по производственному ритму и фазам производства [85, 108, 128].

Отрицательным фактором классических поточных форм организации производства является их низкая адаптивность к изменению структуры производственной программы и конструкции объектов ремонта. Эффективность поточных линий и комплексных механизированных участков зависит от

программы ремонта и степени загрузки технологического оборудования, что с учетом конструктивных особенностей локомотивов и вагонов различных серий требует достаточно жесткой специализации предприятия, а также соблюдения условий ритмичности производственной загрузки и технологического такта.

Для предприятий с незначительной производственной программой и широкой номенклатурой объектов ремонта характерно использование постового метода ремонта в сочетании с применением механизированного инструмента, универсальной оснастки и приспособлений, средств малой механизации широкого спектра применения, не требующих значительных инвестиционных затрат.

Доля энергетических затрат в себестоимости в зависимости от вида ремонта, ТО и серии подвижного состава оценивается в размере 2 – 10% от совокупных затрат. В качестве первичных энергоносителей используются электрическая энергия, твердое, жидкое и дизельное топливо. В качестве вторичных – сжатый воздух, горячая вода и перегретый пар. Снижение технологической энергоемкости сводится к решению задач использования энергосберегающего технологического оборудования, повышения качества технологических операций, оптимального конфигурирования производственных участков и цехов, выбору рациональных планировок оборудования, способов и средств доставки [209, 234].

Операции контроля занимают порядка 7 - 10% суммарных трудозатрат при ремонте локомотивов и до 15 % трудозатрат при ремонте грузовых и пассажирских вагонов [129]. Оценка технического состояния подвижного состава при ТО и текущем ремонте осуществляется преимущественно органолептическими методами – визуальным, кинестетическим и акустическим методом свободных колебаний, что обуславливает высокую степень влияния человеческого фактора на результаты контроля технического состояния подвижного состава в целом [126, 214].

При техническом обслуживании контроль осуществляется ограниченно, в пределах доступа человека к открытым частям оборудования с целью выявления опасных дефектов в виде усталостных трещин, изломов, выработки и разрушения

деталей, а также следов нарушения правильности функционирования и повреждения оборудования в эксплуатации. Сама технология проведения контроля органолептическими методами не регламентирована. Приборный контроль осуществляется с использованием простейших средств измерения и допускового контроля.

Основной объем неразрушающего контроля (НК) ответственных узлов и деталей приходится на контроль при ремонте подвижного состава. Ежегодно около 4,5 тысяч дефектоскопистов с использованием ~ 8000 средств контроля подвергают контролю около 100 млн деталей; при этом бракуется ~1,75 млн деталей (1,8%). Неразрушающему контролю подвергается около 20 типов ответственных деталей грузовых вагонов и более 90 типов деталей локомотивов с использованием магнитопорошкового, магнитоферрозондового, вихретокового, ультразвукового, капиллярного методов и метода акустической эмиссии [126].

При этом до 80 % от общего объема НК отводится методам выявления поверхностных дефектов (МПК, ВТК, МФК, капиллярный, визуальный). Выявление внутренних дефектов осуществляется ультразвуковым методом. Применение капиллярного метода ограничивается рамами тележек локомотивов.

Анализ современного состояния системы контроля и диагностирования ответственных узлов и деталей подвижного состава показывает, что номенклатура эксплуатируемых средств контроля подвижного состава составляет более 200 наименований, в одновременном использовании находятся приборы различных поколений, выпуска разных производителей, но аналогичные по набору выявляемых дефектов и функциональным возможностям.

Абсолютное большинство эксплуатируемых приборов относится к категории «ручного контроля», использование автоматизированных комплексов носит опытный или локальный характер. Большая часть приборов неразрушающего контроля (до 40 %) по отзывам эксплуатирующих организаций не удовлетворяет существующим потребностям, требует в той или иной степени доработки и модернизации.

Последнее поколение приборов ультразвукового, вихретокового и феррозондового контроля, как правило, имеют возможность электронной паспортизации данных результатов контроля, развитую систему программных настроек и пользовательских меню, что положительно сказывается на надежности неразрушающего контроля, однако не исключает человеческий фактор в полной мере. Исключение составляют автоматизированные комплексы ультразвуковой и магнитопорошковой дефектоскопии колесных пар, вихретокового роликовых подшипников, акустико-эмиссионного контроля рам тележек грузовых вагонов.

Требования к качеству деталей, заложенные в нормативную документацию, не обосновывают и не определяют минимальные размеры дефектов различного типа, подлежащих выявлению и устранению, что сдерживает процесс объективизации и автоматизации процессов неразрушающего контроля и предопределяет перебраковку деталей. Прогнозирование остаточного ресурса деталей по данным контроля и диагностирования не производится.

Анализ передового зарубежного опыта, результаты реализованных за последние годы в России и странах СНГ проектов модернизации и реконструкции локомотиворемонтных и вагоноремонтных предприятий позволяют выявить следующие тенденции развития средств технологического оснащения [222, 228]:

- изменение курса с комплексной механизации производства на основе высокопроизводительных жестких поточных линий на создание гибких технологических систем, адаптируемых к изменению внешних условий;
- повышение эффективности работы ремонтных предприятий путем сокращения логистических, технических и технологических потерь за счет оптимизации структурных параметров отдельных подсистем и процессов их функционального взаимодействия;
- снижение удельной энергоемкости технологических процессов ремонта и ТО подвижного состава;
- повышение качества ремонта за счет создания многоуровневых интеллектуальных систем контроля и диагностирования.

Модернизация производства затрагивает не только технологическое оборудование, но и сопутствующие процессы: систему качества, энергоснабжение, инженерные сети и сооружения, вопросы безопасности и охраны труда, производственной санитарии и экологии, что связано с существенными финансовыми затратами. Так средние затраты на реконструкцию крупного ремонтного предприятия составляют от 250 млн. руб. в вагонном хозяйстве и до 1,2 млрд. руб. в локомотивном. Рост проектной мощности на каждую 1000 вагонов обходится в среднем около 60 – 70 млн. рублей без учета затрат на проектно-изыскательские работы [160, 161]. Данное обстоятельство обуславливает необходимость создания научно-обоснованных методов предварительного отбора возможных вариантов проектов модернизации, обеспечивающих максимальную полезность вложенных средств в зависимости от доступных объемов финансирования и целей модернизации.

1.6. Пути повышения эффективности производственных процессов предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава

Вопросы надежности подвижного состава, технологий ремонта и организации ремонтного производства, как взаимосвязанные научные дисциплины получили развитие благодаря работам многих отечественных ученых, среди которых можно отметить: А.А. Александрова, С.А. Алехина, П.С. Анисимова, Ю.С. Бараша, М.М. Болотина, В.П. Бугаева, А.А. Воробьева, И.И. Галиева, В.С. Герасимова, А.В. Горского, Д.Г. Евсеева, В.А. Ежикова, В.А. Ильина, А.В. Кирилюка, В.И. Киселева, И.Д. Козубенко, В.В. Коломийченко, В.Н. Котуранова, Н.З. Криворучко, В.Ф. Лапшина, Ю.А. Лебедева, И.В. Лакина, В.В. Лукина, Н.Г. Мартынюк, К.В. Мотовилова, В.В. Мямлина, В.С. Наговицына, А.М.Ножевникова, В.В. Нигунова, Ю.С. Нодшивалова, С.М. Овчаренко, Н.В. Ответчикова, Г.И. Петрова, В.Ф. Разона, Г.В. Райкова, В.И. Сенько, И.Ф. Скибы, А.В. Смольянинова, М.М. Соколова, П.А. Устича, Д.И. Хабы, М.И. Харитоновна, А.А. Хохлова, В.Н. Цюренко, В.А. Четвергова,

В.Г. Чурсина, С.Г. Шантаренко, А.Д. Шишкова, В.Б. Шляпина и других ученых [4, 5, 8 – 10, 13, 17 – 19, 22 – 25, 30, 36 – 41, 48, 63, 86, 93, 102, 122 – 124, 126, 134, 135, 141, 156, 165, 173 – 185, 189 – 191, 248, 252, 256, 263 - 271].

Благодаря работе этих ученых созданы и получили развитие крупные научные школы в области надежности, организации и технологий ремонта подвижного состава в Москве (РУТ, ВНИИЖТ), Санкт-Петербурге (ПГУПС), Екатеринбурге (УрГУПС), Омске (ОмГУПС), Ростове (РГУПС), Хабаровске (ДВГУПС) и в ряде других научных центрах России и ближнего зарубежья.

На кафедре «Вагоны» МГУПСа (МИИТа) под руководством проф. И.Ф. Скибы сложилась научная школа в области организации вагоноремонтного производства [188 - 191]. В последние годы ее представляли М.М. Болотин [17 - 19], К.В. Мотовилов [119], Н.А. Устич [148], В.Г. Воротников [32] и другие. В области совершенствования методов организации и технологии производства также следует отметить научные школы под руководством проф. Д.Г. Евсеева [63], А.В. Горского и А.А. Воробьева [48].

Во ВНИИЖТе научное направление в области ремонта и технического обслуживания вагонов было основано проф. В.И. Гридюшко. Среди ее представителей следует отметить В.Н. Цюренко [10], Г.В. Райкова [155, 156], Н.Г. Мартынюка, А.П. Ступина, А.В. Кирилюка [81].

В ПГУПС научные школы в области повышения эффективности электрической и тепловозной тяги, проектирования и надежности подвижного состава сложились под руководством профессоров Ю.П. Бороненко, М.М. Соколова, В.С. Герасимова [265], А.В. Плакса [165].

В ОмГУПСе под руководством И.И. Галиева действует комплексная научная школа в области безопасности движения, надежности и ремонта подвижного состава. В настоящий момент ее представляют проф. И.И. Галлиев, С.М. Овчаренко, В.А. Нехаев, В.А. Николаев, А.А. Рауба, В.А. Четвергов, С.Г. Шантаренко и другие [36 – 40, 277 – 280].

Усилиями этих ученых были поставлены и решены проблемы, связанные с обеспечением безопасности движения и эксплуатационной надежности

подвижного состава, созданием методологической основы для обоснования и выбора системы ремонта, организации производственной базы ремонтных предприятий. Основные направления исследований затрагивают вопросы поддержания исправного технического состояния, оптимизации срока службы подвижного состава, структуры ремонтного цикла, совершенствования способов и средств выполнения технологических операций, планирования, организации и управления ремонтным производством.

Вопросы выбора и обоснования рациональной системы ремонта изложены в работах А.В. Горского, А.А. Воробьева, В.А. Четвергова [48, 274]. Значительный вклад в развитие научной школы по организации, планированию и управлению ремонтным производством внесли ученые: И.Ф. Скиба [188-191], М.М.Болотин [17-19], В.П. Бугаев [21 - 23], К.В. Мотовилов [119], А.М. Ножевников [128], Н.В. Ответчиков [136], В.А. Ежиков [190], А.В. Кирилук [81], В.Г.Воротников [32], В.В. Мямлин [122-124], В.В. Пигунов [141-142], Ю.С. Подшивалов [144], Н.Е. Разинкин, Г.В. Райков [155-156], В.И. Сенько [173 - 175], О.Т. Осяев [134, 135], Э.Д. Тартаковский, Б.Д. Никифоров, А.Т. Головатый и другие.

Задача оптимального распределения вагоноремонтной базы на сети ж.д. исследуется в работах В.И. Сенько [173], В.П. Бугаева, В.В. Пигунова [21, 22]. В работах ученых выбор рационального варианта специализации существующих и размещения новых грузовых вагонных депо производится по принципу минимизации совокупных на ремонт всего парка вагонов с учетом затрат на передачу вагонов на станцию расположения депо.

Вопросы развития и размещения устройств локомотивного и вагонного хозяйства на станциях, взаимного влияния железнодорожных станций, эксплуатационных и ремонтных предприятий рассматриваются в работах В.Н. Образцова, С.П. Бузанова, С.В. Земблинова, В.Д. Никитина, Н.В. Правдина, Е.И. Сычева и других ученых [249].

Важнейшим условием эффективной работы предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава является качественная

технологическая подготовка производства [49, 51]. Технологическая сложность современного подвижного состава, высокие требования, предъявляемые к его надежности, приводят резкому возрастанию трудоемкости организации и технологической подготовки ремонта. Задачи по созданию средств механизации трудоемких процессов ремонта, автоматизации процессов сетевого планирования и разработки технологической документации подробно исследуются в работах К.А. Сергеева (РГОТУПС) и С.Г. Шантаренко (ОмГУПС) [179 – 182, 277 – 280].

Научное направление в области технологий неразрушающего контроля и диагностирования подвижного состава сформировалось и получило развитие благодаря ученым следующих организаций: ВНИИЖТа, МГУПСа, ОмГУПСа, ПГУПСа и ряда других. Среди них – профессора А.К. Гурвич, Г.Я. Дымкин, В.Н. Костюков, С.М. Овчаренко, О.Т. Осяев, В.А. Четвергов [134, 135, 266].

Вопросы энергосбережения в ремонтном производстве получили научное обоснование и развитие благодаря работам ученых ОмГУПСа под руководством проф. В.Т. Черемисина, усилиями которого была создана научная школа, обеспечившая методологическую, нормативную и технологическую базу для решения комплекса задач современного развития железнодорожного транспорта в области экономии топливно-энергетических ресурсов [109].

Важным, но наименее изученным разделом совершенствования системы эксплуатации, ремонта и обслуживания подвижного состава, являются исследования, связанные с повышением эффективности технологических систем ремонтного производства и технического обслуживания на этапе их создания, функционирования и модернизации на основе комплексного и системного подхода, выполняемые с участием автора диссертации.

1.7. Постановка задачи диссертационной работы

Проведенные исследования показали, что производственный комплекс предприятий по ремонту и ТО подвижного состава характеризуется весьма сложной и динамически изменяющейся производственной структурой, объединяя

в себя многообразные объекты, существенно отличающиеся как по масштабу, так и по принципам организации производства.

Структурные параметры технологической системы определяются совокупностью факторов внешней и внутренней среды функционирования предприятия, среди которых следует отметить: характер технологического процесса и вид продукции; индивидуальный или обезличенный способы организации производства; уровень механизации и автоматизации; степень непрерывности технологического процесса, способы поддержания заданного ритма; особенности межоперационного транспорта и технологического оборудования, структуру логистических связей.

Повышение эффективности производства связано с выбором оптимального места размещения, специализации и производственной мощности предприятия; оптимизацией выбора и размещения технологических структур; повышением качества ремонта и рядом других задач, требующих комплексного решения.

Современная методология теории организации основывается на общей теории систем, теории информации, нелинейной динамике с использованием инструментов системно-процессного анализа и управления. Системно-процессный анализ объединяет два самостоятельных понятия – «системный подход», основанный на представлении объекта как сложной системы, и «процессный подход», рассматривающий процессы жизненного цикла как непрерывную серию функциональных состояний.

Практическое применение системного подхода в организации и повышении эффективности производства предполагает:

- системный охват и рассмотрение объектов исследования с разных точек зрения;
- системное представление ремонтного предприятия в виде единой модели;
- системную организацию принятия решений с учетом всего комплекса существенных факторов, имеющих отношение к объектам.

Проектирование на современном уровне объектов такой степени сложности и ответственности требует всестороннего анализа возможных вариантов технологических решений в различных условиях функционирования.

Существующая научно-техническая база технологического проектирования предприятий по ремонту и ТО подвижного состава железнодорожного транспорта опирается преимущественно на аналитические и статистические методы, основными недостатками которых является недостаточная точность, значительная трудоемкость и субъективность результатов. Приближенный характер расчетов обуславливается отсутствием механизмов системного представления и достоверного учета целого ряда важнейших факторов, таких как: взаимное влияние смежных подсистем друг на друга, межоперационные потери времени вследствие технических, технологических и логистических задержек, техническое состояние объекта ремонта на момент поступления на предприятие и других.

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 обслуживанию 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.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРИНЦИПЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Вопросы создания, функционирования и модернизации сложных производственных систем носят комплексный характер, обусловленный широким кругом разноплановых задач, таких, как определение общей структуры системы, организация взаимодействия между подсистемами и элементами, учёт влияния внешней среды, выбор оптимальных режимов функционирования и т.д. Методологической основой решения подобных задач является теория систем и в частности такие ее разделы, как теория организации и системная инженерия (системотехника) [14, 15, 20].

Системная инженерия представляет собой междисциплинарный подход, определяющий методы и средства для создания «успешных» производственно-технологических систем, охватывающий все технические усилия по развитию и верификации интегрированного и сбалансированного в жизненном цикле множества системных решений, касающихся продукта и процесса, которые удовлетворяют потребности заказчика [20].

Рассмотрим вопросы модернизации и повышения эффективности функционирования предприятий по ремонту и ТО подвижного состава как сложной технологической системы на основе методологии системного подхода с соблюдением принципа системности.

2.1. Основные принципы системного подхода к решению задачи повышения эффективности технологических систем предприятий

Центральным понятием, на котором базируется задача оптимизации деятельности предприятия, является понятие эффективности. В наиболее общем случае под эффективностью «некоторое определяющее свойство

целенаправленной деятельности, которое с познавательной (гносеологической) точки зрения раскрывается через категорию цели и объективно выражается степенью достижения цели с учетом затрат ресурсов и времени» [14]. В технике эффективность связывается с понятием операции, под которой понимается упорядоченная совокупность взаимосвязанных действий, направленных на достижение определенной цели [252].

Русскоязычному термину «эффективность» соответствуют два английских термина: «effectiveness» и «efficiency». Первый из них подразумевает способность устанавливать желаемые цели и способность достигать этих целей. Смысл второго термина - в соотношении полученных выгод с ресурсами, затраченными для получения этих выгод.

Качество сложной системы проявляется в полной мере только в процессе ее функционирования, т. е. использования по назначению. Поэтому наиболее объективная оценка качества системы может быть получена по эффективности ее целевого применения. При этом эффективность системы нельзя вывести полностью только из свойств системы, необходимо учитывать также и свойства надсистемы. Как отмечается в работе [105], эффективность невозможно наблюдать непосредственно, ее можно лишь оценить косвенными методами на основании принятых показателей эффективности.

Важным понятием теории эффективности является показатель эффективности. Эффективность, как и всякое свойство системы, обладает определенной интенсивностью своего проявления. Меру интенсивности проявления эффективности называют показателем эффективности [49]. Есть и более развернутое определение [103]: «показатель эффективности большой системы - это количественная характеристика конечного результата ее функционирования и развития в течение обусловленного периода в сравнении с целевым нормативом и расходом ресурсов при заданных характеристиках состояния системы и воздействия внешней среды, а также при заданном векторе управления».

Из приведенных пояснений видно, что понятия «эффективность» и «цель» тесно связаны. Количественное изучение сложных систем проводится с привлечением понятия цели. Эффективность - свойство объекта достигать цели наилучшим образом.

Производственное предприятие в теории организации рассматривается как обособленную технологическую систему, обеспечивающую целевое объединение ресурсов для выполнения заданных функций по удовлетворению потребностей общества и реализации поставленных целей [16, 217].

Для технологических систем эффективность Y определяется полезным эффектом Q , затраченными ресурсами C и временем T , которые в свою очередь зависят от функциональной среды H и активных средств производства U (рисунок 2.1).

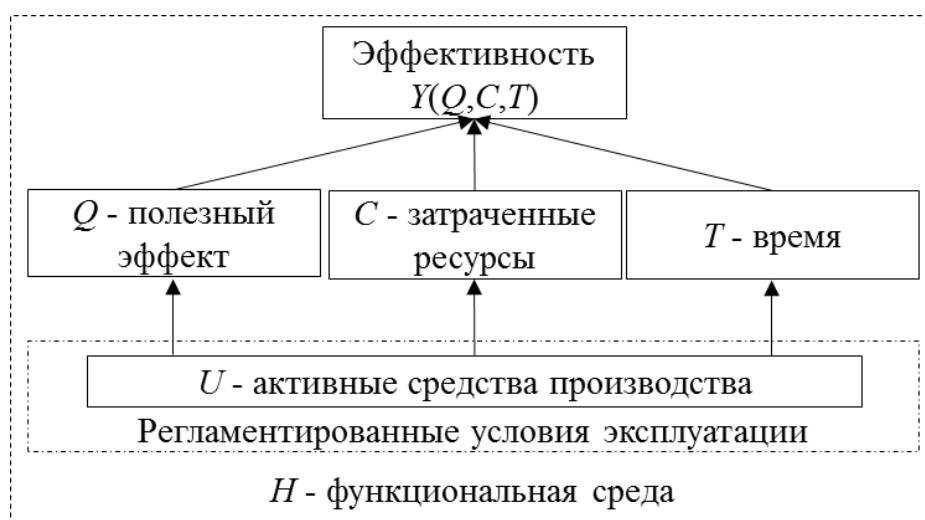


Рисунок 2.1 – Эффективность работы технологической системы

Задача достижения максимальной эффективности технологической системы является по своей сути оптимизационной и может быть сформулирована как выбор варианта из множества возможных вариантов параметров и структуры активных средств производства u для заданных условий функционирования предприятия:

$$Y[\{u_i \in U; i = 1, 2, \dots, n_u\}] \rightarrow \max. \quad (2.1)$$

Решение это результат сознательного выбора одного наилучшего варианта технологической системы $\hat{u}$ из множества U допустимых вариантов в рамках рассматриваемой проектной задачи. Поэтому задача выбора наилучшего варианта $u^* \in U$ составляет ядро исследования проектных операций и решается на основе сравнения всех допустимых альтернатив $u \in U$ по их эффективности.

Для достижения поставленной цели необходима целенаправленная деятельность – операция. Операция есть система целенаправленных действий, объединенных общим замыслом и единой целью. В классической формулировке понятие операции включает три определяющих момента [77]:

1) управляющая деятельность человека – орган управления, организующий операцию на основе выбора рационального способа использования активных средств для достижения цели операции;

2) активные средства, находящиеся в распоряжении управляющего органа и используемые в операции в соответствии с выбранным способом (стратегией) управления;

3) другие средства системы, непосредственно взаимодействующие с активными средствами, к которым обычно относят объекты воздействия активных средств, средства, находящиеся в распоряжении других распорядителей в операции (их активные средства).

Под активными средствами понимается совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения, производственной инфраструктуры и исполнителей. В качестве ресурсов используются: топливо, энергия, материалы и комплектующие.

В роли управляющего органа технологической системы выступает административно-технический аппарат функционального заказчика и проектной организации, объединенный в проектный центр единым руководством. Способ управления определяется организационно-штатной структурой, внутренними стандартами управления, регламентированными условиями выполнения технологических процессов, задаваемые нормативно-методической документацией.

К сторонним системам, относят системы оказывающие существенное влияние на эффективность операций, но не находящимися в непосредственном управляемом взаимодействии с технологической системой, например, система ремонта подвижного состава, сами объекты ремонта, находящиеся в собственности эксплуатирующих организаций и т.д.

Практическая направленность исследований эффективности технологических систем заключается в выработки решений на рациональное использование технических средств при достижении цели в различных условиях обстановки или на целесообразный вариант проектируемой системы. В прикладных исследованиях эффективности функционирования объектов обычно приходится решать проблемы:

- 1) оценки эффективности операции с использованием технологической системы;
- 2) выбор рационального способа использования и параметров функционирования технологической системы.

Оценка эффективности операции заключается в выработке так называемого оценочного суждения относительно пригодности заданного способа действий для решения поставленных задач на основе измерения уровня эффективности операции, в том числе:

- принятия решения относительно допустимости практического использования оцениваемого способа действия в той или иной ситуации;
- выявления вкладов (эффектов) различных факторов в общую эффективность операции, влияния взаимодействий факторов на эффективность;
- установления путей повышения эффективности операции (выявления резервов повышения эффективности);
- выявления функциональных возможностей технических средств, используемых в операции;
- сопоставления (сравнения) нескольких альтернативных вариантов действий или технических средств, их ранжирование по уровням эффективности (установление отношения предпочтения на множестве возможных вариантов).

Эффективность организации прямо или косвенно зависит от многих факторов – производственных, экономических, конкурентных, социальных, политических, международных, технологических. В общем случае факторы эффективности могут быть объединены в две группы – внутренние, зависящие от предприятия, и внешние, не зависящие от предприятия (рисунок 2.2).

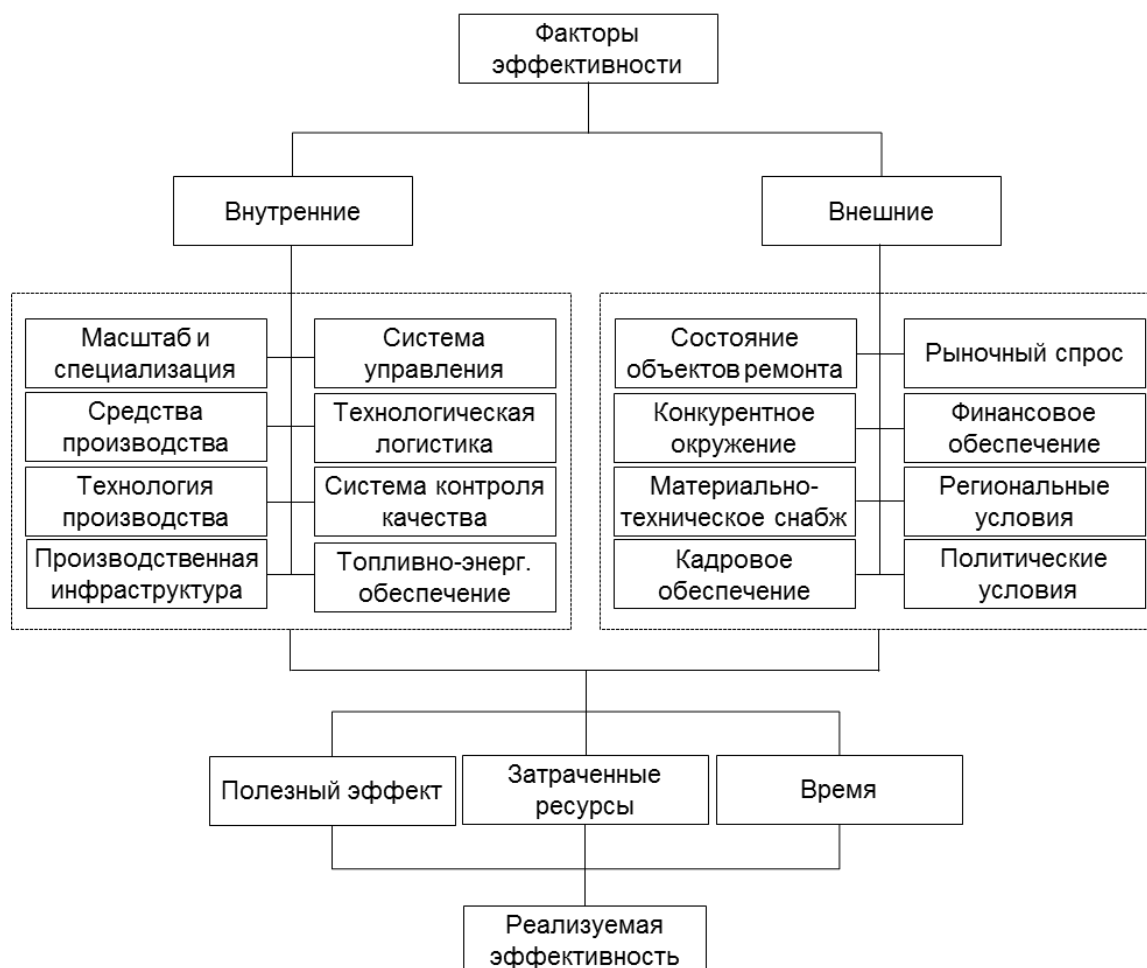


Рисунок 2.2 – Факторы, влияющие на эффективность функционирования производственного предприятия

Классификация факторов позволяет отделить основные показатели от влияния внешних и побочных факторов с целью формирования ключевых направлений совершенствования технологических систем и поиска резервов для повышения эффективности производства с использованием комплексного подхода.

Внутренними называются факторы, теоретически определяющие

результаты работы предприятия. Внутренние неосновные факторы хотя и влияют на обобщающие показатели, но не связаны непосредственно с сущностью рассматриваемого показателя, например нарушения технологической дисциплины. Внешние факторы не зависят от деятельности предприятия, но количественно определяют уровень использования технологических, производственных и финансовых ресурсов данного предприятия.

Системные исследования эффективности в зависимости от степени обобщения учитываемых факторов можно разделить на обобщенные и детальные. В рамках обобщенных исследований в зависимости от целей анализа эффективности выделяют концептуальные и операционные уровни [78, 81].

Целью концептуального исследования является установления общих тенденций развития изучаемого процесса, форм и способов его организации, выработка концепций по всем основным вопросам организации и проведения крупномасштабных операций, разработка систем целей и задач, принципов применения больших технических систем. Это исследование проводится с позиций метасистемы с наибольшим обобщением факторов.

Операционное исследование имеет целью более подробное изучение направлений и вариантов действий в рамках концепций, рекомендованных к дальнейшему анализу концептуальным исследованием. Степень обобщения факторов здесь ниже, что позволяет определить функциональные структуры операций, технические средства, которые должны приводить к достижению поставленных задач, а также перечни задач конкретным подсистемам (средствам), показатели и критерии их выполнения, сами подсистемы и связи между ними.

Детальные исследования направлены на анализ качества подсистемы, входящих в состав систем, рассматриваемых на операционном уровне. Детальные исследования – последний уровень декомпозиции общей задачи исследования эффективности – обеспечивают решение всех вопросов, касающегося облика конкретных средства.

Концептуальные, операционные и детальное исследования взаимно дополняют друг друга, образуют единое целое. При системном анализе особое

внимание уделяется исследованию взаимной связи и обусловленности его отдельных разделов, показателей и факторов производства. Знание факторов производства, их взаимосвязей, умение определить их влияние на отдельные показатели деятельности позволяют воздействовать на уровень показателей посредством управления факторами.

При этом проблемы функционирования организации рассматриваются не изолированно, а в единстве связей с внешним окружением, что позволяет постигать сущность каждой связи и отдельного элемента, проводить ассоциации между их общими и частными целями в единой организации [103].

Принцип внешнего дополнения имеет основополагающее значение для теории эффективности, позволяет ограничить изучаемую систему, вычленить ее из метасистемы как некоторую целостность. При этом внешнее дополнение согласует цели организаций и их поведение с целями деятельности метасистемы, что позволяет производить выбор решения на основе четких формальных критериев и в принципе исключить участие человека при определении эффективности и выработки последующих мероприятий по ее повышению.

В теории для технологических систем принято различать потенциальную и практическую эффективность [261]. Потенциальная эффективность операции, характеризуемая предельно выгодным обменом, определяется как эффективность операции при идеальном способе использования активных средств, т.е. выборе наилучшей стратегии. Следовательно, потенциальная (предельно достижимая) эффективность зависит от параметров и структуры технологической системы.

Достижение высоких показателей практической эффективности предполагает адаптивный выбор структуры и параметров активных средств производства в зависимости от фактических (реальных) условий среды функционирования [67].

2.2. Выбор критериев оценки эффективности технологических систем ремонтного производства и технического обслуживания подвижного состава

Как отмечалось ранее, эффективность функционирования технологических систем определяется полезным эффектом, отнесенным к затраченным ресурсам и времени. Эффективность, как и всякое свойство системы, обладает определенной интенсивностью своего проявления. Мету интенсивности проявления эффективности называют показателем эффективности.

С позиции системно-целевого подхода критерий эффективности системы - это количественная характеристика результатов ее функционирования и развития в течение обусловленного периода при заданных характеристиках состояния системы и воздействия внешней среды, а также при заданном векторе управления, направленного на достижение поставленных целей функционирования [105, 292].

Критерий оценки эффективности должен отражать сущность эффективности и определяет набор показателей, характеризующих достижение целей. Критерии оценки эффективности деятельности предприятия с позиции различных заинтересованных лиц могут отличаться.

В теории организации эффективность рассматривается как степень реализации целей организации при минимальных, но необходимых затратах. Это отношение результата деятельности к затратам на его достижение, т. е. результат сравнивается с затратами. При этом результаты и затраты могут быть сопоставимы в различных комбинациях [292]:

- 1) результат/затраты - результат, полученный на единицу затрат;
- 2) затраты/результат - удельная величина затрат на единицу результата;
- 3) (результат - затраты) /результат - удельная величина эффекта, приходящегося на единицу получаемых результатов.

Эти соотношения являются базовыми при разработке критериев оценки эффективности.

Выбор критериев для целеполагания определяет содержание модели эффективности, которая для предприятий по ремонту и ТО подвижного состава может быть представлена в следующем виде (рисунок 2.3).

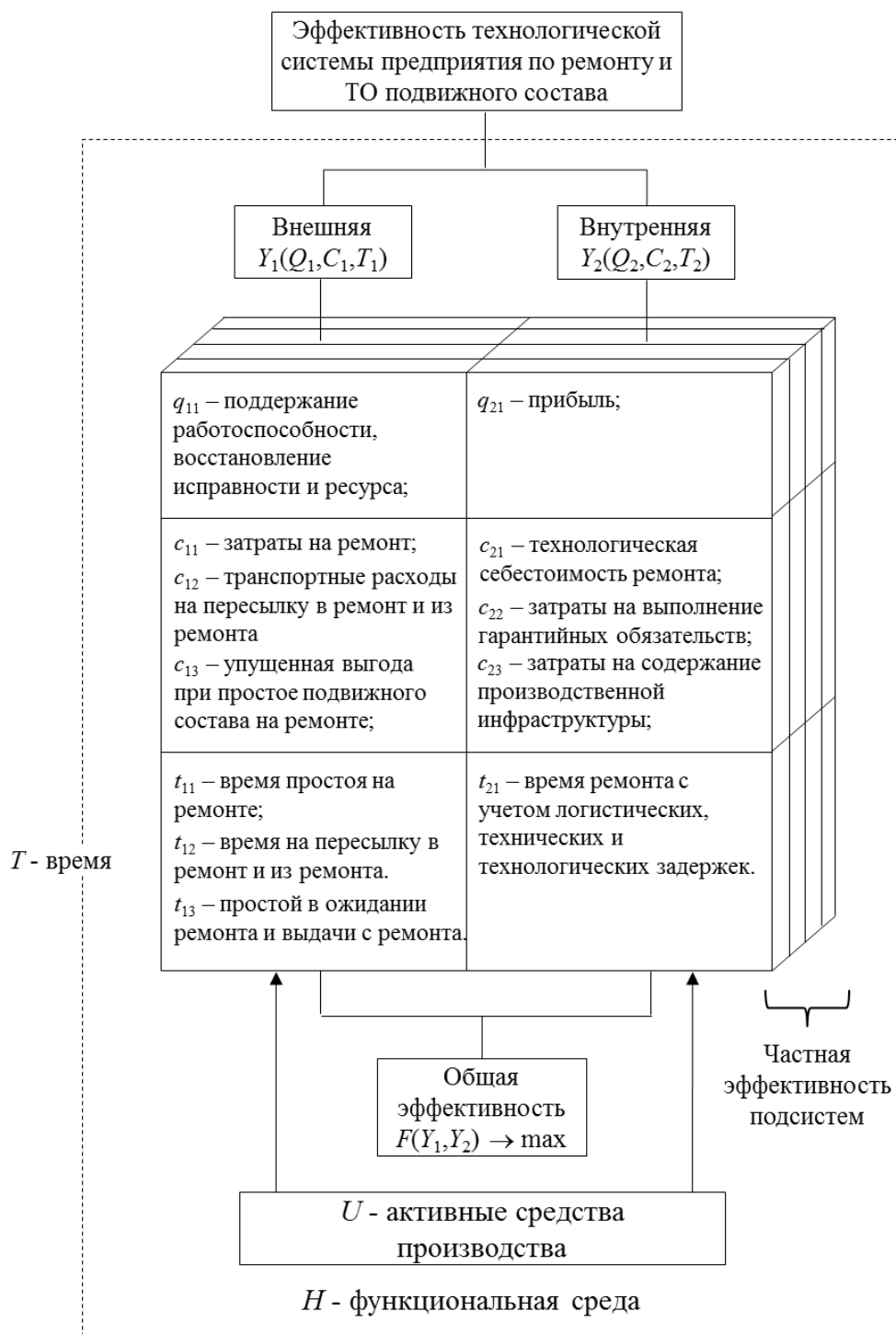


Рисунок 2.3 – Модель формирования критериев эффективности технологических систем ремонтного производства и технического обслуживания подвижного состава (составлено автором)

По отношению к внешней функциональной среде различают внешнюю и внутреннюю эффективность. Общая эффективность функционирования технологической системы складывается из частной эффективности её отдельных элементов и факторов, воздействующих на нее $Y_i = (y_1, y_2, \dots, y_n)$.

При оценке внешней эффективности ремонтных предприятий в качестве полезного эффекта рассматривается мера восстановления исправности и ресурса подвижного состава. Внутренняя эффективность определяется интересами самого ремонтного предприятия как самостоятельного хозяйственного субъекта и оценивается по технико-экономическим показателям.

К системе обобщающих показателей экономической эффективности традиционно относят показатели рентабельности продукции, рентабельности производственных фондов, производство продукции на 1 руб. затрат, относительную экономию основных и оборотных фондов, а также материальных, трудовых затрат и фонда оплаты труда [105].

По мнению большинства экспертов наиболее информативным показателем *внутренней эффективности* предприятия является величина эффекта, приходящегося на единицу получаемых результатов (рентабельность). Для депо рентабельность ремонта определяется по выражению:

$$Y_1 = \frac{d}{s + \frac{g}{T}} \rightarrow \max, \quad (2.2)$$

где d – прибыль от ремонта или ТО подвижного состава; s – себестоимость ремонта с учетом затрат на гарантийное обслуживание; g – инвестиционные затраты за расчетный период времени T .

Расчет прибыли и себестоимости ремонта и ТО производится общеизвестными стандартными методами [83, 110]. Научный и практический интерес представляет оценка вероятных затрат по гарантийным обязательствам в виду отсутствия общепринятых методов расчета.

В качестве одного из возможных методологических подходов к решению поставленной задачи воспользуемся понятием страхования технологических

рисков. Под *страхованием рисков* условимся считать создание страхового фонда, обеспечивающего покрытие ущерба по техническим неисправностям подвижного состава в гарантийный период. Формирование страхового фонда осуществляется за счет включения специальной (страховой, защитной) надбавки в стоимость ремонта [204].

Пусть $p = \omega(1)$, где $\omega(1)$ – параметр потока отказов подвижного состава в течение года. Обратная величина $q = 1 - p$. Рассмотрим случайные величины $\xi_k, k = 1, \dots, N$ возможного ущерба, связанного с техническими неисправностями k -ой единицы ремонта в течение года. Каждая из данных величин принимает значение c_u с вероятностью p и 0 с вероятностью q , имеет математическое ожидание $m_k = C_u \cdot p$ и дисперсию $\sigma_k^2 = C_u^2 \cdot pq$.

В предположении независимости случайных величин ξ_k , суммарный годовой ущерб $Y = \sum_{k=1}^N \xi_k$ имеет математическое ожидание $m = c_u \cdot N \cdot p$ и дисперсию $\sigma_k^2 = c_u^2 \cdot N \cdot pq$. Минимальное возможное значение размера S годового страхового фонда равно m .

Для определения размера годового страхового фонда S , зададим вероятность α покрытия страховым фондом общего годового ущерба от технических неисправностей подвижного состава в гарантийный период.

Рассмотрим гауссовское приближение для центрированной и нормированной величины суммарного годового ущерба. Вероятность покрытия страховым фондом общего годового ущерба можно представить в виде:

$$P(Y \leq S) = P\left(\frac{Y - m}{\sigma} \leq \frac{S - m}{\sigma}\right) \approx \Phi\left(\frac{S - m}{\sigma}\right), \quad (2.3)$$

где

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (2.4)$$

Если наступило событие $Y > S$, то это означает, что страховой фонд не покрыл общий годовой ущерб.

Размер страхового фонда S можно определить по вероятности $\alpha = P(Y \leq S)$.

По заданной вероятности α (в финансовой практике страхования промышленного сектора экономики α обычно принимается равным 0,9 или 0,95 [250]) определим квантиль x_α , как решение уравнения $\Phi(x) = \alpha$. Например, при изменении вероятности α от 0,9 до 0,999 квантиль x_α принимает значения от 1,282 до 3,09.

Вероятность

$$P\left(\frac{Y-m}{\sigma} \leq x_\alpha\right) = P(Y \leq m + x_\alpha \cdot \sigma) = \alpha, \quad (2.5)$$

откуда

$$S = m + x_\alpha \cdot \sigma. \quad (2.6)$$

Размер годового страхового фонда, необходимого для работы с заданной вероятностью отсутствия финансовых убытков при выполнении установленной программы ремонта N можно представить в следующем виде:

$$S = c_u \cdot \left(N \cdot \omega(1) + x_\alpha \sqrt{N \cdot \omega(1) \cdot (1 - \omega(1))} \right). \quad (2.7)$$

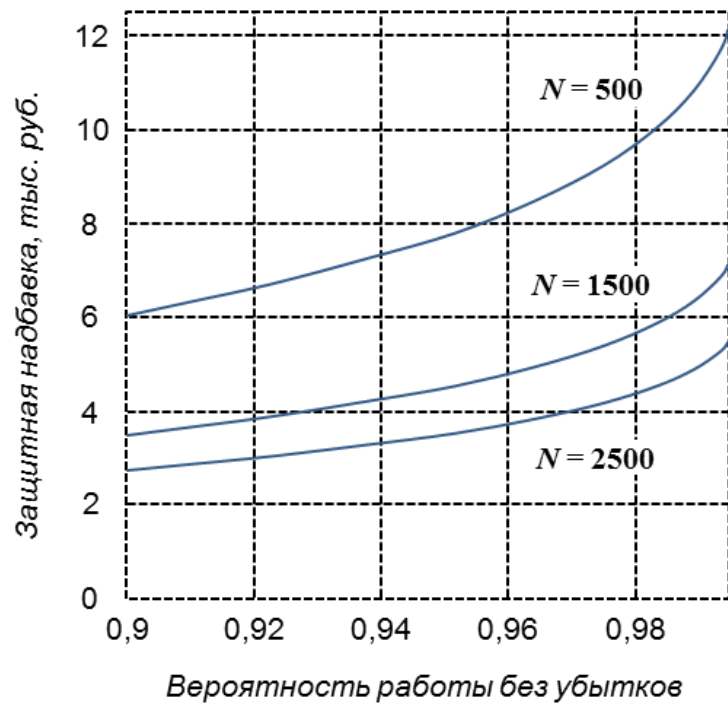
Таким образом, размер расчетной страховой (защитной) надбавки в стоимости ремонта $s_{\text{ст}} = S/N$ будет определяться по выражению:

$$s_{\text{ст}} = c_u \cdot \left(\omega(1) + x_\alpha \sqrt{\frac{\omega(1)}{N} \cdot (1 - \omega(1))} \right). \quad (2.8)$$

В качестве иллюстрирующего примера на рисунке 2.4 представлены значения страховой (защитной) надбавки в зависимости от вероятности работы без убытков при различных объемах программы текущего ремонта ТР-1 $N=500$, 1500 и 2500 секций электровозов в год.

Результаты получены по фактическим расчетным данным для Сервисного локомотивного депо Московка ООО «СТМ-Сервис». При анализе графиков

следует отметить высокую чувствительность величины защитной надбавки к программе ремонта. Так для $\alpha = 0,95$ при увеличении программы ремонта с 500 до 2500 секций в год размер страховых выплат снижается более чем в три раза.



N - ТР-1 электровозов в год

Рисунок 2.4 - Защитная надбавка при различных объемах ремонта
(по результатам расчетов автора)

Эффективность систем ремонта и ТО техники можно оценить по одному или нескольким стандартным показателям рекомендованным ГОСТ [50]:

- 1) средних или средних суммарных значений времени, трудоемкости и стоимости ТО или ремонта;
- 2) удельным суммарным продолжительности, трудоемкости и стоимости ТО или ремонта для заданной наработки;
- 3) коэффициентам готовности и технического использования техники.

Выбор того или иного показателя для оценки полезного эффекта (результата) при оценке внешней эффективности предприятия по ремонту подвижного состава определяется исходя из соображений экономической

измеримости результата и возможности его последующего нормирования и использования при расчете общей эффективности.

Как показано в работах [258, 25, с. 389] (на примере грузового вагона) величина полезного эффекта от эксплуатации подвижного состава определяется выражением:

$$M\mathcal{E}(\xi) = \sum_{k=1}^n \mathcal{E}(k) \cdot P\{B\}, \quad (2.9)$$

где $M\mathcal{E}(\xi)$ – математическое ожидание функции экономического эффекта $\mathcal{E}(\xi)$ от эксплуатации вагона за время T ;

ξ – случайная величина, равная числу отказов вагона в n груженных рейсах;

$P\{B\}$ – вероятность события B , состоящего в том, что в течение времени T вагон n раз побывает в груженом рейсе и, в том числе, k раз откажет;

$$P\{B\} \equiv P_{\xi}(k) = c_n^k K_{\text{ог}}^k (1 - K_{\text{ог}})^{n-k}, \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad (2.10)$$

где c_n^k – число сочетаний из n элементов по k ;

$K_{\text{ог}}$ – коэффициент оперативной готовности вагона (1.14).

Важно отметить, что в формулу экономического эффекта от эксплуатации подвижного состава входит один из показателей надежности, а именно $K_{\text{ог}}$.

Руководствуясь этими принципами в качестве критерия внешней эффективности примем отношение коэффициента оперативной готовности подвижного состава к совокупной величине затрат на ремонт с учетом транспортных расходов на пересылку c_p :

$$Y_2 = \frac{K_{\text{ог}}(t, \tau)}{c_p} \rightarrow \max, \quad (2.11)$$

где $K_{\text{ог}}$ – это вероятность того, что единица подвижного состава будет работоспособна в произвольный момент времени t и безотказно проработает заданное время τ .

Важно отметить, что при расчете коэффициента оперативной готовности учитывается фактор времени – затраты на пересылку, административные,

логистические и технологические задержки при ремонте, что имеет важное значение для оценки качества ремонта.

Общая эффективность функционирования технологической системы будет определяться вектор-функцией вида:

$$F(Y_1, Y_2) \rightarrow \max, \quad (2.12)$$

где Y_1 , Y_2 – показатели внутренней и внешней эффективности технологической системы соответственно.

Выражение (2.11) представляет собой задачу многокритериальной оптимизации, решение которой возможно различными и способами – например, методом линейной свертки критериев:

$$Y = a \cdot Y_1 + b \cdot Y_2 \rightarrow \max, \quad (2.13)$$

где a , b – масштабирующие коэффициенты, $a + b = 1$.

В условиях финансово-хозяйственного разделения эксплуатации и ремонта подвижного состава интересы участников процесса различные. Расчет суммарной (общей) эффективности будет зависеть от политики целеполагания предприятия, которая в свою очередь определяется степенью независимости ремонта от операторской деятельности [199].

Недостатком данного подхода является субъективность назначений коэффициентов a , b . Альтернативным способом является принятие одного из критериев эффективности (внутренней или внешней) доминирующим, при этом второй критерий учитывается в качестве ограничения.

Например, для административно и хозяйственно самостоятельного ремонтного предприятия доминирующим критерием является внутренняя эффективность – прибыль от деятельности. В качестве ограничений принимаются показатели, влияющие на внешнюю эффективность: максимальная продолжительность ремонта, средняя наработка на отказ в гарантийный период, уровень цен на ремонт в данном регионе.

В случае, если ремонтное предприятие является одним из структурных подразделений компании оператора подвижного состава, то минимальный

уровень внутренней эффективности задается в виде нормы рентабельности, например, в диапазоне от 10 до 30%.

2.3. Классификация факторов среды функционирования предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава

В теории организации под термином среда функционирования принято понимать набор реально существующих явлений и процессов – факторов, прямо или косвенно влияющих на деятельности организации, ее эффективность, уровень неопределенности и риска при принятии управленческих решений [252]. По отношению к объекту исследования факторы функциональной среды принято разделять на внутренние и внешние.

Внутренняя функциональная среда предприятия формируется из средств производства, кадрового потенциала, нормативно-технического, метрологического обеспечения, системы управления и производственной логистики. Внутренняя среда определяет производственный потенциал, обеспечивает его поддержание, существование и развитие, но также может быть и источником проблем или даже причиной гибели организации в том случае, если не обеспечивает требуемой внешними условиями эффективности функционирования организации.

Внешняя среда определяет условия реализации производственного потенциала и одновременно является источником необходимых ресурсов: материальных, топливно-энергетических, финансовых, кадровых, обеспечивающих стабильное существование и развитие организации. Влияние внешней среды учитывается в виде различных ограничений на производственно-технологические показатели предприятия, максимального уровня рентабельности и масштаба производства в конкурентных условиях, требований к качеству и т.п.

В общем случае параметры технологической системы не являются постоянными, а образуют нестационарную динамическую систему, текущее состояние которой можно представить следующей вектор-функцией:

$$Q(H) = F_{\text{тс}}[\{H_i(t), i \in N\}], \quad (2.14)$$

где $Q(H)$ - множество структурных параметров технологической системы;

$H(t)$ - множество факторов среды функционирования предприятия.

Для предприятий по ремонту и ТО подвижного состава в качестве параметров $Q(H) = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_m\}$ принимаются: Q_1 – место размещения; Q_2 – структура производственной мощности; Q_3 – производительность; Q_4 – качество ремонта; Q_5 – цены на ремонт и обслуживание; Q_6 – технологическое оснащение; Q_7 – технологическая гибкость производства.

Выражение (2.16) можно представить эквивалентным множеством обобщенных параметров отдельных подсистем функциональной среды, влияющих на эффективность технологической системы (рисунок 2.5):

$$Q_i(H) = \{P_i(t); i = 1, 2, 3, \dots, k\}, \quad (2.15)$$

где D_i - множество параметров подсистем функциональной среды предприятия.

Принимая во внимание, что все подсистемы могут быть в свою очередь разделены на отдельные элементы, обобщенные параметры этих подсистем P_i можно представить в следующем развернутом виде:

$$P_i(t) = \{p_{ij}(t); j = 1, 2, 3, \dots, m_i\}, \quad (2.16)$$

Рассмотрим совокупность факторов среды функционирования H и их взаимосвязь с параметрами технологической системы более подробно.

Подсистема перевозочного процесса характеризуется совокупностью факторов H_1 : объемом перевозок, структурой перевозимых грузов, средней дальностью перевозок и другими. Данная подсистема определяет потенциальный масштаб и структуру производственных мощностей в условиях заданного региона обслуживания [101, 105]. Масштаб производства влияет в свою очередь методы организации производства, предметную специализацию подразделений, рациональный уровень автоматизации труда и ряд других параметров технологической системы [78, 100, 101].

Подсистема подвижного состава определяет группу факторов, связанных с состоянием объектов ремонта H_2 , и включает в себя: количественную и качественную структуру, возрастной состав и показатели эксплуатационной надежности и ремонтпригодности парка подвижного состава.

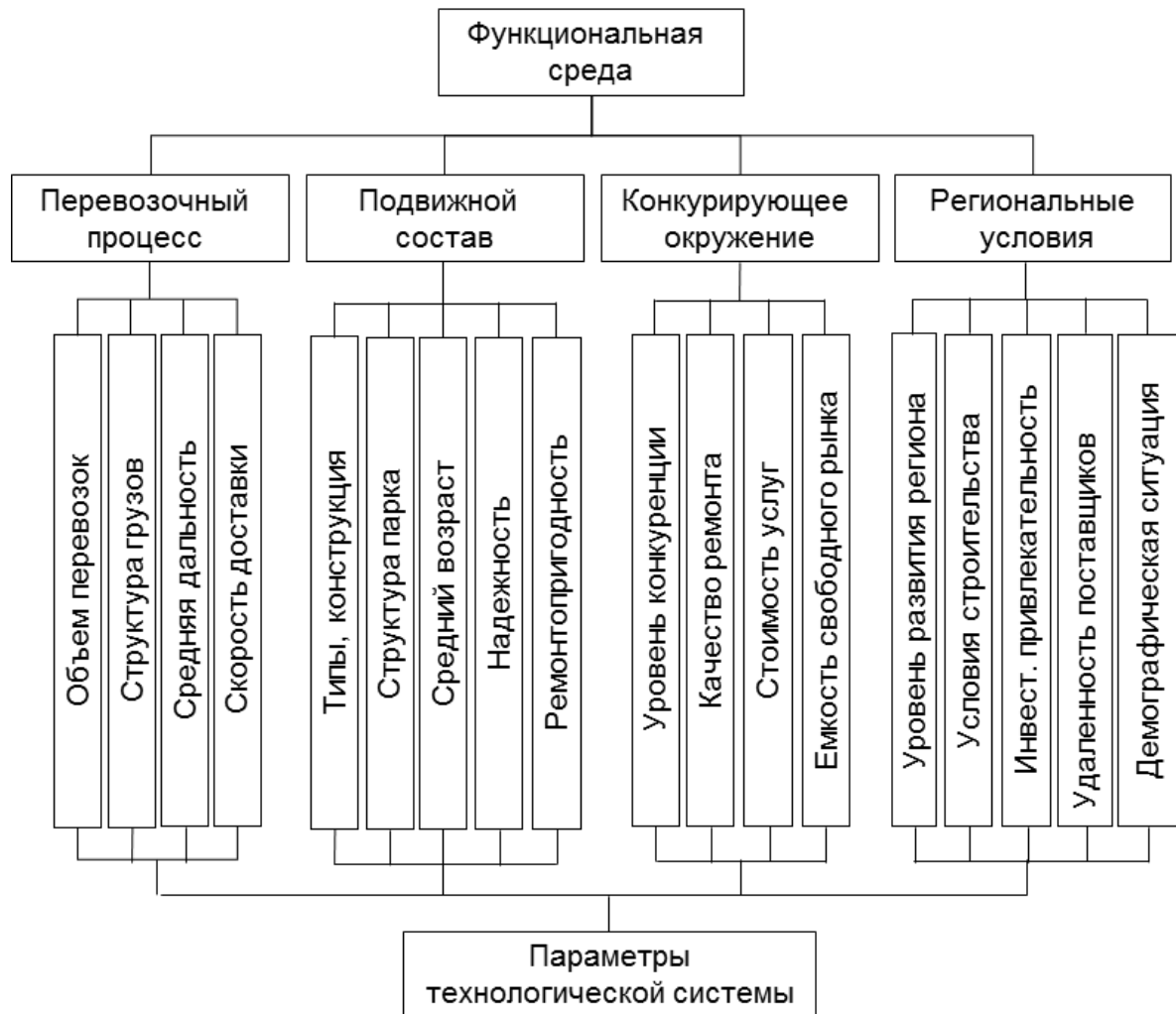


Рисунок 2.5 – Классификация факторов функциональной среды предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава
(составлено автором)

Перечисленные факторы определяют требования к техническому оснащению предприятий, качественный состав производственных цехов и участков, применяемые технологии ремонта и обслуживания [100, 105].

Конкурирующая подсистема формируется предприятиями аналогичного функционального профиля H_3 , работающими на рынке ремонта и технического обслуживания подвижного состава, деятельность которых прямым или косвенным образом может повлиять на уменьшение объема заказа, формирование цены, качества или времени выполнения услуг.

Региональная подсистема H_4 представляет собой совокупность факторов, характеризующих местные условия реализации проекта и последующего функционирования предприятия.

Среди них можно выделить: уровень промышленного и транспортного развития региона, условия строительства, кадровая и демографическая ситуация, уровень жизни региона, удаленность от поставщиков запасных частей и материалов, геополитическая и инвестиционная привлекательность региона, климатические и природные условия строительства и другие.

Перечисленные факторы определяют структуру, функциональную модель и предельные параметры технологической системы предприятия как элемента системы более высокого уровня – перевозочного процесса и образуют обобщенную группу факторов системы внешней функциональной среды.

Из-за трудностей сведения множества параметров P к единым количественным показателям возможно представление общей структуры функциональной среды в виде некоторой матрицы функций типа

$$Q(H) = \begin{pmatrix} f_{11}(p_1(t)) & f_{12}(p_2(t)) & \dots & f_{1n}(p_n(t)) \\ f_{21}(p_1(t)) & f_{22}(p_2(t)) & \dots & f_{2n}(p_n(t)) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{71}(p_1(t)) & f_{72}(p_2(t)) & \dots & f_{7n}(p_n(t)) \end{pmatrix}, \quad (2.17)$$

где строки определяют параметры технологической системы $Q(H)$, а столбцы соответствуют параметрам среды функционирования p ; $n = \sum m_i$ (2.13).

Альтернативным вариантом является установление количественных

зависимостей между совокупностью факторов и параметрами функционирования предприятия с использованием регрессионных моделей, экспертного метода или метода анализа иерархий, подробно описанных в соответствующей научно-технической литературе.

2.4. Жизненный цикл технологической системы предприятия по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава

Рассмотрим задачу повышения эффективности технологической системы предприятия по ремонту подвижного состава с позиции единого методологического подхода на процессы его создания и использования, как элементы некоторой обобщенной системы, в пределах которой реализуется обобщенная операция, направленная на решение некоторой проблемы или выполнение определенной функции (например, создание производственной базы подготовки вагонов под погрузку в связи с возрастанием поездопотока). В теории сложных систем принято выделять следующие периоды обобщенной операции:

- реализационный период, предполагающий создание системы;
- период полезной жизни системы – использование созданной системы в качестве активного средства для достижения цели операции.

Процессы создания и функционирования систем характеризуются жизненным циклом, имеющим некоторую продолжительность τ . В жизненном цикле технологической системы принято выделять две стадии (рисунок 2.6) [52].

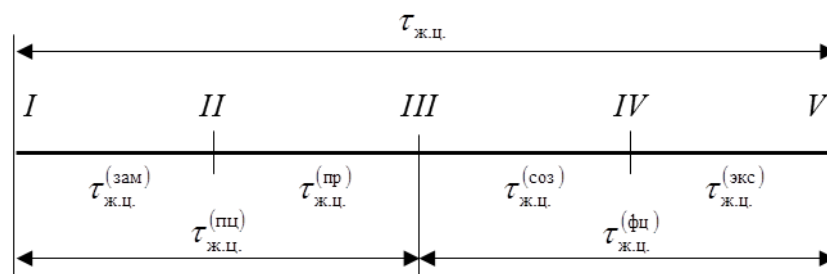


Рисунок 2.6 – Жизненный цикл технологической системы

Первая – стадия реализации проекта (проектный цикл), включающая в

этапы замысла, проектирования, строительства, монтажа и ввода в эксплуатацию. Вторая – стадия эксплуатации (функциональный цикл), в общем случае предполагающей использование по назначению, техническое обслуживание, ремонт, консервацию, прекращение применения и ликвидацию [49].

Степень детализации составных частей жизненного цикла технологической системы можно повышать, представляя всю совокупность этапов предпроектных работ, проектирования, создания и ввода в эксплуатацию, эксплуатации, как множество более простых операций $A_i^{(j)}$, выполняемых соответственно за время $\Delta\tau_{\alpha-\beta}^{(j)}$.

Исходя из этого, формальная структура жизненного цикла технологической системы может быть представлена множеством типа

$$C_{\text{ж.ц}} = \{A_{\text{ж.ц}}^{(\text{пц})}, A_{\text{ж.ц}}^{(\text{фц})}\} = \{A_{\text{ж.ц}}^{(\text{зам})}, A_{\text{ж.ц}}^{(\text{пр})}, A_{\text{ж.ц}}^{(\text{соз})}, A_{\text{ж.ц}}^{(\text{экс})}\}, \quad (2.18)$$

где

$$\begin{aligned} A_{\text{ж.ц}}^{(\text{зам})} &= \{A_{\alpha_1-\beta_1}^{(\text{зам})}; \alpha_1, \beta_1 = 1, 2, 3, \dots, n_{\text{оп}}^{(\text{зам})}; \alpha_1 \neq \beta_1\}; \\ A_{\text{ж.ц}}^{(\text{пр})} &= \{A_{\alpha_1-\beta_1}^{(\text{пр})}; \alpha_2, \beta_2 = 1, 2, 3, \dots, n_{\text{оп}}^{(\text{пр})}; \alpha_2 \neq \beta_2\}; \\ A_{\text{ж.ц}}^{(\text{соз})} &= \{A_{\alpha_1-\beta_1}^{(\text{соз})}; \alpha_3, \beta_3 = 1, 2, 3, \dots, n_{\text{оп}}^{(\text{соз})}; \alpha_3 \neq \beta_3\}; \\ A_{\text{ж.ц}}^{(\text{экс})} &= \{A_{\alpha_1-\beta_1}^{(\text{экс})}; \alpha_4, \beta_4 = 1, 2, 3, \dots, n_{\text{оп}}^{(\text{экс})}; \alpha_4 \neq \beta_4\}. \end{aligned}$$

Таким образом, идеальный жизненный цикл технологической системы можно представить в виде последовательного чередования этапов [63].

Для идеального жизненного цикла, представленного на рисунке 2.6, этапы выполняются строго последовательно так, что начало каждого последующего этапа совпадает с завершением предыдущего и в общем случае выполняются следующие соотношения:

$$A_{\text{ж.ц}}^{(\text{пц})} \cap A_{\text{ж.ц}}^{(\text{фц})} = \emptyset; A_{\text{ж.ц}}^{(\text{зам})} \cap A_{\text{ж.ц}}^{(\text{пр})} \cap A_{\text{ж.ц}}^{(\text{соз})} \cap A_{\text{ж.ц}}^{(\text{экс})} = \emptyset. \quad (2.19)$$

Общая продолжительность идеального цикла при этом устанавливается как арифметическая сумма идеальных продолжительностей его составных частей, т.е.

$$\tau_{\text{ж.ц}}^{(\text{ид})} = \tau_{\text{ж.ц}}^{(\text{пц})} + \tau_{\text{ж.ц}}^{(\text{фц})} = \tau_{\text{ж.ц}}^{(\text{зам})} + \tau_{\text{ж.ц}}^{(\text{пр})} + \tau_{\text{ж.ц}}^{(\text{соз})} + \tau_{\text{ж.ц}}^{(\text{экс})}. \quad (2.20)$$

С целью ускорения процессов проектного цикла, на практике в большинстве случаев применяют схему последовательно-параллельного выполнения операций, при этом выражения (2.21) преобразуются следующим образом:

$$A_{\text{ж.ц}}^{(\text{пц})} \cap A_{\text{ж.ц}}^{(\text{фц})} \neq \emptyset$$

или

$$A_{\text{ж.ц}}^{(\text{зам})} \cap A_{\text{ж.ц}}^{(\text{пр})} \cap A_{\text{ж.ц}}^{(\text{соз})} \cap A_{\text{ж.ц}}^{(\text{экс})} \neq \emptyset. \quad (2.21)$$

Общая продолжительность реального оптимизированного цикла меньше чем идеального и определяется как мера объединения множеств типа

$$\tau_{\text{ж.ц}}^{(\text{р})} < \tau_{\text{ж.ц}}^{(\text{ид})} = m[\tau_{\text{ж.ц}}^{(\text{пц})} \cup \tau_{\text{ж.ц}}^{(\text{фц})}] = m[\tau_{\text{ж.ц}}^{(\text{зам})} \cup \tau_{\text{ж.ц}}^{(\text{пр})} \cup \tau_{\text{ж.ц}}^{(\text{соз})} \cup \tau_{\text{ж.ц}}^{(\text{экс})}]. \quad (2.22)$$

Снижение сроков проектирования и ввода объекта в эксплуатацию обеспечивается выделением независимых пусковых очередей и комплексов, позволяющих применить опережающую схему выполнения отдельных стадий, а также широким использованием технологий имитационного моделирования проектных решений.

Свойства сложной технической системы в количественном отношении характеризуются так называемыми квалиметрическими показателями P_k [67]:

$$S_i^{(\text{птс})} = F_i^{(\text{птс})}[\{P_{k,i}; i = 1, 2, 3, \dots, n_i^{(\text{птс})}\}], \quad (2.23)$$

где $n_i^{(\text{птс})}$ - число квалиметрических параметров, определяющих i -е свойство технологической системы.

Показатели эффективности технологической системы можно рассматривать как некоторые функции от всей совокупности свойств, выражаемых через квалиметрические показатели:

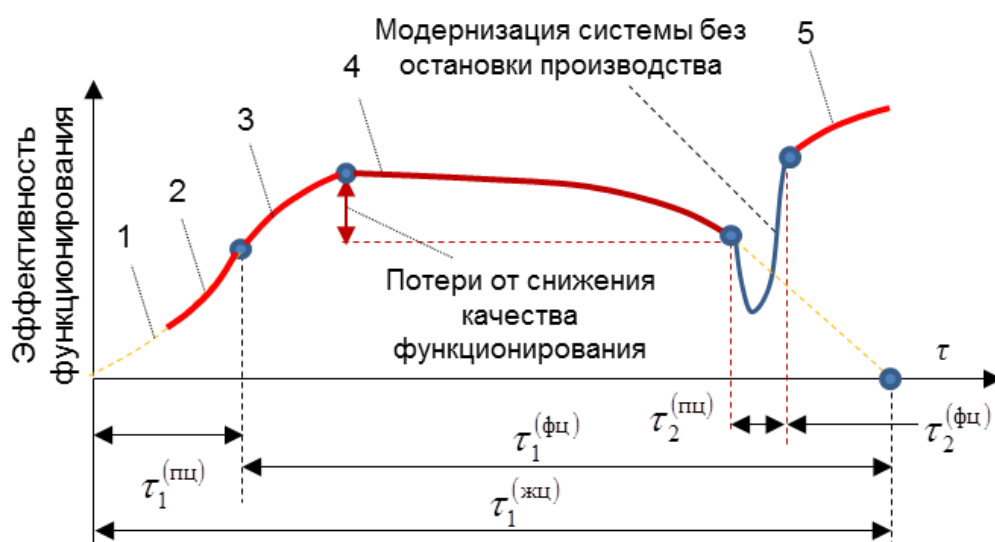
$$Y = F_{\kappa_0}^{(\text{птс})}[\{S_i^{(\text{птс})}; i = 1, 2, 3, \dots, n_{\text{св}}\}] = F_{\kappa_1}^{(\text{птс})}[\{P_{k,j}^{(\text{птс})}; j = 1, 2, 3, \dots, n_v\}], \quad (2.24)$$

где $n_{\text{св}}$ и n_v – общее число учитываемых при оценке качества свойств и квалиметрических показателей технологической системы соответственно.

В качестве квалиметрических показателей могут выступать структурные и функциональные параметры технологической системы, такие как:

производительность, удельная технологическая энергоёмкость, размер производственной площади, производительность, время технологического производственного цикла, штатная численность персонала и другие [72, 73].

Процесс развития технологической системы во времени сопровождается изменением её свойств, структуры и функций в зависимости от комплекса внутренних и внешних факторов. Предположим, что состояние системы в течение жизненного цикла характеризуется некоторым показателем эффективности функционирования $Y_{и}$, типовой закон изменения которого имеет следующие особенности (рисунок 2.7).



1 – проектирование; 2 – ввод в эксплуатацию; 3 – приработка и отладка; 4, 5 – эксплуатация; $\tau^{(пц)}$, $\tau^{(фц)}$ – проектная и функциональная стадии жизненного цикла $\tau^{(жц)}$ системы.

Рисунок 2.7 – Динамика эффективности функционирования в течение жизненного цикла технологической системы

В начале проектирования наблюдается постоянный рост прогнозируемого уровня показателей качества до точки перегиба – стадии реализации и ввода проекта в эксплуатацию. Для этого отрезка характерно падение показателей в связи с неизбежным отличием реальных условий функционирования от

идеальных проектных, приработки отдельных компонент системы и отладки функциональных взаимосвязей.

По мере физического износа в межрегламентный период обслуживания и старения в течение всего срока эксплуатации характерно постоянное падение показателей качества функционирования с некоторой интенсивностью, зависящей от эффективности системы ремонта и технического обслуживания элементов технологической системы, до некоторой точки перегиба, после которой начинается период дефилирующего развития, застоя и деградации.

Преодоление негативных последствий деградационного периода и переход на новый этап развития осуществляется путем модернизации и реконструкции технологической системы предприятия [77, 79]. Полный жизненный цикл технологической системы предприятия можно представить в виде последовательности некоторых устойчивых структурных состояний продолжительностью T_i (рисунок 2.8):

$$T = T_0 + T_1 + \dots + T_n = T_0 + \sum_{i=1}^n T_i, \quad (2.25)$$

где T_0 , T_n – этап запуска и завершающий этап функционирования предприятия соответственно.

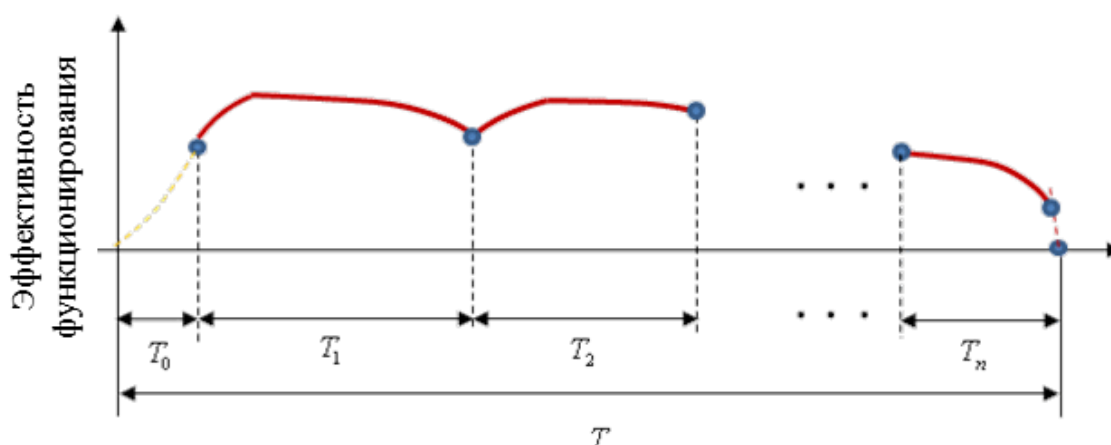


Рисунок 2.8 – Жизненный цикл технологической системы предприятия

Время начала проектных работ по модернизации технологической системы, а по сути перехода ее перехода на новый этап T_{i+1} определяется анализа прогноза

параметров эффективности функционирования для ожидаемых внешних и внутренних функциональных условий (факторов функционирования), выполняемого методами математического моделирования.

2.5. Выбор методов исследования технологических систем ремонтного производства и технического обслуживания подвижного состава

С позиции теории систем технологическую систему предприятия следует рассматривать как сложную систему, состоящую из развивающегося во времени упорядоченного множества технологических элементов, отвечающих требованиям заданной целевой функции. Формально такую систему можно описать при помощи следующего математического выражения [186, 261]:

$$C = \begin{cases} S = \varphi(e_i), \\ F = \psi(\phi_j), \end{cases} \quad (2.26)$$

где S – строение (состав и структура системы);

e_i – элементы или компоненты строения структуры;

F – целевая функция, определяющая цели и задачи предприятия;

ψ_j – параметры и показатели целевой функции.

Производственная структура предприятия учитывает характер продукции, технологию его изготовления, масштаб производства, степень специализации и его кооперирование с другими предприятиями, а также степень специализации производства внутри предприятия. В количественном отношении структура технологической системы предприятия определяется эквивалентным множеством структурных параметров, каждый из которых описывает соответствующие обобщенные структурные элементы.

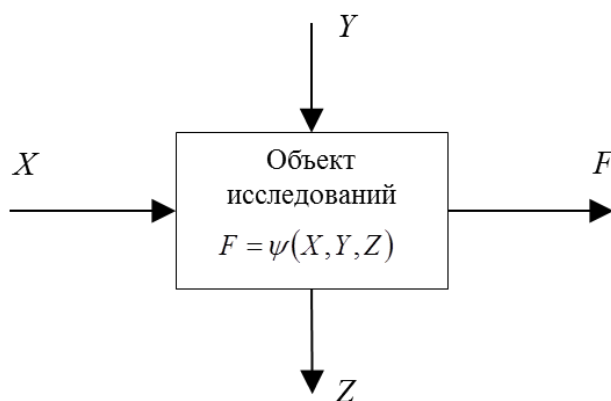
Организационная система характеризуется следующими свойствами: наличием целей функционирования; целостностью и декомпозицией состава; наличием связей элементов и их комплексов в виде структуры; упорядоченность названных компонентов и их развитие. Цель синтеза производственно-технологических структур системы – создание системы, обеспечивающей

выполнение заданных функций и получение прибыли как конечного результата выполнения в условиях рыночной экономики. При этом каждый элемент системы решает свои локальные задачи, имеет показатели и критерии оценки деятельности в рамках единого целого.

При исследовании технологических систем предприятий и организаций принято выделять несколько подходов, основанных на различном представлении и математическом описании целевой функции объекта исследований [261, 295].

Системно-функциональный подход. Наиболее распространенный, простой и доступный подход, основанный на описании целевой функции производственно-технологической системы (F) в виде «черного ящика» (рисунок 2.7).

Под «чёрным ящиком» условимся понимать технологическая система предприятия с неизвестной внутренней структурой. Понятие «чёрный ящик» предложено У. Р. Эшби и предполагает два вида моделей. К первому виду относятся любые модели производственно-технологических систем, рассматриваемые как конечный или бесконечный автомат.



F – целевая функция; X – «входная» переменная; Y – факторы внешней среды; Z – параметры состояния системы.

Рисунок 2.9 – Модель технологической системы типа «черный ящик»

Поведение таких «чёрных» ящиков при изменении множества входных переменных и факторов внешней среды известно. Ко второму виду относятся «чёрные» ящики, наблюдать поведение которых возможно только в эксперименте. В этом случае принимается предварительная гипотеза о предсказуемости

поведения «чёрного» ящика и формируется его модель в виде «белого» ящика, состоящего из известных компонент.

Содержимое «белого» ящика подбирается для реализации той же зависимости выхода от входа, что и у заменяемого им «чёрного» ящика. В процессе уточнения и корректировки модели происходит многократное обращение от «черного» к «белому» ящиков с выдвижением и проверкой новых гипотез.

Применительно к исследуемой предметной области компоненты модели X , Y , Z , F могут быть описаны следующим образом:

$F(f_1, f_2, \dots, f_n)$ – целевая функция, в общем случае это материальные ценности, продукт или услуга, создаваемые технологической системой в результате деятельности в натуральном или денежном выражении, а также различные показатели экономической эффективности этой деятельности;

$X(x_1, x_2, \dots, x_m)$ – входы модели, например: множество материальных, топливно-энергетических или финансовых ресурсов;

$Y(y_1, y_2, \dots, y_r)$ – факторы внешней среды, влияющие на поведение технологической системы и изменение целевой функции;

$Z(z_1, z_2, \dots, z_s)$ – параметры состояния системы, например: технический уровень производства, степень механизации труда и т.д.

Способ исследования поведения данного «черного» ящика заключается в проведении эксперимента, результаты которого можно представить в виде таблицы 2.1.

Таблица 2.1 – Способ исследования «черного» ящика

Состояние входов	Состояние выхода	Время
$x_1(t_1), x_2(t_1), \dots, x_n(t_1)$	$f_1(t_1), f_2(t_1), \dots, f_n(t_1)$	t_1
$x_1(t_2), x_2(t_2), \dots, x_n(t_2)$	$f_1(t_2), f_2(t_2), \dots, f_n(t_2)$	t_2
...	...	...
$x_1(t_k), x_2(t_k), \dots, x_n(t_k)$	$f_1(t_k), f_2(t_k), \dots, f_n(t_k)$	t_k

Значения $x_1(t_1), x_2(t_1), \dots, x_n(t_1)$ для каждого момента времени t_i выбираются произвольно. Другой способ исследования заключается в подаче на входы

некоторых стандартных последовательностей. Этот способ особенно привлекателен, потому что позволяет сравнивать поведение нескольких «черных» ящиков с условием выбора таких, которые будут соответствовать предъявляемым требованиям.

Исследование поведения технологической системы в различных динамических предполагает изучения его вероятностных свойств как некоторого «вероятностного автомата». Для этих целей можно построить матрицу вероятностей, в которой для каждого входа $X(x_1, x_2, \dots, x_m)$ и каждого выхода $F(f_1, f_2, \dots, f_n)$ указывается условная вероятность p_i , что f_i возникает в ответ на x_i [240].

Использование моделей данного класса позволяет изучать поведение технологических систем, то есть их реакций на разнообразные внешние воздействия и в то же время абстрагироваться от их внутреннего устройства.

Системно-структурный подход. В отличие от общей теории систем, которую отличает отсутствие четкой предметно-материальной области исследований, в теории организации структурой $\{S\}$ принято называть состав, как самих объектов, так и совокупность устойчивых технологических связей между ними, которые обеспечивают её целостность и сохранение основных свойств системы при различных внешних и внутренних изменениях.

Ключевым элементом системно-структурного подхода является производственно-технологическая структура предприятия $\{S\}$, отражающая его внутреннее строение, совокупность составляющих систему элементов, описываемую множеством типа $\{E_i^{\text{TC}} : i = 1, 2, \dots, n_e\}$ и систему межэлементных связей, описываемую множеством $\{B_{ij}^{\text{TC}} : i, j = 1, 2, \dots, n_e; i \neq j\}$, объединенных едиными целями и технологическим процессом функционирования.

Описание производственно-технологической структуры предприятия как изолированной системы можно представить в виде соответствующих графов:

$$S = (E_{\text{TC}}, B_{\text{TC}}) \text{ - по К. Бержу [27]} \quad (2.27)$$

или

$$S = (E_{TC}, B_{TC}^{(1)}, K) \text{ - по А. Зыкову [27, 28]} \quad (2.28)$$

где E_{TC} – множество вершин графа, представляемыми всеми элементами в составе системы; B_{TC} – множество дуг графа, представляемыми всеми связями между элементами в системе; $B_{TC}^{(1)}$ – множество ребер графа, представляемых всеми связями между элементами, соответствующих числу связей без указания их направлений; K – множество высказываний, определяющих характер связей вершин в графе (рисунок 2.10).

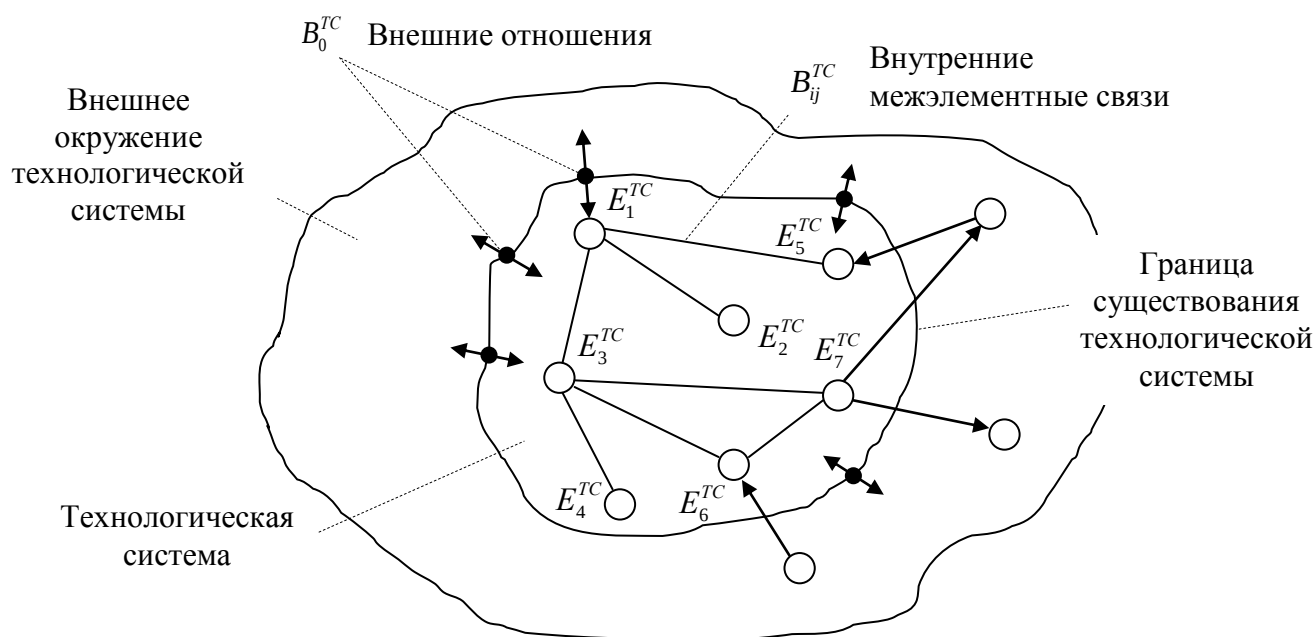


Рисунок 2.10 – Представление структуры технологической системы в виде графа

Вершины графа могут характеризовать различные подсистемы, объекты состава, строения или устройства, компоненты и элементы, если предметом системно-структурного исследования является оптимального проектирования или изучение состояний этих объектов. При описании последовательности технологических операций для решения задач операционного планирования и управления вершины графа могут в равной мере характеризовать события, работы и другие элементы или компоненты структуры, при этом речь идет об организации технологического процесса производства [94, 138].

Ребра, соединяющие названные вершины, могут характеризовать

различные соотношения взаимосвязей: расстояния, хронометрические (временные) связи, финансовые и материальные потоки, отношения административного подчинения объектов структуры и другие отношения материальных объектов в структурных математических моделях.

Системно-эволюционный подход. В основу данного подхода положено моделирование развитие технологической системы во времени с использованием принципов диалектического единства законов и закономерностей эволюционного и революционного развития, которые предполагают [44]: исследование изменчивости и наследственности показателей во времени; целевой выбор элементов структуры (целесообразное снижение множества альтернатив) как в режиме медленной адаптации системы к изменяющимся факторам, так и скоротечной перестройки системы при незначительном изменении тех или иных параметров.

Моделирование является основным способом исследования сложных технических систем. В общем случае под моделью системы понимается приближенное отображение реальной системы.

Определение моделирования по А. А. Ляпунову - это опосредованное практическое или теоретическое исследование объекта, при котором непосредственно изучается не сам интересующий нас объект, а некоторая вспомогательная искусственная или естественная система (модель), находящаяся в некотором объективном соответствии с познаваемым объектом, способная замещать его в определенных отношениях, дающая при её исследовании, в конечном счете, информацию о самом моделируемом объекте.

Основные подходы математического моделирования подробно рассмотрены в книгах Г. Вагнера и Л.В. Кантаровича. Наиболее подробно вопросы создания моделей производственных предприятий на основе системно-функционального и системно-структурного подхода исследуются в работах [69, 78, 106, 186, 250, 251].

По функциональному назначению модели организаций могут быть отнесены к одному из следующих классов:

- познавательные – служат для формирования первичного представления об исследуемом объекте и процессах его функционирования;
- классификационные – фиксируют общность и различия элементов внутренней структуры организации;
- прагматические – содержат описания вариантов рациональной организации функционирования организации для различных ситуаций;
- реальные - модели, построенные из реальных объектов;
- функциональные - модели, которые дают описания процессов, связанных с назначением данной технической системы;
- динамические - характеризуют рост или развитие организационной системы во времени и другие.

По способу представления информации моделирование принято подразделять на следующие разновидности [251].

Статическое моделирование – представляет собой статическое отображение исследуемого объекта без учета фактора времени. К данному классу моделей можно отнести наглядное макетирование, например разработку генерального плана застройки проектируемого предприятия, схемы размещения пунктов технического обслуживания и подготовки к перевозкам на полигоне эксплуатации подвижного состава, изготовление макета технологического участка, цеха или предприятия в целом.

Мысленное (аналоговое или гипотетическое) моделирование. Аналоговое моделирование основывается на принципе использования общих свойств организаций-аналогов, например, однотипных ремонтных предприятий в сходных условиях. Мысленное гипотетическое моделирование предполагает построение гипотез и его применяют в случаях, когда знаний об изучаемой процессе для построения формальных моделей недостаточно: например, при внедрении принципиально новой технологии производства или формы организации труда.

Символьное моделирование – это знаковое или языковое описание свойств объектов. К этому классу относятся описательные (вербальные) модели. При помощи вербальных моделей на словесном или математическом уровне

описываются цели и параметры системы, ее связи с внешней функциональной средой. Так простейшая модель организации на вербальном уровне, может быть представлена как множество G , состоящее из подмножеств:

$$G = \{I, P, A, X, Y, Z, C, S\} \quad (2.29)$$

где I - идентификатор системы; P - цели системы; A - атрибуты системы; $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ - множество входных воздействий на систему; $Z = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ - множество выходных характеристик системы; $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_k\}$ - множество воздействий внешней среды; $C = \{c_1, c_2, \dots, c_h\}$ - множество внутренних свойств системы; $S = \{E, R\}$ - структура системы, где E - множество элементов системы, R - множество связей между элементами системы.

Применительно к предприятиям по ремонту подвижного состава в качестве идентификатора может выступать условное обозначение предприятия и признак принадлежности к одному из территориальных филиалов компании (по месту размещения). Цели системы – выполнение установленной производственной программы, соблюдение надлежащего качества и времени ремонта при минимальной себестоимости. Под системными атрибутами понимаются – те признаки, по которым можно осуществлять классификацию систем, например тип, класс, специализация предприятия. Входы и выходы системы определяются ее функциональным назначением, внутренние свойства и структура на вербальном уровне описываются перечислением элементов, их свойств и связей.

Языковое моделирование предполагает использование специальных средств формализованного описания (языков моделирования). Примером языкового моделирования является описание процессов проектирования в виде логических схем и алгоритмов, формируемых на основе формализованных элементов (символов) процедур проектирования и принятия решения [145].

Например, обобщенная проектная процедура проектирования технологической системы предприятия на языке схем логико-структурного анализа может быть представлена в виде следующего выражения [151]:

$$\begin{aligned}
& \downarrow_6 A_1 \downarrow_7 A_2 \downarrow_8 P_1 \uparrow_9 P_2 \uparrow_9 P_3 \uparrow_3 P_4 \uparrow_{10} A_6 A_8 A_9 P_5 \uparrow A_{11} A_{12} A_{13} \Omega_{11} \uparrow_{11} A_3 \Omega_6 \uparrow_2 \times \\
& \times A_4 \Omega_7 \uparrow_7 \downarrow_3 A_5 \Omega_8 \uparrow_8 \downarrow_4 A_7 \Omega_9 \uparrow_9 \downarrow_5 A_{10} \Omega_{10} \uparrow_{10} \uparrow_{11} S,
\end{aligned} \tag{2.30}$$

где A_1 – определение целей выполнения; A_2 – логическое выражение выполняемой функции; A_3 – анализ исходных сведений; A_4 – корректировка схемы расчета; A_5 – определение вариантов моделей расчета; A_6 – определение границ, критериев и ограничений; A_7 – выбор метода реализации; A_8 – выполнение расчета; A_9 – изменение переменных; A_{10} – выбор варианта; A_{11} – принятие решения; A_{12} – изменение метода выполнения; A_{13} – оформление результата; P_1 – подготовка данных; P_2 – схема расчета; P_3 – выбор модели расчета; P_4 – выбор критериев и ограничений; P_5 – оценка результатов.

Достоинством языкового моделирования является доступность и ясность описания алгоритмов создания и функционирования достаточно сложных объектов. Набора типовых процедур составляется исходя из общей задачи проектирования в зависимости от целей проектирования, структуры объекта и необходимости разработки оригинальных решений.

Математическое моделирование позволяет получать характеристики состояния реального объекта или процесса на основе использования специальных математических соотношений. Рассмотрим основные типы математических моделей.

Аналитические модели представляют собой некие математические соотношения, связывающие структурные параметры системы с показателями ее функционирования. Для получения соотношений могут использоваться графы, линейные и нелинейные уравнения, математические ряды, полиномы различной степени, искусственные нейронные сети и т.п. [295];

Например, при оценке производственного потенциала наиболее часто применяется метод прямых расчетов, который предполагает расчет непосредственного влияния изменения фактора, формирующего производственный потенциал, на количественные характеристики производственной мощности предприятия [17]. Факторы, не имеющие прямого

количественного измерения, как правило, учитываются экспертным методом и вводятся в виде соответствующих корректирующих коэффициентов.

Экспертный метод основан на обобщении опыта, знаний, наблюдений специалистов, позволяющих систематизировать их и выявить закономерности. Оценка экспертов учитывается путем корректировки измеряемых параметров технологической системы на соответствующие расчетные коэффициенты времени выполнения технологических операций на рабочих местах, показателей внутреннего возврата и программы ремонта, алгоритма работы системы управления и логистики, дополнительных ограничений на доступность ресурсов и так далее.

Методы *статистических исследований* позволяют выявить определенные устойчивые закономерности и зависимости между значимостью факторов и значимостью показателей. Например, на практике наиболее часто для установления форм связей между производительностью и другими параметрами процессов и машин применяют многофакторные и однофакторные уравнения регрессии и уравнения корреляционного анализа [17, 122].

В общем случае зависимость некоторой целевой функции производительности от технологических параметров может быть представлена в виде модели множественной регрессии

$$F(x) = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_m \cdot x_m + \varepsilon, \quad (2.31)$$

где $b_0, b_1, \dots, b_n$ – коэффициенты регрессии; $x_1, x_2, \dots, x_n$ – параметры технологической системы, например: уровень механизации и автоматизации производства, штатная численность работников, число параллельных технологических позиций, средняя трудоемкость и другие; ε – ошибка регрессии.

Оценка коэффициентов регрессии может быть найдена методом наименьших квадратов [230]:

$$\sum_{k=1}^M (F_k - \hat{F}_k)^2 \rightarrow \min, \quad (2.32)$$

где $F, \hat{F}$ – реально наблюдаемые отклонения и их оценки соответственно; M –

объём выборки.

Для решения задачи регрессионного анализа методом наименьших квадратов вводится понятие функции невязки:

$$\sigma(\bar{b}) = \frac{1}{2} \cdot \sum_{k=1}^M (F_k - \hat{F}_k)^2 \quad (2.33)$$

Минимум функции невязки обеспечивается при выполнении следующего условия:

$$\frac{d\sigma(\bar{b})}{db_i} = 0, i = 1, \dots, N \Leftrightarrow \begin{cases} \sum_{i=1}^M F_i = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N b_j x_{i,j} + b_0 \\ \sum_{i=1}^M F_i x_{i,k} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N b_j x_{i,j} x_{i,k} + b_0 \sum_{i=1}^M x_{i,k} \end{cases}, k = 1, \dots, N. \quad (2.34)$$

Полученную систему уравнений можно решить одним из известных классических методов, например методом Гаусса.

В этом случае свободные члены уравнения описываются матрицей вида

$$B = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^M F_i \\ \sum_{i=1}^M F_i x_{i,1} \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^M F_i x_{i,N} \end{bmatrix}, \quad (2.35)$$

а коэффициенты при неизвестных в правой части - матрицей

$$B = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^M 1_i & \sum_{i=1}^M x_{i,1} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N} \\ \sum_{i=1}^M x_{i,1} & \sum_{i=1}^M x_{i,1} x_{i,2} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N} x_{i,2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=1}^M x_{i,N} & \sum_{i=1}^M x_{i,1} x_{i,N} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N} x_{i,N} \end{bmatrix}. \quad (2.36)$$

В результате получается матричное уравнение $A \times X = B$, содержащее в решении коэффициенты уравнения линии регрессии

$$X = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_N \end{bmatrix}. \quad (2.37)$$

Кроме многомерных регрессионных моделей, для установления связи между производительностью и каким-либо одним фактором, на практике часто используют однофакторные уравнения корреляционного анализа. Для них оценивают коэффициенты корреляции и среднеквадратические отклонения параметров, например, по критерию Пирсона:

$$r_{X,F} = \frac{\text{cov}_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{\sum_{i=1}^n (X - \bar{X}) \cdot (F - \bar{F})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (F - \bar{F})^2}}, \quad (2.38)$$

где $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$, $\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$ - среднее значение выборок.

Обобщая вышеизложенное можно констатировать, что использование аналитических моделей позволяет дать только приближенную оценку работы производственно-технологического комплекса предприятия, не учитывающую целый ряд важнейших факторов связанных с вероятностным характером изменения программы и объема ремонта по отдельным узлам и агрегатам подвижного состава.

Проблемой использования статистических методов в современных условиях на предприятиях по ремонту подвижного состава является отсутствие достаточного объема достоверных статистических данных. Как показывает практика технологического аудита ремонтных депо, анализ работы на уровне отдельных подразделений, цехов и участков предприятия не производится, данные о фактическом выполнении производственных заданий в течение рабочего времени не документируются или документируются с существенными искажениями. Дополнительные сложности возникают при попытках систематизации информации о работе предприятий различной собственности в

связи с защитой данных, представляющих служебную или коммерческую тайну.

Имитационные модели, которые воспроизводят поведение исследуемого технологической системы в динамике (во времени), позволяют учитывать вероятностный характер процессов и объема ремонта [106, 270, 275]. Кроме рассмотренных подходов, возможны их различные сочетания и построенные на их основе *комбинированные математические модели* [251].

Обобщая вышеизложенное, в качестве основного метода исследования процессов создания и функционирования технологических систем предприятий по ремонту и ТО подвижного состава целесообразно использовать математическое имитационное моделирование с созданием следующих классов моделей.

На макро-уровне представления технологической системы предприятия как элемента системы перевозочного процесса – системно-функциональная вероятностная динамическая имитационная модель, обеспечивающая возможность параметрического исследования процессов взаимодействия «предприятие – функциональная среда» во времени без раскрытия структурной сущности и взаимосвязей отдельных элементов технологической системы.

На микро-уровне представления технологической системы предприятия – системно-структурная вероятностная динамическая имитационная модель, отражающая особенности взаимодействия различных элементов системы во времени с учетом всей совокупности их свойств, технологии и организации ремонтного производства.

Иные способы формального описания и представления объекта исследования (например, символьные или статические модели) целесообразно использовать на ранних этапах реализационного периода для описания процессов разработки и выбора проектных решений.

2.6. Модель многоуровневой оптимизации технологических систем ремонтного производства и технического обслуживания подвижного состава

Классическое определение понятия оптимизации объекта в общем случае означает процесс приведения объекта в некоторое наилучшее (оптимальное) состояние [14, 242]. Рассмотрим задачу оптимизации технологической системы предприятия по ремонту и ТО подвижного состава с позиции единого методологического подхода на процессы его создания и использования, как элементы некоторой обобщенной *операции*, направленной на решение проблемы, *достижение установленной цели* или выполнение заданной функции.

Как уже отмечалось ранее, в теории сложных систем принято выделять следующие стадии обобщенной операции, связанные с периодами жизненного цикла системы:

- реализационный период, предполагающий создание системы;
- период полезного использования системы в качестве активного средства для достижения цели операции.

В этом случае, постановка оптимизационной задачи будет выглядеть следующим образом. Предположим, что решение возникшей проблемы связано с некоторой конкретной целью, например – обеспечением ремонта парка грузовых вагонов частной перевозочной компании.

Существующих активных средств для достижения этой цели нет или они недостаточны, однако выделены или могут быть выделены средства на достижение этой цели путем создания нового или модернизации существующего ремонтного предприятия. Требуется выбрать наилучший из возможных вариантов технологической системы ремонтного производства, спланировать и организовать процесс его создания так, чтобы потенциальная эффективность этого комплекса в операции, направленной на достижение цели была наибольшей.

Обобщенная операция для достижения поставленной цели включает в себя этапы проектирования, реализации, запуска, использования по назначению, модернизации и прекращения использования технологической системы.

Глобальная цель обобщенной операции – обеспечение ремонта собственного парка грузовых вагонов оператора определяется назначением и реализуется на этапе использования технологической системы по назначению. Цели предшествующих этапов жизненного цикла являются промежуточными целями обобщенной операции. При этом успешность достижения каждой из последующих локальных целей определяется предыдущими:

$$G = \bigcup_x G_x = S_0 \rightarrow S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow \dots \rightarrow S_{r-1} \rightarrow S_r, \quad (2.39)$$

где G – глобальная цель реализации проекта; G_x – локальные цели реализации отдельных этапов; S_0 – исходное состояние объекта; $S_1, \dots, S_{r-1}$ – промежуточные состояния; S_r – конечное состояние на момент завершения периода полезного использования.

Степень достижения целей на каждом из этапов жизненного цикла технологической системы оценивается по критерию общей эффективности, рассмотренному ранее (2.10). Глобальная цель предприятия ориентирована на получение максимального эффекта за период полезного использования. Она достигается: путем увеличения продолжительности полезного использования технологической системы; повышением среднегодовой эффективности; снижением капитальных затрат на создание и модернизацию.

Количественные и качественные результаты деятельности, инвестиционные затраты и эксплуатационные расходы предприятия определяются параметрами технологической системы в частности структурой и технологией использования активных средств производства u , которые в свою очередь зависят от множества параметров внешней функциональной среды $H(t)$ (2.14).

Таким образом, задача повышения эффективности технологической системы представляет собой задачу многоуровневой оптимизации, которая может быть сформулирована как динамический выбор вариантов структуры и технологии использования активных средств производства u_i в зависимости от комплекса факторов функциональной среды, при которых обеспечивается

максимальная среднегодовая эффективность Y предприятия за время жизненного цикла T :

$$\frac{1}{T} \sum_{k=1}^n Y_k T_k \rightarrow \max, \quad (2.40)$$

где Y_k – показатель эффективности предприятия в период T_k ;

$k = 1, 2, \dots, n$ – функциональные состояния технологического комплекса;

T_k – период времени между сменами состояния, лет.

Как отмечалось ранее, для административно и хозяйственно самостоятельных ремонтных предприятий в качестве критерия эффективности Y_k принимается рентабельность ремонта или ТО (2.2). В этом случае выражение (2.38) можно представить в следующем виде:

$$\frac{1}{T} \sum_{k=1}^n (1 + r_k T_k) \rightarrow \max, \text{ для } T_k \leq 1 \text{ год} \quad (2.41)$$

где r_k – рентабельность предприятия в период T_k ;

или

$$\frac{1}{T} \sum_{k=1}^n [(1 + r_k)^{T_k} - 1] \rightarrow \max, \text{ для } T_k > 1 \text{ года} \quad (2.42)$$

Рентабельность предприятия определяется как

$$r_k = \frac{d_k}{s_k + \frac{g_k}{T_k}}, \quad (2.43)$$

где $d_k = d(u_k)$, $s_k = s(u_k)$ – среднегодовой доход и эксплуатационные затраты соответственно;

g_k/T_k – приведенные к году инвестиционные затраты на создание и модернизацию предприятия, $g_k = g(u_k, u_{k+1})$.

При расчете эксплуатационных затрат s_k учитываются страховые отчисления для компенсации ущерба от отказов подвижного состава по техническим неисправностям в гарантийный период (2.8).

Переход технологической системы из одного функционального состояния в другое $u_k \rightarrow u_{k+1}$ связан с инвестиционными затратами g_k , при этом каждое состояние характеризуется своими значениями дохода и эксплуатационных затрат за год d_k, s_k , зависящими от множества факторов внешней среды в данный момент времени $H(t)$.

Исключение из целевой функции критерия внешней эффективности, отражающего интересы операторов подвижного состава, учитывается при помощи системы ограничений [232]:

1. Обеспечение безопасности движения

Оценивается по показателям безотказности подвижного состава (1.7 – 1.10). Например, вероятности того, что наработка до отказа τ для каждого из ответственных узлов и агрегатов подвижного состава окажется не меньше заданной t :

$$P_i(t_i) = P_i\{\tau_i \geq t_i\} \geq P_{\text{норм}i}, \quad i = 1, \dots, m, \quad (2.44)$$

где $i = 1, \dots, m$ – множество узлов и агрегатов подвижного состава, отказ которых приводит к событию нарушения безопасности движения.

Значения $t_i, P_{\text{норм}i}$ зависят от принятой стратегии (системы) ремонта и степени тяжести последствий отказа каждого конкретного узла или агрегата.

2. Выполнение норм простоя подвижного состава на ремонте и ТО

Ограничение задается вероятности выполнения нормативов простоя:

$$P(K_p(t)) = P\{K_p \leq K_p^{\text{н}}\}, \quad (2.45)$$

где $K_p, K_p^{\text{н}}$ – фактический и нормативный коэффициенты выполнения норм простоя подвижного состава соответственно, определяемые по выражению (1.11).

На практике, выполнение данного условия предполагает введение дополнительных и более жестких ограничений:

- на значения среднего времени простоя в ремонте $\tau_{\text{рем}}$

$$\tau_{\text{рем}j} = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_{\text{рем}i j}}{n} \leq \tau_{\text{рем}j}^{\text{н}}, j = 1, \dots, k \quad (2.46)$$

- на значения среднего времени восстановления $\tau_{\text{в}}$

$$\tau_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^m \tau_{\text{в}i}}{n} \leq \tau_{\text{в}}^{\text{н}}, \quad (2.47)$$

где $\tau_{\text{рем}}$, $\tau_{\text{в}}$ фактические значения простоя на плановых видах ремонта $j = 1, \dots, k$ и времени восстановления для n однотипных восстанавливаемых объектов [274];

$\tau_{\text{рем}j}^{\text{н}}$, $\tau_{\text{в}}^{\text{н}}$ - нормативные значения простоя на плановых видах ремонта и среднего времени восстановления (внепланового ремонта).

3. Соблюдение *требований технологической оснащенности* предприятия

Данное условие предполагает наличие в структуре технологической системы комплекта оборудования, средств контроля и диагностирования, обеспечивающих выполнения технологических операций в соответствии с требованиями ремонтной документации в полном объеме и надлежащего качества:

$$H_j^R \subset H_j(u), \alpha_i(h_i) > 0, i = 1, \dots, r, j = 1, \dots, d, \quad (2.48)$$

где $H_j^R = h_1^R, h_2^R, \dots, h_{nj}^R$ - множество технологических операций, выполнение которых регламентировано для j -го вида ремонта; $H = h_1, h_2, \dots, h_r$ - множество операций, выполнение которых возможно для данной структуры активных средств технологической системы;

$\alpha_i(h_i)$ - показатель технического уровня для i -ой технологической операции, оцениваемый экспертным методом в диапазоне $[0, 1]$ ($\alpha = 0$ – технология не соответствует требованиям ремонтной документации) [199].

4. *Выполнение установленной производственной программы*

Ограничение, обусловленное контрактными или корпоративными обязательствами по поддержанию технического состояния подвижного состава:

$$\prod_{j=1}^d \rho_r \geq \rho, \quad (2.49)$$

ρ - вероятность выполнения установленной производственной программы по заданным видам ремонта.

5. Ресурсное обеспечение технологической системы

Представим состояние технологической системы в каждый момент времени в виде матрицы ресурсно-энергетических характеристик $W_m, m = 1, 2, \dots, s$ размера $n \times k$:

$$W_m = \begin{pmatrix} w_{11}^m & w_{12}^m & \dots & w_{ij}^m & \dots & w_{1k}^m \\ w_{21}^m & w_{22}^m & \dots & w_{2j}^m & \dots & w_{2k}^m \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{i1}^m & w_{i2}^m & \dots & w_{ij}^m & \dots & w_{ik}^m \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{n1}^m & w_{n2}^m & \dots & w_{nj}^m & \dots & w_{nk}^m \end{pmatrix}, \quad (2.50)$$

где w_{ij}^m – значение потребления j -го ресурса для i -ой технологической операции (энергии, топлива, материальных и трудовых ресурсов). В случае если ресурс не потребляется, значение принимается равным нулю.

В этом случае условие ресурсных ограничений можно представить в следующем виде:

$$\sum_{i=1}^n w_{ij}^m r_i \leq W_j^{\max}, \quad j = 1, \dots, k, \quad (2.51)$$

где r_i – средняя интенсивность выполнения i -ой технологической операции; $W_j^{\max}$ – максимальный доступный объем j -го ресурса в единицу времени.

Для ремонтных предприятий, входящих в состав холдинговых структур и зависящих от операторов подвижного состава, целевая функция принимает следующий вид:

$$\frac{1}{T} \sum_{k=1}^n \frac{K_{\text{ор}k}}{c_{pk}} T_k \rightarrow \max, \quad (2.52)$$

где $K_{\text{ор}k}$ – средний коэффициент оперативной готовности по парку подвижного состава в k -й период; $c_{\text{р}k}$ – затраты на ремонт с учетом расходов на пересылку объектов ремонта (см., 2.11).

В качестве ограничений принимается размер среднегодовой рентабельности, рассчитываемый по выражению (2.43) $r_k \geq r_{\text{min}}$, где r_{min} – минимальная рентабельность ремонтного производства, обеспечивающая устойчивое технологическое развитие предприятия.

На каждом из этапов существования технологической системы локальная оптимизационная задача формулируется как выбор такого варианта из множества вариантов структуры и технологии использования активных средств производства $u_k \in U$ на интервале функционирования T_k , чтобы среднегодовая эффективность для заданных условий функционирования была максимальной (2.40).

Свойства технологической системы формируются на стадии проектирования и создания, реализуются при использовании по назначению, поддерживаются и корректируются при модернизации и реконструкции предприятия. Соответствующий алгоритм оптимизации технологической системы для k -го функционального состояния представлен на рисунке 2.11.

Решение оптимизационной задачи осуществляется на принципах последовательной очередности и информационной преемственности между отдельными уровнями модели [216, 221].

На первом уровне осуществляется оптимизация параметров технологической системы как элемента системы более высокого уровня – перевозочного процесса на железнодорожном транспорте. Производится выбор оптимального места размещения, структуры и масштаба производства, после чего осуществляется проверка параметров функционирования системы в заданных условиях. Второй уровень – уровень оптимизации проектных решений. На третьем уровне оптимизируются процессы действующего производства путем корректировки параметров технологической системы в зависимости от

фактических местных условий, решаются задачи оптимизации планов инвестиционного развития.

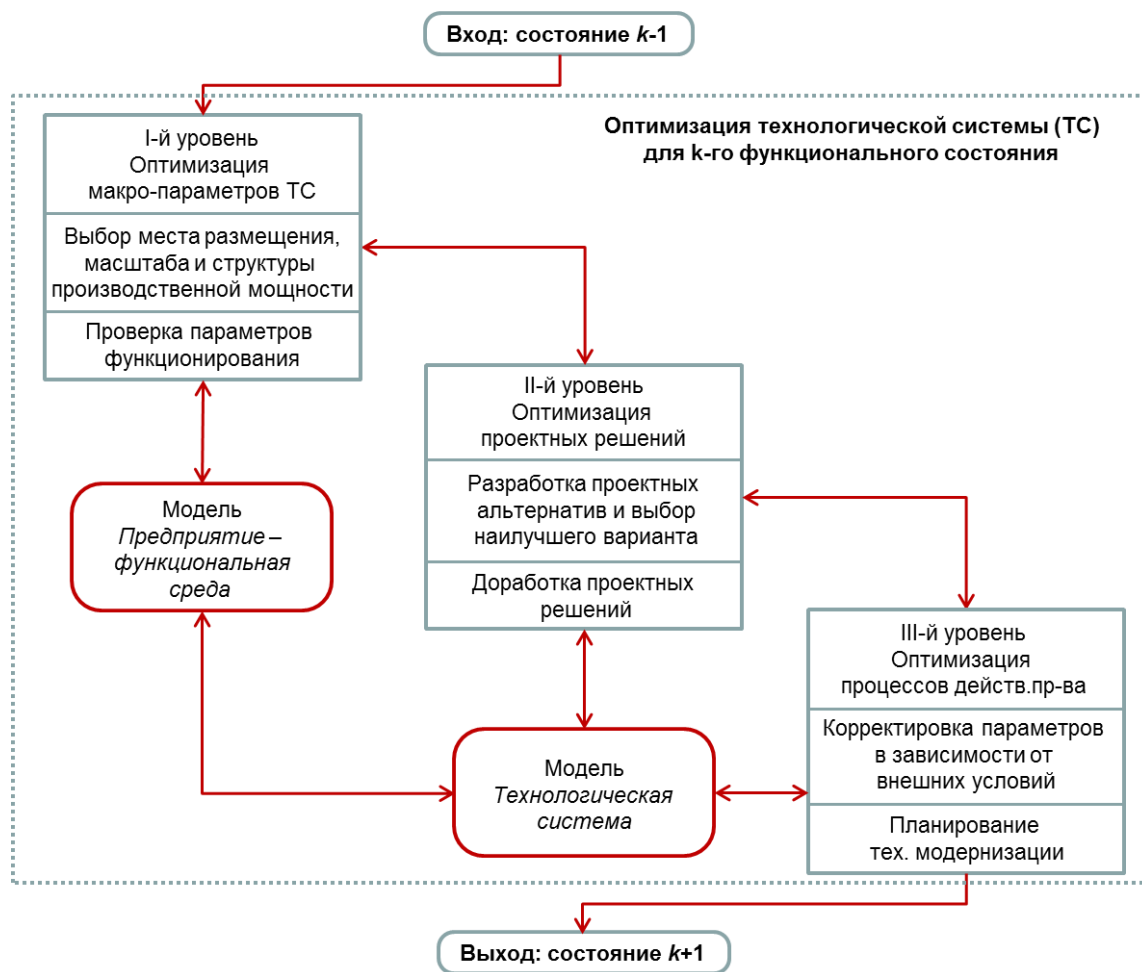


Рисунок 2.11 – Алгоритм оптимизации k -го функционального состояния технологической системы (составлено автором)

Для анализа процессов функционирования объекта оптимизации используются макромоделли «Предприятие - функциональная среда» и микромоделли «Технологическая система».

На каждом последующем уровне проектирования производится детализация и корректировка проектных решений, выработанных ранее, таким образом, формируются обратные связи между отдельными уровнями оптимизационной модели. В рамках каждого из уровней предполагаются циклы структурной и параметрической оптимизации с принятием решения о достижении поставленной цели или возврата на предыдущий уровень.

Процесс оптимизации на каждом из локальных уровней k -го функционального состояния технологической системы в свою очередь можно представить в виде следующей обобщенной схемы (рисунок 2.12). Процесс выполняется интерактивно до тех пор, пока найденное решение не будет удовлетворять цели и ограничениям, при этом на каждой итерации производится оценка проекта, его корректировка и повторный поиск варианта решения.

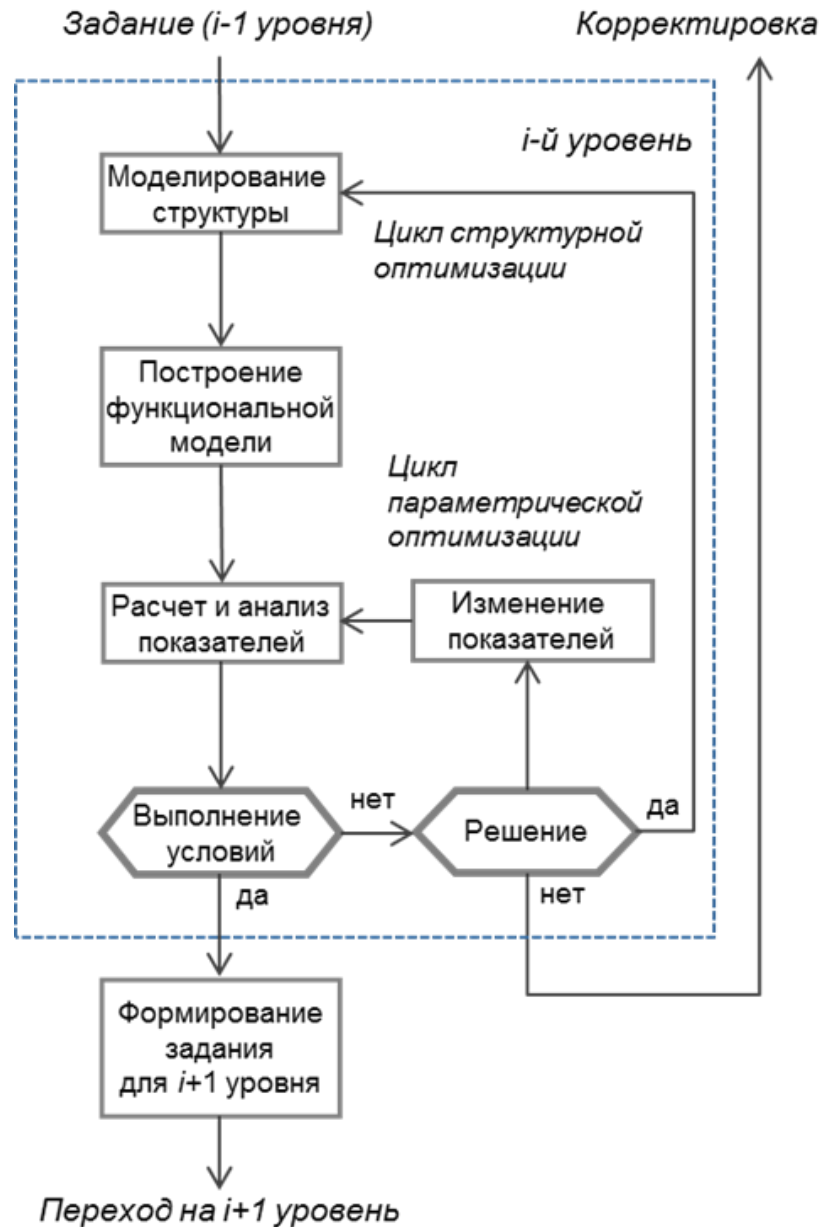


Рисунок 2.12 – Алгоритм итерационной оптимизации на i -ом уровне для k -го состояния технологической системы (составлено автором)

Для сложных технологических систем характерна своеобразная организация

проектирования - в две стадии: макропроектирование (внешнее проектирование), в процессе которого решаются функционально-структурные вопросы системы в целом, и микропроектирование (внутреннее проектирование), связанное с разработкой элементов системы как физических единиц производственных участков, рабочих мест и оборудования.

На стадии стратегического планирования формируется техническое задание, в котором оговариваются требования к выходным показателям объекта проектирования. Последние в процессе проектирования могут корректироваться до тех пор, пока не согласуется с возможностями синтеза. При разработке технического задания также стремятся к оптимальности. В частности, надо найти наилучшие интервалы изменения показателей объекта проектирования, которым требуется удовлетворять.

Микропроектирование технологической системы включает в себя операции структурного и параметрического синтеза. Структурный синтез состоит в выборе элементов системы и способов их связи между собой, поиска наилучшего варианта технологической структуры. Параметрический синтез заключается в выборе оптимальных значений параметров элементов для заданной структуры технологической системы.

В основе алгоритма структурной и параметрической оптимизации лежит модель задачи принятия решений, представляющая задачу в упрощенном четко структурированном виде. Подробность и точность модельного описания задачи в свою очередь также зависит от того, насколько структурировано представление о задаче. Возникающие при этом противоречия из-за несовершенства представления об объекте решаются за счет интерактивного построения модели, уточнения и доработки проектных решений в процессе проектирования.

Задачи оптимального структурного проектирования решаются на основе экспертных оценок, полном или сокращенном переборе всех вариантов. Результат достигается на основе использования методов дискретной оптимизации, которые предполагают, что варьируемые компоненты структуры заданы на дискретном множестве.

К задачам параметрической оптимизации относятся: определение оптимальных значений параметров; назначение оптимальных допусков на параметры по математической модели и заданным ограничениям на показатели качества; параметрическая идентификация – уточнение параметров в модели блока объекта проектирования на основе результатов моделирования.

Основная трудность принятия решений в детерминированных ситуациях связана с априорным отсутствием таких скалярных показателей, которыми может быть оценено качество альтернативных вариантов решений. Причиной отсутствия этих показателей является исходная многоаспектность понятия «цель принятия решений», а следовательно и понятия «качество варианта решения». Однако при этом часто оказывается возможным провести содержательную декомпозицию цели по ее отдельным аспектам на подцели и ввести показатели (критерии), характеризующие степень достижения этих подцелей в рамках данной задачи.

Таким образом, возникает проблема оценки и сравнения предпочтительности различных вариантов решений с учетом нескольких критериев – многокритериальная задача принятия решений или многокритериальная оптимизация.

2.7. Выводы по главе 2

1. Эффективность технологических систем определяется полезным эффектом, затраченными ресурсами и временем, которые в свою очередь зависят от функциональной среды и активных средств производства. Процесс развития технологической системы во времени сопровождается изменением её свойств, структуры и функций в зависимости от внутренних и внешних факторов.

Проведенные исследования показали, что определяющее влияние на формирование структурных параметров и параметров функционирования технологических систем предприятий по ремонту и ТО подвижного состава оказывают факторы внешней функциональной среды следующих подсистем: перевозочного процесса, подвижного состава, конкурентной среды, региональных

условий и уровня научно-технического развития отрасли. При этом параметры технологической системы не являются постоянными, а образуют нестационарную динамическую систему.

2. С позиции системно-целевого подхода критерий эффективности системы - это количественная характеристика результатов ее функционирования и развития в течение обусловленного периода при заданных характеристиках состояния системы и воздействия внешней среды, а также при заданном векторе управления, направленного на достижение поставленных целей функционирования.

3. По отношению к внешней функциональной среде различают внешнюю и внутреннюю эффективность. Общая эффективность функционирования технологической системы складывается из частной эффективности его отдельных элементов и оценивается как векторный функционал от показателей внешней и внутренней эффективности.

При оценке внешней эффективности ремонтного производства в качестве полезного эффекта рассматривается мера восстановления исправности и ресурса подвижного состава. Внутренняя эффективность определяется интересами самого ремонтного предприятия как самостоятельного хозяйственного субъекта и оценивается по технико-экономическим показателям.

4. Оценка внутренней эффективности технологических систем ремонтного производства и ТО подвижного состава должна производиться с учетом затрат на покрытие ущерба от случаев нарушения безопасности движения, расчет которых предлагается осуществлять методом краткосрочного страхования рисков. Получена расчетная формула страховой надбавки для заданных значений показателя безотказности в гарантийный период и вероятности неразорения предприятия.

5. Выбор показателя для оценки внешней эффективности ремонтного производства и ТО подвижного состава определяется исходя из соображений экономической измеримости результата и возможности его последующего нормирования и использования при расчете общей эффективности.

Руководствуясь этими принципами для оценки внешней эффективности предлагается показатель, рассчитываемый как отношение коэффициента оперативной готовности подвижного состава к совокупной величине затрат на ремонт.

6. Задачи повышения эффективности технологических систем ремонтного производства и ТО подвижного состава носят комплексный характер, обусловленный широким кругом разноплановых задач, таких, как определение общей структуры производства, организация взаимодействия между подсистемами и элементами, учёт влияния внешней среды, выбор оптимальных режимов функционирования, оптимальное управление системой и т.д. Методологической основой решения подобных задач является теория систем и в частности такие ее разделы, как теория организации и системная инженерия (системотехника).

7. С позиций системотехники исследование технологических систем возможно на основе двух принципиально различных методологических подходов, отличающихся представлением и математическим описанием целевой функции объекта исследований. Системно-функциональный подход позволяет изучать поведение технологических систем, то есть их реакций на разнообразные внешние воздействия и в то же время абстрагироваться от их внутреннего устройства. Ключевым элементом системно-структурного подхода является производственно-технологическая структура предприятия, отражающая его внутреннее строение, совокупность составляющих систему элементов и систему межэлементных связей, объединенных едиными целями и технологическим процессом функционирования.

Реализация перечисленных методологических подходов осуществляется при помощи различных вербальных, аналитических, статистических, имитационных и других математических моделей. Сравнительный анализ методов показал, наибольшую привлекательность методов имитационного моделирования, использование которых позволяет получить наиболее

достоверные данные о динамическом поведении, как отдельных элементов технологической системы, так и об эффективности их взаимодействия.

8. Задача повышения эффективности технологической системы ремонтного производства и ТО подвижного состава может быть сформулирована как выбор варианта из множества вариантов структуры и технологии использования активных средств, при котором общая эффективность системы для заданных условий функционирования за время расчетного жизненного цикла максимальная.

9. Для практической реализации поставленной задачи предложен алгоритм многоуровневой оптимизации, затрагивающий все стадии жизненного цикла технологической системы ремонтного производства и ТО подвижного состава от момента проектного замысла до модернизации или прекращения деятельности.

На первом уровне осуществляется оптимизация параметров технологической системы как элемента системы более высокого уровня - перевозочного процесса. Производится выбор оптимального места размещения, структуры и масштаба производства, после чего осуществляется проверка параметров функционирования системы в заданных условиях.

Второй уровень – уровень оптимизации проектных решений. На третьем уровне оптимизируются процессы действующего производства путем корректировки параметров технологической системы в зависимости от фактических местных условий, решаются задачи оптимизации планов инвестиционного развития.

Анализ процессов функционирования объекта оптимизации производится с использованием двух классов имитационных моделей: макромоделей «Предприятие - функциональная среда» и микромоделей «Технологическая система». В рамках каждого из уровней предполагаются циклы структурной и параметрической оптимизации с принятием решения о достижении поставленной цели или возврата на предыдущий уровень.

3. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО МЕСТА РАЗМЕЩЕНИЯ И ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО РЕМОНТУ И ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Процессы деятельности предприятия протекают в реальном окружении, состоящем из характерных для каждого вида предприятия искусственных и естественных объектов и факторов, образующих среду функционирования. Любая организация находится и функционирует в среде, при этом каждое действие организации возможно только в том случае, если среда допускает его осуществление. В теории организации, под термином среда функционирования принято понимать набор реально существующих явлений и процессов – факторов, прямо или косвенно влияющих на деятельности организации, ее эффективность, уровень неопределенности и риска при принятии управленческих решений [47].

При выборе оптимальных значений параметров технологическая система предприятия должна рассматриваться как часть системы более высокого уровня – метасистемы функциональной среды перевозочного процесса. Задачи выбора места размещения, масштаба и профиля производства тесно взаимосвязаны и являются составляющими поиска оптимального технологического множества производственной программы, обеспечивающей максимальную эффективность предприятия при выполнении заданных функций.

3.1. Выбор оптимального места размещения, объема производства и структуры производственной мощности

Задача оптимального размещения предприятия, работающего в рыночных условиях, базируется на экономико-математических и математико-статистических методах: теории игр, системного анализа и т.д. [272, 294].

Анализ современных научно-методических работ по проблеме оптимального размещения производственно-хозяйственных объектов различных классов показывает, что решение данной задачи не может быть универсальным и

определяется особенностями конкретного класса объектов. В частности, работа ремонтных предприятий железнодорожного транспорта существенно отличается от наиболее широко применяемых моделей типа «магазин-склад», «магазин-потребитель городской агломерации». Возможные методы решения задачи оптимального размещения можно разделить на два класса, соответствующие непрерывному и дискретному пространству вариантов решения. Рассмотрим их применительно к исследуемому объекту более подробно.

3.1.1. Сравнительный анализ методов решения задачи оптимального размещения предприятия в условиях конкурентного рынка

В основе методов дискретной задачи размещения лежит идея выбора места размещения из заранее установленных пунктов размещения, в качестве которых выступают участковые, сортировочные, грузовые и пассажирские железнодорожные станции. Для методов решения непрерывной задачи размещения объект может быть размещен в любой точке пространства решений, что не соответствует реальной действительности железнодорожной транспортной системы и требует принятия дополнительных мер по их адаптации.

1. Метод «центра тяжести» – нашел широкое применение в задачах размещения распределительных складов полуфабрикатов и центров снабжения при непрерывном пространстве решений. В качестве точки расположения предприятия принимается условный «центр тяжести» транспортных потоков, что приводит к минимизации затрат. Расчет координат центра тяжести производится по формулам:

$$X = \frac{\sum_i Q_i x_i}{\sum_i Q_i}, \quad Y = \frac{\sum_i Q_i y_i}{\sum_i Q_i}, \quad (3.1)$$

где Q_i - мощность транспортного потока из i -го местоположения, т; x_i , y_i - координаты i -го центра формирования потока, км.

При использовании метода центра тяжести расстояния между объектами учитываются по прямой, что накладывает дополнительные ограничения на возможную топологию железнодорожной сети моделируемого участка.

Модификациями метода гравитации являются методы определения центра транспортных затрат и минимума транспортной работы. В первом случае в числителе и знаменателе формулы (3.1) дополнительно учитывается транспортный тариф для i -го поставщика. Во втором методе выбор места размещения объекта определяется из условия минимизации суммы расстояний от объекта до мест возникновения заявок (потребностей) с учетом спроса Q_i :

$$P(x, y) = \sum_i Q_i \sqrt{(X - x_i)^2 + (Y - y_i)^2} \rightarrow \min, \quad (3.2)$$

где X, Y – координаты размещаемого объекта, км; x_i, y_i – координаты i -го места возникновения заявок, км.

Среди методов решения дискретной задачи размещения объектов можно отметить методы минимума суммарных затрат, определения зон влияния на потребителей, а также множественные регрессионные и экспертно-факторные модели [1, 10, 14].

Метод минимума суммарных затрат [10] основывается на расчетах совокупных затрат на проектирование, строительство и эксплуатацию нового предприятия с учетом транспортных расходов. В качестве предпочтительного места размещения принимается вариант с наименьшими затратами.

Факторно-рейтинговые системы [1, 14] основаны на получении оценочного суждения на основе объединения различных факторов, влияющих на эффективность того или иного решения. Для этого определяются шкалы оценок основных факторов, оцениваются непосредственно сами факторы и находится их сумма в принятой системе оценок.

Для учета полезности каждого из факторов в определении реальной ценности места размещения вводятся соответствующие весовые коэффициенты. Вес фактора назначается в зависимости от важности каждого из факторов для

достижения поставленных целей функционирования предприятия. Оценка предпочтительности j -го местоположения определяется по выражению:

$$W_j = \sum_i w_i I_{ij} \rightarrow \max. \quad (3.3)$$

где w_i - вес фактора; I_{ij} - факторная нагрузка в баллах.

Наиболее существенный недостаток факторно-рейтингового метода – наличие субъективизма, т.е. зависимость оценок от личных предпочтений лица принимающего решения, что требует дополнительной проверки и уточнения решения на основе альтернативных методов.

Множественные регрессионные модели позволяют выбрать предпочтительный вариант места размещения предприятия путем оценки его будущего успеха. В качестве критерия успешности используется доходность. Основной недостаток регрессионных моделей – необходимость существенного объема статистических данных, часть из которых может быть закрытой и представлять коммерческую тайну.

Определение зон влияния на потребителей оцениваются по принципу максимизации спроса для предполагаемых мест размещения объекта. Для этого определяется зона тяготения потенциальных потребителей одним из нескольких известных методов: изохорных линий, теории нечетных множеств и ряда других.

В методе изохорных линий предполагаемое место размещения предприятия принимается в качестве «базовой точки», относительно которой строят изохорные линии, отражающие зависимости расстояния и времени перемещения до выбранной точки. В качестве решающего фактора принимается потенциальный объем заказа, при этом другие факторы, например конкурентное окружение, не учитываются.

В работах [8, 17] предложена методика формирования зон конкурентных предпочтений на основе теории нечетких множеств, позволяющей решить задачу в условиях неполной информации. Определения границ зон конкурентных предпочтений в данном методе основывается на анализе функций принадлежности, задаваемых с помощью систем уравнения. Сложность

использования данного подхода на практике обуславливается необходимостью в большом количестве исходных данных для точного задания функции принадлежности по каждому исследуемому параметру.

Подводя итог, следует отметить, что непосредственное использование любого из рассмотренных выше методов решения задачи оптимального места размещения для предприятия по ремонту подвижного состава не представляется возможным в виду существенного отличия объекта исследований от классических моделей «магазин – склад», «предприятие – сеть потребителей».

Наилучшим вариантом видится разработка оригинального алгоритма на основе факторно-рейтингового метода и метода оценки зон конкурентных предпочтений, модифицированных с учетом особенностей факторов перевозочного процесса на железнодорожном транспорте для заданной топологии железнодорожной сети и схемы размещения конкурирующих ремонтных предприятий.

3.1.2. Алгоритм выбора региона и места размещения предприятия

Решение задачи выбора места размещения и специализации предприятия, должно учитывать как доходную часть процессов ремонта, так и затраты на создание и эксплуатацию технологической инфраструктуры. Алгоритм выбора оптимального местоположения предприятия по ремонту подвижного состава можно представить следующим образом (рисунок 3.1) [226].

На первом уровне принятия решения производится выбор региона размещения факторно-рейтинговым методом. Выбор региона размещения в первую очередь определяется потенциальным объемом заказов на ремонт (корпоративного и внешнего), зависящими в свою очередь от состава и количества вагонов, находящихся в собственности или операционном управлении компании, преимущественными местами дислокации корпоративного парка, маршрутами перевозок и номенклатуры грузов.

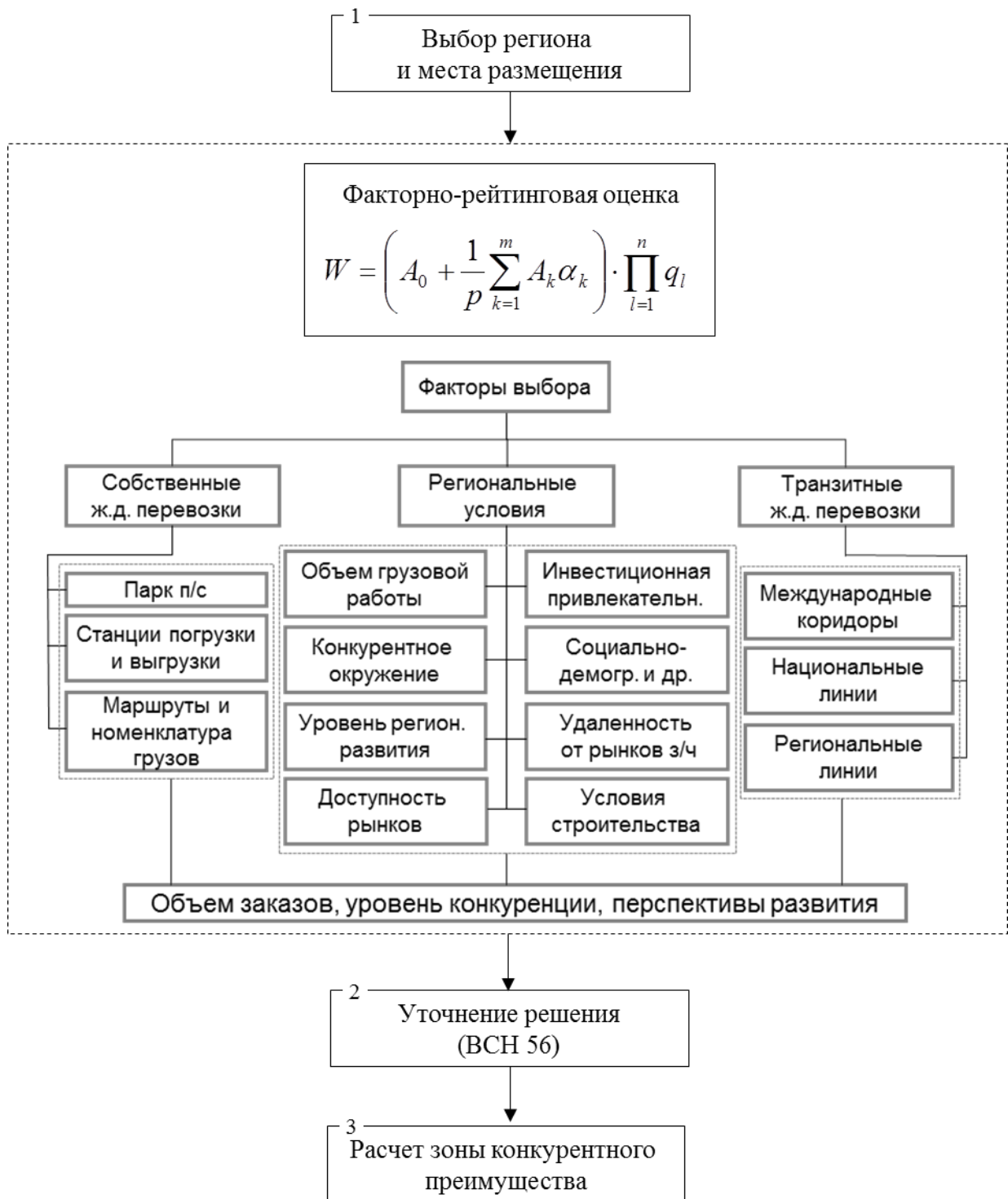


Рисунок 3.1 – Алгоритм выбора оптимального места размещения предприятия по ремонту подвижного состава в условиях конкурентного рынка
(составлено автором)

Региональные условия влияют на объем погрузки сторонних собственников в регионе предполагаемого размещения и тенденции его изменения в среднесрочной и долгосрочной перспективе, определяют инвестиционную привлекательность и затраты на реализацию проекта. Важным конкурентным преимуществом также является класс станции и категория железнодорожной линии.

Окончательный состав факторов, входящих в расчетное уравнение, формируется с учетом функционального назначения и индивидуальных особенностей предполагаемого объекта строительства и представляется некоторой совокупностью количественных и качественных показателей.

Факторную нагрузку для i -го региона местоположения определим через суммарную региональную потребность в ремонте всех собственников парка подвижного состава с учетом лояльности операторов с учетом уровня конкуренции и местных условий по следующему выражению:

$$W = \left(A_0 + \frac{1}{p} \sum_{k=1}^m A_k \alpha_k \right) \cdot \prod_{l=1}^n q_l, \quad (3.5)$$

где A_0 - среднесуточная потребность в ремонте собственного подвижного состава (приведенные единицы);

A_k - среднесуточная потребность в ремонте подвижного состава k -го собственника в регионе (приведенные единицы);

m – количество операторов подвижного состава;

$\alpha_k \in [0,1]$ – коэффициент лояльности k -го оператора подвижного состава к размещению заказа на ремонт на стороннем предприятии;

p – количество конкурентных ремонтных предприятий в регионе;

q_l – корректирующие коэффициенты, учитывающие привлекательность рассматриваемого региона размещения в долгосрочной перспективе [34].

Среднесуточная потребность в ремонте для собственного и стороннего подвижного состава определяется по данным о поступлении на полигон единиц подвижного состава, из которых производится отбор в ремонт с учетом

приведения трудоемкости к базовому виду ремонта (например, деповскому) [25]. Вероятность события, заключающегося в том, что поступивший вагон i -го типа требует j -го вида периодического ремонта, определяется исходя из установленных межремонтных сроков и правил отбора вагонов в ремонт.

Расчет корректирующих коэффициентов привлекательности региона размещения $q_i \in (0,1)$ может быть выполнен различными методами, например экспертным методом или методом анализа иерархий [148].

Непосредственный выбор площадки строительства нового предприятия по ремонту или ТО подвижного состава (второй уровень принятия решения) производится в соответствии с рекомендациями ВСН 56-78 «Инструкция по проектированию станций и узлов на железных дорогах Союза ССР» [70], справочного и методического руководства «Проектирование железнодорожных станций и узлов» с учетом следующих факторов:

- достаточность путевого развития станции примыкания;
- затраты на прокладку ж.д. пути до станции примыкания;
- наличие транспортной и инженерной инфраструктуры;
- наличие квалифицированного персонала, уровень заработной платы;
- экологические условия для строительства и эксплуатации объекта.

На третьем уровне для полученной точки географического размещения производится расчет зоны конкурентных преимуществ предприятия с позиции потенциальных заказчиков по принципу минимизации совокупных затрат, включающих в себя собственно затраты на ремонт по калькуляции c_p , транспортные расходы c_t , упущенную выгоду от изъятия подвижного состава из эксплуатации на время ремонта c_y , прогнозируемые потери от технических неисправностей в межремонтный период c_k :

$$c_p + c_t + c_y + c_k \rightarrow \min. \quad (3.6)$$

Расчет отдельных составляющих выражения (3.6) осуществляется по известным формулам [например, 86]. Транспортные расходы на доставку подвижного состава к месту ремонта, складывающиеся из произведения

транспортного тарифа $\tau_{\text{тр}}$ на дальность пересылки l и расходов на станционное обслуживание и маневровые операции $c_{\text{со}}$:

$$c_{\text{тр}}(l) = \tau_{\text{тр}} \cdot l + c_{\text{со}}. \quad (3.7)$$

Потери от исключения вагонов из эксплуатации на время ремонта можно оценить на основании данных по пробегу и средней доходной ставке перевозок:

$$c_y = \chi_{\text{п}} t_{\text{р}} \frac{l_{\text{ср}}}{12 \cdot O_{\text{ваг}}} P_{\text{ст}}, \quad (3.8)$$

где $\chi_{\text{п}}$ – удельная доходная ставка перевозок, тон·руб/км; $t_{\text{р}}$ – время изъятия вагона из эксплуатации для проведения ремонта, час; $l_{\text{ср}}$ – средняя дальность перевозок, км,

или по годовому доходу компании оператора от перевозочного процесса:

$$c_y = t_{\text{р}} \cdot \frac{W_{\text{г}}}{12 \cdot 365 \cdot N_{\text{в}}}, \quad (3.9)$$

где $W_{\text{г}}$ – годовой доход от реализации услуг компании, руб; $N_{\text{в}}$ – парк вагонов компании расчетного года, ед.

Стоимость услуг по ремонту вагонов формируется из условно-постоянных затрат на материалы и комплектующие и вариативной части, зависящей от применяемых технологий, уровня накладных расходов и нормы прибыли, зависящей от состояния рынка ремонта вагонов в регионе.

3.1.3. Выбор оптимального объема производства и структуры производственной мощности

Как отмечалось ранее, спрос на ремонт подвижного состава в регионе предполагаемого размещения ремонтного предприятия формируется в диапазоне от нуля до некоторого максимального значения, зависящего от грузо- и пассажирооборота и действующих нормативов на периодичность ремонта:

$$N_{\text{рем}}^{\text{max}} = N_{\text{рем}}^{\text{соб}} + N_{\text{рем}}^{\text{рын}} \cdot \alpha \quad (3.10)$$

где $N_{\text{рем}}^{\text{соб}}$ – гарантированный годовой объем заказов за счет собственного парка подвижного состава;

$N_{\text{рем}}^{\text{рын}}$ – годовой объем нераспределенных заказов в регионе; α – ожидаемая доля конкурентного рынка.

Распределение заказов на ремонт вагонов на предприятиях региона при наличии свободной конкуренции производится с учетом ценовых предложений со стороны других предприятий, требований к качеству предоставляемых услуг, вероятности выполнения заказа в требуемые сроки, расходов на пересылку подвижного состава к месту ремонта [86].

Принятие решения о направлении подвижного состава на ремонт в то или иное предприятие региона осуществляется на основании сравнения показателей качества услуг и затрат возможных вариантов по соотношению:

$$c_{\text{тр}}(\Delta l) + c_y(\Delta t_p) < u_p + u_k, \quad (3.11)$$

где $c_{\text{тр}}(\Delta l)$, $c_y(\Delta t_p)$ – финансовые потери от увеличения дальности пересылки объектов ремонта и времени ремонта соответственно;

u_p , u_k – финансовый выигрыш в стоимости и качестве ремонта.

Доля конкурентного рынка может быть найдена исходя из гипотезы о равномерном распределении парка подвижного состава в пределах границ региона по следующему выражению:

$$\alpha = \frac{l_{\text{св}} + 0.5 \cdot \left(l_{\text{кон}} + \sum_{i=1}^p l_{\text{max},i} \right)}{l_{\text{рег}}}, \quad (3.12)$$

где $l_{\text{рег}}$ – протяженность ж.д. путей региона, км;

$l_{\text{св}}$, $l_{\text{кон}}$ – протяженность путей свободных от конкурентов и связывающих с конкурентами, км;

l_{max} – максимальная экономически оправданная дальность пересылки, км;

p – количество конкурирующих ремонтных предприятий в регионе.

Выражение (3.12) можно проиллюстрировать следующим примером (рисунок 3.2). Пусть задан регион обслуживания общей протяженностью железнодорожных путей $l_{\text{рег}}$ с расположенными на нем действующими ремонтными предприятиями РД₁, РД₂ ($n = 2$) и проектируемым РДх.

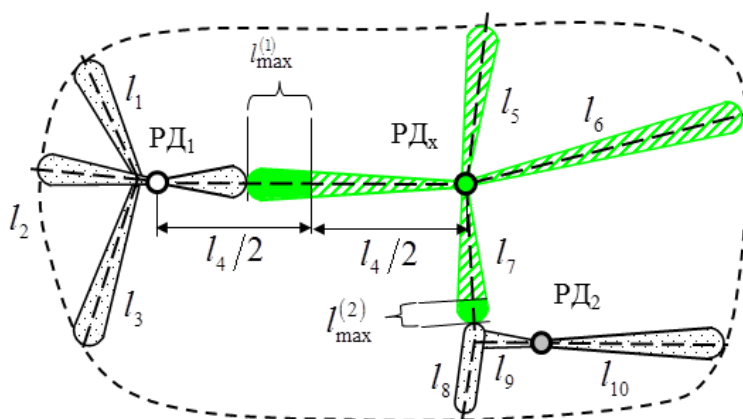


Рисунок 3.2 – Пояснения к формуле (3.12)

При равных конкурентных условиях зона притяжения рассматриваемого ремонтного депо сформируется путем суммирования длин перегонов 5, 6 ($l_{св} = l_5 + l_6$) и $\frac{1}{2}$ перегонов 4, 7, 9: $l_{кон} = (l_4 + l_7 + l_9)/2$. С учетом критерия предпочтения (3.11) зона притяжения может быть дополнительно расширена на $l_{1max} + l_{2max}$ за счет обеспечения экономической привлекательности дополнительной пересылки вагонов из-за выигрыша в цене и качестве ремонта.

Последующий расчет оптимального объема производства и структуры производственной мощности с учетом граничных значений объема спроса, найденных по выражению (3.10), произведем следующим образом.

Пусть в регионе имеется потребность в $U = U_1, \dots, U_p$ видах и объемах ремонтах подвижного состава. В зависимости от выбранной стратегии производства технологические возможности предприятия позволяют из данного множества заявок удовлетворить $N = N_1, \dots, N_p$, $N \subset U$. Для заданного вектора цен S , произведение $S \cdot R$ представляет собой прибыль ремонтного предприятия.

Задача оптимизации сводится к поиску такого вектора P , чтобы при заданном векторе цен $S = S_1, \dots, S_p$ прибыль была максимальна. В условиях возможных колебаний цен и объемов заказа решение задачи возможно с использованием математической теории игр [230].

В качестве альтернатив рассмотрим различные планируемые объемы производства, а в качестве целевого показателя – прибыль. Предположим, что

оценка изменения спроса дана и представлена множеством значений $U_k, k=1, \dots, p$. Средняя стоимость S за единицу продукции на рынке примем в качестве базовой, а изменения цены зададим уровнем рентабельности производств.

Обозначим $R_l, l=1, \dots, m$ – возможные значения рентабельности. Для каждого значения рентабельности ремонта R_l рассчитывается прибыль на единицу оказанных услуг

$$S_l = R_l \cdot S. \quad (3.12)$$

Таким образом, получим $K = p \cdot m$ возможных состояний рынка $j = 1, \dots, K$. Пусть U_j – объем спроса ремонта подвижного состава и S_j – стоимость ремонта одной единицы при j -ой рыночной ситуации.

Для каждого возможного объема производства и для каждой возможной рыночной ситуации рассчитывается прибыль предприятия. Результаты расчетов записываются в виде матрицы прибыли. Элементы матрицы прибыли в зависимости от выбранной стратегии i и рыночной ситуации j находятся по формуле:

$$E_{ij} = S_j \cdot \min\{N_i, U_j\} \cdot T - C_i, \quad (3.13)$$

где C_i – суммарный объем затрат на создание производства при выборе i -ой стратегии развития предприятия и T – горизонт планирования деятельности предприятия в годах.

Для выбора оптимального по объемам производства варианта воспользуемся критерием оптимальности Гурвица. Пусть $k, 0 \leq k \leq 1$ отношение инвестора к риску ($k = 0$ – ориентация на максимальный риск, $k = 1$ – ориентация на осторожное поведение). Чем ближе k к единице, тем осторожнее решение. В соответствии с этим компромиссным критерием, предпочтение отдается варианту i , для которого значение

$$F_i = k \cdot \min_{1 \leq j \leq K} \{E_{ij}\} + (1 - k) \cdot \max_{1 \leq j \leq K} \{E_{ij}\} \quad (3.14)$$

максимально.

В ряде случаев критерии дают разные ответы на вопрос о том, какую альтернативу развития производства считать оптимальной. Тогда проводят поиск *смешанной альтернативы*, дающей наибольшее среднее значение прибыли. Для этого, каждой альтернативе $i = 1, \dots, n$ сопоставляют вес x_i и решают задачу на максимум:

$$P \rightarrow \max \quad (3.15)$$

при следующих условиях:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n x_i \cdot E_{ij} \geq P, j = 1, \dots, K \\ x_i \geq 0, i = 1, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n x_i = 1 \end{cases}, \quad (3.16)$$

Данная задача сводится к задаче линейного программирования и решается с использованием компьютерных вычислительных систем, например, MatLab. Оптимальный объем производства определяется как средневзвешенное значение возможных альтернатив:

$$N_{\text{опт}} = \sum_{i=1}^n x_i^* \cdot N_i, \quad (3.17)$$

где x^* – решение задачи (3.15) – (3.16).

Рассмотрим вариант выбора оптимальной структуры производственной мощности в условиях рыночного риска на примере вагоноремонтного предприятия, оказывающего услуги по деповскому ремонту и пропарке вагонов-цистерн в заданном регионе.

По оценкам экспертов объем спроса на ремонт вагонов (ВРД) может колебаться от 2000 до 6000 единиц в год, а объем спроса на услуги промывочно-пропарочного комплекса (ППС) от 100 до 400 единиц в сутки при средней рыночной цене $S_1 = 250$ тыс. у.е. и $S_2 = 16,5$ тыс. у.е. соответственно.

Средние цены S_1 и S_2 будем считать базовыми, а изменение средних рыночных цен моделировать уровнем рентабельности производств. На различных предприятиях рентабельность R колеблется от 10 до 35% (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Прибыль на единицу продукции, тыс. у.е.

Рентабельность производств R %	ВРД	ППС
	$P^1 = R \cdot S_1$	$P^2 = R \cdot S_2$
25%	62.5	4.125
30%	75	4.95
35%	87.5	5.775

Для моделирования спроса зададим множество ожидаемых объемов спроса на услуги предприятий (таблица 3.2).

Таблица 3.2 - Ожидаемые объемы спроса

Объем спроса ВРД	Объем спроса ППС
VR^1 ед./год	VR^2 ед./сут.
8000	150
5500	85
3000	25

Таким образом, получаем 27 возможных состояний рынка (таблица 3.3).

Возможные стратегии создания производственного комплекса характеризуются соответствующим уровнем затрат на выполнение проектных работ, капитальное строительство, приобретение основного оборудования и т.д. оцениваемые экспертами (таблица 3.4).

Таблица 3.3 – Показатели возможных вариантов состояния рынка

Номер состояния рынка	Объем спроса	Прибыль на единицу услуги	Объем спроса	Прибыль на единицу услуги
j	VR_j^1 ед./год	P_j^1 тыс. у.е.	VR_j^2 ед./сутки	P_j^2 у.е.
1	2	3	4	5
1	8000	62.5	150	4.125
2	8000	62.5	85	4.125
3	8000	62.5	25	4.125
4	5500	62.5	150	4.125
5	5500	62.5	85	4.125

Продолжение таблицы 3.3

1	2	3	4	5
6	5500	62.5	25	4.125
7	3000	62.5	150	4.125
8	3000	62.5	85	4.125
9	3000	62.5	25	4.125
10	8000	75	150	4.95
11	8000	75	85	4.95
12	8000	75	25	4.95
13	5500	75	150	4.95
14	5500	75	85	4.95
15	5500	75	25	4.95
16	3000	75	150	4.95
17	3000	75	85	4.95
18	3000	75	25	4.95
19	8000	87.5	150	5.775
20	8000	87.5	85	5.775
21	8000	87.5	25	5.775
22	5500	87.5	150	5.775
23	5500	87.5	85	5.775
24	5500	87.5	25	5.775
25	3000	87.5	150	5.775
26	3000	87.5	85	5.775
27	3000	87.5	25	5.775

Таблица 3.4 – Варианты стратегий развития ВРД и ППС

Объем ремонта	Затраты на создание производства	Объем услуг ППС	Затраты на создание производства
V^1 ед./год	C тыс. тенге	V^2 ед./сут.	C тыс. тенге
8000	5900000	150	1416000
6500	4956000	100	944000
5500	4484000	75	826000
4500	4012000	50	708000
3500	3540000	25	590000

Таким образом, получаем 25 вариантов решения (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Показатели вариантов развития предприятия

Номер стратегии	Объем ремонта	Объем услуг ППС	Суммарный объем затрат на создание производства
i	V_i^1 ед./год	V_i^2 ед./сут.	C_i
1	8000	150	7316000
2	8000	100	6844000
3	8000	75	6726000
4	8000	50	6608000
5	8000	25	6490000
6	6500	150	6372000
7	6500	100	5900000
8	6500	75	5782000
9	6500	50	5664000
10	6500	25	5546000
11	5500	150	1864400
12	5500	100	1392400
13	5500	75	1274400
14	5500	50	1156400
15	5500	25	1038400
16	4500	150	5428000
17	4500	100	4956000
18	4500	75	4838000
19	4500	50	4720000
20	4500	25	4602000
21	3500	150	4956000
22	3500	100	4484000
23	3500	75	4366000
24	3500	50	4248000
25	3500	25	4130000

Результаты расчета матрицы прибыли по выражению (3.13) представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Результаты расчетов прибыли, у.е.

[illegible]

[illegible]

Окончание таблицы 3.6

[illegible]

Графическое изображение матрицы прибыли (рисунок 3.3) показывает, что размер прибыли очень чувствителен к изменению объемов и рыночных цен на услуги.

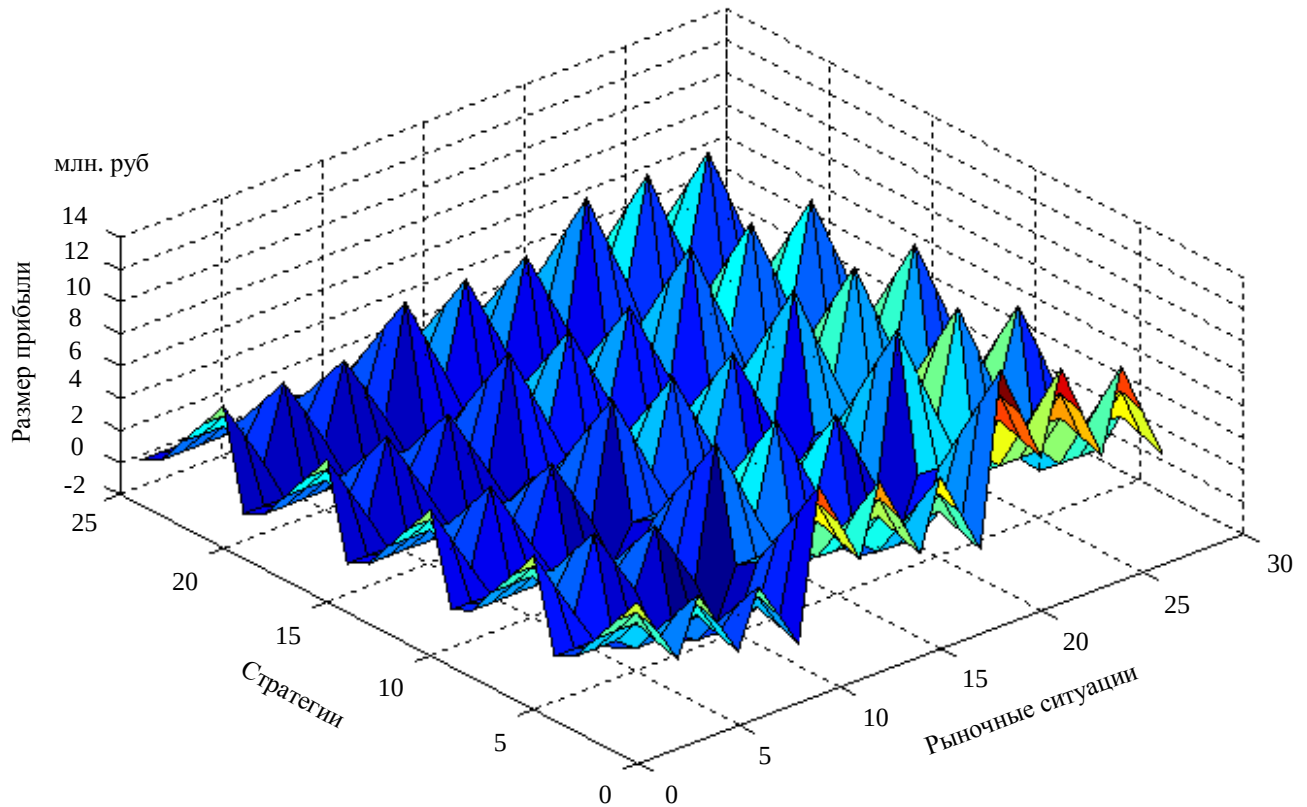


Рисунок 3.3 – Размер прибыли в зависимости от выбранной альтернативы и рыночной ситуации (составлено автором)

Для выбора оптимального по объемам производства варианта воспользуемся критерием Гурвица (3.14). Результаты расчетов приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Результаты расчетов

k	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
i	16	16	16	16	16	16	16	16	17	18	18
V_i^1	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500
V_i^2	150	150	150	150	150	150	150	150	100	75	75

Наиболее рискованной и выгодной является 16-ая стратегия. При наибольшей осторожности нужно выбирать 18-ую.

Для уточнения производственного плана произведем поиск смешанной стратегии, дающей наибольшее среднее значение прибыли путем сопоставления каждой стратегии $i = 1, \dots, 25$ некоторого веса x_i с решением задачи линейного программирования (3.15). В результате решения задачи в среде MATLAB получим наибольшее в среднем значение прибыли $P = 2369100$ тыс. у.е. при следующих оптимальных весах стратегий (таблица 3.8).

Таблица 3.8 – оптимальные веса стратегий:

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9
0.0005	0.0006	0.0012	0.0008	0.0010	0.0003	0.0004	0.0009	0.0006
x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}
0.0006	0.0014	0.0021	0.0061	0.0022	0.0004	0.0007	0.0000	0.9650
x_{19}	x_{20}	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}	x_{25}		
0.0058	0.0054	0.0015	0.0014	0.0003	0.0005	0.0001		

Таким образом, оптимальная мощность вагоноремонтного производства составит:

$$V_{opt}^1 = \sum_{i=1}^{25} V_i^1 \cdot x_i = 4528, \quad (3.18)$$

оптимальная производственная мощность ППС:

$$V_{opt}^2 = \sum_{i=1}^{25} V_i^2 \cdot x_i = 74. \quad (3.19)$$

Стратегия с объемами производств: $V^1 = 4528$ ед./год и $V^2 = 74$ ед./сут. является наименее рискованной по прибыли и обеспечивает наибольшее в среднем значение прибыли.

Последующее уточнение параметров технологической системы, в частности конкретизация размещения предприятия в пределах конкретной станции или железнодорожного узла, размер буферных накопителей для отбора объектов ремонта, предельная производительность устройств, обеспечивающая устойчивую работу в зависимости от размеров суточной неравномерности отбора объектов ремонта и ТО и другие, осуществляются методами динамического

моделирования работы в условиях функциональной среды перевозочного процесса.

3.2. Моделирование процессов функционирования устройств локомотивного и вагонного хозяйства в перевозочном процессе

В соответствии с принципами системного подхода процессы функционирования предприятия следует рассматривать в единстве связей с внешним окружением, являющимся для объекта исследований некоторой метасистемой, цели и ожидаемые результаты деятельности которой должны согласовываться с целями предприятия по ремонту и ТО подвижного состава.

Как отмечалось ранее, исследование процессов взаимодействия станций, устройств локомотивного и вагонного хозяйства в рамках перевозочного процесса возможно различными способами, в том числе аналитическими и имитационными. Сложность исследования процессов взаимодействия «станция – ремонтное предприятие – перевозочный процесс» заключается в том, что поступление локомотивов и вагонов, требующих планового ремонта, носит вероятностный характер. В процессе эксплуатационной работы возникает суточная неравномерность поступления составов, что влияет на обеспеченность депо объектами ремонта или ТО [25].

Имитационное моделирование позволяет учесть максимальное количество влияющих факторов при динамическом взаимодействии в условиях неопределенности, т.е. является наиболее эффективным и достоверным способом.

3.2.1. Разработка метода системно-динамического моделирования и математической модели процессов функционирования предприятий по ремонту и ТО подвижного состава в условиях перевозочного процесса

В общемировой практике выделяют три класса методов имитационного компьютерного моделирования: дискретно-событийное моделирование, агентное моделирование и системная динамика [186, 251].

Применительно к процессам железнодорожных перевозок в дискретно-событийном моделировании процесс взаимодействия рассматривается как события ключевых объектов системы. Метод позволяет с высокой степенью детализации описать процессы работы различных объектов железнодорожной сети. Основным недостатком метода является высокая трудоемкость и стоимость создания моделей, что существенно ограничивает сферу его возможного применения на ранних стадиях проектирования. Агентное моделирование – используется для исследования систем, динамика функционирования которых определяется множеством поведенческих параметров объекта. Метод нашел наиболее широкое применение для моделирования децентрализованных систем, например, для городского автотранспорта.

Метод моделирования «системная динамика» основан на представлении объектов на уровне макроэлементов, каждый из которых представляет собой некоторую системно-функциональную модель физического аналога. Использование данного класса моделей для моделирования динамических процессов сложных систем обладает рядом несомненных преимуществ, среди которых следует отметить доступность и простоту создания моделей, широкие возможности для преобразований сигналов модели и обработки результатов моделирования с использованием стандартных математических функций, информационная и алгоритмическая преемственность моделей [213].

Предлагаемая методика имитационного моделирования взаимодействия станций, устройств локомотивного и вагонного хозяйства при осуществлении процесса перевозок характеризуется следующими основными признаками [235, 239]:

- 1) подходы и внутренние соединения участка железнодорожной сети представляются в виде шин сигналов;
- 2) сигналами в модели являются функции интенсивности движения поездов;

3) интенсивности входящих поездопотоков на границах модели реализованы в виде дискретных случайных величин, имеющих Пуассоновское распределение;

4) объекты инфраструктуры являются подсистемами модели, реализующими: линейные, нелинейные и интегральные преобразования сигналов, задержки сигналов по времени и обратные связи;

5) топологические, технологические параметры железнодорожной системы и результаты расчетов хранятся в специальной структуре данных, представляющих собой систему электронных таблиц;

6) работа станций реализована с помощью общих функциональных модулей: генерирующего, распределительного, перерабатывающего и накопительного.

Объекты железнодорожной сети задаются параметрически и характеризуются переменными – объемами выполненных работ по технологическим операциям. Исходными базовыми элементами модели являются железнодорожные станции и перегоны между станциями, образующие топологию сети (см., пример рисунок 3.4).

Потоки делятся на внешние и своего формирования. С другой стороны, каждый поток состоит из пассажирских и грузовых поездов (таблица 3.9).

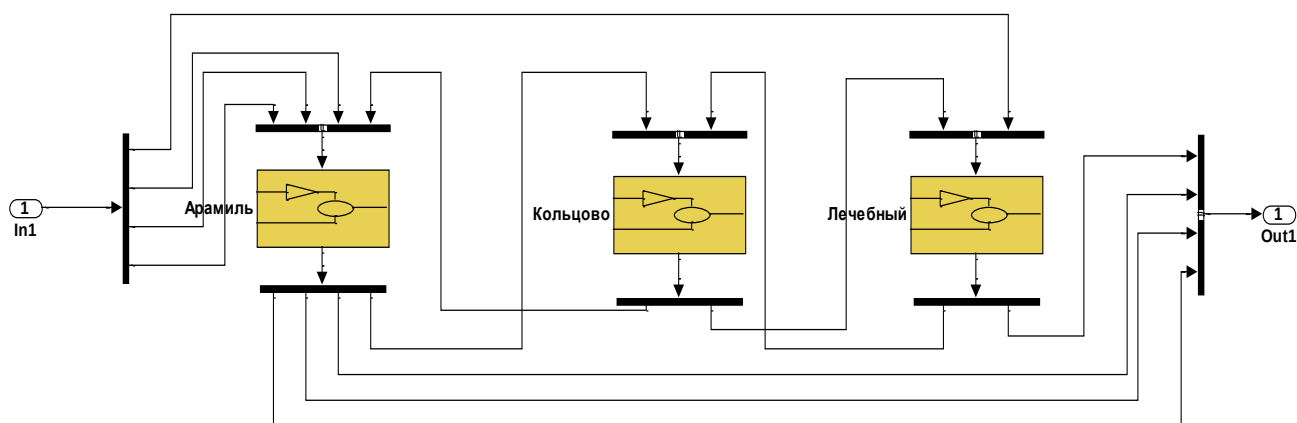


Рисунок 3.4 – Динамическая модель фрагмента железнодорожной сети в системе MATLAB (составлено автором)

Таблица 3.9 – Типы элементарных потоков (составлено автором)

Наименование	Порядковый индекс в модели
Маршруты общего назначения:	
сквозные и участковые маршруты	1
сборные, передаточные и вывозные	2
пассажирские поезда	3
пригородные электропоезда	4
Специальные маршруты:	
маршруты угля	5
маршруты руды	6
маршруты нефтяные	7
маршруты черных металлов	8
маршруты строительных грузов	9
маршруты удобрений	10
технические маршруты	11
порожние цистерны	12
порожние минераловозы из под удобрений	13
порожние полувагоны	14
электропоезда повышенной комфортности	15
городские электропоезда	16

В свою очередь, пассажирские и грузовые поезда могут делиться на более специализированные виды, например: маршруты порожних полувагонов, нефтяных цистерн и т.д. Специализированные потоки будем называть элементарными. Параметром модели является количество m элементарных потоков в составе потока поездов. Математически поток задается вектором интенсивностей движения поездов в час:

$$Pot(t) = (pot_1(t), \dots, pot_m(t)), t = 1, \dots, 24 \quad (3.20)$$

Интенсивность движения определяется размером движения $Vol = (vol_1, \dots, vol_m)$ поездов в сутки и неравномерностью движения в течение

суток. Известный или планируемый размер движения в сутки позволяет определить средний размер движения:

$$\overline{Pot} = (\overline{pot_1}, \dots, \overline{pot_m}) = \frac{1}{24} (vol_1, \dots, vol_m). \quad (3.21)$$

Для моделирования неравномерности движения в течение суток мы представляем поток $Pot(t)$ в виде случайной величины, распределенной по закону Пуассона, с математическим ожиданием $\overline{Pot}$ [25, с. 284].

Закон Пуассона описывает распределение числа появлений какого-либо события на заданном промежутке времени, если известно среднее число появлений события в единицу времени и события появляются независимо друг от друга. Событием, в нашем случае, является прибытие на станцию поезда. Тогда вероятность прибытия на станцию N поездов k -го вида за время Δt равна

$$p_N = \frac{(\overline{pot_k} \cdot \Delta t)^N}{N!} \cdot e^{-\overline{pot_k} \cdot \Delta t}. \quad (3.22)$$

При моделировании мы принимаем шаг времени $\Delta t = 1$ час. Плотность распределения зависит от значения $\lambda = \overline{pot_k}$ и качественно имеет следующий вид.

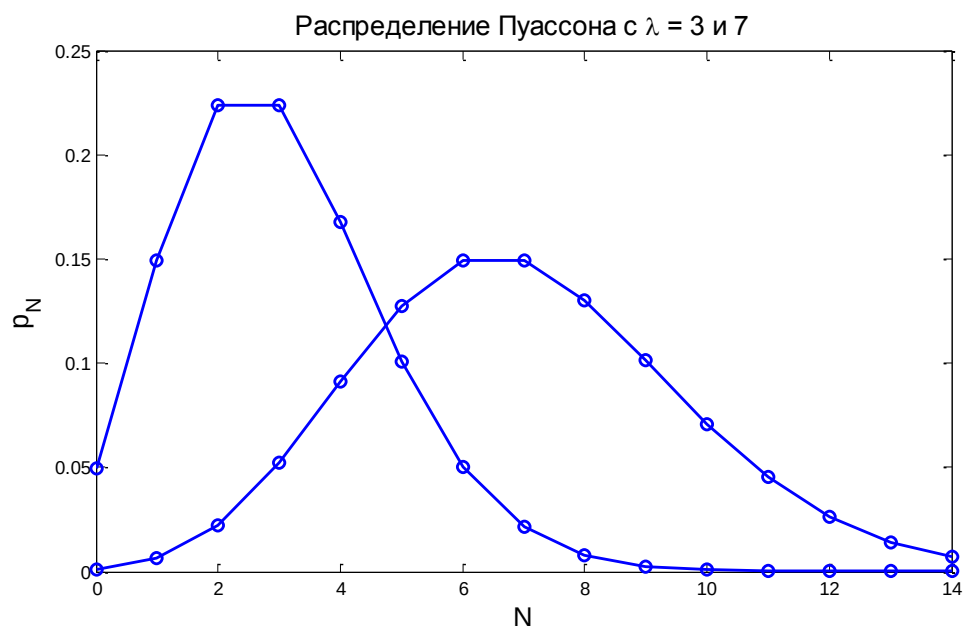


Рисунок 3.5 – Вероятностная модель потоков поездов

В каждый момент времени $t = 1, \dots, 24$ компоненты вектора интенсивностей элементарных потоков $pot_k(t), k = 1, \dots, m$ будут вычисляться с помощью генератора случайной величины, распределенной по закону Пуассона с соответствующим математическим ожиданием (средняя интенсивность движения поездов).

Загружаемые файлы предварительно готовятся с помощью вероятностной модели формирования потоков. Исходными данными для данной модели известные и прогнозируемые размеры движения по видам подвижного состава. Для формирования случайных потоков использована функция MATLAB "poissrnd".

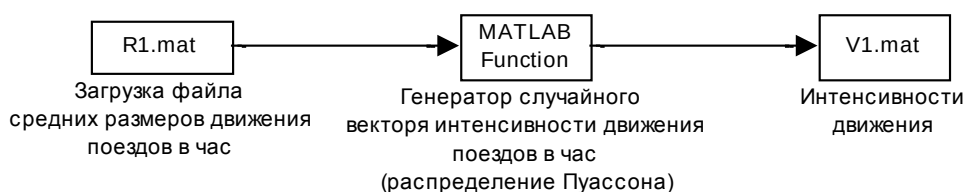


Рисунок 3.6 - Модель формирования случайных потоков в MATLAB

При известном графике исполненного движения, неравномерность интенсивности движения в течение суток может быть задана распределением суточного размера движения пропорционально фактической интенсивности.

Железнодорожные станции. Пусть в железнодорожном узле имеется n станций $S_i, i = 1, \dots, n$ и k направлений подхода к нему. Подходы к узлу будем рассматривать как предузловые станции. Присвоим этим станциям номера $i = n + 1, \dots, n + k$. Обозначим через $Pot_i, i = n + 1, \dots, n + k$ – внешние входящие потоки, формируемые на подходах к железнодорожному узлу, и через $Pot_i, i = 1, \dots, n$ – потоки собственного формирования на станциях узла.

А. Перегоны

Возможные маршруты движения потоков внутри узла определяются существующими перегонами между станциями. Формально их можно описать маршрутной матрицей A размера $(n + k) \times (n + k)$, состоящей из нулей и единиц.

Если перегон между станциями с номерами i и j есть, то положим $a_{ij} = 1$. и обозначим данный перегон упорядоченной парой чисел (i, j) . Если же перегона нет, то положим $a_{ij} = 0$. Мы будем считать, что движение на всех соединениях возможно в двух направлениях. В этом случае, матрица A является симметрической, т.е. $a_{ij} = a_{ji}$.

На множестве перегонов зададим лексикографический порядок: $(i, j) < (k, l)$ при $i < k$. Если же $i = k$, то $(i, j) < (k, l)$ при $j < l$. Каждому перегону с $i < j$, в порядке возрастания, начиная с единицы, сопоставим нечетный номер, а перегону (j, i) следующий за нечетным номером четный номер.

Матрица A определяет количество подходов

$$p_{1i} = \sum_{j=1}^{n+k} a_{ji} \quad (3.23)$$

и количество выходов

$$p_{2i} = \sum_{j=1}^{n+k} a_{ij} \quad (3.24)$$

со станции с номером i .

Каждому подходу и выходу со станции присвоен номер. Для удобства, подходу к станции i с перегона (j, i) и выходу со станции i на перегон (i, j) сопоставлены одинаковые номера. Для каждой станции узла, соответствие между номерами подходов и выходов со станции и номерами перегонов зададим в виде таблицы (таблица 3.10)

Таблица 3.10 - Таблица соответствия

Номер подхода к станции	Номер станции из которой приходит поток	Номер перегона	Номер выхода со станции	Номер станции на которую уходит поток	Номер перегона
1	j_1	k_1	1	j_1	l_1
2	j_2	k_2	2	j_2	l_2
...	...	...	...	...	...
p_i	j_{p_i}	k_{p_i}	p_i	j_{p_i}	l_{p_i}

Б. Преобразование потоков на станциях

На станциях осуществляется переработка входящих на станцию потоков и формирование исходящих со станции собственных потоков. Опишем данный процесс для i -ой станции узла. Объединенный входящий поток

$$PV = (pv_1, \dots, pv_s) \quad (3.25)$$

где $s = p_i$ состоит из $K = s \cdot m$ элементарных потоков. На входе в станцию интенсивности элементарных потоков записываются в файл. Для каждого элементарного потока вычисляется текущий размер движения

$$ven_j(t) = \int_0^t pv_j(s) ds, \quad j = 1, \dots, K \quad (3.26)$$

и записывается в файл.

Далее, элементарные потоки распределяются по видам переработки. Для объектов локомотивного и вагонного хозяйства это могут быть, например, техническое обслуживание транзитного поезда со сменой локомотива и полным опробованием тормозов; подготовка порожнего состава полувагонов к перевозкам; отцепка вагона от состава в текущий отцепочный ремонт и т.п. Пусть l – общее количество видов переработки.

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.

$$B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1K} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2K} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{l1} & b_{l2} & \dots & b_{lK} \end{pmatrix}, \quad b_{kj} \geq 0, \quad \sum_{k=1}^l b_{kj} = 1. \quad (3.27)$$

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

$$L_k(t) = (b_{k1} \cdot pv_1(t), \dots, b_{kK} \cdot pv_K(t)). \quad (3.28)$$

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 $l_k(t)$.

Поток L суммируется с генерируемыми на станции потоками и потоками из очереди, ожидающих переработки составов. Поступающий на переработку объединенный поток L ограничивается в соответствии с производительностью станционных устройств (локомотивного и вагонного хозяйства) и формируется поток, ожидающих переработки составов. Подробнее,

$$L = d \cdot L + (1 - d) \cdot L = LP + LO, \quad (3.29)$$

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 станционное устройство и p_j – производительность в час данного станционного устройства. Тогда

$$d_{k_1} = d_{k_2} = \dots = d_{k_p} = \min \left(\frac{\sum_{l=1}^p l_{k_l}}{p_j}, 1 \right). \quad (3.30)$$

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.

В. Объекты локомотивного и вагонного хозяйства являются подсистемами модели, реализующими линейные, нелинейные и интегральные преобразования сигналов и обратные связи (рисунок 3.7) [235, 239]. ТО и ремонт подвижного состава, на задается как вид обработки составов на станции. По каждому из объектов учитываются следующие параметры: среднее время ремонта или ТО по видам операций и типам составов; количеством параллельных позиций; размеры внутреннего, входящего и исходящего накопителей.

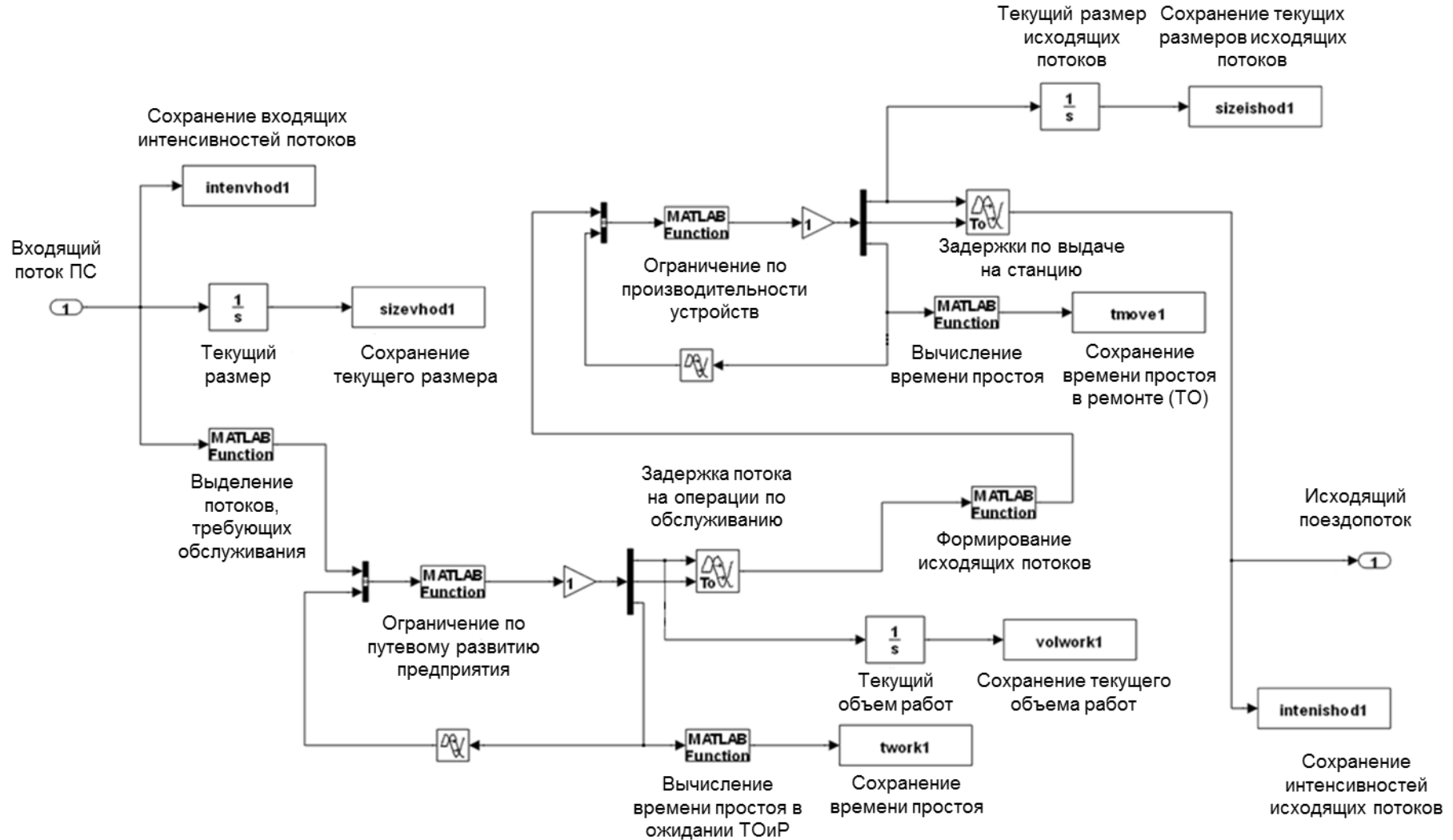


Рисунок 3.7 – Обобщенная имитационная модель объекта локомотивного и вагонного хозяйства

(составлено автором)

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

$$vp_j(t) = \int_0^t lp_j(t) dt, j = 1, \dots, N. \quad (3.31)$$

Далее, к каждому элементарному потоку из потока $L(t)$ применяется задержка на время $tp_j, j = 1, \dots, M$, $M = m \cdot s \cdot (l-1)$, равное среднему времени переработки единицы этого потока для соответствующего вида ТО или ремонта:

$$tp_j = \frac{E_j}{p_j} + G_j, \quad (3.32)$$

где E_j и G_j – константы, зависящие вида и длины поезда, состава технологических операций, p_j – производительность технических средств.

Получившийся поток $LI(t) = (li_1(t), \dots, li_M(t))$ поступает в блок формирования исходящих со станции потоков. Для формирования используется матрица F размера $s \times M$, где $s = p_i$ – количество выходов со станции. Элемент f_{kj} матрицы F – это доля j -го элементарного потока, поступающая на k -ый выход со станции.

$$F = \begin{pmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1M} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{s1} & f_{s2} & \dots & f_{sM} \end{pmatrix}, \quad f_{kj} \geq 0, \quad \sum_{k=1}^s f_{kj} = 1. \quad (3.33)$$

Элементы $PI_k(t) = (pi_{k1}(t), \dots, pi_{km}(t))$ объединенного исходящего со станции потока $PI(t) = (PI_1(t), \dots, PI_s(t))$ вычисляется следующим образом

$$pi_{kj}(t) = \sum_{h=1}^{(l-1) \cdot s} f_{k, j+(h-1) \cdot m} \cdot li_{j+(h-1) \cdot m}(t), \quad j = 1, \dots, m. \quad (3.34)$$

Потоки грузовых составов из потока PI суммируются с потоками из очереди, ожидающих выхода на перегон грузовых составов. Далее, грузовые

потоки ограничиваются в соответствии с коэффициентами съема для перегонов и формируются грузовые потоки, отправляемые в очередь. Подробнее,

$$PI = d \cdot PI + (1 - d) \cdot PI = PIM + PIO, \quad (3.35)$$

где $d = (d_1, \dots, d_K)$, $0 \leq d_k \leq 1$ – ограничивающие коэффициенты для грузовых потоков.

Пусть, например, pi_{k1} – поток сквозных/участковых, pi_{k2} – поток сборных/передаточных, pi_{k3} – поток пассажирских и pi_{k4} – поток пригородных поездов, поступивших на k -ый выход со станции; ks_1 и ks_2 – коэффициенты съема у пассажирских и пригородных поездов для соответствующего перегона и psp_k – пропускная способность поездов в час данного перегона. Тогда

$$d_{k1} = d_{k2} = \frac{\min(\max(psp_k - ks_1 \cdot pi_{k3} - ks_2 \cdot pi_{k4}, 0), 1)}{pi_{k1} + pi_{k2}}, \quad (3.36)$$

при $pi_{k1} + pi_{k2} \neq 0$.

Потоки, ожидающих выхода на перегон составов PIO , на каждом расчетном шаге, накапливаются в очереди $O2 = O2 + PIO$, а потоки из очереди $O2$, на следующем расчетном шаге, вновь поступают на выход на перегон. По размеру потоков в очереди определяется и записывается в файл время простоя при выходе на перегон грузовых составов.

Для каждого исходящего элементарного потока вычисляется текущий размер движения

$$vex_{kj}(t) = \int_0^t pim_{kj}(t)dt, \quad k = 1, \dots, s, \quad j = 1, \dots, m \quad (3.37)$$

По окончании работы модели все записанные файлы поступают в блок обработки результатов имитационного моделирования.

3.2.2. Обработка результатов имитационного моделирования

Для железнодорожных станций узла, внутриузловых соединений и объектов локомотивного и вагонного хозяйства в процессе имитационного моделирования

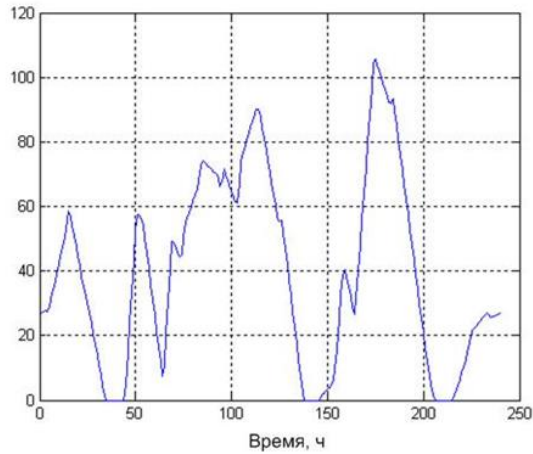
на каждый момент фиксированного шага времени рассчитывается и сохраняется в файле текущий объем выполненных работ, интенсивность входящего и исходящего потока, размер исходящего потока, размер входящего потока. По результатам обработки данных оцениваются и отображаются графически следующие параметры:

- 1) интенсивность поступления объектов ремонта и ее неравномерность;
- 2) суммарный объем работ по видам ремонта и ТО подвижного состава;
- 3) производительность устройств локомотивного и вагонного хозяйства;
- 4) коэффициент загрузки производственных мощностей;
- 5) время задержки поездов в пути следования (сверхнормативное время), связанное с отклонением фактического времени обслуживания поездов от номинального расчетного;
- 6) среднее время простоя подвижного состава в ожидании ТО или ремонта;
- 7) суммарная продолжительность ТО и ремонта с учетом простоя при ожидании ремонта и в ожидании отправления.

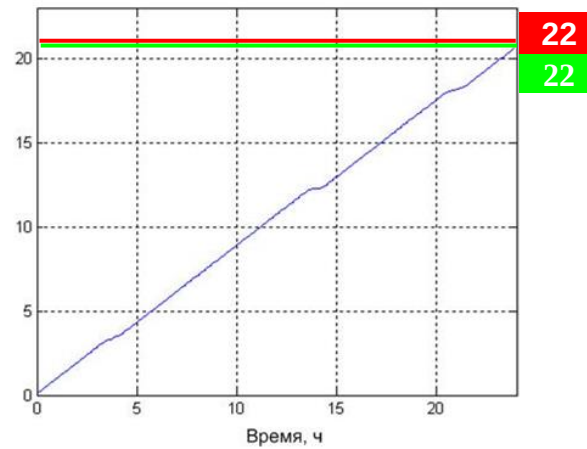
В качестве примера на рисунке 3.8 показаны графики параметров производительности, использования проектной мощности и задержки по времени МППВ грузовых вагонов при различных коэффициентах загрузки. Рассмотрим отдельные элементы расчета более подробно.

А. Суммарный объем работ по видам ремонта и ТО подвижного состава

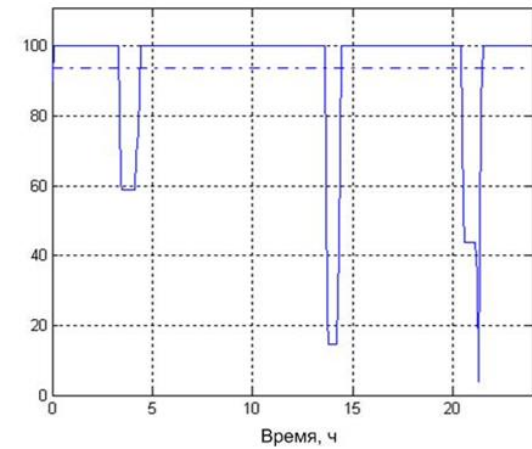
Расчетный текущий объем переработки за сутки определяется по выражению (3.31). Плановый объем рассчитывается через плановые размеры движения и матрицы распределения потоков по видам ТО или ремонта. Результаты работы отображаются с нарастающим итогом (рисунок 3.8 б, д). Совпадение плановых и экспериментальных значений свидетельствует о выполнении заданных объемов работ.



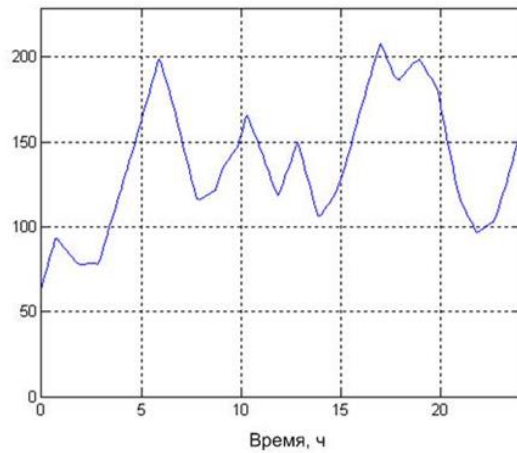
8) а)



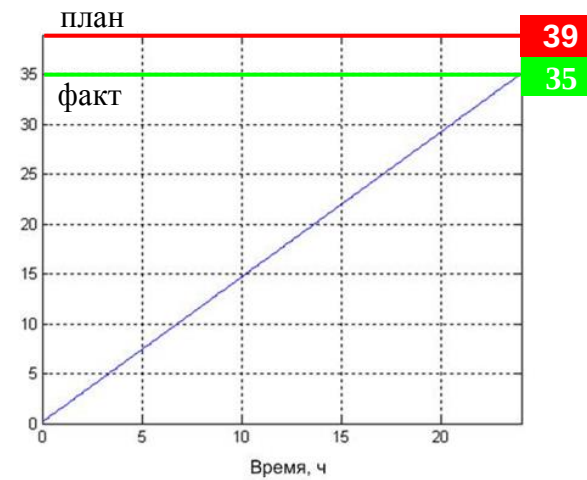
б)



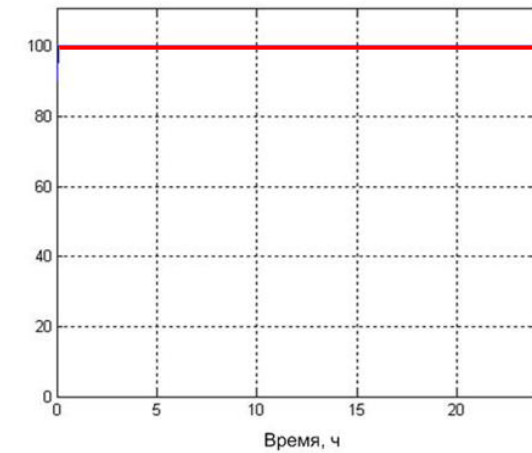
в)



г)



д)



е)

Рисунок 3.8 – Примеры результатов имитационного моделирования работы МППВ вагонов:

а-в) загрузка близкая к критической; г-е) полная загрузка производственных мощностей

(по результатам исследований, выполненных с участием автора)

Б. Производительность устройств локомотивного и вагонного хозяйства

Оценивается по расчетному текущему объему переработки в единицу времени. Интенсивность входов станционных устройств локомотивного и вагонного хозяйства суммируется по видам поездов и усредняется по каждому часу суток.

В. Процент использования пропускной способности станционных устройств локомотивного и вагонного хозяйства (коэффициент загрузки производственных мощностей)

Пусть $PR = (pr_1, \dots, pr_n)$ – проектная пропускная способность в час станционных устройств и подразделений (например, механизированного пункта подготовки грузовых вагонов к перевозкам), $V = (V_1(t), \dots, V_n(t))$ – расчетный текущий объем выполненных работ.

Пусть

$$PRM(m) = (prm_1(m), \dots, prm_n(m)) = V(m) - V(m-1), m = 1, \dots, 24, \quad (3.38)$$

часовые объемы выполненных работ.

Тогда процент использования пропускной способности равен:

$$R(m) = (r_1(m), \dots, r_n(m)), \quad (3.39)$$

где

$$r_k(m) = \frac{prm_k(m)}{pr_k} \cdot 100\%. \quad (3.40)$$

Результаты расчета коэффициентов загрузки станционных устройств локомотивного и вагонного хозяйства представляются в виде графиков (рисунок 3.9 в, е).

Г. Расчетное время дополнительного простоя подвижного состава по задержке на переработку определяется по размеру потоков в очереди (3.29, 3.35). На графиках рисунка 3.8 а, г изображено среднее время простоя вагонов на подготовку к перевозкам по каждому времени суток при критических величинах использования проектной мощности устройств МППВ.

Д. Количество составов в узле и среднее время прохождения узла

Для интегральной оценки комплекса станционных устройств локомотивного и вагонного хозяйства железнодорожного узла как единой технологической системы введены два дополнительных показателя - количество составов в узле и среднее время прохождения узла, характеризующие динамические параметры взаимосвязанных объектов железнодорожной инфраструктуры в условиях динамического отклика.

Количество составов в узле в момент времени t есть разность между размером входящих в узел потоков и исходящих из узла потоков на интервале $(0, t)$:

$$M(t) = V_1(t) - V_2(t) \quad (3.41)$$

где $V_1(t)$ – сумма всех видов входящих поездопотоков со всех направлений (подходов к узлу); $V_2(t)$ – сумма всех видов исходящих поездопотоков во всех направлениях.

Время переработки входящего в узел потока в момент времени t есть время s , найденное из уравнения:

$$V_2(t + s) = V_1(t). \quad (3.42)$$

Если, например, до момента времени t в узел прибыло N составов, а до момента времени t_1 со станции убыло N составов, то время переработки $s(t) = t_1 - t$.

3.3. Выводы по главе 3

1. Анализ возможных методов выбора оптимального места размещения различных объектов бизнес-систем в рыночных условиях показал, что непосредственное использование любого из известных методов для предприятий по ремонту подвижного состава не представляется возможным в виду существенного отличия принципов их функционирования от классических моделей «магазин – склад», «предприятие – сеть потребителей».

2. В качестве решения проблемы предложен алгоритм выбора места оптимального размещения предприятия по ремонту подвижного состава на основе факторно-рейтингового метода, учитывающего суммарную региональную потребность в ремонте всех собственников подвижного состава с учетом их лояльности, с последующим уточнением граничных значений доходности предприятия методом оценки зон конкурентных предпочтений. Расчет последней производится по принципу минимизации совокупных расходов на ремонт с учетом пересылки объектов ремонта и возможного выигрыша в качестве.

3. Показано, что выбор места размещения предприятий, их специализации и производственной мощности тесно взаимосвязаны и являются составляющими задачи поиска оптимального технологического профиля производственной программы из совокупности возможных вариантов. Сам выбор производится в условиях рыночной неопределенности и противоположных интересах компаний-операторов подвижного состава и ремонтных предприятий. В условиях рыночной неопределенности принятие решения возможно с использованием математической теории игр.

4. Предложен метод решения задачи оптимального объема производства и структуры производственной мощности предприятия в условиях неопределенности ситуации на рынке ремонта как поиск варианта, для которого максимальна линейная комбинация минимального и максимального выигрыша в зависимости от отношения инвестора к риску. Для тех случаев, когда критерии дают разные ответы на вопрос о том, какую альтернативу развития производства считать оптимальной. Тогда проводят поиск смешанной альтернативы, дающей наибольшее среднее значение прибыли.

5. Показано, что задачи технологического развития устройств локомотивного и вагонного хозяйства тесно взаимосвязаны с развитием железнодорожных станций, что требует их комплексного решения. На основе систематизации и классификации факторов функциональной среды разработан метод имитационного системно-динамического моделирования процессов

взаимодействия «предприятие – функциональная среда». Метод имеет следующие характерные отличия:

- железнодорожная сеть представляются в виде шин сигналов;
- сигналами в модели являются функции интенсивности движения поездов;
- интенсивности входящих поездопотоков на границах модели реализованы в виде дискретных случайных величин;
- объекты локомотивного и вагонного хозяйства являются подсистемами модели, реализующими линейные, нелинейные и интегральные преобразования сигналов, задержки сигналов по времени и обратные связи;
- топологические, технологические параметры железнодорожной системы и результаты расчетов хранятся в специальной структуре данных, представляющих собой систему электронных таблиц;
- работа объектов железнодорожной сети реализована с помощью общих функциональных модулей: генерирующего, распределительного, перерабатывающего и накопительного.

6. На основе разработанного метода моделирования созданы и реализованы программно математические модели станционных устройств, объектов локомотивного и вагонного хозяйства Екатеринбургского железнодорожного узла при разработке проекта его комплексного развития и реконструкции.

Использование предлагаемого класса динамических моделей позволяет исследовать процессы функционального взаимодействия «предприятие – функциональная среда», оценить возможные границы параметров поступления объектов ремонта, достаточность путевого развития и производительности устройств.

4. СИСТЕМОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО РЕМОНТУ И ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Проектирование таких технических сложных объектов как предприятия по ремонту и ТО подвижного состава – многоэтапный итерационный процесс, в ходе которого проводится преобразование информации о структуре и характеристиках объектов ремонта, технологических операциях и их последовательности, средствах производства, о компоновке объектов технологической системы, процессах функционирования и т.д. [177].

При проектировании существует довольно жесткая связь между этими компонентами. Так, например, структура и характеристики материальных потоков объектов ремонта и методы их обработки оказывают непосредственное влияние на состав, специализацию и выбор форм производства. Параметры последних в свою очередь определяют требования к системе логистики, вариантам транспортных маршрутов и складских структур. Маршруты транспортирования влияют на компоновочные решения и так далее.

Комплексность, многоэтапность и итерационность процесса проектирования предполагает постоянное решение локальных оптимизационных задач, как на уровне отдельных проектных решений, так и проекта в целом на завершающем этапе.

Процесс научно-обоснованного выбора структуры и параметров технологической системы, обеспечивающих экстремальные (наилучшие) значения нескольких технико-экономических характеристик при условии, что другие характеристики удовлетворяют заданной совокупности ограничений, получил название *оптимального проектирования* [1]. Решаемые при этом задачи с выбором предпочтительного варианта по группе критериев относятся к задачам векторной или многокритериальной оптимизации.

Для системного подхода к проектированию характерно рассматривать процесс создания технологической системы как последовательность синтеза

некоторых его моделей, каждая из которых определяется предыдущей [57]. Реализация данного подхода предполагает создание моделей оптимального проектирования в следующей иерархии. На первом уровне создается концептуальная модель, которая описывает основные принципы разработки технологических систем с оптимальными свойствами. Второй уровень занимает информационно-логическая модель, содержащая формализованное описание проектных задач оптимального проектирования. На третьем уровне процесс проектирования представляется на уровне оптимизации проектных процедур и частных проектных решений.

4.1. Концептуальная модель оптимального проектирования

Концептуальную модель оптимального проектирования технологической системы предприятия по ремонту и ТО подвижного состава можно представить в виде следующей схемы (рисунок 4.1). Реализация данной модели предполагает выполнение следующих этапов:

- определение исходных требований (блок №1), структуризацию (блок №3) и декомпозицию (блок №5) объекта технологического проектирования;
- выработка проектных решений по подсистемам технологической системы с последующим синтезом решения в целом (блок №7), его доработкой (блок №10) и оценкой экономической эффективности (блок №12).

Для совокупности этапов предполагается решение комплекса оптимизационных задач (блоки №4, 8, 9, 11) по формированию наилучшего варианта проекта по группе целевых показателей (блоки №2, 6).

На основании анализа возможных вариантов структуры проектных этапов и задач проектирования предприятий по ремонту и ТО подвижного состава можно утверждать, что, несмотря на разнородность проектных задач, в целом для них характерно использование инвариантных процедур, таких как анализ информации, расчеты и моделирование, создание варианта проектного решения, его оценка и т.д.

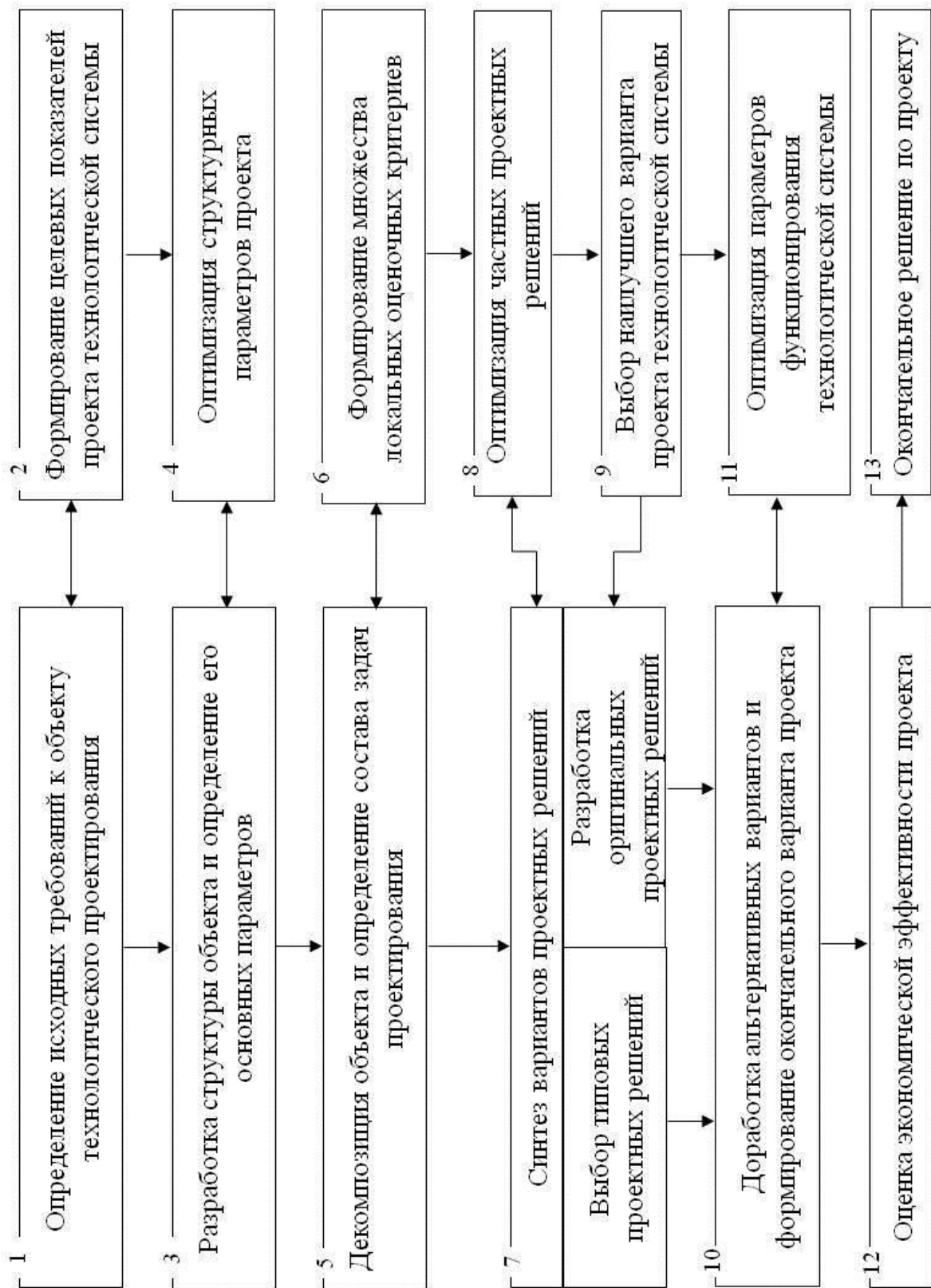


Рисунок 4.1 – Концептуальная модель разработки и оптимизации проекта технологической системы
(составлено автором)

Данное обстоятельство создает предпосылки для группировки проектных процедур в составе характерных классов, используемых в дальнейшем при построении информационно-логической модели оптимального проектирования.

Концептуальная модель взаимосвязанных задач проектирования может быть представлена на уровне типовых проектных процедур, выполняемых последовательно, т.е. процедуры последующих этапов базируются на результатах предыдущих [57, 257]:

$$M = \bigcup_x M_x : R_0 \rightarrow R_1 \rightarrow \dots \rightarrow R_{r-1} \rightarrow R_r \quad (4.1)$$

где M – глобальный метод реализации проекта;

M_x – локальные процедуры проектирования;

R_0 – исходное описание объекта проектирования;

$R_1, \dots, R_{r-1}$ – промежуточные описания;

R_r – конечное описание (окончательный вариант проекта).

Число и содержание проектных процедур, методы их выполнения, содержание проектных решений определяются нормативной и технической документацией в области проектирования объектов ремонта и ТО подвижного состава [28, 33, 151].

На практике, проектные решения в большинстве случаев не имеют однозначного расчетно-аналитического решения и предполагают наличие нескольких вариантов, отличающихся по совокупности показателей. Например, для обеспечения требуемой проектной мощности предприятия может быть использовано различное по степени автоматизации оборудование, компоновка оборудования возможна несколькими альтернативными способами, каждый из которых может предполагать собственное решение по организации транспортного обслуживания, размещению накопителей и т.д.

В общем случае существует множество R_D допустимых технологических решений, сформированных в результате выполнения проектных процедур. Те из них, которые обеспечивают наилучшее в некотором смысле значение выходных параметров технологической системы Q , образуют подмножество оптимальных

(наилучших) вариантов $R_{\text{opt}} \in R_D$. Поэтому модель оптимального проектирования формализуется следующим образом:

$$Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_s\} \rightarrow \text{opt}, R_{\text{opt}} \in R_D, \quad (4.2)$$

где opt – оператор, реализующий принцип оптимальности.

При этом построение процесса проектирования возможно по нескольким различным алгоритмам. При выборе предпочтительного варианта на окончательной стадии проектирования, процесс можно представить в виде дерева решений с n уровнями разделения, соответствующими проектным процедурам на которых происходит генерирование альтернатив (рисунок 4.2).

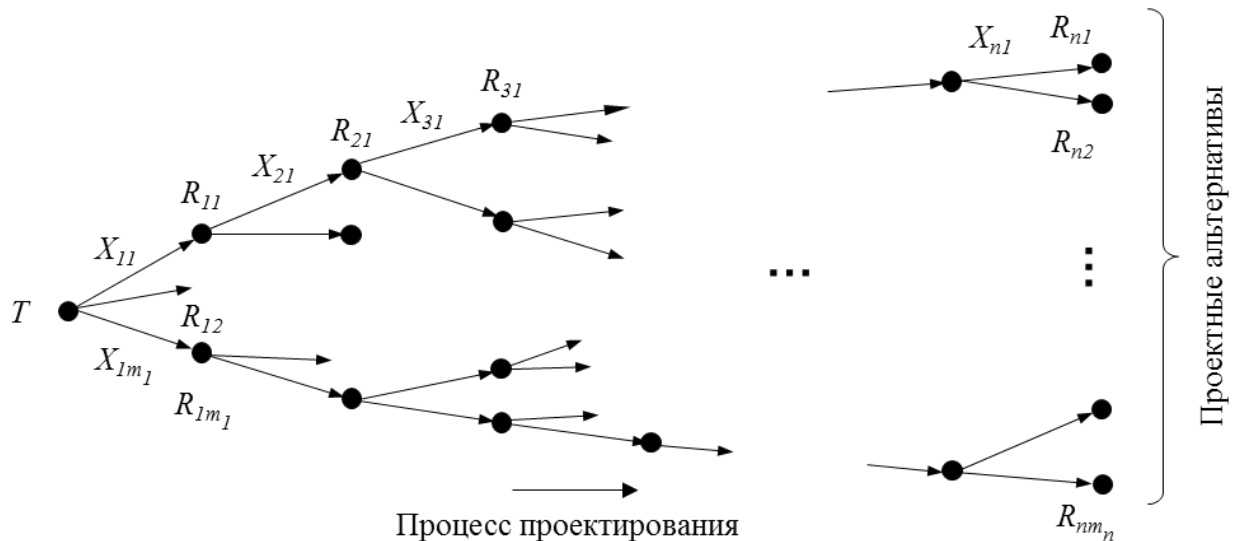


Рисунок 4.2 – Процесс проектирования без промежуточного отбора альтернативных вариантов (составлено автором)

Пусть m_i – количество альтернативных вариантов решений на каждом i -м шаге проектирования $m_i \in M, i=1, \dots, n$. В этом случае совокупное количество всех вариантов технологического проекта составит $N_R = \prod_{i=1}^n m_i$. Для $n = 9$ проектных процедур при $m = 2$ альтернативных решениях на каждом шаге, суммарное количество вариантов составит 512, что является неприемлемым по очевидным соображениям.

Разрешением противоречий обеспечивает включение операции промежуточной оценки и выбора предпочтительного варианта проектного решения на каждом шаге по целевому показателю $V_i, V_i \in V, i = 1, \dots, k$. В этом случае процесс проектирования предусматривает наличие вариативности только в пределах одной проектной процедуры (рисунок 4.3).

Очевидное преимущество данного подхода заключается в многократном снижении трудоемкости процесс технологического проектирования. Недостаток – принятие решений в условиях неопределенности при отсутствии информация о показателях технологической системы в целом.

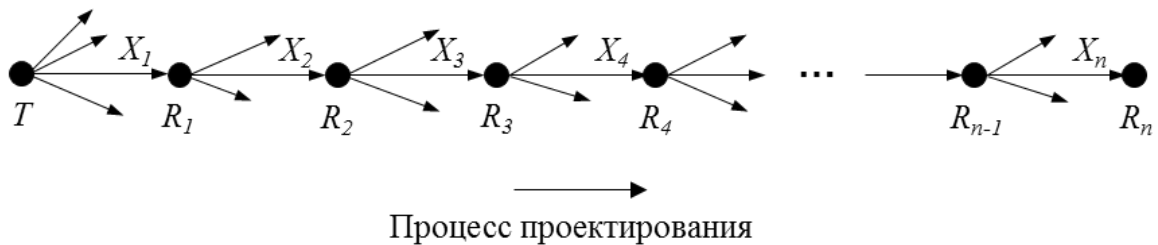


Рисунок 4.3 – Процесс проектирования при однозначном выборе предпочтительного варианта на каждом из промежуточных этапов (составлено автором)

При этом выбор рационального варианта на каждом промежуточном этапе не гарантирует наилучший результат по проекту в целом.

Смешанная стратегия предусматривает построение нескольких «траекторий проектных решений», как правило, не более трех – четырех. Одна из них *базовая* – формируется с использованием стандартных (типовых) проектных решений, неоднократно апробированных на практике. Принятие решений о целесообразности разработки альтернативного варианта на том или ином шаге проектирования осуществляется эмпирически, на основании опыта или оговаривается заказчиком в техническом задании.

Задачи выбора вариантов, при решении которых необходимо учитывать сразу несколько показателей качества, получили название многокритериальных или векторных задач оптимизации.

В современной практике существует несколько подходов решения многокритериальных задач, среди которых следует отметить:

- 1) оптимизацию функционалов путем введения показателя, характеризующего общие цели оптимизации;
- 2) нахождение точки на множестве ограничений (оптимизация по основному показателю);
- 3) оптимизация по взвешенному критерию, т.е. критерию который учитывает все частные функции цели, в соответствии их весовыми коэффициентами и другие [279].

Независимо от выбранного подхода, решение многокритериальной задачи предполагает необходимость решения следующих основных проблем. Во-первых, это *выбор принципа оптимальности*, определяющего правила выбора оптимального решения по всем рассматриваемым вариантам. Во вторых, это *выбор принципа нормализации*, приводящие все критерии к единому масштабу измерения и позволяющие производить их сопоставление. В-третьих, это выбор принципа учета приоритета, позволяющего отдавать предпочтение наиболее важным критериям.

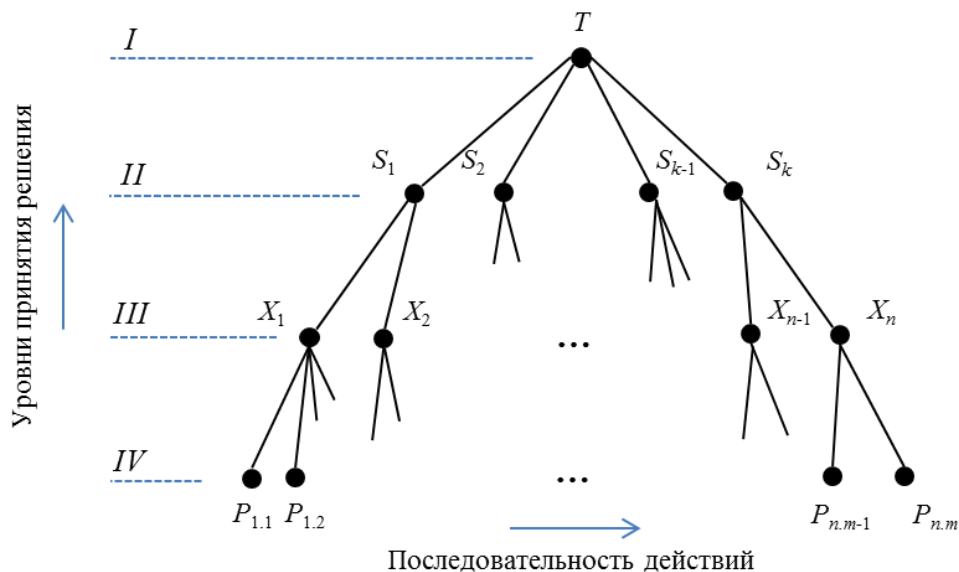
Разработка вариантов проектных решений осуществляется с использованием разнообразных математических, дедуктивных, экспертных и других методов [151, 152, 267, 268]. При реализации системного подхода в задачах проектирования одной из основных проблем является формализованное представление процесса решения взаимосвязанных задач проектирования в виде некоторой информационно-логической модели.

Целями разработки информационно-логической модели проектирования является: многоуровневая декомпозиция процесса проектирования, выделение на уровнях декомпозиции и этапах разработки процедур проектирования, состава информации, моделей проектных решений и условий их оптимизации, т.е. приведение решения сложной многомерной задачи к решению задачи меньшей сложности.

4.2. Информационно-логическая модель оптимального проектирования

В общем виде функциональную структуру процесса проектирования можно представить в виде следующей схемы (рисунок 4.4) [65]. По требованиям технического задания T формулируется совокупность проектных задач, решение которых приводит к достижению поставленных целей.

Для решения этих задач выполняется определенная последовательность проектных операций P , объединяемых в составе проектных процедур $X_i = \{P_{i,1}, \dots, P_{i,j}\}$, где $i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m$ в результате которых формируются проектные решения R_i по каждому из S_k этапов проектирования. Объектами проектных операций являются компоненты проектируемой технологической системы: предметы, средства и условия производства, ресурсы и технологические процессы.



T – техническое задание; $S_1, \dots, S_k$ – этапы проектирования; $X_1, \dots, X_n$ – процедуры проектирования; $P_{1.1}, \dots, P_{n.m}$ – операции проектирования.

Рисунок 4.4 – Обобщенная функциональная структура проектирования технологической системы

С точки зрения информационного описания, процесс проектирования объекта можно представить как последовательность синтеза некоторых его моделей, каждая из которых определяется предыдущей в результате выполнения операций над исходными данными $a_i \in A$ с учетом ограничений $c_i \in C$.

При разработке алгоритмов проектирования, как правило, принимается следующее допущение – процесс проектирования представляется строгой последовательностью взаимосвязанных проектных процедур, ставящим каждой паре (a_i, c_i) в соответствие подмножество проектных решений:

$$X_i : (a_i, c_i, a_i \in A, c_i \in C) \rightarrow R_i \quad (4.3)$$

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 [64].

Процесс проектирования после представляется логически увязанной системой стадий и процедур проектирования (X). Эту систему называют логической моделью проектирования [151]. Основными элементами модели являются (рисунок 4.5): A – исходные данные для решения проектных задач; P – операции проектных процедур; R – проектные решения; V – процедуры выбора или отклонения решения.

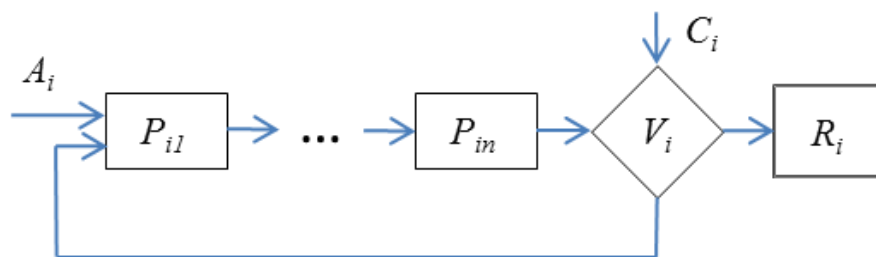


Рисунок 4.5 – Информационно-логическая модель проектной процедуры

В соответствии с принципами системного подхода, сложная и многомерная задача оптимального проектирования технологической системы может быть представлена в виде некоторой логической схемы решения отдельных

взаимосвязанных задач меньшей размерности, полученной в результате структурно-логического анализа за счет:

- декомпозиции проектируемой системы и этапов её разработки;
- выделения формализованных элементов процедур проектирования, моделей проектных решений, критериев их оценки и оптимизации;
- установления системы взаимосвязей решаемых задач, последовательности логических операций и условий их выполнения.

Процесс оптимального проектирования представляет собой многоуровневую задачу, решаемую по следующему алгоритму [193]:

1) оптимизация проектных процедур по локальным критериям. В этом случае, критерии оценки и принятия решения содержатся непосредственно в алгоритмах выполнения проектных процедур;

2) выбор предпочтительного варианта проекта технологической системы из нескольких возможных. Сравнение производится по группе показателей, отражающих основные свойства создаваемой технологической системы.

4) окончательная проверка проекта на финансовую и экономическую эффективность эконометрическими методами.

Для последовательной схемы проектирования каждая задача проектирования полностью определена совокупностью исходных данных, ограничений, процедур проектирования и принятия решения по результатам решения предыдущих задач.

Выбор вариантов технологических решений производится в форме интерактивных процедур, в которых этапы вычисления и принятия решений сменяют друг друга. Вмешательство человека в процесс решения задачи является одной из характерных черт, свойственной методам многокритериальной оптимизации технологических систем, в отличие от традиционного математического программирования при поиске оптимального варианта на непрерывном пространстве решений.



На схеме обозначены: $S_1, \dots, S_4$ – операторы входа на этап проектирования; $\vec{A}_{x_i}$ – векторы информации (программа ремонта, конструкция узлов и агрегатов, технология ремонта и т.д.); $\vec{C}_{x_i}$ – векторы ограничений; M_{ij} – модель объекта проектирования; K_{ij} – оценки решений на уровнях декомпозиции; P_{ij} – проектные процедуры по этапам проектирования; R_{ij} – проектные решения; d_{il} – уровни декомпозиции по объектам проектных исследований O_i .

Под проектным решением R_{ij} принято понимать описание объекта или его составной части, достаточное для рассмотрения и принятия заключения об окончании проектирования или путях его продолжения, получаемые в результате выполнения проектных процедур P_{ij} (см., таблицу 4.1).

В качестве критериев для выбора рациональных вариантов проектных решений используются: K_1 – структурирование технологической системы; K_2 – выбор формы организации производства; K_3 – оценка технического уровня оборудования; K_4 – оценка технического уровня цехов и участков; K_5 – проверка достаточности производственной мощности оборудования; K_6 – оценка энерго- и ресурсоемкости ТС; K_7 – формирование и распределение грузопотоков; K_8 – проверка достаточности производительности транспортной системы; K_9 – проверка достаточности площадей; K_{10} – эффективность использования площади застройки; K_{11} – эффективность использования оборудования.

Конкретизация и уточнение процедур в процессе формирования проектных решений осуществляется в зависимости от уровня декомпозиции d_{il} . d_0 – технологическая система предприятия в целом, d_1 – функционально-обособленный элемент системы (например, вагоно-колесные мастерские, электромашинный цех и т.д.); d_2 – технологический участок.

Состав документированных технологических проектных решений определяется требованиями нормативной документации, а также достаточностью и полнотой сведений для выполнения архитектурно-строительной и специальных частей проекта (проектирования систем вентиляции, электро-, тепло- и воздухоснабжения, санитарно-технических систем) [2, 28, 33].

Таблица 4.1 – Элементы функциональной структуры технологического проектирования предприятий по ремонту подвижного состава (составлено автором)

№ п.п .	Операции проектирования	Проектные процедуры и их результаты	Этапы проектирования
1	$P_{1.1}$ - определение количественного и качественного состава объектов ремонта (ОР)	X_1 / R_1 - ремонтное задание	S_1 – формирование производственной концепции
2	$P_{1.2}$ - выбор предпочтительных форм производства		
3	$P_{2.1}$ - классификация ОР	X_2 / R_2 - функциональная схема ТС	
4	$P_{2.2}$ - формирование параметров технологических операций		
5	$P_{2.3}$ - группировка операций, формирование элементов ТС		
6	$P_{2.4}$ - определение функциональных взаимосвязей		
7	$P_{3.1}$ - формирование сети материальных потоков ОР	X_3 / R_3 - производственная концепция	
8	$P_{3.2}$ - выбор форм организации производства		
9	$P_{4.1}$ - выбор оборудования (качественный состав, количество)	X_4 / R_4 - спецификация оборудования и ТЗ на нест.	S_2 – определение размерных параметров
10	$P_{4.2}$ - разработка ТЗ на нестандартное оборудование		
11	$P_{4.3}$ - определение потребностей в персонале		
12	$P_{4.4}$ - расчет параметров производительности ТС		
13	$P_{5.1}$ - расчет переходного запаса объектов ремонта, потребностей в материалах и комплектующих	X_5 / R_5 – требован. к МТС	
14	$P_{6.1}$ - расчет потребностей производственных площадей	X_6 / R_6 - требования к инфраструктуре	
15	$P_{6.2}$ - расчет технологической энергоемкости производства		
16	$P_{6.3}$ - расчет параметров железнодорожного путевого развития		
17	$P_{7.1}$ - разработка вариантов размещения технол. структур	X_7 / R_7 – логистическая схема ТС	S_3 – структурирование и конфигурирование
18	$P_{7.2}$ - расчет параметров транспортных потоков ОР		
19	$P_{8.1}$ - разработка детальных планов цехов и участков: стойловая часть, основные и вспомогательные цеха по ремонту оборудования	X_8 / R_8 – планы размещения оборудования	
20	$P_{9.2}$ - зонирование территории предприятия	X_9 / R_9 – генеральный план застройки	S_4 – математическое моделирование
21	$P_{9.3}$ - разработка схем путевого развития		
22	$P_{9.4}$ - размещение производственных цехов		
23	$P_{9.5}$ - размещение объектов инфраструктуры		
24	$P_{10.1}$ - разработка математической модели	X_{10} / R_{10} – параметры работы ТС	
25	$P_{10.2}$ - моделирование работы отдельных элементов ТС		
26	$P_{10.3}$ - моделирование взаимодействия элементов ТС		
27	$P_{10.4}$ - оценка эффективности работы транспортной системы		
28	$P_{10.5}$ - оценка производительности и времени ремонта		
29	$P_{10.6}$ - оценка объемов незавершенного производства		
30	$P_{10.7}$ - построение сетевого графика ремонта		

На первом этапе осуществляется анализ технологических процессов, исследуются конструктивные и технологические параметры и показатели объектов ремонта ($P_{1.1} - P_{2.5}$). По результатам анализа определяется состав производственных структур, специализация рабочих мест, характеристики материальных потоков, возможные варианты транспортирования и складирования узлов и деталей подвижного состава; разрабатываются функциональная $M_{2.4}^{d_1}$ и логистическая $M_{3.1}^{d_1}$ модели технологической системы; выбираются формы организации производства цехов и участков $M_{3.2}^{d_1}$.

Полученные данные позволяют на втором этапе выполнить расчет основных параметров проектируемой технологической системы, в том числе: определить качественный и количественный состав средств производства, оценить потребности в персонале, топливно-энергетических ресурсах, производственных площадях, путевом развитии для приема, накопления и подачи подвижного состава, размеры оборотного фонда узлов, деталей, материалов и комплектующих ($P_{4.1} - P_{6.3}$). Основой для решения поставленных задач является программа ремонта подвижного состава A_2 .

Проектные решения второго этапа: R_4 – спецификация покупного оборудования, техническое задание на разработку нестандартного оборудования и оснастки, задание на проектирование путевого развития; R_5 – расчет потребностей в топливно-энергетических ресурсах; R_6 – расчет переходного запаса объектов ремонта, технологического запаса материалов и комплектующих.

Задачами структурирования и конфигурирования технологической системы являются разработка вариантов размещения технологических структур и их компоновки с учетом размеров и топологии технологических грузопотоков, выбор схем доставки и подъемно-транспортного оборудования, зонирование территории застройки предприятия. В результате составляется масштабная логистическая схема технологической системы предприятия $M_{7.1}^{d_1}$, на которой отображаются

площади основных технологических участков и показываются производственные взаимосвязи между ними в форме матрицы технологических грузопотоков $M_{7.2}^{d_1}$.

Необходимыми условиями для создания детализированных функциональных схем является наличие подробных сведений о конструкторско-технологических параметрах объектов ремонта, масштабе и специализации производства, возможных ограничениях при принятии решений, задаваемых в виде соответствующих векторов параметров ($C_7 - C_{10}$). На масштабной логистической схемы разрабатываются планы размещения технологического оборудования R_8 , формируется генеральный план застройки территории R_9 .

Уточнение параметров проекта и оценка их чувствительности к изменениям внешних факторов выполняются на завершающем этапе S_4 с использованием средств имитационного математического моделирования. Моделирование предполагает расчет показателей использования оборудования, длин очередей, производительности технологической системы, времени ремонта, объемов незавершенного производства $P_{10.1} - P_{10.6}$. По результатам динамического моделирования строится расчетный график технологического процесса ремонта подвижного состава $P_{10.7}$.

4.3. Теория и практика оптимизации частных проектных решений

4.3.1. Выбор формы организации ремонтного производства

Современные способы организации ремонта подвижного состава по функциональному принципу и характеру привязки к объекту ремонта могут быть разделены на два класса – стационарные и нестационарные. В стационарных системах объект ремонта остается неподвижным, а выполнение заданной технологической последовательности операций производится путем перемещения в зону проведения работ необходимого оборудования и персонала. Для нестационарных систем напротив характерно перемещение объектов ремонта относительно технологических позиций.

Классические формы организации производства включают в себя: постовое, цеховое, последовательное, поточное производство и производство по предметно-замкнутому циклу [220].

Группировка оборудования в составе технологических участков производится по критерию технологической замкнутости [1, 2, 151, 152, 153]:

$$k_3 = \frac{\bar{g}_i}{\bar{g}_i + \bar{q}_i}, \quad (4.4)$$

где $\bar{g}_i$ – среднее количество рабочих операций, выполняемых над объектом ремонта в пределах i -го технологического участка; $\bar{q}_i$ – среднее количество операций, выполняемых за его пределами, с учетом естественных ограничений на размеры участков и их предметную специализацию.

Выбор форм организации производства производится на основе анализа материальных потоков после объединения материальных потоков в сеть. Результатом аналитических исследований материальных потоков является матричное представление движения ремонтного фонда, материалов и комплектующих между элементами технологической системы для последующего анализа с использованием специальных матричных признаков для их оптимизации.

Состав технологической системы может быть представлен в виде множества $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$, где n – общее количество средств технологического оснащения. Материальные связи между технологическими позициями представим в виде булевой матрицы бинарных отношений:

$$H^R = \begin{pmatrix} r_1 & r_2 & \dots & r_j & \dots & r_n \\ - & (r_1, r_2) & \dots & (r_1, r_j) & \dots & (r_1, r_n) \\ (r_2, r_1) & - & \dots & (r_2, r_j) & \dots & (r_2, r_n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ (r_i, r_1) & (r_i, r_2) & \dots & (r_i, r_j) & \dots & (r_i, r_n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ (r_n, r_1) & (r_n, r_2) & \dots & (r_n, r_j) & \dots & - \end{pmatrix} \begin{matrix} r_1 \\ r_2 \\ \dots \\ r_i \\ \dots \\ r_n \end{matrix}, \quad (4.5)$$

где (r_i, r_j) – (связь) между элементами r_i и r_j технологической системы; r_1, r_n – вход и выход исследуемого цеха или участка соответственно,

Соответствующую матрицу материальных потоков объектов ремонта можно представить в виде:

$$H^R = \begin{pmatrix} - & h_{12}^R & \dots & h_{1j}^R & \dots & h_{1n}^R \\ h_{21}^R & - & \dots & h_{2j}^R & \dots & h_{2n}^R \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{i1}^R & h_{i2}^R & \dots & h_{ij}^R & \dots & h_{in}^R \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{n1}^R & h_{n2}^R & \dots & h_{nj}^R & \dots & - \end{pmatrix}. \quad (4.6)$$

где $h_{ij}^R = (r_i, r_j)$ – интенсивность движения объектов ремонта между технологическими позициями r_i и r_j , ед./час: $h_{ij}^R \neq 0$, если материальная связь и обмен объектами ремонта между элементами технологической системы существует; $h_{ij}^R = 0$ в противном случае.

При постовой структуре преимущественное распределение материального потока происходит через вход и выход технологической системы, имеющие непосредственные связи с каждой технологической позицией, элементы матрицы (5.11) открыты:

$$\sum_{k=1}^n (h_{1,k}^R + h_{k,n}^R) - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^{n-1} (h_{i+1,j}^R) \rightarrow \max. \quad (4.7)$$

Данное выражение справедливо при следующих ограничениях:

1) $h_{ij}^R = 0$, $i = j$ - движение объектов ремонта и материалов внутри технологической позиции не учитывается;

2) количество отремонтированных и находящихся в процессе ремонта объектов на момент времени T равно количеству поступивших:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n h_{i,j}^R = H(T), \quad (4.8)$$

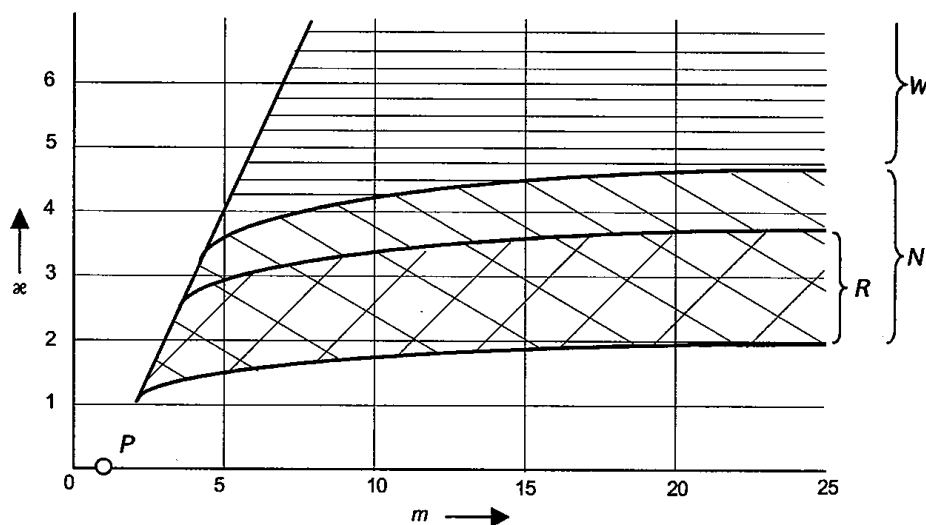
где $H(T)$ – суммарное количество поступивших объектов ремонта за время T .

Поточная форма организации производства визуально отображается размещением значащих элементов матрицы $h_{ij}^R \neq 0$ вдоль главной диагонали:

$$\sum_{k=1}^{n-1} (h_{k,k+1}^R) - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j \neq i+1}^{n-1} (h_{i,j}^R) \rightarrow \max. \quad (4.9)$$

Для сетевой структуры материальных потоков характерно цеховое производство и производство по предметно-замкнутому циклу, при этом элементы матрицы распределены по поверхности выше или выше и ниже главной диагонали.

В случае если матричный анализ не дает однозначного ответа какой из вариантов формы организации производства является предпочтительным, выбор осуществляется по эмпирическим номограммам в зависимости от числа материальных связей и значений коэффициента кооперации χ (рисунок 4.6) [153, с. 137].



K_k — коэффициент кооперации; m — количество рабочих мест; P — постовая структура; R — линейная структура (последовательное производство); N — сетевая структура (производство с предметно-замкнутым циклом); W — цеховая структура (цеховое производство).

Рисунок 4.7 – Номограмма для выбора предпочтительного варианта формы организации производства [153, с. 137]

Расчет коэффициента кооперации осуществляется по формуле [153, с. 134]:

$$\chi = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m k_i, \quad (4.10)$$

где k_i – количество рабочих мест, с которыми рабочее место i находится в непосредственной связи; m – количество рабочих мест рассматриваемого технологического участка.

Аналитические исследования производственного комплекса передовых промышленных предприятий зарубежных стран показали, что одним из эффективных способов развития традиционных последовательных и поточных методов является создание так называемых интегрированных форм организации производства, сочетающими высокую производительность поточных линий с адаптивностью и технологичностью постового и цехового метода [219, 222].

Интегрированная форма организации предполагает объединение основных и вспомогательных операций складирования, транспортирования, комплектования, ремонта, обработки в единый производственный процесс. Это достигается путем объединения всех рабочих мест с помощью единой транспортно-логистической системы. Для интегрированных форм организации производства по сравнению с обычными формами характерны:

- более высокая степень технической интеграции функций по управлению производством, складированием, транспортировкой и обработкой;
- обеспечение высокой степени гибкости форм организации производства, с учетом меняющихся требований (смена производственных задач, изменение загрузки, неполадки и прочие);
- достижение различной степени автоматизации отдельных элементов технологической системы за счет «точечного» использования элементов промышленной роботизации, автоматизированных и механизированных транспортно-накопительных систем, встроенных систем контроля качества и интеллектуального управления.

С участием автора на практике реализованы различные варианты *интегрированных смешанных систем*, в которых используются технологические позиции с разной степенью автоматизации.

Смешанные системы предполагают использование наряду с техническими устройствами с ЧПУ обычного обрабатывающего оборудования, в том числе с ручными операциями, что позволяет обеспечить свободную настройку степени автоматизации отдельных компонент технологической системы, осуществить ступенчатую пошаговую автоматизацию производства, реализовать широкий диапазон технологически разнородных продуктов. Данное решение имеет очевидное преимущество в плане широты охвата производства процессами автоматизации при существенно меньших инвестиционных затратах.

В качестве *одного из примеров* можно привести Проект ресурсного центра восстановления литых деталей грузовых вагонов на станции Уральск АО «Казтеміртранс». Технологический проект создан совместно специалистами ОмГУПС под руководством автора диссертационной работы, а также научно-инженерными работниками Казахстанской академии транспорта и коммуникаций (КазАТК) (*акт внедрения*, Приложение А). В основу проекта положены принципы поточной организации производства с использованием элементов интегрированных технологических систем смешанного типа (рисунок 4.8).

Центральными элементами технологической системы являются гибкие технологические ячейки наплавки изношенных поверхностей боковых рам, наддресорных балок и корпусов букс колесных пар на основе промышленных роботов TA1800 фирмы Panasonic.

В составе гибкой производственной ячейки система реализует процесс измерения деталей, управление наплавкой и управление загрузкой-выгрузкой деталей на позиции. Первоначально после загрузки деталей на позицию производятся измерения и по результатам измерений вычисляются необходимые слои наплавки. Далее робот меняет измерительную головку на сварочную горелку и производит наплавку изношенных поверхностей под управлением компьютера.

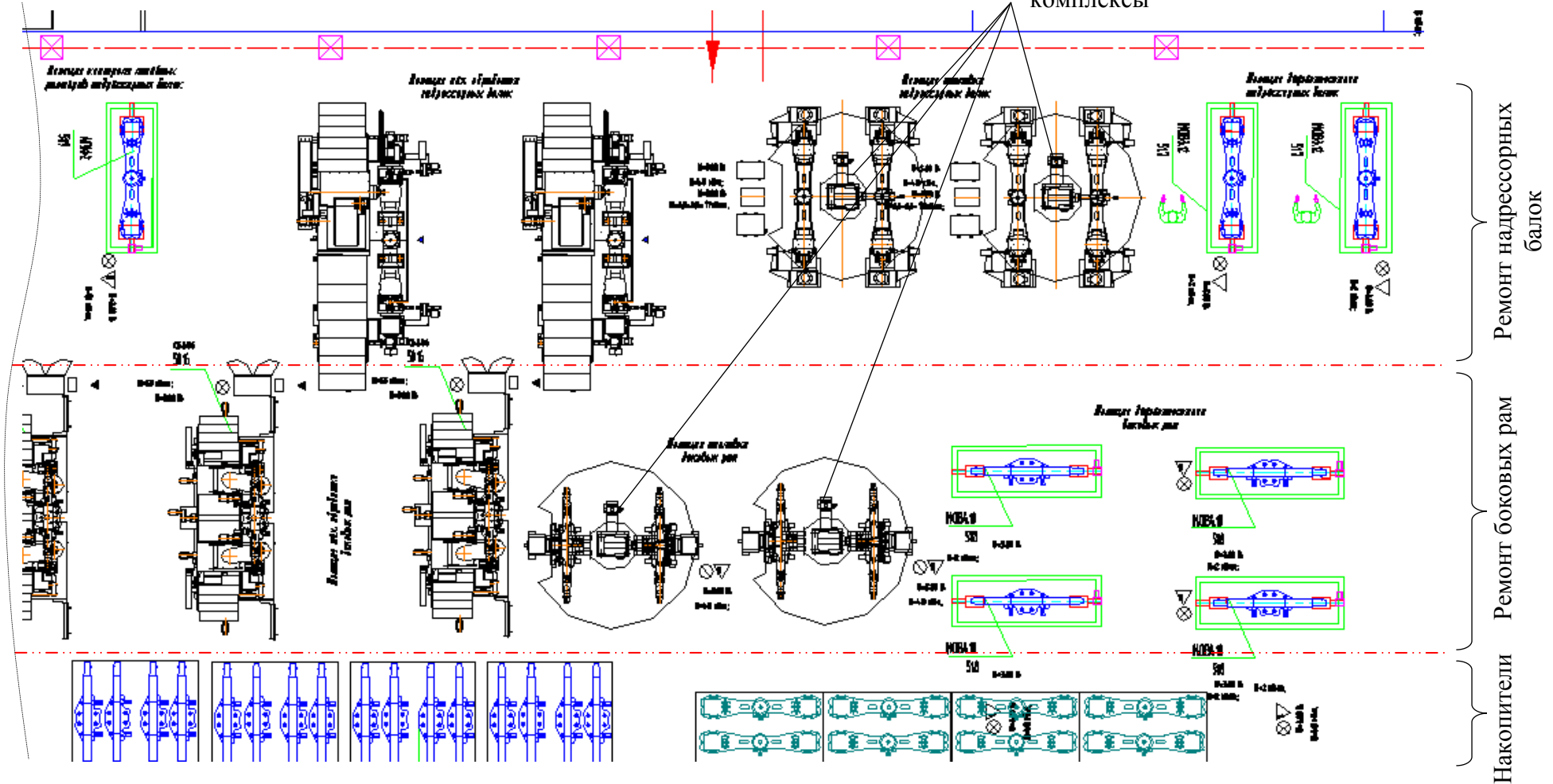


Рисунок 4.8 – Технологический проект корпоративного центра восстановления литых деталей вагонов (фрагмент)
(проект реализован при непосредственном личном участии автора)

Благодаря автоматизации процесса удалось сократить время измерительных операций до 60 - 70 с., повысить производительность наплавки деталей более чем в два раза. Время наплавки боковой рамы при 2 проходах с толщиной слоя 2-3 мм составляет 20 мин., наплавки надрессорной балки при 2 проходах с толщиной слоя 2-3 мм составляет 80 мин.

Сочетание традиционных поточных и интегрированных форм организации производства позволило существенно улучшить показатели производительности и полезного использования площадей проекта, при сохранении приемлемой стоимости приобретаемого оборудования и высокой надежности технологической системы в целом, за счет «горячего» резервирования его отдельных элементов.

4.3.2. Выбор технологического оборудования

Выбор оборудования определяется технологией ремонта подвижного состава и представляет собой задачу технологической подготовки производства, решаемую с учетом предполагаемого уровня механизации и автоматизации работ, возможности взаимной увязки отдельных единиц оборудования в составе технологического комплекса или поточной линии и ряда других факторов [11].

Показатели технического уровня характеризуют технологическую систему предприятия с позиции прогрессивности и эффективности применяемых средств производства: уровень технологии, автоматизации и механизации производства, технологической гибкости и замкнутости производственных участков. Наиболее подробно методологические принципы оценки технического уровня предприятий по ремонту подвижного состава исследованы в работах профессора М.М. Болотина (МГУПС) [17, 18].

Коэффициент автоматизации производства определяется как простое соотношение двух видов оборудования или с учетом звенности машин [17, с. 5]:

$$k_a = \frac{\sum_{z=3,5}^5 n_z \cdot z}{z_{\max} \cdot \sum_{z=0}^5 n_z}, \quad (4.11)$$

где n_z – количество используемых машин с учетом коэффициента загрузки; z – звенность машины ($z=0$ – ручные орудия труда; $z=1$ – усилители (передачи) с ручным приводом; $z=2$ – механизированный ручной инструмент; $z=3$ – механизированные машины; $z=3,5$ – полуавтоматы; $z=4$ – автоматы); $z_{\max}$ – максимальная звенность машин ($z_{\max}=5$).

Коэффициент механизации является основным показателем, характеризующим степень замещения ручного труда машинным на производстве [1, 2, 107]:

$$k_m = \frac{T - T_p}{T}, \quad (4.12)$$

где T_p – время ручной работы слесарей по ремонту подвижного состава;

T – общий фонд рабочего времени на ремонт одной единицы.

Для сравнительного анализа действующих машиностроительных предприятий дополнительно может оцениваться *уровень технологий*, как отношение комплекса используемых в процессе ремонта механизированных и автоматических машин с учетом их срока службы ко всем применяемым средствам труда [17, с. 5]:

$$k_{yt} = \frac{\sum_{z=3}^5 n_z \cdot t_z}{\sum_{z=0}^5 n_z \cdot t_z}, \quad (4.13)$$

где $n_z = n_y \cdot k_3$ – количество используемых машин; n_y – количество установленных машин; k_3 – коэффициент загрузки машины; $t_z = 5,5d_1 + 12,5d_2 + 17,5d_3$ – средний срок службы машин z -й звенности; $d_i = n_i/n$ – удельный вес машин, имеющих срок службы в i -м интервале ($i = 1$ – срок службы до 10 лет; $i = 2$ – от 10 до 15 лет; $i = 3$ – от 15 до 20 лет); n_i – количество машин в i -й интервальной группе; n – общее количество машин.

Недостатком рассмотренных показателей, является невозможность их применения для оценки технологической системы предприятия с точки зрения обеспечения качества ремонта.

В качестве решения *автором* предлагается введение дополнительного критерия *технологической прогрессивности* технологической системы, оцениваемого путем экспертного сравнения рассматриваемого предприятия с аналогичными по функциональному назначению предприятиями в отрасли [200]. В этом случае коэффициент технологической прогрессивности для m -го технологического участка будет равен:

$$k_{\text{тп}}^m = \frac{1}{n_m} \sum_{i=1}^{n_m} \alpha_i^m \cdot u_i^m, \quad 0 < (u_i, \alpha_i) \leq 1, \quad (4.14)$$

где n_m - количество единиц оборудования на m -ном технологическом участке; u_i^m – экспертные оценки прогрессивности технологии (0 – отсталая технология, 1 – технология, соответствующая передовым стандартам); α_i^m – коэффициенты, оценивающие степень влияния i -ой позиции на получение конечного результата для всего m -го технологического участка.

Расчет $k_{\text{тп}}$ для предприятия в целом производится путем суммирования коэффициентов прогрессивности отдельных участков с учетом весовых коэффициентов γ_m :

$$k_{\text{тп}} = \sum_{m=1}^d \gamma_m \cdot k_{\text{тп}}^m, \quad \sum_{m=1}^d \gamma_m = 1, \quad (4.15)$$

где γ_m - экспертная оценка «значимости» m -го технологического участка в обеспечении качества ремонта (назначается по результатам анализа отказов подвижного состава в гарантийный период).

4.3.3. Структурирование и конфигурирование технологической системы

Структурирование (структурное проектирование) – предполагает создание пространственных структур производственных участков предприятия. Содержание проектных работ на этой стадии носит синтезирующий характер, т.е. их результаты получаются в процессе поэтапной проектной деятельности, опирающейся на принцип дедуктивного анализа.

Задачей структурного проектирования является нахождение экономичных форм пространственного размещения функциональных подразделений. При этом доминирующее влияние на выбор структуры оказывает система материальных потоков, т.е., материальный поток является главным фактором, который необходимо учитывать при структурном проектировании.

В качестве критерия оценки при сравнении нескольких вариантов размещения технологического оборудования, накопителей, складов, компоновки производственных цехов и участков принимается минимум мощности технологического грузопотока, т.м [151, с. 31; 152]:

$$F = \sum_{i=1}^z \sum_{ab=1}^h m_i \cdot l_{abi} \rightarrow \min, \quad (4.16)$$

где z – число перемещаемых узлов и деталей подвижного состава;

h – число операций в производственном процессе ремонта i -го узла или детали;

m_i – масса узла или детали i -го наименования, т;

l_{abi} – расстояние между a -й и b -й рабочими позициями на которое происходит перемещение i -го наименования изделия, м.

Для оптимизации технологических структур с точки зрения материальных потоков предлагается следующий алгоритм действий. На основании матрицы материальных потоков (4.6) составляется транспортная матрица с учетом размеров транспортной партии (при групповом методе транспортирования), и далее матрица интенсивностей, ячейки которой формируются с учетом

расстояний между элементами технологической системы, участвующими в формировании и обработки материального потока:

$$B^R = \begin{pmatrix} - & b_{12}^R \cdot l_{12} & \dots & b_{1j}^R \cdot l_{1j} & \dots & b_{1n}^R \cdot l_{1n} \\ b_{21}^R \cdot l_{21} & - & \dots & b_{2j}^R \cdot l_{2j} & \dots & b_{2n}^R \cdot l_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{i1}^R \cdot l_{i1} & b_{i2}^R \cdot l_{i2} & \dots & b_{ij}^R \cdot l_{ij} & \dots & b_{in}^R \cdot l_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1}^R \cdot l_{n1} & b_{n2}^R \cdot l_{n2} & \dots & b_{nj}^R \cdot l_{nj} & \dots & - \end{pmatrix}, \quad (4.17)$$

где $b_{ij}^R = (r_i, r_j)$ – интенсивность движения объектов ремонта между технологическими позициями r_i и r_j с учетом размеров транспортной партии, ед./час: $b_{ij}^R \neq 0$, если материальная связь и обмен объектами ремонта между элементами технологической системы существует; $b_{ij}^R = 0$ в противном случае.

Минимизация обратных потоков осуществляется путем взаимной перестановки отдельных строк и столбцов матрицы материального потока. Наилучшим считается вариант, для которого выполняется следующее условие:

$$\sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} (b_{i,j}^R) \rightarrow \min. \quad (4.18)$$

Изменение затрат на транспортировку достигается за счет выбора рационального размера транспортной партии, оптимизации последовательности выполнения технологических операций, типа используемых подъемно-транспортных механизмов.

Конфигурирование предполагает сопряжение функциональных подразделений и форм размещения в рамках реальных территориально-пространственных структур, включая четкое определение стыкующихся элементов по принципу максимального полезного использования площади производственного здания:

$$S_{\text{общ}} - S_{\text{тх}} \rightarrow \min, \quad (4.19)$$

где $S_{\text{общ}}$ – общая площадь здания, определяемая его габаритными параметрами;

$S_{\text{тх}}$ – технологическая площадь цеха.

Технологическая площадь цеха рассчитывается по суммарной площади технологического оборудования с учетом площадей, необходимых для зон управления, складирования и накопления объектов ремонта, путей для транспортировки и т.д. Дополнительные площади учитываются в виде соответствующих коэффициентов запаса $k_i^{(tx)}$ ($k_i^{(tx)} > 1$), рекомендуемые значения которых приведены в соответствующей справочной и методической литературе [например, см. 152, 153 с. 94 - 95]:

$$S_{tx} = \sum_{i=1}^K S_i \cdot \prod_{i=1}^n k_i^{(tx)}, \quad (4.20)$$

где S_i – площадь оборудования с учетом зон управления и обслуживания, m^2 ;

K – количество единиц оборудования в цехе в соответствии с принятым вариантом технологических решений.

В виду отсутствия четких общепринятых критериев для оптимального конфигурирования технологических систем предприятий по ремонту подвижного состава, *автором предлагается* руководствоваться в данном вопросе стоимостным принципом, а именно минимизацией стоимости строительства производственного здания.

В качестве *критерия оптимального конфигурирования* примем отношение площади производственных цехов S_{tx} к технологическому объему здания $V_{зд}$:

$$\frac{S_{tx}}{V_{зд}} \rightarrow \max. \quad (4.21)$$

В качестве ограничений воспользуемся соотношениями застроенной и общей площади, которые регламентируются нормативами базисных показателей промышленного использования земель:

$$K_з = \frac{S_з}{S_{общ}} \leq 0.8, \quad K_{об} = \frac{V_{зд}}{S_{общ}} \leq 2.4, \quad K_{пл} = \frac{S_з \cdot R}{S_{общ}} \leq 10, \quad (4.22)$$

где $K_з$, $K_{об}$, $K_{пл}$ – коэффициенты застройки, объема и плотности застройки соответственно; R – этажность производственного здания (для зданий ангарного типа $R = 1$); $V_{зд}$ – общий объем (кубатура) здания, m^3 .

Руководствуясь описанными принципами, при непосредственном личном участии автора были выполнены работы технологическому проектированию производственных участков в проекте комплексной реконструкции локомотиворемонтного депо Егоршино Свердловской железной дороги (договору №01-036-06/08 от «10» сентября 2008 г. функциональный заказчик – Свердловская железная дорога – филиал ОАО «РЖД»).

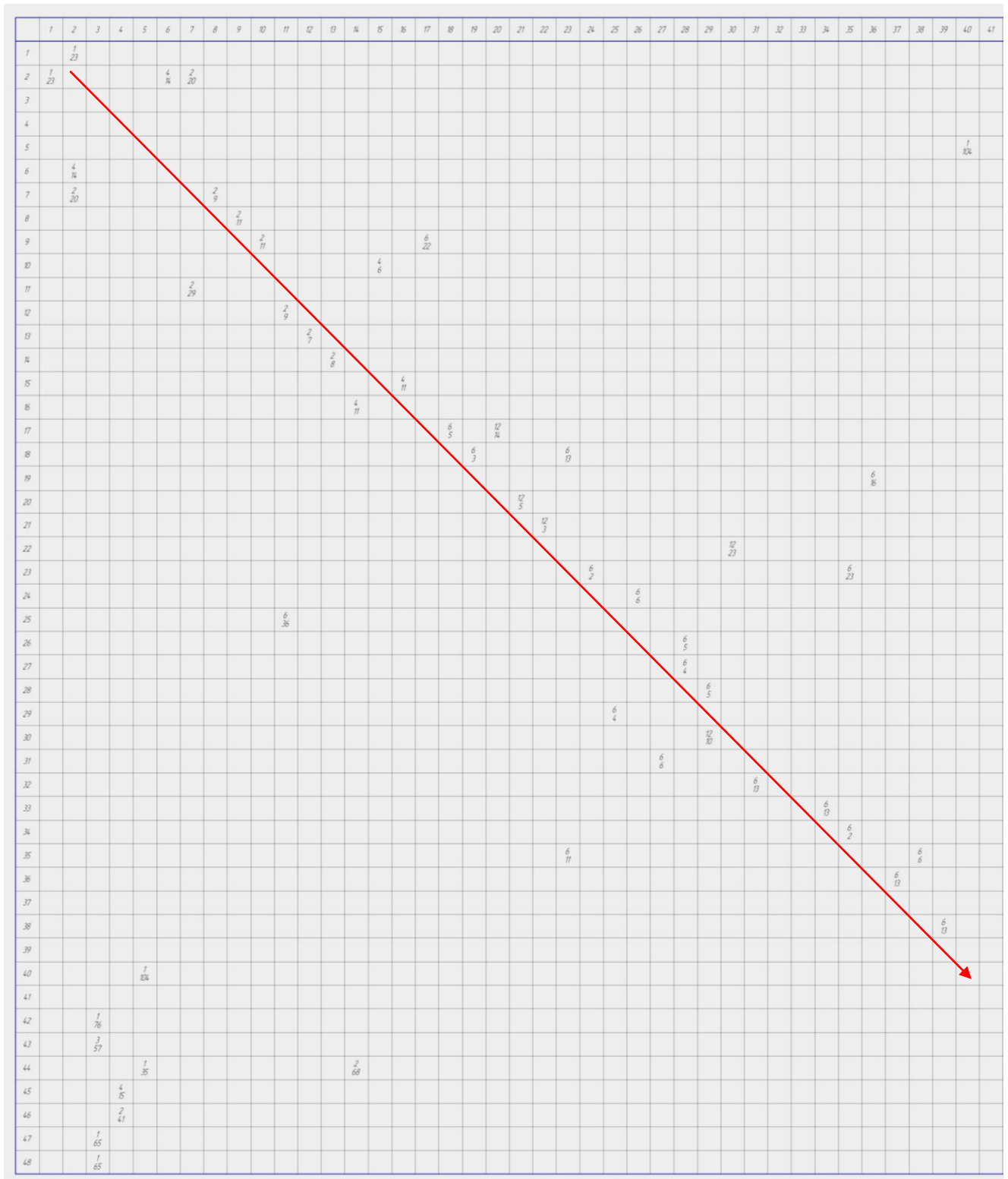
В рамках договора разработан проект стойловой части производственного комплекса ТР-3 тепловозов ТЭМ-2, ТЭМ-18 мощностью 96 тепловозов в год, включая поточную линию ремонта тележек; разборки и сборки колесно-моторных блоков с участком ремонта малой шестерни и кожухов зубчатой передачи; механизированный склад агрегатов (*акт внедрения*, Приложение А).

Разработка технологического проекта производилась в две стадии.

На первой стадии был выполнен структурный анализ объекта ремонта с целью выявления перечня сборочных единиц, элементов и деталей, входящих в его состав. По результатам была сформирована структурная схема объекта ремонта. На второй стадии разрабатывались варианты технологических маршрутов ремонта отдельных узлов, сборочных единиц и методы восстановления деталей.

По результатам сравнения различных вариантов выбраны рациональные маршруты технологических процессов, сопровождаемые расчетом и выбором параметров технологических режимов разборки и сборки, обкатки и испытания, мойки, механической обработки и других видов работ. Осуществлен выбор оборудования, структурирование и конфигурирование технологических участков в соответствии с предложенными автором расчетными методиками, описанными ранее (4.14 – 4.22).

Размещение технологических структур выполнено с учетом требования максимально единой ориентации материального потока (4.8). Соответствующая транспортная матрица для основного комплекса производственных участков ТР-3 представлена на рисунке 4.9.



→ Преимущественная ориентация материального потока по условию (4.8)

Рисунок 4.9 – Транспортная матрица проекта производственного комплекса ТР-3 тепловозов локомотивного ремонтного депо Егоршино
(составлено автором)

В таблице 4.2 представлены результаты расчетов площадей производственных цехов и общего технологического объема здания для двух вариантов проекта реконструкции.

Таблица 4.2 – Показатели вариантов проектов реконструкции депо (составлено по результатам расчетов автора)

Наименование показателя	Вариант 1	Вариант 2
Технологическая площадь цехов (полезная), м ²	2260	3452
Общий объем здания, м ³	25100	26611
Значение критерия ($S_{\text{тх}}/V_{\text{зд}}$)	0,089	0,129

По результатам расчета критерия оптимальности конфигурирования производственных участков (4.21) в качестве предпочтительного варианта проекта принят вариант 2. Окончательный вариант технологического проекта представлен на рисунке 4.10.

Технологическая система построена по Q-образной схеме, что исключает пересечение технологических потоков, обеспечивает минимальную длину транспортных маршрутов и независимость материальных потоков.

4.3.4. Выбор оптимальной производительности и структуры транспортной системы

В качестве критерия эффективности работы транспортной системы принято использовать длину очереди заявок на транспортное обслуживание, которая в общем случае, для технологических замкнутых систем, находится по формуле [151, с. 129]:

$$L_{\text{оч}} = \sum_{k=n_{\text{т}}}^{n_{\text{с}}} (k - n_{\text{т.ср}}) \cdot P_k, \quad (4.23)$$

где k – число заявок на обслуживание; $n_{\text{с}}$ – число обслуживаемых технологических позиций; $n_{\text{т.ср}}$ – число средств доставки;

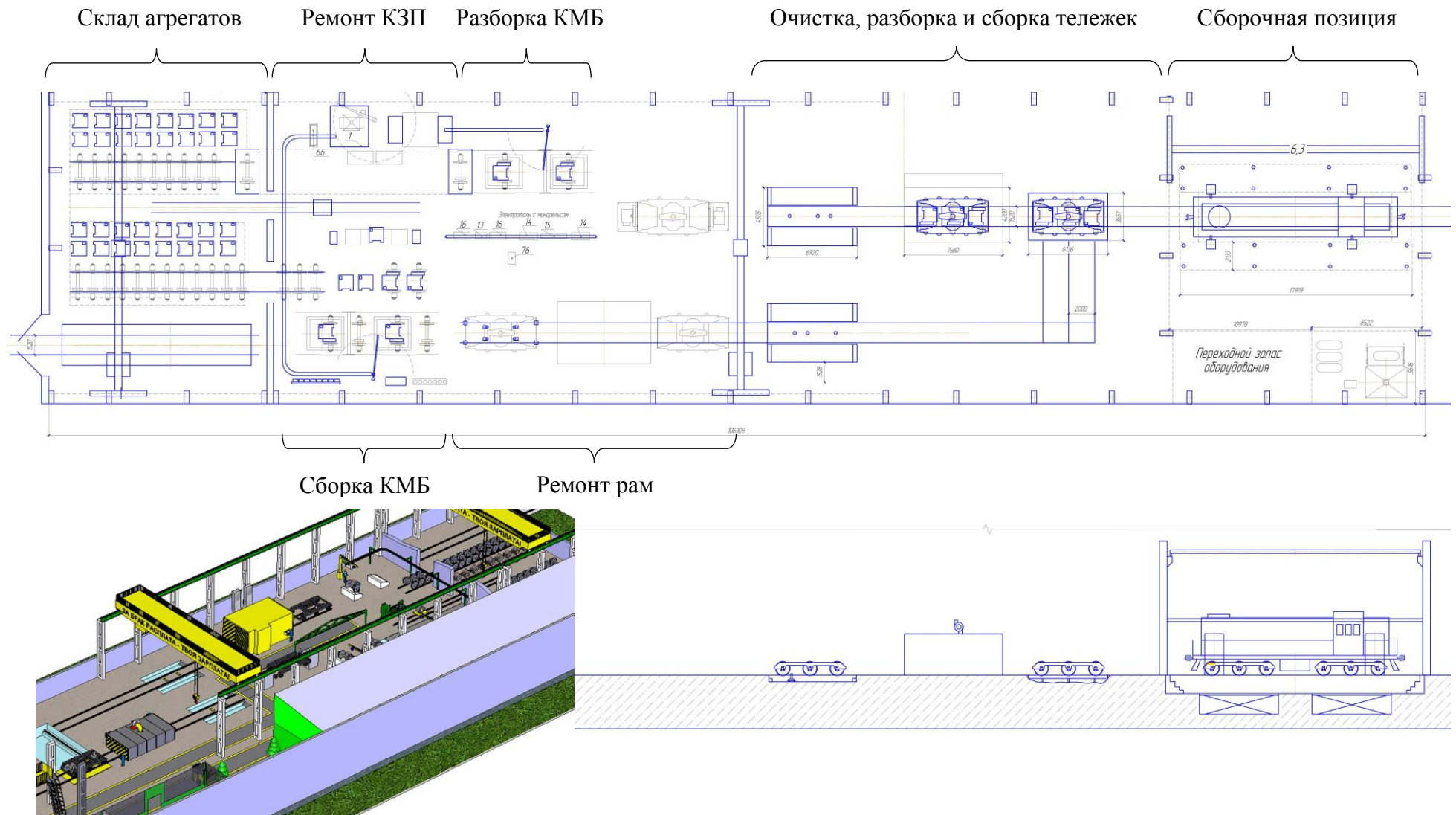


Рисунок 4.10 – Проект стотойловой части и тележечного отделения депо Егоршино
(проект реализован при непосредственном личном участии автора)

P_k – вероятность того, что в системе на обслуживании и очереди имеется k требований;

$$P_k = \begin{cases} \frac{n_c! \cdot \alpha^k \cdot P_0}{k!(n_c - k)} & 1 \leq k \leq n_{\text{т.ср.}} \\ \frac{n_c \cdot \alpha^k \cdot P_0}{n_{\text{т.ср.}}^{k-n_{\text{т.ср.}}} (n_c - k)} & \text{при } n_{\text{т.ср.}} < k < n_c \end{cases} \quad (4.24)$$

Величину P_0 находится из условий нормировки $\sum_{k=0}^{n_c} P_k = 1$. Значение $\alpha = \lambda / \mu$, где λ – интенсивность потока заявок на транспортирование; μ – интенсивность транспортного обслуживания.

Используя значения показателя интенсивности заявок λ и времени их выполнения $t_{\text{об}}$ условие баланса мощности грузопотоков и транспортной системы можно описать следующим выражением:

$$n_{\text{т.ср.}} > \lambda \cdot t_{\text{об}}, \quad (4.25)$$

где $t_{\text{об}}$ – средняя длительность обслуживания одной заявки.

Для использования расчетного критерия на практике, наибольшую сложность представляет достоверная оценка интенсивности потока заявок, который, применительно к ремонтному производству, формируется за счет операций по перемещению объектов ремонта между технологическими позициями, центральный складом и промежуточными накопителями, доставки запасных частей, материалов и комплектующих.

Для технологических процессов машиностроительного производства с единым производственным ритмом интенсивность потока заявок λ на транспортное обслуживание может быть найдена по суммарной производительности цеха и количеству технологических операций, требующих транспортного обслуживания, для одного изделия.

Особенностью предприятий по ремонту и ТО подвижного состава является существенная неравномерность распределения значений параметра λ во времени, что связано с вероятностным характером технологических операций из-за

различного состояния объектов ремонта, а также неравномерностью подачи узлов и агрегатов в ремонтные цеха и отделения.

В этом случае *окончательная проверка* эффективности транспортной системы предприятия должна осуществляться на завершающем этапе технологического проектирования и производится с использованием средств имитационного моделирования [195, 207, 208, 216].

В результате теоретического обобщения передового отечественного и зарубежного опыта, практических исследований, проведенных автором при реализации проектов модернизации и реконструкции предприятий локомотивного и вагонного хозяйства можно сформулировать следующие основные направления повышения эффективности производственной логистики при ремонте подвижного состава [223]:

- рациональное структурирование и конфигурирование технологических участков (4.16, 4.21);
- оптимальное распределение материальных потоков, выбор состава и количества подъемно-транспортных средств с учетом интенсивности поступления и времени выполнения заявок на транспортное обслуживание (4.25);
- повышение равномерности загрузки подъемно-транспортных средств в течение рабочей смены;
- распределение грузопотоков по нескольким транспортным уровням с независимыми каналами доставки с использованием грузоподъемных механизмов, напольных и подземных транспортных средств;
- создание гибких технологически совместимых транспортных линий на основе мостовых кранов, монорельсовых систем и напольного оборудования;
- применение специализированных средств доставки, позволяющих сократить время вспомогательных операций;
- для транспортных операций, механизация и автоматизация которых с использованием напольных рельсовых средств доставки, конвейеров или грузоподъемных механизмов экономически не оправдана, применение

мобильного оборудования, оснащенного средствами малой механизации погрузочно-разгрузочных работ и специальной оснасткой;

- использование микропроцессорного управления и частотного регулирования в электрическом приводе;

- автоматизацию процессов производственной логистики предприятия, внедрение элементов интеллектуального управления средствами доставки с учетом прогнозирования потока заявок и автоматического формирования оптимальной очередности их выполнения.

Транспортная система выполнена в виде двух функционально-разделенных уровней. Первый уровень образуют локальные подъемно-транспортные механизмы (монорельсовые транспортные системы, трансбордеры, рельсовые конвейеры), обслуживающие заявки в пределах одного технологического участка, а также между смежными участками, второй образован мостовыми кранами и предназначен для обслуживания маршрутов между удаленными участками.

Данное технологическое решение обеспечило сбалансированную нагрузку на отдельные элементы транспортной системы, разгрузив мостовой кран (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Показатели использования подъемно-транспортного оборудования технологической системы ТР-3 тепловозов

Категория подъемно-транспортного оборудования	Длина маршрутов за цикл ТР-3, м	Максимальная интенсивность потока заявок, λ	Количество перемещений за цикл ТР-3	% участия
Мостовой кран	13728	5,7	88	40
Вилочный подъемник	372	2	12	5,5
Монорельс, консольные манипуляторы	4830	19	70	31,8
Напольные конвейеры, передаточные линии	9300	11	50	22,7

4.3.5. Повышение технологической гибкости ремонтного производства

В общем случае под гибкостью технологической системы понимается способность системы, под воздействием факторов функциональной среды, адаптивно изменять свое состояние [99, 244]. В производственных системах принято различать стратегическую и оперативную технологическую гибкость.

Адаптация технологической системы предприятия к существенным изменениям факторов функциональной среды, не может быть автоматической и требует внесения изменений в структуру технологической системы предприятия путем его модернизации и реконструкции.

Традиционные расчетные методики основываются на оценке адаптивности предприятия к изменению внешних условий по относительному изменению количества структурных параметров производства, что не отражает экономическую сущность процесса модернизации [99].

В качестве альтернативного решения автором *предлагается* оценивать стратегическую гибкость технологической системы следующим образом [222]:

$$k_a = 1 - \frac{g_k}{g_0 + \sum_{i=0}^{k-1} g_i}, \quad (4.26)$$

где g_k - величина затрат на модернизацию технологической системы при переходе предприятия в k -е функциональное состояние; g_0 - первоначальная стоимость объектов технологической системы с учетом износа и частичной ликвидации; $\sum_{i=0}^{k-1} g_i$ - затраты на реконструкцию и модернизацию технологической системы предыдущих периодов.

Уровень оперативной технологической гибкости определяют два компонента: число различных функциональных состояний n , которые система может дискретно принимать в пределах своих технических возможностей и время перехода из одного состояния в другое [100]:

$$k_{\text{тр}} = \left(1 - \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n t_{ij}}{F_9} \right) \cdot \left(1 - \frac{1}{n} \right), \quad (4.27)$$

где n – число функциональных состояний технологической системы;

t – время переналадки при переходе из одного состояния в другое;

F – эффективный фонд времени работы технологической системы.

Повышение как стратегической, так и оперативной технологической гибкости предприятий по ремонту подвижного состава достигается в первую очередь за счет использования гибких методов организации производства: гибких производственных ячеек и поточных линий с гибким маневрированием на основе технологического оборудования с использованием элементов ЧПУ и промышленной робототехники [17, 219, 222, 238].

Как показывает анализ передового зарубежного опыта, традиционные решения в области роботизации ремонта подвижного состава имеют существенный недостаток – необходимость перепрограммирования или переобучения при смене объекта ремонта [244]. Данный недостаток существенно снижает показатели их технологической гибкости [242].

Альтернативным вариантом управления роботами-манипуляторами является использование систем следящего управления, использующих в качестве данных о пространственном расположении объекта обработки различного типа сенсоры [236, 243]. Чувствительные датчики воспринимают информацию о внешней среде, пространственном положении объекта ремонта и передают ее в систему управления для формирования управляющих воздействий.

Под руководством автора диссертационного исследования был выполнен анализ и классификация датчиков положения объектов ремонта и позиционирования рабочих инструментов роботов-манипуляторов [244]. Однако экспериментальные исследования по практическому использованию нескольких типов тактильных и видеодатчиков в ремонтном производстве показали их неустойчивую работу в условиях высокой влажности и загрязненности,

невозможность размещения датчиков в непосредственной близости от исполнительных механизмов и т.д.

Для решения задачи повышения технологической гибкости роботизированного оборудования были предложены технические решения систем адаптивного управления с использованием предварительного триангуляционного лазерного сканирования объекта ремонта и построением его пространственной трехмерной модели [240 – 242].

Принцип действия лазерного триангуляционного датчика представлен на рисунке 4.11. Источник лазерного излучения 1 под определенным углом α освещает объект лазерным лучом. Изображение объекта с лазерным лучом на его поверхности регистрируется цифровой видеокамерой 2. Путем определения положения лазерного луча на изображении вычисляются трехмерные координаты точек его поверхности, на которых присутствует лазерный луч или линия. Сканирование всего объекта возможно путем смещения лазерного луча (линии) вдоль всей поверхности объекта 3.

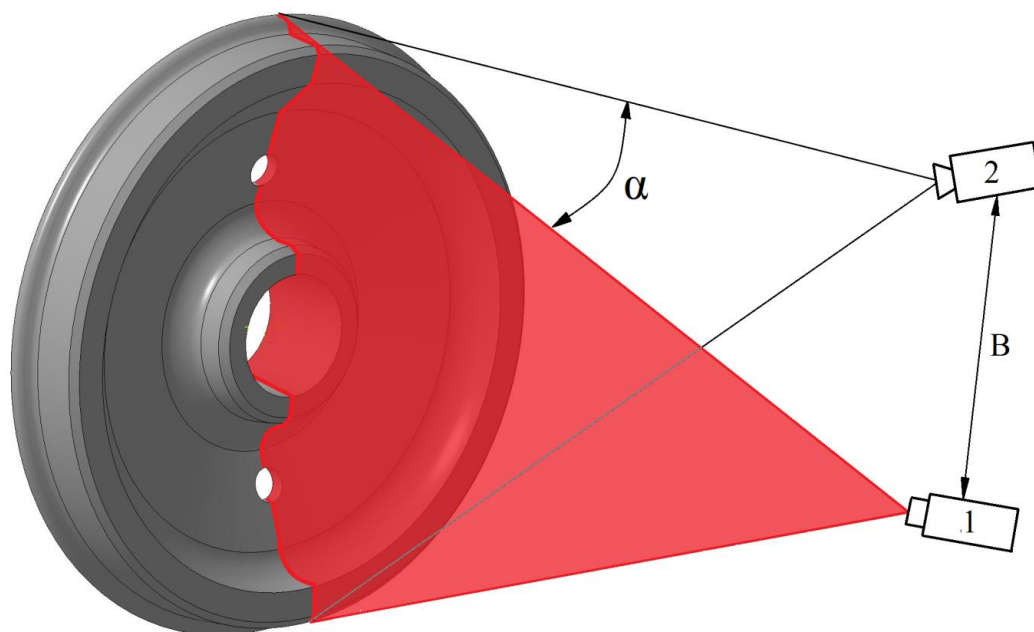
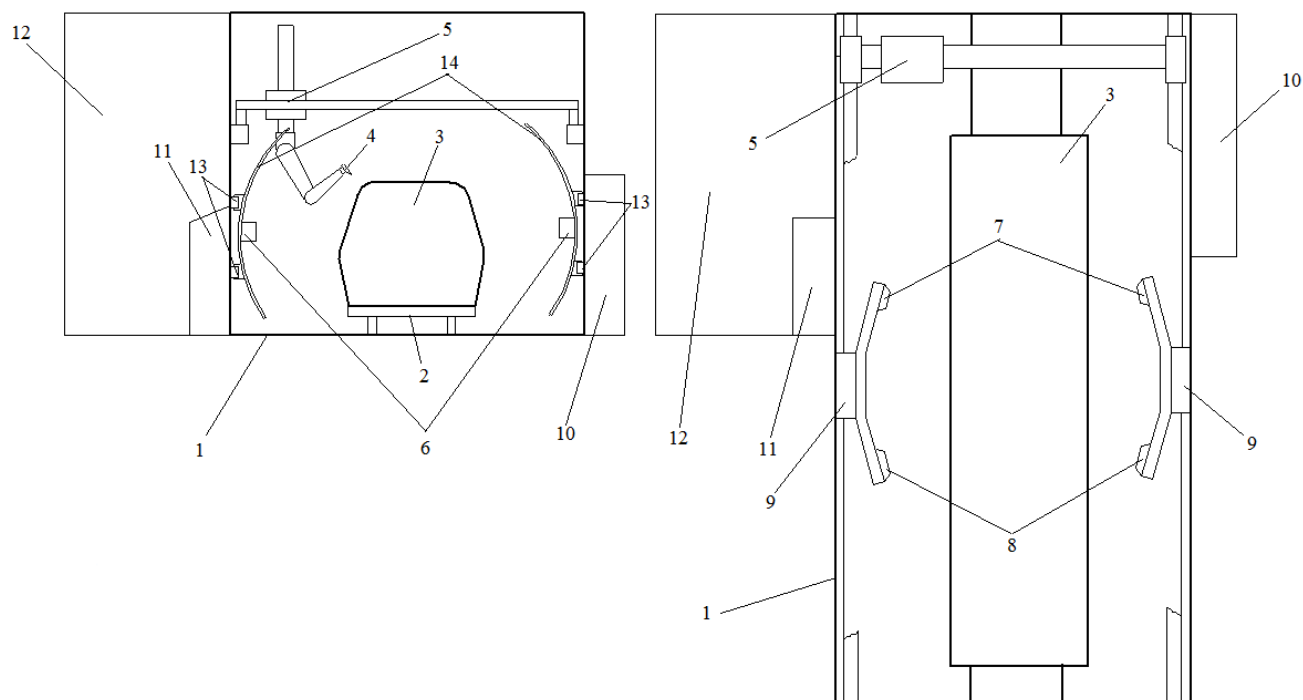


Рисунок 4.11 - Схема лазерного триангуляционного метода построения трехмерной модели объекта ремонта

При участии автора диссертации совместно со специалистами ОАО «НИИТКД» (г. Омск) проведены испытания макетного образца системы

лазерного триангуляционного сканирования, показавшие достаточную степень точности предлагаемого метода для широкого круга задач адаптивного управления роботизированным технологическим оборудованием, таким как: комплексы дробеструйной очистки вагонов перед покраской, установки автоматической мойки тяговых двигателей локомотивов и другие (рисунок 4.12) [240, 241, 244].



1 - закрытая металлическая камера; 2 – технологическая тележка; 3 – очищаемый кузов; 4 – дробеструйный пистолет; 5 – робот-манипулятор мостовой конструкции; 6 – система технического зрения; 7 - цифровая видеокамера; 8 - лазерный модуль; 9 – привод перемещения; 10 – дробеструйный аппарат; 11 - пульт управления; 12 - операторская; 13 – горизонтальный монорельс; 14 – вертикальные направляющие.

Рисунок 4.12 – Автоматизированный комплекс дробеструйной очистки кузовов подвижного состава

Предложенные технические решения гибких технологических систем автоматизированного комплекса дробеструйной очистки кузовов подвижного состава и автоматизированного комплекса очистки деталей и узлов подвижного состава защищены патентами на полезные модели (Пат. № 169641 и № 170076).

4.4. Выбор проектных решений при многих критериях предпочтения

Теория исследования операций представляет задачу многокритериальной оптимизации как процесс одновременной оптимизации двух или более конфликтующих целевых функций в заданной области определения.

В сложившейся практике проектирования промышленных и транспортных предприятий, наибольшее распространение получил метод приведения задачи многокритериальной оптимизации к задаче выбора по доминирующему критерию. При этом все остальные критерии принимаются в качестве ограничений [с., например 17, 80, 83].

Такой подход значительно снижает эффективность принимаемых решений, так как практически в каждой проектной задаче присутствуют цели противоречащие друг другу. Возникает необходимость выработки иных принципов решения.

В общем случае задача многокритериальной оптимизации имеет вид [80]:

$$\min_{\vec{x}} \{f_1(\vec{x}), f_2(\vec{x}), \dots, f_k(\vec{x})\}, \vec{x} \in S \quad (4.28)$$

где $f_i : F^n \rightarrow F$ это k целевых функций ($k \geq 2$). Векторы решений $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ относятся к непустой области определения S .

Следует отметить, что решение задачи многокритериальной оптимизации в общем случае не дает наилучших значений для каждого критерия, так как улучшение одного критерия может вызывать ухудшение другого. Таким образом, при решении многокритериальной задачи получаем некоторое компромиссное решение, а сами критерии могут иметь различную важность для лица принимающего решения [80].

На сегодняшний день для объекта исследований – предприятия по ремонту и ТО подвижного состава можно сформулировать следующие проблемы многокритериальной оптимизации.

Первая проблема связана с выбором принципа оптимальности, определяющего свойства оптимального решения и позволяющего выделить его из

множества допустимых решений. Задача многокритериальной оптимизации предполагает наличие нескольких принципов оптимальности отражающих интересы участников процесса ремонта и ТО подвижного состава (заказчиков и исполнителей), каждый из которых может приводить к выбору различных вариантов в качестве оптимального.

Вторая проблема связана с выбором локальных критериев и их нормализацией. Она вызвана тем, что локальные критерии, являющиеся компонентами вектора эффективности проектного решения, имеют различные шкалы измерения, т.е. для сравнения требуется их нормализация.

Третья проблема обусловлена различной степенью важности критериев в обеспечении достижения целей функционирования ремонтного предприятия. Данное обстоятельство необходимо учитывать в виду невозможности получения наивысшего качества проектных решений одновременно по всем локальным критериям.

Эффективность технологической системы предприятия зависит от многих показателей, которые по объектно-функциональному признаку могут быть разделены на следующие классы: технического уровня производства, энергетического и инфраструктурного обеспечения, производственного потенциала, технологической логистики (рисунок 4.13) [199].

Оценка всего комплекса влияющих факторов при многих вариантах технологических решений не представляется возможной в силу объективных причин, среди которых: высокая трудоемкость расчетов, отсутствие достоверных данных или необходимость их уточнения путем проведения дополнительных исследований.

Существует множество различных подходов к выбору показателей для оценки деятельности организаций и предприятий, в зависимости от особенностей объекта и целей исследования [83, 92, 100, 284, 292].

Руководствуясь принципами системного подхода можно сформулировать следующие требования к целевым показателям для выбора предпочтительного варианта технологического проекта предприятия по ремонту подвижного состава:

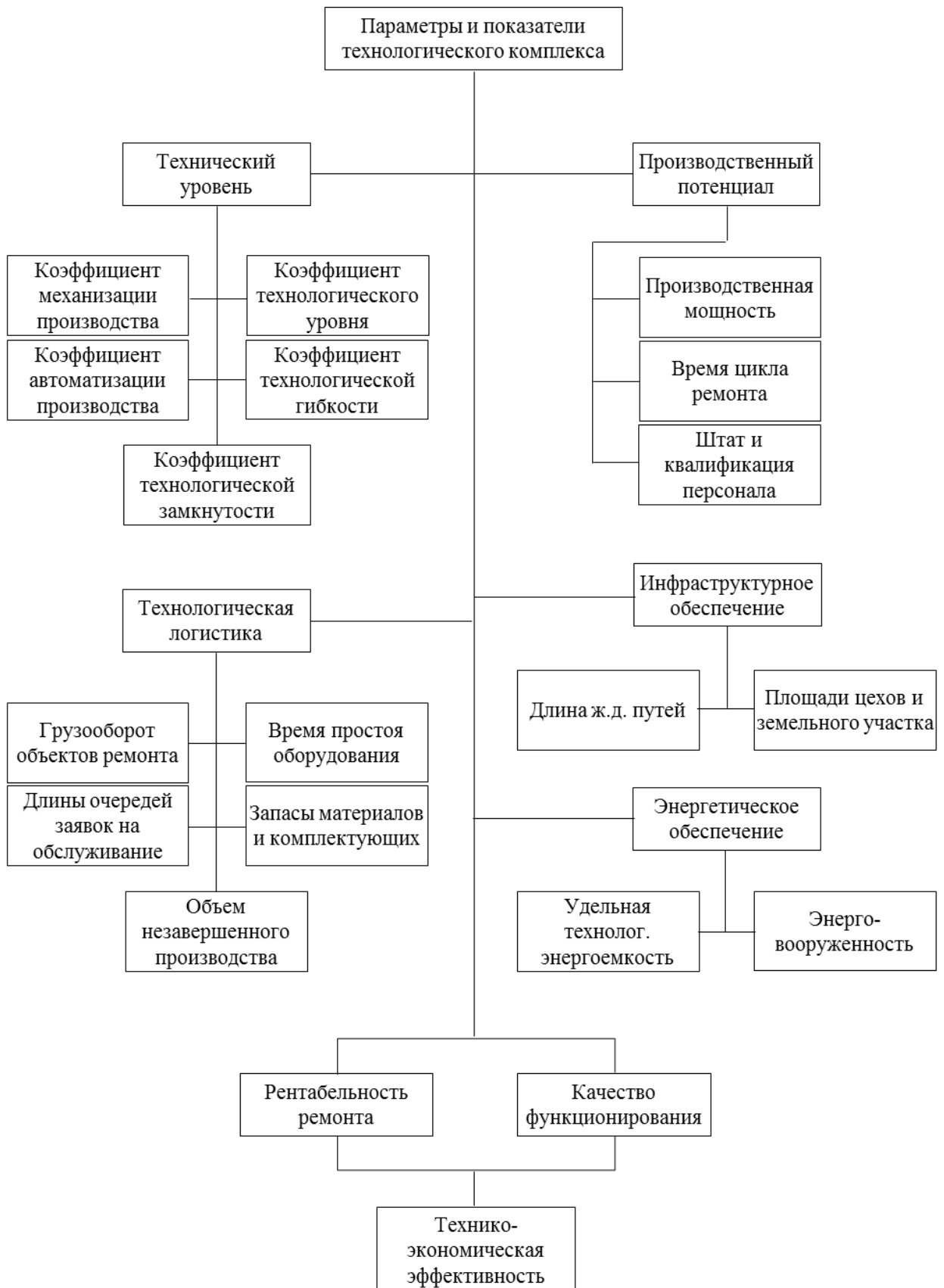


Рисунок 4.13 – Классификация параметров и показателей технологических систем предприятий по ремонту и ТО подвижного состава
(составлено автором)

- состав показателей должен удовлетворять принципу полноты представления об объекте проектирования и выполняемых им функциях;
- показатели должны непосредственно влиять на себестоимость ремонта;
- быть независимыми в пределах одной объектно-функциональной группы;
- расчет численных значений показателей должен быть простым и базироваться на результатах выполнения стандартных проектных процедур.

Выбор состава критериев выполним методом анализа иерархий [148]. Для иерархии критериев, полученной на основе шкал субъективных суждений, формируется матрица попарных сравнений размерности $n \times n$:

$$W = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix}, \quad (4.29)$$

рассчитываются вектора локальных приоритетов $Q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$

$$q_i = \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \frac{w_i}{w_j}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \frac{w_i}{w_j}}}. \quad (4.30)$$

Для контроля согласованности матрицы рассчитывается собственное значение матрицы $\lambda_{\max} = Q \cdot G$, где

$$G = \left(\sum_{j=1}^n \frac{w_j}{w_1}, \sum_{j=1}^n \frac{w_j}{w_2}, \dots, \sum_{j=1}^n \frac{w_j}{w_n} \right), \quad (4.31)$$

индекс согласованности

$$I_s = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4.32)$$

и отношения индексов согласованности $I_s / \hat{I}_s$ для рассматриваемой матрицы W и матрицы аналогичной размерности, заполненной при случайном моделировании.

Величина $I_s/\hat{I}_s$ должна быть порядка 10 - 20% или менее, иначе необходимо дополнительно исследовать задачу и проверить суждения.

Задача многокритериальной оптимизации проектных решений может быть сформулирована следующим образом [206, 209, 211]. Пусть имеется множество различных вариантов технологического проекта предприятия $V_i, i = 0, 1, \dots, n$, где V_0 – базовый вариант, по которому имеется полная информация о значениях всей совокупности параметров и показателей предприятия, включая себестоимость ремонта.

В качестве базового может быть принято одно из действующих ремонтных депо, соответствующее современным корпоративным стандартам технологической подготовки и организации производства. Каждый вариант технологического проекта предприятия определяет набор m целевых показателей $(V_{i1}, \dots, V_{im})$. Отождествим варианты V_i с нормированными векторами целевых показателей $(v_{i1}, \dots, v_{im})$. Нормировка проводится относительно базового варианта, т.е. $v_{ij} = V_{ij}/V_{0j}$.

Нормированные целевые показатели являются положительными числами. Для базового варианта все равны единице. Изменение каждого показателя приводит к изменению себестоимости ремонта. Для выбранной системы показателей увеличение любого из них приводит к увеличению себестоимости ремонта. Если это не так, то всегда можно перейти к рассмотрению обратной величины $1/v_{ik}$ соответствующего показателя.

В качестве последующего шага, производится расчет коэффициентов чувствительности $k_j, j = 1, \dots, m$ себестоимости ремонта относительно нормированных целевых показателей при увеличении показателя на определенное фиксированное значение. Пусть S_0 – себестоимость для базового варианта и δ_j – увеличение себестоимости ремонта при увеличении j -го показателя на 1% при условии, что остальные показатели остаются неизменными. Тогда $k_j = \delta_j/S_0$.

В качестве обобщенного критерия оптимальности воспользуемся критериями вида [210, 229]:

$$D_i = \sum_{j=1}^m k_j \cdot v_{ij} \rightarrow \min \text{ - линейный критерий;} \quad (4.33)$$

$$D_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m k_j (v_{ij} - 1)^2} \rightarrow \max \text{ - квадратичный критерий.} \quad (4.34)$$

Рисунок 4.14 иллюстрирует геометрический смысл минимизации для двух показателей. Наклон параллельных прямых определяется коэффициентами чувствительности k_1 и k_2 $\left(v_2 = -\frac{k_1}{k_2} v_1 + c \right)$. На каждой из этих прямых значение функции $k_1 v_1 + k_2 v_2$ постоянно (равно c) и пропорционально расстоянию прямой от начала координат.

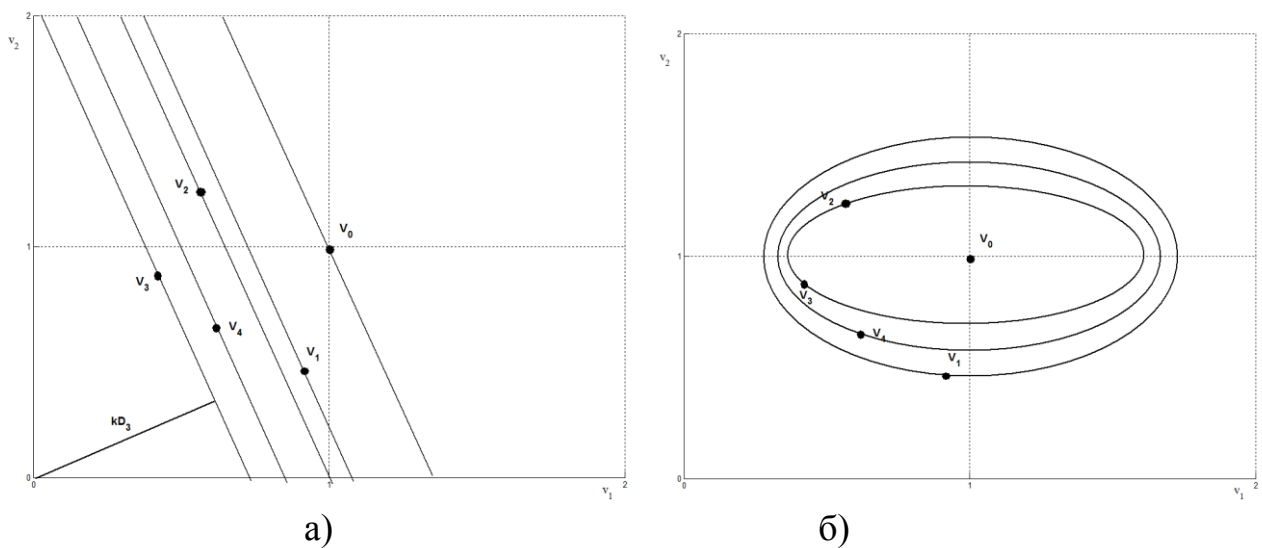


Рисунок 4.14 – Графическая интерпретация линейного и квадратичного критериев оптимальности для двух показателей (составлено автором)

Из рисунка 4.14а видно, что третий вариант является оптимальным, так как соответствующая прямая ближе других прямых к началу координат.

При использовании квадратичного критерия для уменьшения себестоимости, необходимо рассматривать только те варианты технологического

проекта V_i , для которых $v_{ij} \leq 1, j = 1, \dots, m$. Специальное расстояние от вариантов до базового варианта, здесь возможны различные функции для расстояния.

У данного семейства эллипсов (рисунок 4.14б), с центрами в точке V_0 , отношения длин осей постоянно и определяется коэффициентами чувствительности k_1 и $k_2 \left(\sqrt{\frac{k_2}{k_1}} \right)$. На каждом из этих эллипсов значение функции $\left(\sqrt{k_1(v_1 - 1)^2 + k_2(v_2 - 1)^2} \right)$ постоянно и растет при увеличении эллипса. Из рисунка видно, что первый вариант является оптимальным.

Рассмотрим результаты использования *предложенной* методики выбора оптимального варианта при многих критериях предпочтения на примере проекта производственного комплекса вагоноремонтного депо на ст. Ескене Республики Казахстан (Проект разработан при непосредственном личном участии автора – договор № 415.10(074) от 3.10.2010 г. *Акт внедрения*, Приложение А).

Техническим заданием на проект установлена максимальная производственная программа депоовского ремонта 4500 грузовых вагонов в год и капитального ремонта в объеме 1500 вагонов с учетом возможности последующего наращивания производственных мощностей. В составе производственного комплекса заданием предусматривались: цех депоовского ремонта, цех капитального ремонта, тележечный и колесный цех, склад материалов и комплектующих, мастерские для ремонта отдельных узлов и деталей, административные и бытовые помещения.

В рамках проекта были разработаны три варианта технологических решений, отличающихся друг от друга методами организации технологического процесса, компоновкой производственных цехов и участков, общей площадью производственного здания и возможностями его расширения, схемами размещения основного оборудования (рисунок 4.24).

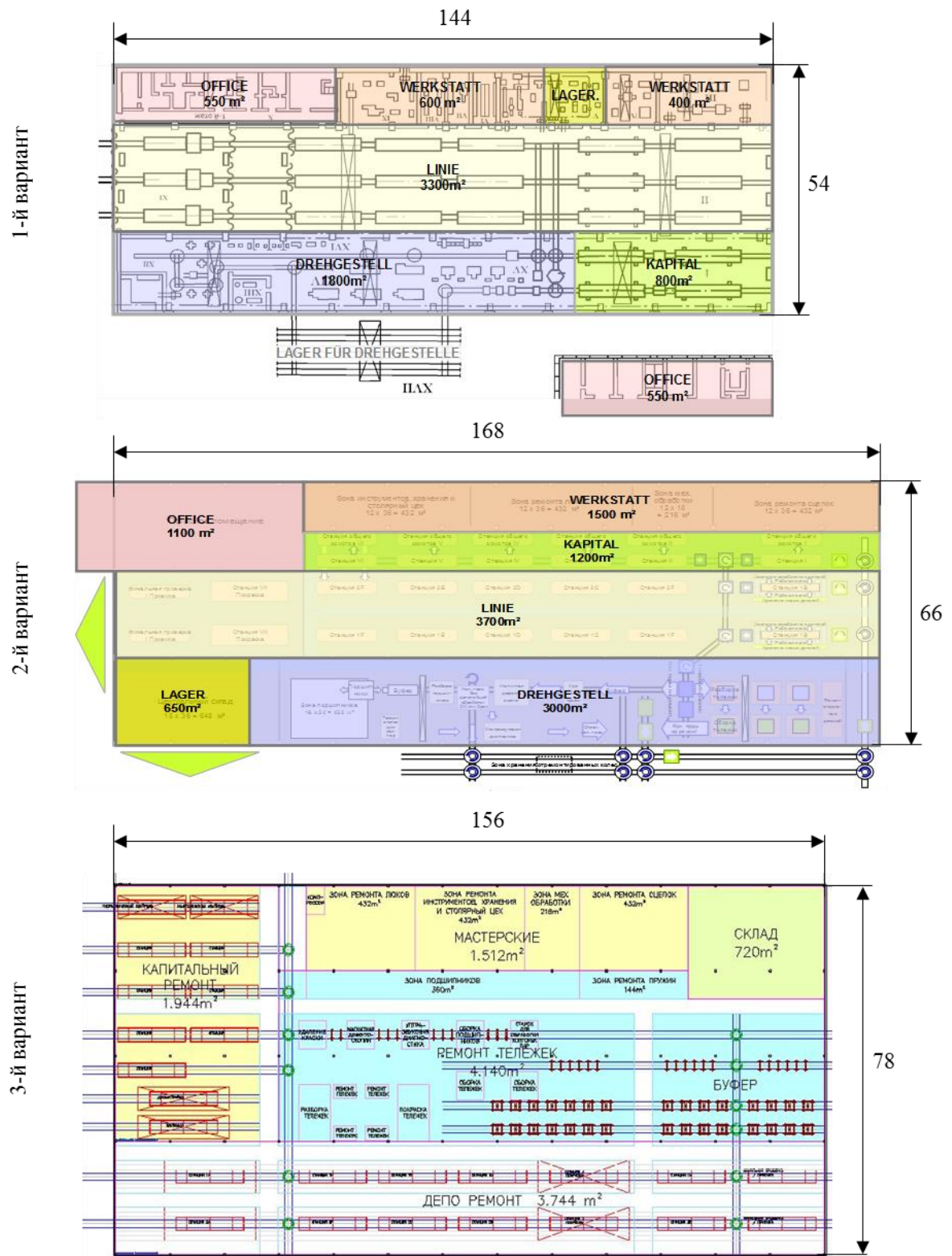


Рисунок 4.15 – Варианты проектных решений технологической системы вагоноремонтного депо на ст. Ескене (Казахстан)
(варианты проекта разработаны при непосредственном участии автора)

Первый вариант создан на основе типового варианта проекта вагоноремонтного депо и принимается в качестве базового [86]. Его преимущества: компактная схема с минимальными требованиями по площадям, возможность расширения зоны капитального ремонта. Недостатки: практически отсутствует возможность адаптации в типах продукции и увеличения производственных мощностей деповского ремонта.

Второй вариант создан с использованием поточной технологии организации вагоноборочного цеха. Допускает временное использование оборудования цеха капитального ремонта для нужд деповского ремонта; обладает высокой гибкостью в зоне капитального ремонта и определенными возможностями по расширению. Его недостатки: нет возможности расширения «в длину» (мало затратный вариант расширения), зоны деповского и капитального ремонта имеют общий покрасочный цех, что создает дополнительные противопотоки.

Третий вариант предполагает использование поточного метода ремонта с гибким маневрированием, обеспечивает наиболее гибкое решение в случае потребности в расширении; хороший вариант потока материалов, транспорта и зон хранения. Работы по капитальному ремонту не предполагают использования общих ресурсов совместно с цехом деповского ремонта. Недостатки: ограниченные возможности по расширению зоны ремонта тележек, требуется возведение отдельно-стоящего офисного здания.

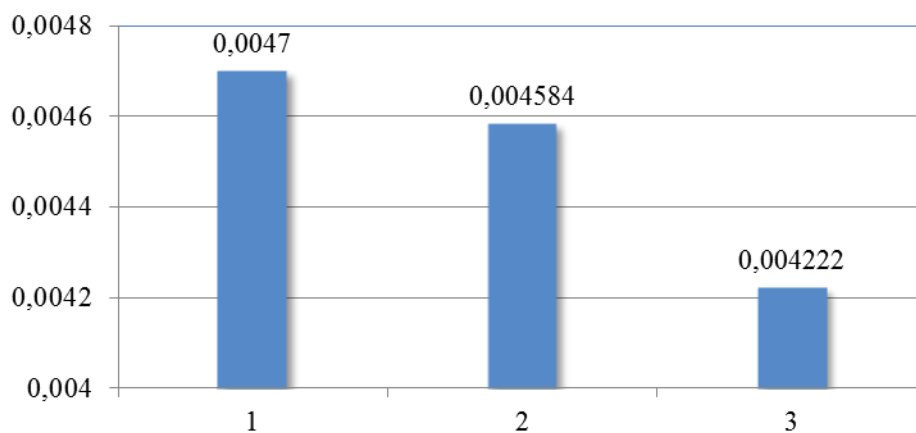
Комплексная оценка вариантов проекта производилась по совокупности целевых показателей, представленных в таблице 4.5. Отбор целевых показателей производился методом анализа иерархий по алгоритму рассмотренному ранее. Расчет весовых коэффициентов (коэффициентов эластичности себестоимости ремонта вагона относительно целевых показателей) производился по данным калькуляции себестоимости ремонта грузового вагона для следующих статей затрат: электрическая и тепловая энергия; амортизационные отчисления на обновление основных фондов, заработная плата.

Результаты расчета целевой функции представлены на рисунке 4.25.

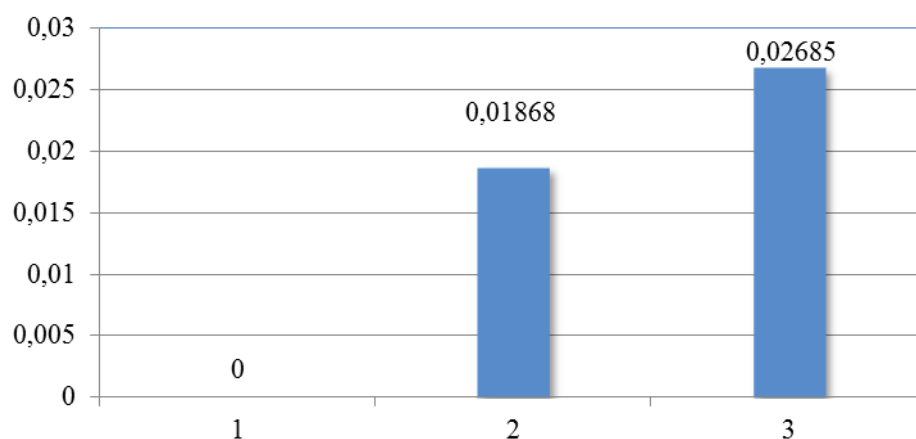
Таблица 4.5 – Исходные данные для расчета целевой функции

Наименование целевого показателя	Метод расчета показателя	Значение k_j	Вариант проектных решений		
			1	2	3
Производственная мощность предприятия	[17, стр. 6]	0,00196	1	1,3	1,7
Площадь производственных цехов	Рассчитывалась по выражению (4.22) с учетом ограничений (4.23).	0,0004	1	1,61	1,73
Длина железнодорожных путей	Методом прямых измерений по проекту	0,00031	1	0,74	0,62
Среднегодовой расход электроэнергии на технологические нужды	[37]	0,00075	1	1,3	1,37
Переходной запас ремонтного фонда, материалов и комплектующих	[17, 85]	0,0012	1	0,95	0,91
Коэффициент функциональной гибкости	Оценивался по выражению (4.27)	0,00011	1	0,8	0,6

Из диаграммы видно, что третий вариант обладает наименьшим значением целевой функции (4.33), т.е. является оптимальным из трех представленных. Расчет по квадратичному критерию (4.34) дал аналогичные результаты.



а)



б)

Рисунок 4.16 – Результаты расчета целевого показателя для трех вариантов в относительных единицах: а) линейный критерий; б) квадратичный критерий (составлено автором)

В качестве заключения следует отметить, что предварительный отбор оптимального варианта технологических проектных решений по предложенной комплексной методике многокритериальной оптимизации позволяет существенно сократить трудоемкость процесса проектирования за счет исключения детальной проработки альтернативных вариантов и концентрации ресурсов над доводкой и модификацией предварительно отобранного варианта проекта [229].

4.5. Выводы по главе 4

1. Проектирование таких сложных объектов как ремонтные локомотивные и вагонные депо представляет собой итерационный процесс последовательного анализа и синтеза проектных решений с использованием разнообразных математических, дедуктивных, экспертных и других методов. Руководствуясь принципами системного подхода, процесс проектирования можно представить как последовательность синтеза некоторых его моделей, каждая из которых определяется предыдущей.

Понятие оптимального проектирования может быть сформулировано как процесс научно-обоснованного выбора структуры и параметров технологической системы, обеспечивающих наилучшие значения нескольких технико-экономических характеристик при условии, что другие характеристики удовлетворяют заданной совокупности ограничений.

2. Для реализации данного подхода предлагается трехуровневая модель оптимального проектирования. На первом уровне создается концептуальная модель, которая описывает основные принципы разработки технологических систем предприятий по ремонту и ТО подвижного состава с оптимальными свойствами. Второй уровень занимает информационно-логическая модель, содержащая формализованное описание проектных задач оптимального проектирования. На третьем уровне процесс проектирования представляется на уровне оптимизации проектных процедур и частных проектных решений технологических цехов и участков.

3. Руководствуясь принципами системного подхода, сложная и многомерная задача оптимального проектирования технологических систем предприятий по ремонту и ТО подвижного состава представлена в виде логической схемы решения отдельных взаимосвязанных задач меньшей размерности, полученной в результате структурно-логического анализа путем: декомпозиции объекта проектирования и этапов его разработки, формализации процедур проектирования, моделей проектных решений и критериев их оценки,

установления системы взаимосвязей решаемых задач, последовательности логических операций и условий их выполнения.

4. Теоретически обобщены, уточнены и дополнены критерии и процедуры выработки проектных решений по оптимальному структурированию и конфигурированию технологической системы; выбору форм организации производства, технологического оборудования, производительности и конфигурации транспортной системы для предприятий по ремонту и ТО подвижного состава.

5. Выполнена классификация параметров и показателей технологических систем предприятий по ремонту и ТО подвижного состава, разработан метод многокритериальной оптимизации по принципу относительных предпочтений возможных альтернатив проектных решений в сравнении с некоторым базовым вариантом, обладающим известными значениями квалитетических показателей.

В качестве интегральных критериев предложены линейный и квадратичный критерии-векторы, где в качестве весовых коэффициентов введены показатели чувствительности себестоимости ремонта относительно нормированных целевых показателей при увеличении показателя на один процент (эластичность себестоимости ремонта относительно показателей).

7. На основе сформулированных принципов оптимального проектирования, разработанных алгоритмов и технологических решений на практике реализованы проекты комплексной модернизации и реконструкции ряда предприятий локомотивного и вагонного хозяйства России и Казахстана.

5. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ РЕМОНТА И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Моделирование является эффективным инструментом технологического проектирования предприятий, предоставляющим широкие возможности для анализа и расчета параметров, оптимизации и проверки функционирования производственно-технологических структур, систем материальных потоков и производственной логистики.

При использовании методов моделирования существенно повышается качество процесса и результатов проектирования. Уже на этапе проектирования появляется возможность выявить проблемы, возникающие позднее после реализации проекта в процессе производства и в необходимых случаях внести упреждающие изменения. Последнее обстоятельство имеет особенно большое значение с учетом масштаба инвестиционных вложений при создании или модернизации предприятий по ремонту подвижного состава.

Особую актуальность при подготовке проектных решений имеет так называемое динамическое моделирование, позволяющее при принятии решений использовать данные о поведении во времени исследуемых объектов [94, 95]. Основой для такого рода моделирования является представление объекта в виде динамической имитационной модели.

Сложность моделирования предприятий по ремонту и ТО подвижного состава обуславливается многокомпонентностью технологической системы, значительной номенклатурой взаимосвязанных технологических операций и их вероятностным характером. Традиционные табличные, графовые, аналитические и имитационные методы, обладая рядом несомненных достоинств, не позволяют с достаточной степенью точности и при этом просто описать динамическое поведение такой системы. В качестве решения предлагается методология моделирования с использованием ориентированных паттерновых сетей и основанных на них «парадигмы модульного мышления».

5.1. Принципы моделирования производственных процессов ремонта и технического обслуживания подвижного состава с использованием дискретных ориентированных паттерновых сетей

5.1.1. Общие положения дискретной теории паттернов

Теория паттернов создана У. Гренадером в конце 20-го века [297]. Ограничение области значений переменных в общей теории паттернов привело к созданию дискретной теории паттернов, которая в дальнейшем получила развитие и практическое применение в имитационном моделировании вычислительных и телекоммуникационных сетей [290].

Основным понятием теории паттернов является понятие абстрактной образующей (паттернового модуля) и неотделимых от нее связей. Паттерновые сети строятся из образующих, путем попарного объединения связей различных образующих в связки. Множество всех образующих называется составом сети, а множество всех связок – структурой.

Множество G образующих сети конечно и образующие пронумерованы. Каждая образующая $g \in G$ полностью определяется вектором своих признаков [195, 196, 215]:

$$a(g) = a(i, \gamma_{i1}, \dots, \gamma_{il_i}, \beta_{i1}^{in}, \dots, \beta_{im_i}^{in}, \beta_{i1}^{out}, \dots, \beta_{ir_i}^{out}), \quad (5.1)$$

где i – порядковый номер образующей;

$y_{ik}, k = 1, \dots, l_i$ – атрибуты образующей;

m_i и r_i – количество входящих и исходящих связей;

$\beta_{ik}^{in}, k = 1, \dots, m_i$ и $\beta_{ik}^{out}, k = 1, \dots, r_i$ – показатели входных и выходных связей образующей соответственно.

Образующая может быть визуально представлена в виде графической схемы. Изображенные на схемах входные и выходные связи ориентированных образующих наглядно представляют входы и выходы операций с номером k (рисунок 5.1).

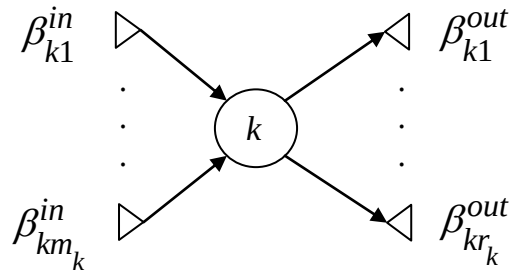


Рисунок 5.1 – Представление образующей в виде графической схемы

Атрибуты и показатели связей образующих являются переменными величинами. Множества D_{ik} , D_{ik}^{in} и D_{ik}^{out} допустимых значений переменных γ_{ik} , β_{ik}^{in} и β_{ik}^{out} определяют информационное содержимое образующей и называются доменами соответствующих переменных. Для дискретных паттерновых сетей домены всех переменных являются конечными или счетными множествами. Состав, структура и содержание определяют *структурный скелет* сети.

На каждой связке паттерновой сети устанавливается бинарное отношение между двумя переменными β^{out} и β^{in} , называемое отношением связей, принимающим значение "истина" (соединенное состояние) либо "ложь" (разъединенное). Структурные связи абстрактных паттерновых сетей всегда являются истинными, а каждая связка ассоциированной паттерновой сети («р») может находиться в двух состояниях - истинном («1») или ложном («0»). Состояние связки зависит от значений соответствующих показателей связей.

Модель реальной модульной системы строится путем попарного объединения связей в связки из образующих. В случае технологической сети *образующие являются технологическими операциями* и, в этом смысле, конкретны. Количество входящих и исходящих связей образующей определяется типом операции и технологической последовательностью производственного процесса.

Из представленных образующих путем попарного соединения составляются паттерновые сети при наличии идентичности логических условий на входных и выходных связях β_{ik}^{in} и β_{ik}^{out} . Эти условия являются основанием для формирования отношения связи ρ ($\beta_{ik}^{in} \rho \beta_{ik}^{out}$). Например, рассмотрим процедуру соединения в сеть образующих k_1 и k_2 (рисунок 5.2) для формализации ρ .

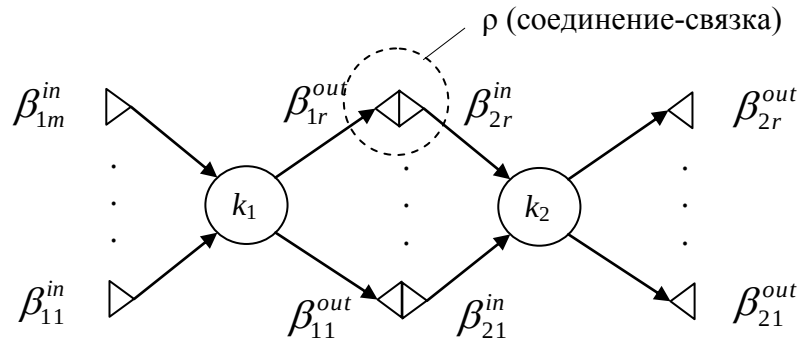


Рисунок 5.2 – Объединение образующих в сеть

Пусть $P_n = \{\rho_j\}, j=1, \dots, k$ - множество отношений связей и $B^{out} = \{\beta_1^{out} \wedge \beta_2^{out} \wedge \dots \wedge \beta_r^{out}\}$, $B^{in} = \{\beta_1^{in} \wedge \beta_2^{in} \wedge \dots \wedge \beta_m^{in}\}$ - соответственно множество входных и выходных связей, объединенных одной и той же логической функцией. Тогда

$$\exists \rho \in P_n \xrightarrow{\text{соединено}} \begin{cases} \exists (\beta_{1i}^{out} \in B^{out}) \wedge \exists (\beta_{2i}^{in} \in B^{in}) - \text{истина} \\ \exists (\beta_{1i}^{out} \notin B^{out}) \wedge \exists (\beta_{2i}^{in} \notin B^{in}) - \text{ложь} \end{cases} . \quad (5.2)$$

Домены атрибутов образующих содержат возможные значения параметров технологических операций, условия их выполнения и другую необходимую информацию, например: наименование операции, функциональный тип позиции на которой производится операция; тип деталей, подвергающихся технологической обработке; детерминированный или вероятностный способ задания технологической связи с другими операциями и времени выполнения.

Ориентированные паттерновые сети, благодаря возможности соединения и разъединения связей, моделируют соединение и разъединение выходов и входов модулей, из которых состоят реальные технологические системы. Связки паттерновых сетей определяют структуру модульных систем. Не участвующие связи ориентированных паттерновых сетей имитируют внешние, открытые для соединений выходы и входы.

Практическое применение дискретной теории паттернов для моделирования технологических систем предприятий по ремонту и ТО подвижного состава связано с решением следующих задач:

- анализа и синтеза характерных классов паттерновых модулей;
- формализации представления объекта моделирования, разработки функциональной схемы модели;
- проектирования информационной структуры модели;
- создания моделей элементов технологических систем с различными формами организации ремонтного производства;
- разработки алгоритмов имитационного моделирования.

5.1.2. Анализ и синтез классов паттерновых модулей технологических процессов ремонта и технического обслуживания подвижного состава

Для предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава можно выделить следующие основные типы технологических операций [195, 196, 202]:

- подача объекта ремонта или ТО в цех (рисунок 5.3,а). Предполагается наличие единого физического канала доставки (передаточная тележка, конвейер, трансбордер), обладающего конечной производительностью и обеспечивающего распределение поступающих изделий на технологические позиции ремонта или входные накопители;
- выдача отремонтированного оборудования из цеха (рисунок 5.3,б);
- технологическая обработка – например, очистка оборудования подвижного состава, заварка трещин и т.п. (рисунок 5.3,г);

▪ контроль и испытания – операции входного и выходного контроля, диагностирования, приемо-сдаточные испытания после ремонта с вероятностным характером исходящих связей (рисунок 5.3,д);

▪ разборка – изменение структуры и состава сборочной единицы оборудования с детерминированным характером исходящих связей, однозначно установленными технологическими маршрутами обработки отдельных деталей (рисунок 5.3,д);

▪ сборка (рисунок 5.3,з, $n \geq 2$). Выполнение операции становится возможным, если в соединенном состоянии находятся не менее двух входящих связок.

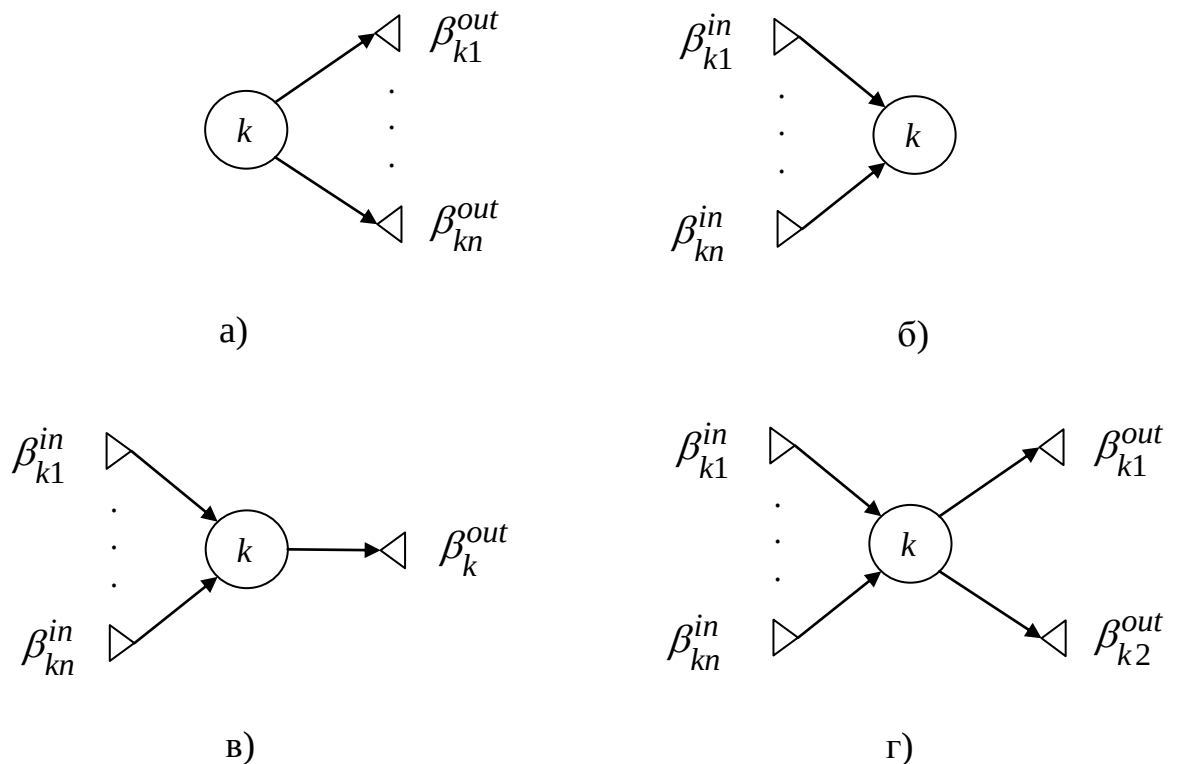


Рисунок 5.3 – Основные классы паттерновых модулей ремонтного производства:

а) начальная образующая; б) конечная образующая; г) линейная образующая, образующая синтеза; д) образующая анализа, вероятностная образующая (составлено автором)

Характеристики связей, условия и результаты выполнения операций по каждому классу элементарных паттерновых модулей представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Характеристики связей, условия и результаты выполнения
(составлено автором)

Класс операции (индекс)	Характерис тики связей	Условия и результат выполнения
Начальная образующая (1)	$m = 0;$ $r \geq 1$	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 (2)	$m \geq 1;$ $r \geq 2$	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 (3)	$m \geq 1;$ $r \geq 2$	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 (4)	$m \geq 1;$ $r = 1$	Выполняется при замыкании одной из входящих связей β_{ki}^{in} . После выполнения становится возможным замыкание выходящей связи β_k^{out} .
Образующая синтеза (5)	$m \geq 2;$ $r = 1$	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 (6)	$m \geq 1;$ $r = 0$	Выполняется при замыкании одной из входящих связей β_{ki}^{in} .

Технологические позиции представляют собой стандартные фрагменты общей технологической сети, составленные из комбинаций паттерновых модулей, связи между которыми полностью определяются технологическим процессом производства. По терминологии теории паттернов данные фрагменты являются *регулярными конфигурациями*.

Пример регулярных конфигураций, характерных для ремонтного производства подвижного состава представлен на рисунке 5.4.

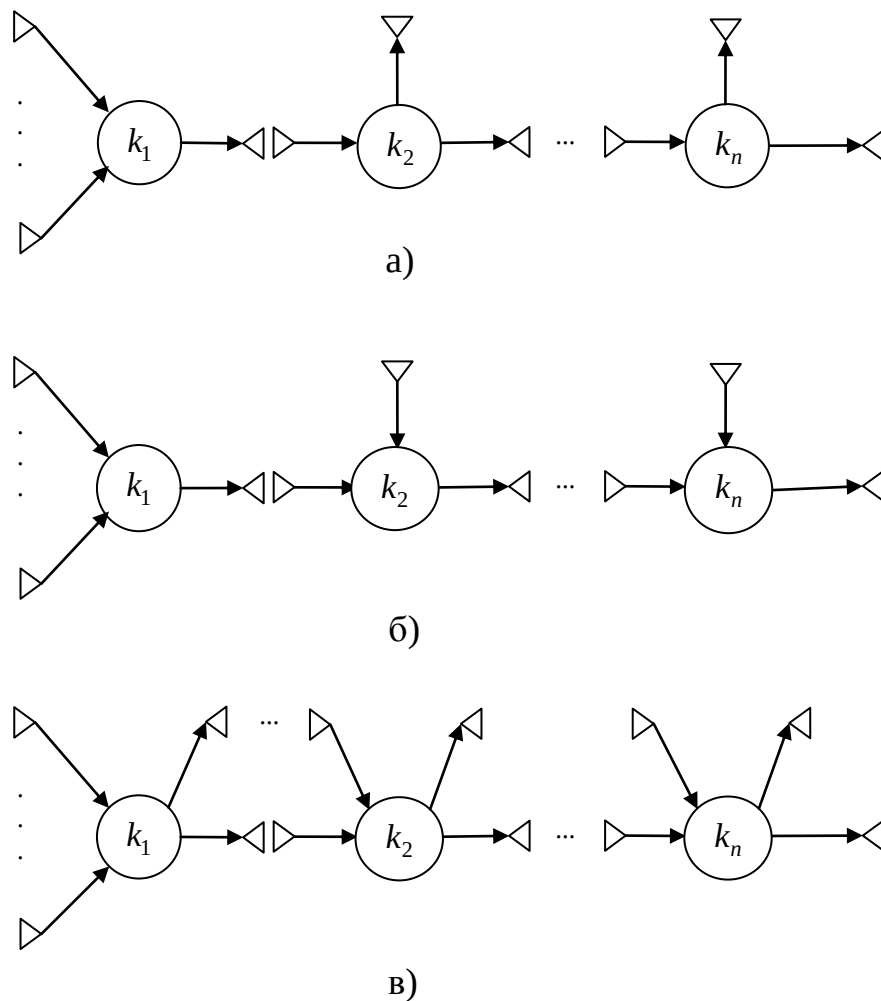


Рисунок 5.4 – Примеры регулярных конфигураций паттерновых модулей:

- а) позиция разборки, где k_i – образующие анализа;
- б) позиция сборки, где k_i – образующие синтеза;
- в) позиция контроля, где k_i – вероятностные образующие

(составлено автором)

5.1.3. Конфигурации паттерновых сетей при различных формах организации производства

5.1.3.1. Поточное производство

Как отмечалось ранее, для предприятий по ремонту подвижного состава характерно использование следующих форм поточного производства - дискретных жестких поточных линий, нежестких и поточных линий с гибким маневрированием [85]. Структурная схема и соответствующая конфигурация паттерновой сети *поточной линии с жестким соединением элементов* представлены на рисунке 5.5.

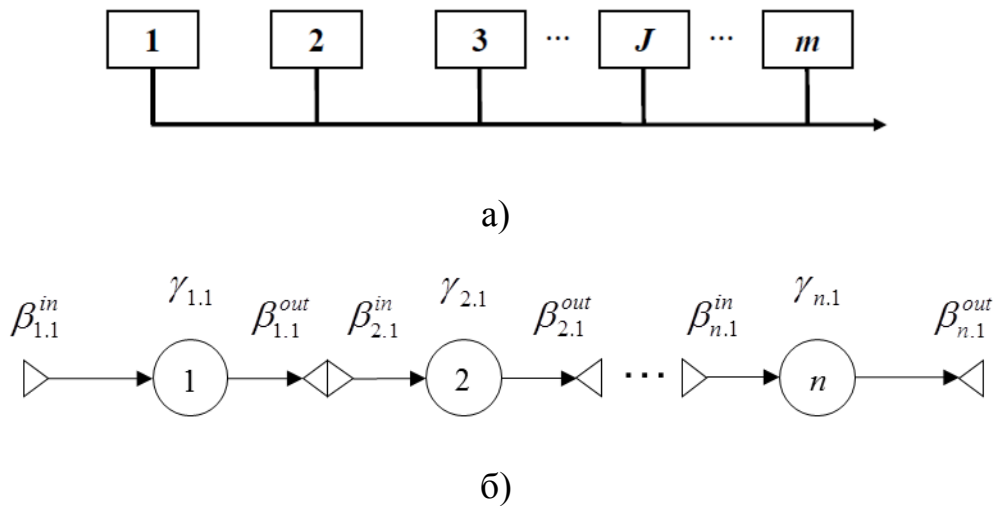


Рисунок 5.5 – Поточная линия с жестким соединением элементов:

а) структурная схема; б) конфигурация паттерновой сети (составлено автором)

Сеть состоит из последовательно соединенных образующих $g_i \in G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$. Вектор признаков каждой из образующих имеет вид:

$$a(g_i) = a(1, \gamma_{i1}, \beta_{i1}^{in}, \beta_{i1}^{out}, D_i, D_i^{in}, D_i^{out}, \rho_{1,1}, \rho_{1,2}), \quad i \geq 1 \quad (5.3)$$

где 4 – индекс класса (линейная образующая), а γ_1 – атрибут (идентификатор) образующей; β_{i1}^{in} – показатель входной и β_{i2}^{out} – выходной связи; D_i – домен допустимых значений параметров образующей и $D_{i,1}$ – домен входной и $D_{i,2}$ –

выходной связи; $\rho_{i,1}$ — отношение согласования (отношение связи) для входной и $\rho_{i,2}$ — выходной связи.

Домены данных D_i в общем случае могут содержать следующую информацию: тип технологической операции, координаты места размещения, удельный расход ТЭР и нормативное время выполнения операции, признак занятости технологической позиции и т.д. Домены входной $D_{i,1}$ и выходной связей $D_{i,2}$ характеризуют взаимосвязи позиций в составе поточной линии и их параметры (например, время перемещения объекта ремонта).

Для *поточной линии с нежестким соединением* предусматривается наличие промежуточных накопителей на отдельных позициях, являющихся своеобразными демпферами при изменении производственного ритма и шага отдельных элементов (рисунок 5.6). Отдельные технологические позиции и транспортная система при этом могут работать независимо, объекты ремонта транспортируются в накопитель и при необходимости поступают на последующее рабочее место.

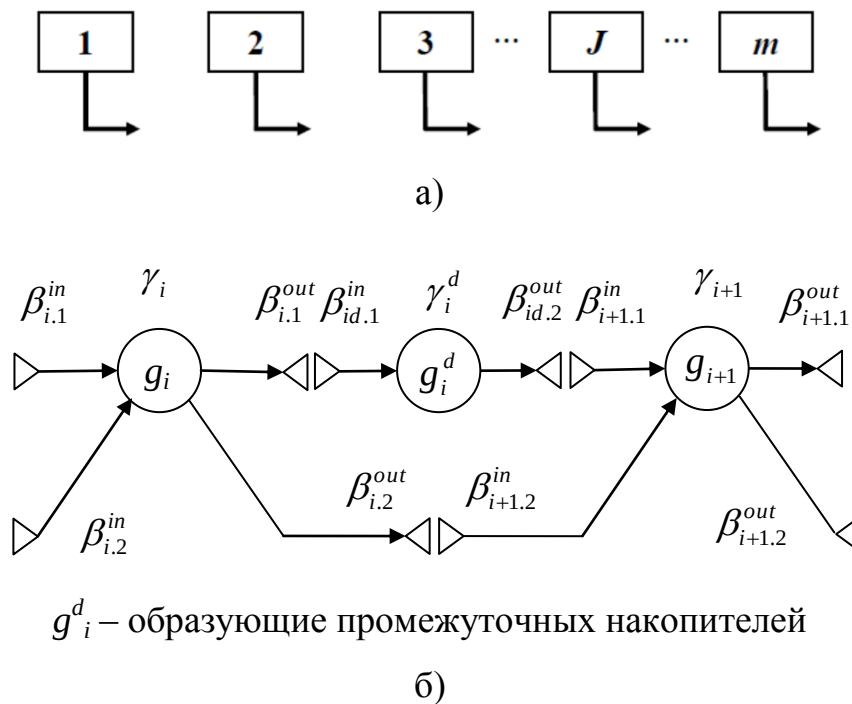


Рисунок 5.6 – Поточная линия с нежестким соединением элементов:

а) структурная схема; б) конфигурация паттерновой сети (составлено автором)

Паттерновую сеть поточной линии с нежестким соединением элементов можно представить в виде регулярной конфигурации множества линейных образующих $G = \{g_1, g_2, \dots, g_m\}$, состав и структура которых в символьном виде описывается следующим образом:

- состав сети:

$$\left[\begin{array}{l} a(g_i) = a(4, \gamma_i, \beta_{i,1}^{in}, \beta_{i,2}^{in} \beta_{i,1}^{out}, \beta_{i,2}^{out}) \\ a(g_i^d) = a(4, \gamma_i^d, \beta_{id,1}^{in}, \beta_{id,2}^{out}) \\ a(g_{i+1}) = a(4, \gamma_{i+1}, \beta_{i+1,1}^{in}, \beta_{i+1,2}^{in} \beta_{i+1,1}^{out}, \beta_{i+1,2}^{out}) \end{array} \right], i = 1, \dots, m, \quad (5.5)$$

- структура сети:

$$\beta_{i-1,2}^{out} \rho \beta_{i,1}^{in}, \beta_{id-1,1}^{out} \rho \beta_{i,1}^{in}, \beta_{i,2}^{out} \rho \beta_{i+1,2}^{in}, \beta_{i,1}^{out} \rho \beta_{id,1}^{in}, \beta_{id,1}^{out} \rho \beta_{i+1,1}^{in}, \beta_{i+1,1}^{out} \rho \beta_{i+2,1}^{in}, i = 1, \dots, m, \quad (5.6)$$

- содержание сети:

$D_1, D_2, \dots, D_m$ - домены образующих технологических операций;

$D_1^d, D_2^d, \dots, D_m^d$ - домены накопителей;

$D_{1,1}^{in}, D_{1,2}^{in}, \dots, D_{m,1}^{in}, D_{m,2}^{in}, D_{1,1}^{out}, D_{1,2}^{out}, \dots, D_{m,1}^{out}, D_{m,2}^{out}$ - домены связей операций;

$D_{g1,1}^{in}, \dots, D_{gm,1}^{in}, D_{g1,1}^{out}, \dots, D_{gm,1}^{out}$ - домены связей накопителей.

Информационная структура домена накопителя близка к доменам технологических операций:

$$D_i^d = \{i, m_d, v d_i, y_i, t_i\}, \quad (5.7)$$

где i – номер связанной с ним технологической позиции;

$m_d = 1, 2, \dots, k_d$ – идентификатор типа накопителя;

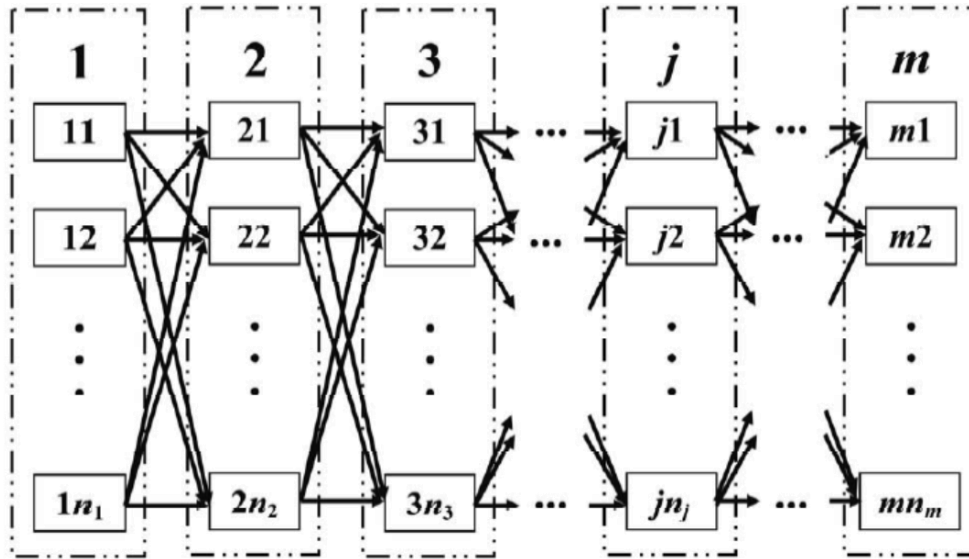
$v d_i = 1, 2, \dots, v_d$ – емкость накопителя, ед.;

$y_i = 0, 1$ – индикатор состояния накопителя (занят, свободен);

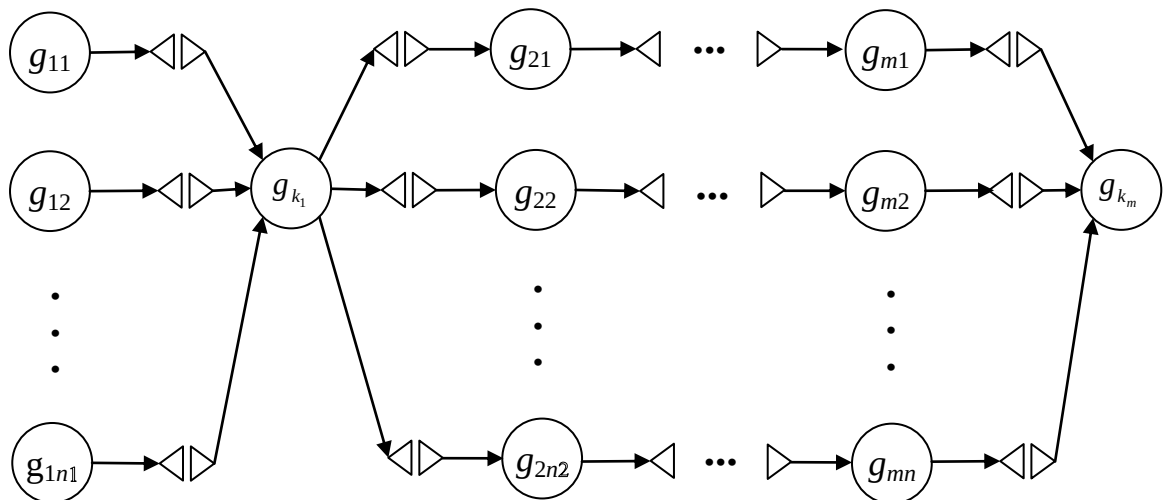
t_i – время выполнения единичной технологической операции по перемещению объекта ремонта в накопителе.

Для механизированных накопителей, оборудованных собственными средствами доставки, информационная структура доменов может быть дополнена параметрами удельного энергопотребления.

Пример гибкой поточной линии состоящей из m специализированных технологических участков, на каждом из которых предусмотрены n_j параллельных ремонтных позиций и соответствующая ей конфигурация паттерновой сети представлены на рисунке 5.7.



а)



(k_1-k_m) – устройства распределения объектов ремонта по позициям (трансбордеры)

б)

Рисунок 5.7 – Гибкая асинхронная поточная линия:

а) структурная схема; б) конфигурация паттерновой сети (составлено автором)

Ремонтные позиции задаются линейными образующими с параметрами связей $m = r = 1$, устройства распределения объектов ремонта g_{ki} – линейными образующими с параметрами связей $m_i = n_i$, $r_i = n_{i+1}$. Выбор той или иной технологической позиции в пределах участка производится исходя из их фактической занятости.

Время перемещения трансбордера между позициями смежных участков задается матрицей T_j

$$T_j = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} & \dots & t_{1k} & \dots & t_{1n_{j+1}} \\ t_{12} & t_{22} & \dots & t_{2k} & \dots & t_{2n_{j+1}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_{i1} & t_{i2} & \dots & t_{ik} & \dots & t_{in_{j+1}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_{n_j1} & t_{n_j2} & \dots & t_{n_jk} & \dots & t_{n_jn_{j+1}} \end{pmatrix}, \quad (5.8)$$

где t_{ik} – время перемещения трансбордера с i -ой технологической позиции j -го участка на k -ю позицию $j+1$ участка, мин.

Суммарное время технологического цикла перестановки объекта ремонта с i -ой позиции j -го участка на k -ю позицию $j+1$ -й участка складывается из времени перемещения трансбордера на позицию i из некоторого начального положения s и последующего перемещения на позицию k : $t_{tr} = t_{si} + t_{ik}$.

Для локомотивосборочных и вагоносборочных цехов, технологические позиции которых расположены строго симметрично $n_1 = n_2 = \dots = n_m$, расчет времени технологического цикла существенно упрощается:

$$t_{tr} = |s - i| \cdot t_1^p + |j - i| \cdot t_1^g, \quad (5.9)$$

где t_1^p , t_1^g – время перемещения трансбордера между двумя ближайшими ремонтными позициями для порожнего и загруженного состояния соответственно; $s, i, j = 1, 2, \dots, n_m$ – порядковые номера ремонтных позиций относительно единого базового уровня.

5.1.3.2. Постовое производство

При *постовом методе производства* характерна привязка объекта ремонта к технологической позиции. Все транспортные операции между складом комплектующих, рабочими позициями и смежными участками осуществляются при помощи цеховых средств доставки (как правило, мостовых кранов). Паттерновая сеть технологического участка с постовым производством имеет топологию «многолучевая звезда» (рисунок 5.8).

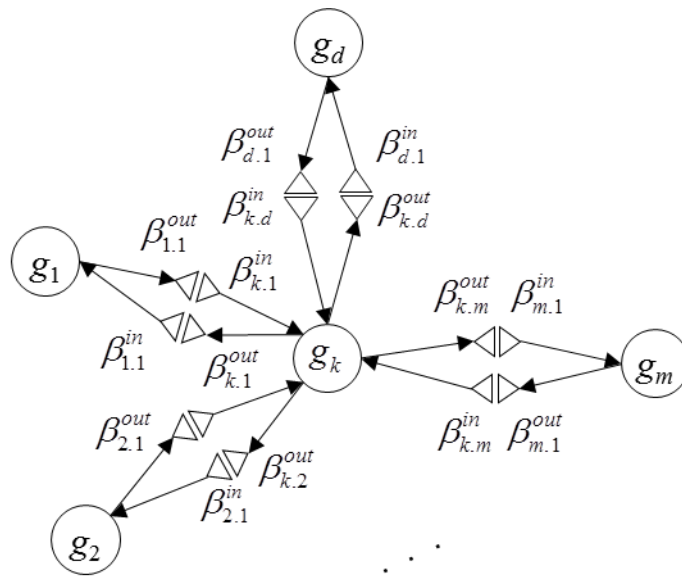


Рисунок 5.8 – Конфигурация паттерновой сети при постовом методе производства (составлено автором)

Элемент g_k выполняет функции коммутатора, обеспечивающего распределение объектов ремонта по технологическим позициям $\{g_1, g_2, \dots, g_n\}$. Символом g^d на схеме обозначен буферный накопитель объектов ремонта (начальная образующая). Ремонтные позиции представляются в виде линейных образующих с параметрами связей $m = r = 1$, устройство распределения объектов ремонта – линейной образующей $m = r = n + 1$.

В символьном виде рассматриваемая паттерновая сеть описывается следующим образом:

- состав сети:

$$\left(\begin{array}{l} a(g_i) = a(4, \gamma_i, \beta_{i,1}^{in}, \beta_{i,1}^{out}), i = 1, \dots, n, \\ a(g_k) = a(4, \gamma_k, \beta_{k,1}^{in}, \dots, \beta_{k,n}^{in}, \beta_{k,1}^{out}, \dots, \beta_{k,n}^{out}) \\ a(g_d) = a(1, \gamma_d, \beta_{d,1}^{in}, \beta_{d,1}^{out}) \end{array} \right) \quad (5.10)$$

- структура сети:

$$\beta_{d,1}^{out} \rho \beta_{k,d}^{in}, \beta_{ik,d}^{out} \rho \beta_{d,1}^{in}, \beta_{1,1}^{out} \rho \beta_{k,1}^{in}, \beta_{k,1}^{out} \rho \beta_{1,1}^{in}, \dots, \beta_{n,1}^{out} \rho \beta_{k,n}^{in}, \beta_{k,n}^{out} \rho \beta_{n,1}^{in}, \quad (5.11)$$

- содержание сети:

$D_1, D_2, \dots, D_n$ - домены образующих технологических операций;

D_1^d, D_1^k - домены накопителя и устройства распределения соответственно;

$D_{1,1}^{in}, D_{1,2}^{in}, \dots, D_{m,1}^{in}, D_{m,2}^{in}, D_{1,1}^{out}, D_{1,2}^{out}, \dots, D_{m,1}^{out}, D_{m,2}^{out}$ - домены связей операций;

$D_{g,1}^{in}, D_{g,1}^{out}, D_{k,1}^{in}, \dots, D_{k,n}^{in}, D_{k,1}^{out}, \dots, D_{k,n}^{out}$ - домены связей накопителя и коммутатора.

При наличии нескольких параллельных (независимых) каналов доставки производится дублирование всех возможных входящих и исходящих связей в составе, структуре и содержании сети через логическую операцию дизъюнкции.

5.1.3.3. Цеховое производство

Система материальных потоков *при цеховом производстве* организована таким образом, что каждая технологическая позиция может быть связана с любой другой в зависимости от выбранного варианта маршрута технологической обработки. Структура сети задается матрицей размера $n \times n$ с нулевой главной диагональю:

$$G^n = \begin{pmatrix} 0 & g_{12} & \dots & g_{1n} \\ g_{21} & 0 & \dots & g_{2n} \\ \dots & \dots & 0 & \dots \\ g_{n1} & g_{n2} & \dots & 0 \end{pmatrix}, \quad (5.12)$$

где g_{ij} – вероятностные образующие, домены вероятностей перехода для которых

p_{ij} задаются с учетом следующих ограничений $\sum_{l=1, l \neq k}^n p_{kl} = 1, \sum_{l=1, l \neq k}^n p_{lk} = 1$.

5.1.4. Алгоритм создания имитационных моделей технологических систем предприятий по ремонту подвижного состава с использованием модульного принципа паттерновых сетей

Основываясь на принципах системного подхода, обобщенный алгоритм создания имитационных моделей технологических систем с использованием паттерновых сетей, можно представить в виде следующих этапов (рисунок 5.9).

На первом шаге этапа *анализа* производится декомпозиции технологической системы (блок №1) и её представление в виде некоторого множества элементов технологических позиций и участков. Выполняется анализ функций, параметров и связей элементов (блок №2). Создается математическое описание производственного процесса в виде граф-модели, описывающей все возможные технологические маршруты выполнения операций по ремонту и ТО подвижного состава для рассматриваемой технологической системы (блок №3).

Вторым этапом выполняется *синтез модели системы*, который состоит в получении моделей его отдельных элементов (блок №4), формализации их связей (блок №5) и в последовательном переходе от элементов к целостной модели с использованием, рассмотренных выше базовых паттерновых конфигураций (блок №6). Одновременно формируется информационная структура доменов связей и атрибутов элементов паттерновой сети (блок №7) с последующим построением модели абстрактной паттерновой сети объекта исследований (блок №8).

Для полученной модели абстрактной паттерновой сети, описываются процессы динамического управления. Последние представляют собой информационные логические алгоритмы, определяющие систему действий и приоритетов для обслуживания заявок (блок №9). Дополнительно создается модуль статистической обработки данных, информационная структура которого определяется постановкой конкретной исследовательской задачи.

На завершающем этапе производится *проверка адекватности* модели (блок №10). Рассмотрим реализацию данного обобщенного алгоритма применительно к объекту исследований на уровне предприятия.



Рисунок 5.9 – Обобщенный алгоритм создания математической модели технологической системы ремонтного предприятия с использованием модульного принципа паттерновых сетей (составлено автором)

5.2. Формализация модели

5.2.1. Представление объекта моделирования

Объектом моделирования является технологическая система предприятия по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава в целом, или её часть в пределах структурного подразделения – производственного цеха или участка. Производственные подразделения предприятия взаимодействуют между собой посредством обмена объектами ремонта для выполнения тех или иных технологических операций и выдачи готовой продукции.

Каждой единице объекта ремонта присваивается идентификатор типа – уникальный порядковый номер. Технологические операции осуществляются на специализированных позициях, которые при необходимости выступают в качестве накопителей объектов ремонта обработанных и ожидающих обработки. Связи между технологическими операциями полностью определяются технологическим процессом производства.

В общем случае для каждого цеха и технологического участка предусматривается накопитель поступающих объектов ремонта, промежуточные входные и выходные накопители, изолятор брака и накопитель готовой продукции. Размер накопителей и их функциональное назначение задаются программно и могут варьироваться в ходе вычислительного эксперимента.

Перемещение изделий между отдельными технологическими позициями осуществляется с помощью универсальных и специализированных средств доставки – подъемно-транспортных механизмов: мостовых, козловых, полукозловых кранов, кран-балок, передаточных тележек, автопогрузчиков. Сигналом к необходимости транспортного обслуживания является заявка. Заявки формируются на производственных позициях в момент завершения технологических операций и обрабатываются в порядке очереди. В случае неготовности последующей технологической позиции к выполнению операции, возможно частичное выполнение заявки, т.е. перемещение детали в исходящий или входящий накопитель.

В имитационной модели предусматривает использование следующих систем управления производством [92]:

- 1) FCFS «первым пришёл, первым обслужен» - принцип простой очереди;
- 2) Kanban «вытягивание» - производство только по требованию внутреннего заказчика. Сигналом для начала новой технологической операции служит завершение операции следующей в технологической цепочке;
- 3) ЛТ «точно в срок» - движение материальных потоков подчинено жесткому расписанию, при этом приоритет выполнения имеют операции с наибольшим отклонением от расчетного времени производственного графика.

Производительность каждой отдельной технологической позиции является величиной вероятностной, определяется параметрами оборудования, типом, характеристиками и состоянием объектов ремонта. Максимальный объем незавершенного производства в цехе задается программно и регулируется автоматически путем ограничения поступления узлов и комплектующих во входной накопитель.

Контроль качества ремонта осуществляется на специальных контрольно-испытательных позициях. Состав технологических операций для устранения последствий брака определяется структурой внутренних связей модели, процент внутреннего возврата программно и может варьироваться. Последствия неудовлетворительного качества технологических операций устраняются в самом цехе путем их повторного выполнения в порядке общей очередности.

Режим работы – количество рабочих дней в неделю и продолжительность рабочей смены задаются в целом по цеху, но при необходимости существует возможность его программного изменения для отдельных технологических участков, групп или даже единиц оборудования (например, режим работы пропиточно-сушильного отделения или покрасочной камеры локомотивов могут отличаться от основного цеха).

5.2.2. Алгоритм моделирования

Средой для дискретного динамического моделирования исследуемых процессов является абстрактная паттерновая сеть (блок №1, рисунок 5.10). Динамическое формирование ассоциативных сетей обеспечивается при помощи генератора модельного времени (блок №2) и модуля управления заявками (блок №3) [196, 207].



Рисунок 5.10 – Функциональная схема имитационной модели технологической системы (составлено автором)

Для изменения модельного времени выбран событийный метод – принцип «особых состояний». Время меняется только когда изменяется состояние моделируемой системы. Модельное время с текущего момента изменяется до ближайшего момента наступления следующего события. Событием является полное или частичное выполнение заявки на технологическую операцию или перемещение объекта ремонта.

В каждый момент модельного времени переменным присваиваются значения из соответствующих доменов, т.е. определяется ассоциированная с исходной паттерновая сеть (блок №4). При этом, значение показателя каждой

связи задает время, начиная с которого, связь готова к соединению. Если текущее время больше значений показателей исходящей и входящей связей, то связь принимает значение "истина".

В качестве условия соединения связок в простейшем случае выступает факт выполнения технологической операции на рабочем месте. В более общем случае, связи соединяются при одновременном выполнении группы условий. Например, по завершению технологической операции, возможности выполнения заявки на перемещение с одной рабочей позиции на другую и отсутствия ограничений со стороны системы управления производством.

Параметры вычислительного эксперимента, технологических операций и заявок на перемещение для каждого момента времени t_i содержатся в информационной структуре данных модуля (блок №5). Окончательная обработка данных и их визуальное представление в форме таблиц числовых значений, графиков и диаграмм производятся в модуле формирования отчета (блок №6) по завершению вычислительного эксперимента.

Алгоритм имитации работы исследуемой технологической системы заключается в пошаговом изменении состояния модели (рисунок 5.11).

На первом шаге устанавливаются параметры модели и вычислительного эксперимента, а также начальные значения переменных (блок №1). В модели реализуется принцип динамического формирования ассоциированных паттерновых сетей с дискретным шагом времени. Момент изменения текущего времени определяется фактом выполнения заявки - технологической операции или операции по перемещению объекта ремонта (блок №2). В начальный момент времени поступают заявки на перемещение объектов ремонта в цех.

На каждом шаге по заданным приоритетам из множества заявок на перемещение объекта ремонта выбирается и выполняется полностью или частично наиболее «важная» (блок №3). Выбор из множества заявок на транспортное обслуживание производится модулем в соответствии алгоритмом работы системы управления производством, возможные варианты которого описаны ранее при представлении объекта моделирования.



Рисунок 5.11 – Алгоритм имитационного моделирования технологического процесса ремонта и ТО подвижного состава (составлено автором)

Расчет модельного времени осуществляется следующим образом. Если заявок, имеющих время поступления меньшее или равное текущему значению модельного времени нет (блок №4), то текущее время увеличивается до ближайшего времени поступления заявки (блок №5). В случае выполнения заявки к текущему модельному времени прибавляется время обслуживания заявки (блок №6). Время выполнения заявки зависит от начальной точки нахождения средства доставки, начального и конечного пункта транспортирования и средней скорости движения с учетом подготовительных операций по закреплению груза и приведению в транспортное положение, времени движения по установленному маршруту.

При полном или частичном выполнении заявки меняется текущее время, положение подъемно-транспортных механизмов, параметры состояния позиций, обновляются очереди заявок в накопителях, при выполнении необходимых условий выполняются технологические операции (блок №7), формируются новые и редактируются имеющиеся заявки (блок №8).

Для каждой свободной позиции по перемещению объекта ремонта в смежные подразделения выполняется следующее. Если очередь внешних заявок не пустая, то в ней выбирается заявка с наименьшим временем поступления. Если время ее поступления меньше или равно чем текущее, то формируется внутренняя заявка на освобождение позиции транспортировки. Внешняя заявка удаляется из очереди и признак состояния позиции транспортировки переключается на «занято».

Алгоритм определения лучшего возможного перемещения при формировании или редактировании заявки может быть описан следующим образом. Сначала проверяется возможность перемещения объекта ремонта на новую технологическую позицию. Если перемещение на позицию невозможно, то проверяется возможность перемещения детали во входящие накопители. Если и это невозможно, то проверяется возможность перемещения в исходящие накопители. Если возможно перемещение только в накопители, то выбирается наименее занятый накопитель.

Если текущее модельное время t меньше расчетного времени моделирования T (блок №9), то описанный алгоритмический цикл повторяется, в противном случае вычислительный эксперимент завершается и выполняется формирование отчета (блок №10).

5.2.3. Информационная структура модели

Информация о состоянии модели содержится в 4-х структурах данных: позиции, технологические операции, заявки на перемещение подъемно-транспортными механизмами и параметры имитационного эксперимента [196].

Информация о позициях. Параметры состояния по каждой технологической позиции содержатся в следующих полях структуры данных:

$$D_p = \{X, V, m, g, t_{\text{тх}}, T, Z_{\text{вх}}, Z_{\text{вых}}, Z_{\text{вн}}, Z_{\text{внеш}}, A\}, \quad (5.13)$$

где $X = \{x, y\}$ - место расположения позиции, относительно некоторой начальной точки, задается координатами (x, y) в метрах;

$V = \{v_1, v_2\}$ - объем максимально возможного накопления (v_1, v_2) где v_1 - объем в штуках для поступающих на обработку и v_2 - объем в штуках для обработанных деталей оборудования;

$m_p \in M = \{m_1, m_2, \dots, m_p\}$ - функциональный тип позиции, выбираемый из множества возможных, в соответствии с составом технологических операций выполняемых на позиции;

$g = \{0, 1\}$ - индикатор состояния позиции, принимающий значение 1, если на позиции есть изделие или его элементы, и значение 0, если позиция свободна;

$t_{\text{тх}}$ - момент времени, в который позиция освободится после поступления детали для позиций транспортировки из других подразделений или станет занятой после освобождения для позиций транспортировки в другие подразделения;

$T = \{t_1, l_1, k_1, d_1, o_1, \dots, t_p, l_p, k_p, d_p, o_p\}$ - внешние требования на транспортировку деталей из других подразделений, где t_m - время поступления заявки; l_m - номер оборудования, k_m - номер технологической операции, результат

которой потребует перемещения краном, d_m – номер детали оборудования, o_d – номер операции для которой требуется перемещение;

$Z_{\text{вх}} = \{z_1, z_2, \dots, z_k\}$ – упорядоченный набор номеров выполняемых заявок, результат выполнения которых находится во входящем накопителе позиции;

$Z_{\text{исх}} = \{z_1, z_2, \dots, z_l\}$ – упорядоченный набор номеров выполняемых заявок, результат выполнения которых находится в исходящем накопителе позиции;

$Z_{\text{вн}} = \{z_1, z_2, \dots, z_p\}$ – упорядоченный набор номеров полностью выполненных заявок перемещения детали оборудования на позицию;

$Z_{\text{внеш}} = \{z_1, z_2, \dots, z_r\}$ – упорядоченный набор номеров полностью или частично выполненных заявок перемещения детали оборудования с позиции;

$A = \{t_1, l_1, k_1, fo_1, bo_1, to_1, \dots, t_p, l_p, k_p, fo_p, bo_p, to_p\}$ – упорядоченный набор выполненных на позиции технологических операций, где t_p – время окончания выполнения операции; l_p – номер оборудования; k_p – тип детали оборудования; fo_p – номер выполненной операции; bo_p – номер операции, доставка результата которой вызвала выполнение операции и to_p – время начала выполнения операции.

Информация о технологических операциях. В полях соответствующей структуры данных содержится информация о взаимосвязях, внутренних параметрах и параметрах выполнения технологических операций.

Внутренние параметры операции включают в себя:

$$D_1^a = \{i, m_p, m_a, s_{\text{тх}}\}, \quad (5.14)$$

где i – номер операции;

$m_p \in M = \{m_1, m_2, \dots, m_p\}$ – функциональный тип позиции, на которой выполняется данная технологическая операция;

$op_a \in M = \{op_1, op_2, \dots, op_r\}$ – тип технологической операции;

$s_{\text{тх}} = \{0, 1\}$ – признак начала или конца технологического цикла разборки или сборки: равен 1 для первой операции сборки и последней операции разборки, для всех остальных операций равен 0,

Поля «параметры выполнения операции» содержат информацию об условиях и продолжительности выполнения операций:

$$D_2^a = \{l_{\text{вх}}, l_{\text{вых}}, p_1, p_2, t, T\}, \quad (5.15)$$

где $l_{\text{вх}} \in L = \{l_1, l_2, \dots, l_k\}$ - типы деталей, необходимых для выполнения операции, в порядке приоритета при сборке;

$l_{\text{вых}} \in L = \{l_1, l_2, \dots, l_k\}$ - типы деталей, являющиеся результатом выполнения операции, в порядке приоритета при разборке ($l_1, \dots, l_r$);

$p_q = \{p_1, p_2\}$ - вероятности переходов для вероятностных операций (для двух и более);

$p_r = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ - вероятности для изменения ремонтного задания, где m – количество различных возможных заданий для продолжения ремонта;

$t_a = \{t_{\min}, t_{\max}\}$ - время выполнения операции, где $t_{\min}$ – нижняя оценка времени выполнения и $t_{\max}$ – верхняя оценка в минутах,

Связи с другими операциями – упорядоченный набор

$$E = (r_1, s_1, w_1, l_1; \dots; r_m, s_m, w_m, l_m), \quad (5.16)$$

где r_l – номер технологической операции, вход которой связан с выходом данной операции;

s_l – номер производственной программы;

w_l – признак необходимости перемещения детали краном, $w_l = 0$ – перемещение не требуется и $w_l = 1$ – перемещение требуется;

l_l – тип перемещаемой детали.

Информация о заявках на перемещение деталей краном. При формировании каждой заявки задаются параметры состояния заявки:

$$S^r = \{t_{\text{пз}}, n_{\text{уз}}, n_1^{(\text{тп})}, n_2^{(\text{тп})}, n_1^{(\text{то})}, n_2^{(\text{то})}, v s_r, pr\} \quad (5.17)$$

где $t_{\text{пз}}$ - момент времени поступления заявки;

$n_{\text{уз}} \in N_{\text{уз}}$ - условный порядковый номер узла или детали;

$n_1^{(п)} \in N^{(п)}, n_2^{(п)} \in N^{(п)}$ - уникальный номер позиции, на которой находится и на которую будет перемещен объект ремонта соответственно;

$n_1^{(то)}$ - номер операции, результат которой требует перемещения;

$n_2^{(то)}$ - номер операции, для которой требуется перемещение;

$vs_r = \{vs_1, vs_2, ..., vs_k\}$ - вариант наиболее полного выполнения заявки;

$pr = \{pr_1, pr_2\} \in [0,1]$ - признаки ожидания средства доставки и выполнения заявки.

В качестве *параметров вычислительного эксперимента* задаются:

$\{x_0, y_0\}$ – начальное положение подъемных и транспортных механизмов, м;

$\{V_{тр}\}$ – скорость перемещения подъемно-транспортных механизмов;

$\{t_{пт}\}$ – среднее время выполнения подготовительных и заключительных операций при транспортировании объекта ремонта;

$\{\Delta t\}$ – минимальный интервал времени пополнения входных накопителей;

$T_{и}$ – общая продолжительность моделирования (горизонт моделирования);

$\{N_c\}$ – суточная или сменная производственная программа по каждому виду объектов ремонта;

$T_{раб}, D_{раб}$ – режим работы объекта исследований: количество рабочих часов в смену и количество рабочих смен в неделю;

$N_{max}^{(д)}$ – максимальное количество объектов ремонта одновременно находящихся в процессе производства;

$str = \{const, exp\}$ – способ определения времени выполнения технологических операций (постоянное, по экспоненциальному закону).

5.3. Анализ и обработка данных вычислительного эксперимента

5.3.1. Общие положения

Как отмечалось ранее, основной целью имитационного моделирования технологического процесса ремонта подвижного состава является получение некоторого комплекса численных значений показателей, характеризующих качество функционирования технологической системы предприятия в целом, а также его отдельных элементов [205, 229].

Систему статистических показателей [231, 250], применительно к задачам оценки технологических проектных решений предприятий по ремонту подвижного состава, можно представить в виде совокупности следующих классов (рисунок 5.12).

Абсолютные показатели получаются в результате расчета или наблюдений и характеризуют отдельный объект, группу или статистическую совокупность в целом. По размеру единиц совокупности подразделяются на *индивидуальные*, характеризующие размеры отдельных единиц совокупности, и *сводные*, получаемые путем суммирования отдельных индивидуальных величин. По способу регистрации во времени различают *моментные* и *интервальные* абсолютные показатели.

Из рассмотренных ранее показателей эффективности СМО к данному классу показателей могут быть отнесены: абсолютная пропускная способность системы, среднее число занятых каналов СМО, вероятность отказа обслуживания заявки и другие [69, 72, 73, 137]. Расчет абсолютных показателей производится в натуральных (например, производительность) или стоимостных единицах измерения.

Относительные обобщающие показатели, позволяют провести сравнение различных показателей и делающие такое сравнение более наглядным. Относительные величины исчисляются как отношение двух чисел. При этом, как правило, числитель является сравниваемой величиной, а знаменатель - базой относительного сравнения.

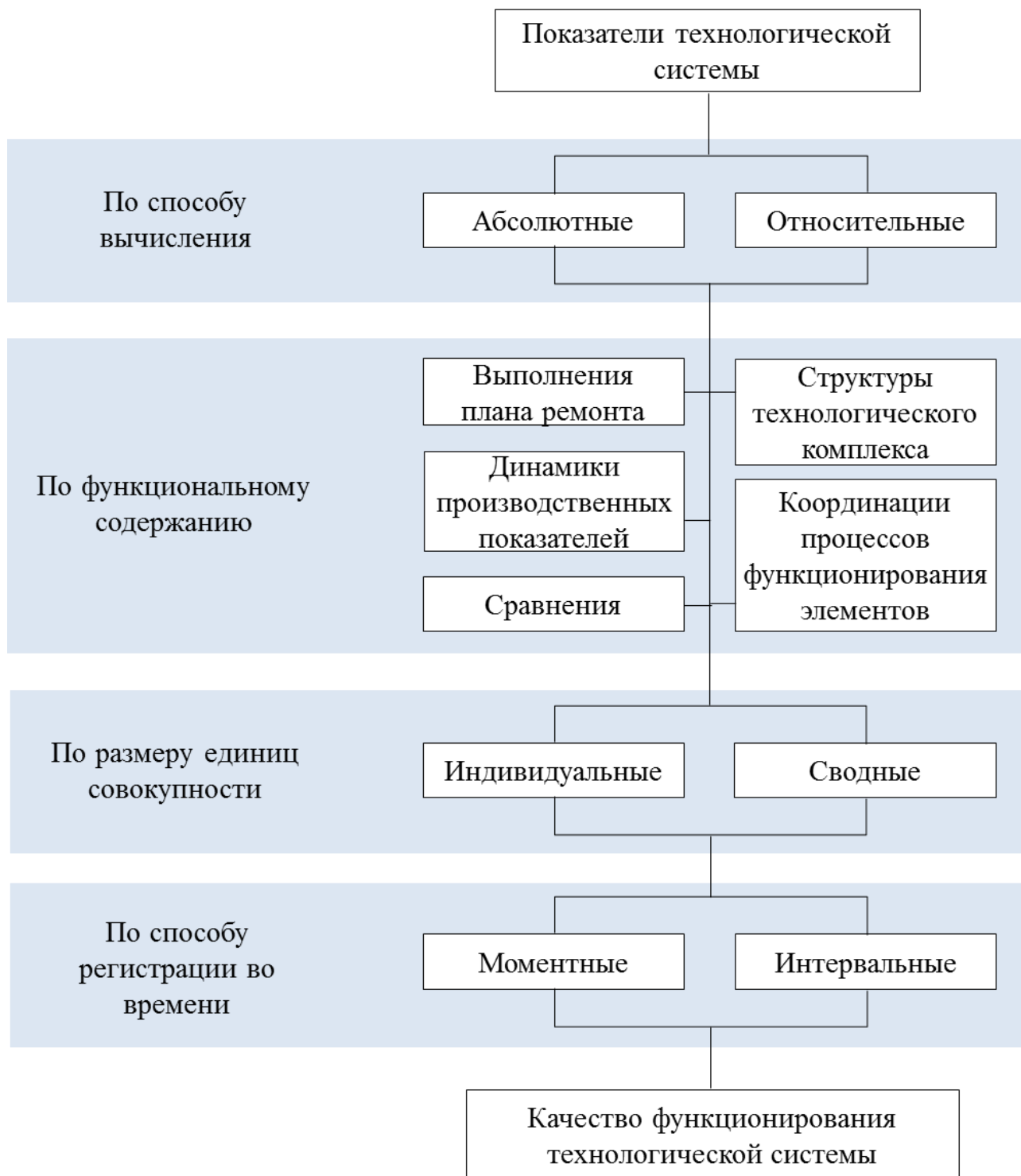


Рисунок 5.12 – Классификация статистических показателей качества функционирования технологической системы предприятия по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава (составлено автором)

По своему содержанию абсолютные и относительные величины можно разделить на следующие виды:

- 1) выполнения производственных обязательств - представляют собой отношение фактического выполнения программы ремонта к плановому уровню;
- 2) динамики (темпы роста) - показатели, характеризующие изменение свойств технологической системы во времени;
- 3) структуры - характеризуют составные части технологической системы;
- 4) координации - характеризуют соотношение отдельных частей технологической системы с одной из них, принятой за базу сравнения;
- 5) сравнения - показатели, получающиеся в результате сравнения одноименных абсолютных показателей, относящихся к различным объектам (например, депо), взятым за один и тот же период или на один момент времени.

Для решения задачи оценки качества проектных решений методами имитационного моделирования, представим ремонтное производство в виде системы массового обслуживания (СМО) многоразового использования, выполняющей конечный набор процедур. Каждая СМО состоит из определенного числа единиц технологического оборудования, которые образуют один или несколько каналов обслуживания в зависимости от конкретных особенностей технологического проекта.

Заявки на обслуживание в технологической системе возникают в общем случае случайно, образуя так называемый случайный поток заявок с дискретным временем $\{X_n\}, n > 0$,

$$P(X_{n+1} = i_{n+1} | X_n = i_n, X_{n-1} = i_{n-1}, \dots, X_0 = i_0) = P(X_{n+1} = i_{n+1} | X_n = i_n) \quad (5.18)$$

где $\{X_n\}$ – область значений случайных величин (пространство состояний цепи); n – номер шага.

Обслуживание заявок также продолжается какое-то случайное время. Случайный характер потока заявок и времени обслуживания приводит к тому, что СМО оказывается загруженной неравномерно: в какие-то периоды времени скапливается очень большое количество заявок, то они становятся в очередь

(СМО с ожиданием очереди на обслуживание),

$$P_{\text{отк}} = P_n = \frac{\frac{\rho^n}{n!}}{\sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!}} = \rho^n \frac{P_0}{n!} \quad (5.19)$$

в другие же периоды СМО работает с недогрузкой или простаивает.

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!}}, \quad (5.20)$$

где P_0, P_n – вероятности отказа и вероятность простоя технологической линии;

$\rho = \lambda/\mu$ – загрузка системы, отношение интенсивности входящего потока λ к исходящему μ ;

k – количество занятых технологических позиций.

Таким образом, качество проектных решений можно оценить по показателям эффективности СМО, для которых наиболее часто используются [26, 256]:

- абсолютная пропускная способность системы, т.е. среднее число заявок, обслуживаемых в единицу времени;
- относительная пропускная способность, т.е. средняя доля поступивших заявок, обслуживаемых системой;
- вероятность отказа обслуживания заявки;
- среднее число занятых каналов (для многоканальных СМО);
- среднее число заявок в СМО;
- среднее время пребывания заявки в системе;
- среднее число заявок в очереди;
- среднее время пребывания заявки в очереди;
- среднее число заявок, обслуживаемых в единицу времени;
- среднее время ожидания обслуживания;
- вероятность того, что число заявок в очереди превысит определенное значение и т.п.

Совокупность вышеперечисленных показателей СМО дает достаточно полное представление о качестве функционирования технологической системы в целом. Расчет показателей производится известными и подробно описанными в специальной литературе методами [256, 283].

В качестве *недостатков существующих критериев* при решении задачи по оценке качества проектных решений отдельных подсистем и технологических комплексов следует отметить:

- очевидный факт зависимости показателей эффективности СМО (длины очереди и других) от большого количества внешних по отношению к исследуемой подсистеме влияющих факторов;
- частный характер каждого отдельного показателя СМО. Для достоверной оценки необходимо использовать некоторую совокупность показателей;
- сложность непосредственной оценки влияния качества исследуемого технологического решения на технико-экономические показатели производства в целом.

Обобщая вышеизложенное, можно утверждать о целесообразности введения некоторого дополнительного интегрального (обобщающего) статистического критерия оценки качества проектных решений, непосредственно характеризующего «вклад» исследуемой подсистемы в эффективность функционирования технологической системы в целом.

5.3.2. Расчет показателей проектируемой технологической системы предприятия по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава

По результатам вычислительного эксперимента рассчитывается комплекс показателей, характеризующих основные свойства объекта моделирования [196, 207, 216, 226]:

1) производительность технологической системы:

- фактическая производительность цеха (участка), ед./день

$$p = \frac{1}{m} \cdot \sum_{k=1}^m N_k, \quad (5.21)$$

где m – количество рабочих дней в интервале моделирования;

- среднее время производственного цикла изделия

$$\tau = \frac{1}{R} \cdot \sum_{k=1}^R (t_{\text{в}}(k) - t_{\text{п}}(k)), \quad (5.22)$$

где R – общее количество изделий за интервал моделирования;

$t_{\text{в}}(k)$ – время выдачи k -го изделия;

$t_{\text{п}}(k)$ – время поступления k -го изделия.

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

- коэффициент использования оборудования по времени

$$k_{\text{и}} = \frac{T_{\text{раб}}}{T_{\text{мод}}}, \quad (5.23)$$

где $T_{\text{раб}}$ – общее время работы в интервале моделирования;

$T_{\text{мод}}$ – длина интервала моделирования;

- среднее количество узлов или деталей в p -ом накопителе

$$d_{\text{ср}} = \frac{1}{T_{\text{мод}}} \cdot \sum_{k=1}^{T_{\text{мод}}} d_{pk}, \quad (5.24)$$

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

3) работу транспортной системы:

- среднее время ожидания средства доставки, мин

$$t_{\text{ожт}} = \frac{1}{d} \cdot \sum_{k=1}^d (t_{\text{нв}}(k) - t_{\text{п}}(k)), \quad (5.25)$$

где d – общее количество заявок на перемещение ремонтируемых узлов и агрегатов;

$t_{\text{нв}}(k)$ – время начала выполнения заявки;

$t_{\text{п}}(k)$ – время поступления заявки;

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

$$L_{\text{оч}} = \frac{1}{T_{\text{мод}}} \cdot \sum_{k=1}^{T_{\text{мод}}} N_k, \quad (5.26)$$

где N_k – количество заявок на перемещение на k -ой минуте моделирования.

4) качество компоновочных и планировочных решений:

- средняя дальность единичного перемещения объекта ремонта, м

$$l_{\text{ср}} = \frac{1}{d} \cdot \sum_{k=1}^d l(k), \quad (5.27)$$

где l – протяженность маршрута перемещения при выполнении заявки;

- грузовая работа подъемно-транспортных механизмов за цикл ремонта одной единицы оборудования подвижного состава, т·м

$$a_{\text{тр}} = \sum_{k=1}^g m_k \cdot l_k, \quad (5.28)$$

где g – общее количество заявок на перемещение за цикл ремонта.

Результаты обработки статистических данных о работе объекта исследований могут представляться в табличной или графической форме. По каждому показателю оценивается его среднее значение и стандартное отклонение.

Ниже приведен характерный состав отчетных форм, формируемых в результате вычислительного эксперимента с использованием расчетных выражений (5.21 – 5.28).

1. Технологическая система в целом:

- время технологического цикла на единицу ремонта, час;
- графики технологического процесса ремонта;
- производительность технологического комплекса в смену;
- график производительности по дням;
- время непроизводительного простоя технологического оборудования;
- совокупная длина маршрутов перемещения на единицу ремонта, м;
- средняя масса единичного перемещения за цикл ремонта, кг;
- дальность единичного перемещения объекта ремонта, м;

2. Технологическое оборудование:

- коэффициенты использования оборудования;

- графики работы технологических позиций;
- время ожидания транспортного обслуживания, мин;
- максимальные размеры очередей в накопителях за смену;
- графики размера очередей в накопителях.

3. Система транспортного обслуживания:

- средняя длина очереди заявок на перемещение объектов ремонта.
- потери времени от ожидания транспортирования, час;
- работа подъемно-транспортного оборудования за цикл ремонта, т·м;
- коэффициенты использования подъемно-транспортного оборудования;
- коэффициенты полезного использования подъемно-транспортного оборудования (движение с грузом);
- графики работы подъемно-транспортного оборудования за время моделирования.

5.3.3. Оценка качества проектных решений отдельных подсистем и элементов технологической системы

С учетом особенностей поставленной задачи – интегральной оценки качества функционирования отдельных подсистем и технологических комплексов, новый критерий должен относиться к классу относительных сводных интервальных показателей, а по своему содержанию характеризовать некоторую составную часть объекта, т.е. быть показателем структуры.

В соответствии с этими требованиями введем новый критерий интегральной оценки технологической подсистемы или комплекса (далее подсистемы) - *показатель структурной эффективности*, рассчитываемый в результате проведения серии вычислительных экспериментов с использованием вышеизложенной методологии моделирования по следующему алгоритму [237].

Пусть технологическая система состоит из некоторого конечного множества взаимосвязанных подсистем n . Требуется оценить качество проектных решений (эффективность) i -ой подсистемы $i \in 1, 2, \dots, n$.

На первом шаге производится декомпозиция технологической системы с вычлениением интересующего объекта исследований:

$$S_i \subset S, S_k \subset S, S_k = S \setminus S_i, \quad (5.29)$$

где S_i, S_k, S - множество элементов исследуемой подсистемы, смежных подсистем и технологической системы в целом соответственно.

Далее задаются фактические значения проектных параметров исследуемой подсистемы $B_i = \{b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{im_i}\}$ и смежных подсистем $B_k = \{B_j\}, j = 1, 2, \dots, n, j \neq i$, $B_j = \{b_{j1}, b_{j2}, \dots, b_{jm_j}\}$ (например, производительность, скорость перемещения подъемно-транспортных механизмов, время подготовительных и вспомогательных операций и т.п.).

Выполняется имитационное моделирование, по результатам которого оценивается результативность работы технологической системы:

$$R_1 = R[B_i, B_k \in B], \quad (5.30)$$

где B – множество проектных параметров технологической системы.

На четвертом шаге исследуемая подсистема заменяется на некоторую условную «идеальную» модель S_i^* , где $S_i \cap S_i^* = \emptyset$ при сохранении структуры и параметров функционирования смежных подсистем $S_k^* = S_k, B_k^* = B_k$.

Параметры идеальной модели исследуемой подсистемы $B_i^* = \{b_{i1}^*, b_{i2}^*, \dots, b_{im_i}^*\}$ задаются исходя из условий обеспечения максимальной эффективности функционирования технологической системы в целом:

$$R_2 = R[\{b_{ij}^*, j = 1, 2, \dots, m_i\}] \rightarrow \max, \quad (5.31)$$

где b_{ij}^* – параметры модели «идеальной» подсистемы.

Например, при оценке качества проектных решений подсистемы транспортного обслуживания «идеальная» модель предполагает мгновенное выполнение всех заявок на транспортировку объектов ремонта, материалов и комплектующих ($t \rightarrow 0$), при этом параметры «идеальной» модели подсистемы

должны принимать следующие значения: $v_j^* \rightarrow \max$, $j=1, \dots, m_i$, где v_j – скорость перемещения подъемно-транспортных механизмов.

Для принятых значений параметров технологической системы $B^* = B_i^* \cup B_k^*$ выполняется второй цикл имитационного моделирования, по результатам которого оценивается результативность работы технологической системы R_2 .

Показатель структурной эффективности исследуемой подсистемы или элемента технологической системы рассчитывается как отношение значений величин R_1 и R_2 . Если принять в качестве показателя результативности R среднюю производительность технологической системы за интервал моделирования p , то искомый показатель структурной эффективности будет определяться как [223]:

$$k_i^{\text{ср}} = \frac{p_1}{p_2} \rightarrow 1, \quad (5.32)$$

где p_1 - производительность технологической системы при заданных проектных значениях параметров исследуемой i -ой подсистемы;

p_2 - производительность технологической системы при замене исследуемой подсистемы ее «идеальной» моделью (моделью с предельными параметрами).

Таким образом, *показатель структурной эффективности* i -ого элемента характеризует потери производительности технологической системы за счет отклонения параметров i -ого элемента от желаемых («идеальных»). Чем ближе значение показателя к 1, тем меньше потери.

В качестве иллюстрирующего примера практического применения предлагаемого подхода ниже приведены результаты имитационного моделирования цеха по ремонту ТЭД (см., примеры п. 5.4). В ходе вычислительного эксперимента исследовались варианты использования подъемно-транспортного оборудования (мостовых кранов) различных поколений и производителей. Параметры имитационного эксперимента представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Технические характеристики оборудования

Тип средства доставки	Время подготовит. операций, с	Скорость перемещения, м/с		
		Крюка	Тали	Моста крана
Кран мостовой опорный (релейно-контакторная схема управления), ГОСТ 22045-89	60	0,133	0,33	0,67
Кран мостовой опорный с частотным приводом и микропроцессорной системой управления	60	0,33	0,67	2
Перспективная транспортная система со специальными грузозахватными механизмами.	30	0,8	1,6	2,5

Скорости перемещения приняты на основании технических характеристик заводов-изготовителей, при расчете времени подготовительных операций учитывались: застроповка и расстроповка груза, позиционирование, высвобождение от удерживающих приспособлений, установка объекта ремонта на новую технологическую позицию, время принятия решения.

По каждому варианту производилось 10 серий имитационных экспериментов, результаты расчета показателя структурной эффективности транспортной системы приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Результаты вычислительного эксперимента

Тип средства доставки	Производительность цеха, двигателей в сутки		Показатель структурной эффективности
	$\bar{N}$	$\sigma(N)$	$k_{\text{тр}}^{(сэ)}$
Кран мостовой ГОСТ 22045-89	3,54	0,18	0,885
Кран мостовой с частотным приводом	3,65	0,16	0,913
Перспективная транспортная система	3,95	0,16	0,988
«Идеальная» транспортная система	4	0,19	1

5.3.4. Выбор оптимальных параметров технологической системы действующего предприятия методами имитационного моделирования

Использование предлагаемого метода дискретного динамического моделирования технологических процессов ремонта и ТО подвижного состава открывает широкие возможности для оптимизации параметров функционирования уже действующих производств путем проведения вычислительных экспериментов для различных сочетаний производственной программы и параметров технологической системы.

В качестве основных локальных оптимизационных задач можно отметить:

- 1) выявление и устранение «узких мест», ограничивающих производительность технологической системы;
- 2) оценка сбалансированности (внутренней эффективности) отдельных элементов технологической системы;
- 3) оценка достаточности подъемно-транспортного оборудования в периоды пиковой загрузки производственной мощности оборудования;
- 4) оптимальное распределение рабочих мест и участков производственных цехов по зонам обслуживания общецехового подъемно-транспортного оборудования (логистическое зонирование);
- 5) выбор оптимального объема незавершенного производства.

Вычислительный эксперимент осуществляется в несколько этапов. На первом этапе выявляются элементы технологической системы с максимальной загрузкой в течение рабочей смены:

$$k_{i \max} = \max_{0 \leq i \leq n} \{k_{ii}\}, \quad (5.33)$$

где k_{ii} – коэффициент использования технологического оборудования в течение рабочей смены (5.23); n – количество единиц технологического оборудования.

Для выявленных лимитирующих элементов производится расчет показателя структурной эффективности по формуле (5.32) на основании численных значений которого делается заключение целесообразности замены оборудования на более производительное или увеличение его кратности.

На втором этапе осуществляется проверка на наличие ограничений со стороны транспортной системы, формируются мероприятия по ее усилению либо предложения по внесению изменений в структуру технологической системы, изменению форм организации производства и компоновки производственных участков.

Эффективность работы транспортной системы в моменты пиковой загрузки производственных мощностей оценивается по максимальной длине очереди заявок на перемещение ремонтируемых узлов и деталей, шт:

$$L_{\text{оч}} = \max_{1 \leq j \leq T_{\text{мод}}} M_j, \quad (5.34)$$

где M_j – количество заявок на перемещение на j -ой минуте моделирования.

Логистическое зонирование производственных участков и рабочих мест для общецехового подъемно-транспортного оборудования осуществляется итерационным методом по критерию максимума производительности при естественных ограничениях на коэффициенты использования оборудования:

$$p = \frac{1}{m} \cdot \sum_{k=1}^m N_k \rightarrow \max, k_{nij} \leq k_{ni}, i = 1, \dots, n, 1 \leq j \leq T_{\text{мод}}, \quad (5.35)$$

где N_k – объем производства в k -й рабочий день; m – количество рабочих дней в интервале моделирования; k_{ni} – максимальный допустимый коэффициент использования для i -ой единицы технологического оборудования.

Последний этап программы вычислительного эксперимента нацелен на поиск оптимальных параметров управления производством по количеству объектов ремонта, одновременно задействованных в технологическом процессе, обеспечивающих максимальную производительность технологической системы при заданных ограничениях на время ремонта и коэффициенты использования оборудования.

Алгоритм оптимизация параметров действующего технологической системы методами имитационного моделирования можно представить в виде следующего многоитерационного цикла (рисунок 5.13).

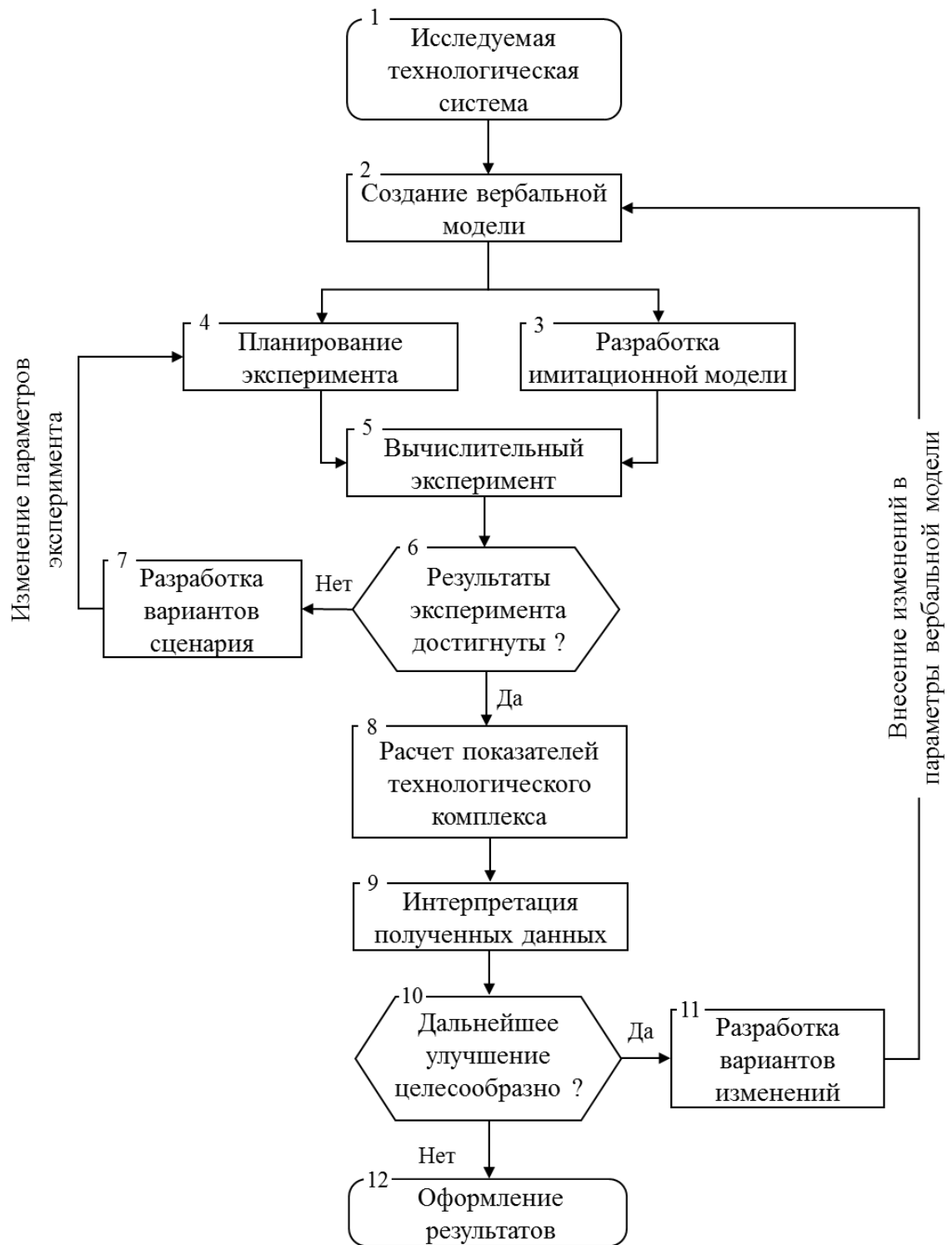


Рисунок 5.13 – Алгоритм оптимизация параметров действующих технологических систем методами имитационного моделирования (составлено автором)

На первом шаге производится формализованное описание объекта моделирования на уровне вербальной модели, формируются исходные данные для последующего имитационного моделирования. Вербальная модель содержит подробное описание технологического процесса ремонта, характеристик оборудования, планировочных решений и других особенностей технологической системы с использованием графовых и табличных форм (блок №2) [216].

Далее на основе предложенной автором классификации паттерновых модулей, алгоритма создания моделей и их информационной структуры реализуется в компьютерном виде имитационная модель исследуемого объекта (блок №4). Разрабатывается план и сценарии вычислительных экспериментов (блок №3), определяющие ожидаемые результаты и целевые показатели. Формируются массивы исходных данных: программа ремонта, горизонт моделирования, время выполнения технологических операций, скорость перемещения подъемно-транспортного оборудования и другие.

Производится серия вычислительных экспериментов (блок №5) после чего делается вывод о достижении поставленных целей, соответствии результатов плану эксперимента, полноте и достаточности полученных данных (блок №6). В случае необходимости производится корректировка исходных данных и дополнительные итерации (блок №7).

Далее производится расчет и оценка технологической системы по критериям, рассмотренным выше, принимается решение о целесообразности улучшений или завершении работ и оформлении результатов (блоки №8 – 12). При необходимости вносятся соответствующие изменения на уровне параметров вербальной модели, и производится следующий цикл моделирования.

5.4. Примеры имитационного моделирования технологических систем предприятий по ремонту подвижного состава с использованием модульного принципа паттерновых сетей

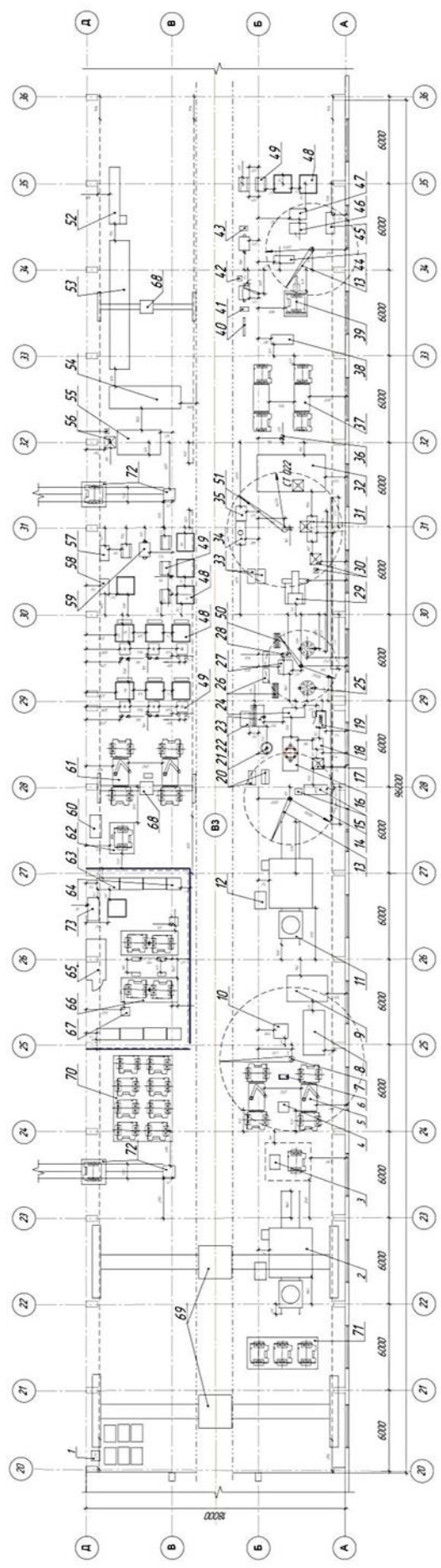
В качестве примера практической реализации рассмотрим результаты имитационного моделирования технологической системы электромашинного цеха ремонтного локомотивного депо Кинель Куйбышевской железной дороги, осуществляющего ТР-3, СР тяговых двигателей ТЛ-2К1 электровозов в 2800 единиц в год (*акт внедрения*, Приложение А). Режим работы цеха – 7 дней в неделю по 12 часов в день.

Проектом предусматривается поточная организация ремонта ТЭД по схеме U-образного потока (рисунок 5.14). Для перемещения объектов ремонта используется кран мостовой опорный с кабиной управления (ГОСТ 22045-89).

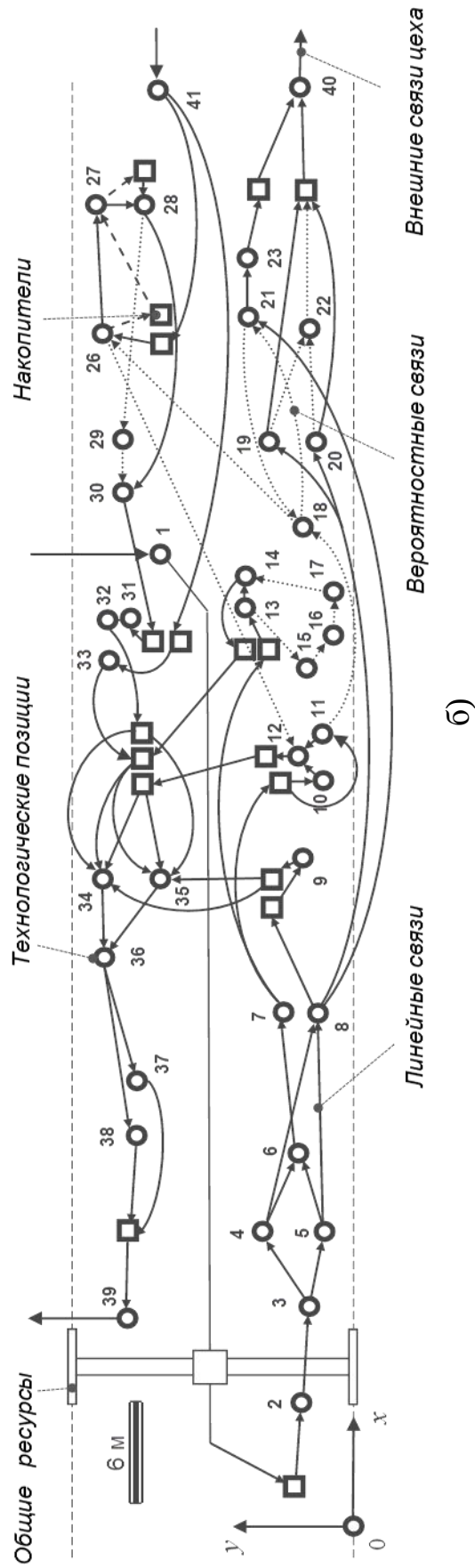
В качестве основных параметров технологической системы заданы:

- суточная программа ремонта – 4 ТЭД;
- горизонт моделирования – 4 недели;
- средняя скорость движения крана – 1,5 м./с.;
- время подъема и опускания груза с учетом подготовительных и завершающих операций – 1,5 мин.;
- способ определения времени выполнения операции задается по экспоненциальному закону;
- минимальный интервал времени пополнения входящего накопителя объектов ремонта – 15 мин.;
- начальное положение цехового крана в точке с координатами (0,0);
- максимальное количество ТЭД в ремонте – 12 штук.

Выполнение заявок осуществляется по принципу простой очереди – «первым пришёл, первым обслужен». Состав технологических операций принят в соответствии с Руководством по техническому обслуживанию и текущему ремонту электрических машин электровозов (ОАО «РЖД», 2007 г.), а время их выполнения – по Типовым нормам времени на слесарные работы по ремонту электрических машин электровозов МПС (Проектный и внедренческий центр организации труда НИС локомотивного хозяйства, 21.12.1994 г.).



а)



б)

Рисунок 5.14 – Цех по ремонту тяговых электрических двигателей:

а) технологический проект; б) масштабный граф технологических связей (составлено автором)

В качестве элементов графа заданы следующие технологические позиции (таблица 5.5).

Таблица 5.5 – Состав технологических позиций в цехе

№, <i>i</i>	Наименование позиции	Кол- во,	Координаты		Размер накопителей	
			х	у	Вход.	Исх.
1	Доставка объектов ремонта в цех	1	15,82	5,18	0	0
2	Очистка ТЭД перед ремонтом	1	-37,09	-5,1	8	0
3	Входной контроль ТЭД в сборе	1	-30,56	-5,66	0	0
4	Разборка ТЭД	2	-26,14	-2,91	0	0
5	Ремонт траверс	1	-2,11	-5,22	4	4
6	Разборка подшипникового щита	1	-21,51	-4,9	2	2
7	Мойка подшипниковых щитов	1	-11,39	-3,98	0	0
8	Ремонт и контроль подшипник. щита	2	2,43	-6,49	2	0
9	Сборка подшипникового щита	1	3,78	-4,9	2	2
10	Очистка якорей и остовов (обдувка)	1	-11,39	-6,18	0	0
11	Входной контроль якоря в ремонт	1	29,92	-1,95	1	0
12	Установка внутреннего кольца подшипников якоря	1	33,43	-1,95	0	0
13	Наплавка подшипн. щитов и валов якорей	1	17,41	-5,22	0	0
14	Бандажировка якоря	1	22,67	5,42	0	0
15	Обточка якорей	1	28,88	6,69	2	2
16	Продорожка коллектора	1	36,57	7,01	0	0
17	Снятие фасок коллектора	1	36,57	4,26	1	1
18	Балансировка якоря	1	19,48	5,42	0	0
19	Кантователь якорей	1	12,03	4,9	0	0
20	Выходной контроль якоря	1	12,03	6,37	0	0
21	Входной контроль остова	2	22,55	-3,23	2	0
22	Восстановление резьбовых отверстий	1	17,41	-3,22	0	0
23	Ремонт электрической части остова	1	29,2	-5,66	0	0
24	Выходной контроль остова	1	9,48	6,37	0	0
25	Комплектование и сборка ТЭД	2	-3,47	6,69	20	2
26	Выходной контроль ТЭД в сборе	1	-8,13	6,49	1	2
27	Испытания ТЭД под нагрузкой	1	-15,38	4,58	1	2
28	Передача в пропиточное отделение	1	43,31	-5,02	4	0
29	Получение из пропиточного отделения	1	43,31	3,31	0	4
30	Выдача готового двигателя из ремонта	1	-31,19	5,18	0	8
31	Изолятор брака	1	-27,1	3,5	4	4

Примечание: координаты указаны относительно геометрического центра цеха для первой позиции.

Пусть требуется произвести ремонт N штук ТЭД. Каждый объект ремонта имеет порядковый номер $k = 1, \dots, N$. Технологический цикл ремонта одного ТЭД состоит из выполнения n видов работ на рабочих местах $T(i, j), i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, k_i$. Участки $T(i, j), j = 1, \dots, k_i$ выполняют i -ый вид работ, а j – номер участка. Вместо $T(i, j)$, для краткости, иногда будем писать (i, j) .

Обозначим через $T(1, j)$ – начальные позиции транспортировки объектов ремонта в цех и $T(n, j)$ – конечные участки транспортировки отремонтированных ТЭД на склад готовой продукции.

Каждая технологическая позиция характеризуется:

- своим местом расположения, относительно некоторой начальной точки, и задан координатами $(x(i, j), y(i, j))$ в метрах;
- объемом возможного накопления $V(i, j)$ в штуках поступающих на обработку и обработанных деталей оборудования;
- индикатором состояния $S(i, j)$, принимающим значение 0, если участок может принять детали оборудования, и значение 1, если нет;
- счетчиком $L(i, j)$ числа деталей оборудования в накопителе;
- типом $G(i)$, принимающим следующие возможные значения.

В качестве $G(i)$ примем следующие значения:

- 1, если это позиция транспортировки в ремонт;
- 2, если это позиция транспортировки из ремонта;
- 3, если на позиции осуществляется либо технический контроль, либо диагностика неисправностей оборудования;
- 4, если на позиции осуществляется обработка деталей оборудования;
- 5, если на позиции осуществляется разборка оборудования;
- 6, если на позиции осуществляется сборка оборудования;
- 7, изолятор брака.

На каждой технологической позиции $T(i, j)$ последовательно выполняется n_i технологических операций $O_i = \{O(i, p), p = 1, \dots, n_i\}$ с временами выполнения

$t(i, p)$. Для краткости, вместо $O(i, p)$ будем писать (i, p) . Деление вида работ на технологические операции полностью определяется потребностью перемещения деталей краном либо на участок, либо с участка. Для участков транспортировки, обработки, технического контроля и диагностики $n_i = 1$. Для участков разборки и сборки возможно $n_i > 1$.

Обозначим через $H(i, l, p) = \{(r_1, s_1), \dots, (r_{n(i,p)}, s_{n(i,p)})\}$ множество технологических операций, результаты выполнения которых необходимо переместить на позицию i для обработки детали l при выполнении технологической операции с номером p . Если для выполнения операции ничего не надо перемещать на позицию, то значение $H(i, l, p)$ – пустое множество.

Пусть $R(i, l, p) = \{(m_1, k_1, l_1), \dots, (m_{n(i,l,p)}, k_{n(i,l,p)}, l_{n(i,l,p)})\}$ множество технологических операций, для выполнения которых необходимо перемещение с позиции i результата выполнения (детали оборудования) операции с номером p при обработке детали с номером l . Если после выполнения операции ничего не надо перемещать с позиции, то $R(i, l, p)$ – пустое множество.

В этом случае пара отображений (H, R) и начальный участок i задают программу ремонта. В таблице 5.6 и 5.7 приведены значения данных отображений для различных типов технологических позиций электромашиного цеха.

Таблица 5.6 – Отображения данных для позиций разборки и сборки оборудования (составлено автором)

Тип участка	$H(i, l, 1)$	$H(i, l, p),$ $2 \leq p \leq n_{il}$	$R(i, l, p),$ $1 \leq p \leq n_{il} - 1$	$R(i, l, n_{il})$
Разборка	(r_1, k_1, s_1)	$\emptyset$	(m_p, k_p, l_p)	$\{(m_{n_{il}}, k_{n_{il}}, l_{n_{il}}), (m_{n_{il}+1}, k_{n_{il}+1}, l_{n_{il}+1})\}$
Сборка	$\{(r_1, k_1, s_1), (r_2, k_2, s_2)\}$	$(r_{p+1}, k_{p+1}, s_{p+1})$	$\emptyset$	(m_1, k_1, l_1)

Таблица 5.7 – Отображения данных для позиций транспортировки, контроля и ремонта оборудования (составлено автором)

Тип участка	$H(i, l, 1)$	$R(i, l, 1)$
Транспортировка в ремонт	$\emptyset$	(m_1, k_1, l_1)
Транспортировка из ремонта	(r_1, k_1, s_1)	$\emptyset$
Обработка	(r_1, k_1, s_1)	(m_1, k_1, l_1)
Технический контроль и диагностика	(r_1, k_1, s_1)	Случайная величина со множеством значений $\{(m_1, k_1, l_1), \dots, (m_{n(i, l, 1)}, k_{n(i, l, 1)}, l_{n(i, l, 1)})\}$ и возможным изменением дальнейшей программы ремонта
Комплектация	$\{(r_1, k_1, s_1), \dots, (r_m, k_m, s_m)\}$	(m_1, k_1, l_1)

Все заявки на выполнение имеют порядковый номер и хранятся в структуре Z . При формировании заявки Z_d заполняются следующие поля:

- 1) момент времени поступления заявки t_d ;
- 2) признак возможности выполнения $pd_d = 0$ (если выполнение заявки возможно в текущий момент времени, то $pd_d = 1$);
- 3) признак полного выполнения заявки $pw_d = 0$ (если заявка полностью выполнена, то $pw_d = 1$);
- 4) момент времени полного выполнения заявки $tw_d = 0$ (в момент формирования заявки не определен);
- 5) номер ремонтируемого изделия k_d ;
- 6) технологическая операция (i_d, p_d) , результат которой требует перемещения;
- 7) номер участка j_d , на котором выполнена операция;
- 8) технологическая операция (m_d, l_d) , для которой требуется перемещение детали;
- 9) номер участка $s_d = 0$, на который будет перемещена деталь (в момент формирования заявки не определен);

10) индикатор места нахождения детали $pl_d = 1$ (деталь находится на участке (i_d, j_d)).

11) номер $ni_d = 0$ в накопителе участка (i_d, j_d) (в момент формирования заявки не определен).

12) номер $nm_d = 0$ в накопителе участка (m_d, s_d) (в момент формирования заявки не определен).

Заявки упорядочены по времени поступления. В начальный момент времени $t = 0$ структура содержит k_1 заявок $Z_d, d = 1, \dots, k_1$ на перемещение оборудования с позиций транспортировки в ремонт. При полном или частичном выполнении заявки меняется текущее время, формируются новые заявки и изменяется допустимое для выполнения подмножество заявок.

Далее, по выбранному алгоритму (система приоритетов), из допустимого множества заявок выбирается самая важная и выполняется полностью или частично. Если заявок, с временем меньше или равным текущему нет, то текущее время увеличивается до ближайшего времени поступления заявки. Если заявок вовсе нет, то алгоритм завершает работу.

После выполнения каждой заявки изменяется текущее время t . В начальный момент оно равно нулю. Если выполнена заявка (с временем поступления меньшим или равным текущему), то к текущему времени прибавляется время выполнения. Время выполнения заявки складывается из времени прибытия крана в точку выполнения; времени опускания, зацепления и подъема; времени транспортировки, опускания и отцепления. Время опускания, зацепления, отцепления и подъема постоянны. Время движения к началу транспортировки и самой транспортировки зависят от точки нахождения крана, начального и конечного пункта транспортировки, средней скорости крана.

После изменения текущего времени из заявок с временем поступления меньше или равным текущему выбирается допустимое множество по следующим правилам:

- для перемещения на все участки (кроме сборки) участок должен быть свободным;

- для перемещения на участок сборки i детали с номером k для технологической операции (i, p) , нужно чтобы либо $p=1$ и участок свободен, либо была выполнена заявка, для которой $(m_d, l_d) = H(i, p-1)$ и $k_d = k$.

При невозможности полного выполнения заявки в текущий момент времени она может быть выполнена частично. Либо деталь будет перемещена в накопитель участка (i_d, j_d) , либо будет выбран номер участка s_d , на который должна быть перемещена деталь, и деталь будет перемещена в накопитель участка (m_d, s_d) .

В первом случае, устанавливаются значение индикатора $pl_d = 2$ и номер $ni_d = L(i_d, j_d) + 1$ и счетчик увеличивается на единицу. Во втором случае, устанавливаются $pl_d = 3$ и $nw_d = L(m_d, l_d) + 1$ и счетчик увеличивается на единицу. В первом случае, возможно, в дальнейшем, перемещение детали в накопитель некоторого участка (m_d, s_d) .

При частичном выполнении заявки новых заявок не возникает, но может измениться допустимое для выполнения множество заявок. Во-первых меняется текущее время, а во-вторых участок может освободиться, если для некоторого i выполнено $(i_d, p_d) = (i, n_i)$ и полностью или частично выполнены все заявки на перемещение с участка деталей с номером k_d для выполнения технологических операций из $R(i, n_i)$.

При полном выполнении заявки осуществляется заполнение следующих информационных полей:

- номер участка s_d , на который перемещена деталь;
- время завершения выполнения заявки $tw_d = t$;
- признак полного выполнения заявки $pw_d = 1$.

Новые заявки могут формироваться в случае, если $R(m_{d-1}, l_{d-1}) \neq \emptyset$ и полностью выполнены заявки на перемещение результатов технологических операций из $H(m_{d-1}, l_{d-1})$ для деталей с номером k_{d-1} на рабочее место (m_{d-1}, s_{d-1}) . В этом случае, при выполнении заявки Z_{d-1} формируется заявки Z_d со следующими информационными полями:

- $t_d = t + t(m_{d-1}, z_{d-1}, l_{d-1})$;
- $k_d = k_{d-1}$;
- $(i_d, r_d, p_d) = (m_{d-1}, z_{d-1}, l_{d-1})$;
- $j_d = s_{d-1}$;
- $(m_d, z_d, l_d) \in R(m_{d-1}, z_{d-1}, l_{d-1})$.

При формировании заявок время поступления получается из текущего прибавлением времени выполнения технологических операций.

Изменение допустимого для выполнения множества заявок происходит следующим образом. Пусть выполнена заявка Z_{d-1} . Во-первых, добавляются заявки из-за увеличения текущего времени. Во-вторых, может одна позиция освободиться, а другая стать занятой. В-третьих, при выполнении заявки перемещения детали на позицию сборки может стать возможной следующая операция сборки (заявки по перемещению результатов операций из $H(m_{d-1}, z_{d-1}, l_{d-1})$ выполнены и $H(m_{d-1}, z_{d-1}, l_{d-1} + 1)$ определено).

Модель реализована в системе MATLAB (Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2012614449 от 18 мая 2012 г) [194]. Результаты имитационного моделирования представлены в таблицах 5.8 – 5.11 и в графической форме на рисунках 5.17, 5.18.

Таблица 5.8 – Статистическая оценка работы технологической системы

Наименование показателя, единица измерения	среднее значение	стандартное отклонение
Дальность единичного перемещения, м	40,4	27,37
Работа крана за цикл ремонта одного ТЭД, $10^3 \text{т} \cdot \text{км}$	1,43	0,364
Суммарная дальность маршрутов перемещения за цикл ремонта одного ТЭД, м	1811	490
Коэффициент использования крана, %	74,3	-
Доля полезного использования крана (движение с грузом), %	68	-
Средний коэффициент использования технологического оборудования, %	10,48	9,63
Время технологического цикла ремонта ТЭД, ч.	61	20
Сменная производительность цеха, ед.	3,1	-
Время ожидания цехового крана, мин.	9,71	9,16
Длина очереди заявок на обслуживание краном, ед.	1,76	

Таблица 5.9 – Коэффициенты использования технологических позиций

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$k_{и}, \%$	6	10	7	16	0	8	9	19	11	7	13	0	2	0	13	30
i	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
$k_{и}, \%$	35	17	1	5	24	0	8	9	19	16	30	4	0	5	0	

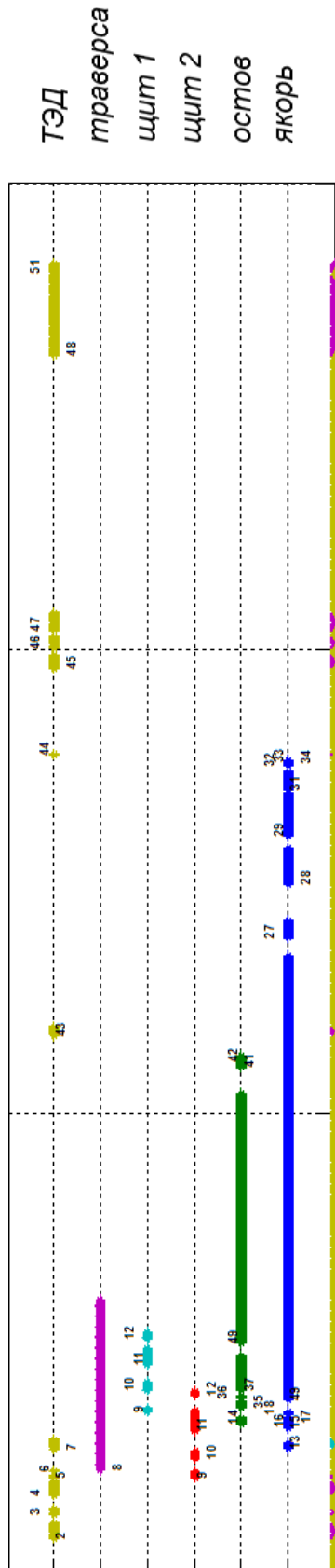
Таблица 5.10 – Время ожидания обслуживания цеховым краном

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$t_{ожт}, \text{мин.}$	3,9	6,5	6,2	9,1	9,6	11,4	11,8	11,7	9,8	11,3	11,6	0,0	6,2	0,00	10,1	10,0
i	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
$t_{ожт}, \text{мин.}$	6,2	7,7	8,8	8,9	8,7	8,6	11,8	12,3	12,8	7,7	10,6	0,0	0,0	0,00	0,0	

Примечание: i – условный номер позиции по таблице 5.5.

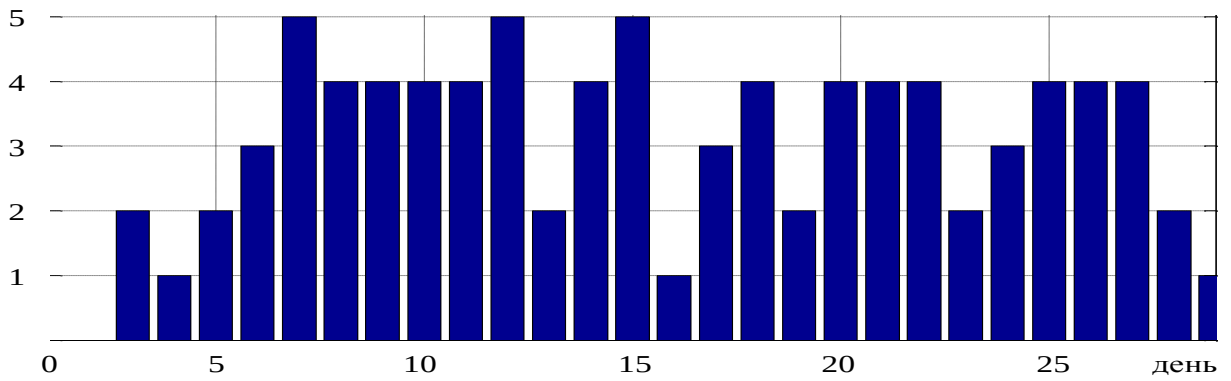
Таблица 5.11 – Максимальный размер входящей очереди in_k и исходящей очереди out_k в накопителях позиций

i	v_1	v_2	$\max\{in_k\}$	$\text{mean}(in_k)$	$\text{std}(in_k)$	$\max\{out_k\}$	$\text{mean}(out_k)$	$\text{std}(out_k)$
1	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	8	0	3	0,79	0,96	0,00	0,00	0,00
3	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	4	4	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	2	2	1	0,61	0,50	1,00	0,29	0,46
7	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	2	0	1	0,14	0,36	0,00	0,00	0,00
9	2	2	2	0,64	0,62	0,00	0,00	0,00
10	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	1	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	2	2	2	0,39	0,57	1,00	0,46	0,51
16	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	1	1	1	0,50	0,51	0,00	0,00	0,00
18	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	2	0	1	0,07	0,26	0,00	0,00	0,00
22	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	20	2	18	14,07	2,34	2,00	0,25	0,65
26	1	2	1	0,93	0,26	1,00	0,07	0,26
27	1	2	0	0,00	0,00	1,00	0,04	0,19
28	4	0	2	1,00	0,27	0,00	0,00	0,00
29	0	4	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	8	0	1	0,75	0,44	0,00	0,00	0,00
31	4	4	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

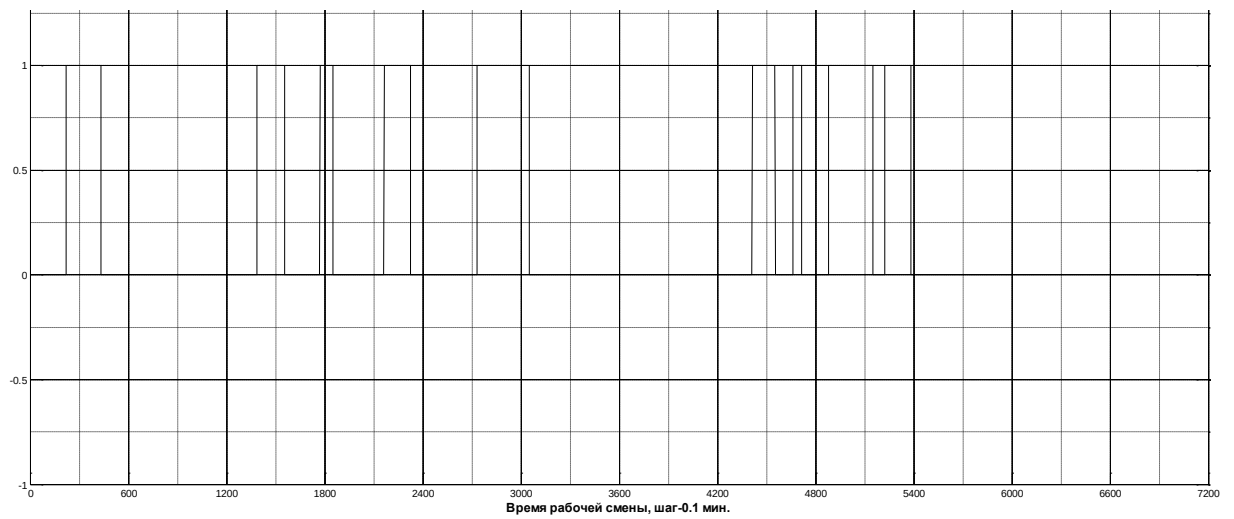


1. Доставка ТЭД в цех	19. Замена внутреннего кольца подшипника	37. Проверка электрической части остова
2. Очистка ТЭД	20. Наплавка подшипникового щита	38. Восстановление резьбовых отверстий
3. Входной контроль	21. Наплавка конуса вала якоря	39. Ремонт электрической части остова
4. Демонтаж подшипникового щита 1	22. Замена банджа якоря	40. Ремонт полусной системы остова
5. Демонтаж траверсы	23. Обточка щита перед наплавкой	41. Проверка качества изоляции остова
6. Выемка якоря	24. Обточка щита после наплавки	42. НК полусной системы после ремонта
7. Демонтаж подшипникового щита 2	25. Обточка вала якоря перед наплавкой	43. Установка подшипникового щита 2
8. Ремонт траверсы	26. Обточка вала якоря после наплавки	44. Установка якоря ТЭД при сборке
9. Демонтаж подшипника из щита	27. Обточка коллектора	45. Установка траверсы при сборке ТЭД
10. Мойка подшипникового щита	28. Продорожка коллектора	46. Установка подшипникового щита 1
11. Диагностика и ремонт подш. щита	29. Снятие фасок	47. Выходной контроль ТЭД в сборе
12. Сборка подшипникового щита	30. Шлифовка и накатка коллектора	48. Испытания ТЭД под нагрузкой
13. Очистка якоря	31. Балансировка якоря	49. Передача в пропиточное отделение
14. Очистка остова	32. Поворот якоря в кантователе	50. Получение из пропиточного отделения
15. Входной контроль обмоток якоря	33. Проверка качества изоляции якоря	51. Выдача готового двигателя из ремонта
16. НК внутреннего кольца подшипника	34. Выходной контроль обработки коллектора	52. Передача двигателя в изолятор брака
17. НК вала якоря	35. Входной контроль остова	
18. Проверка качества банджа якоря	36. Проверка остова на необход. наплавки	

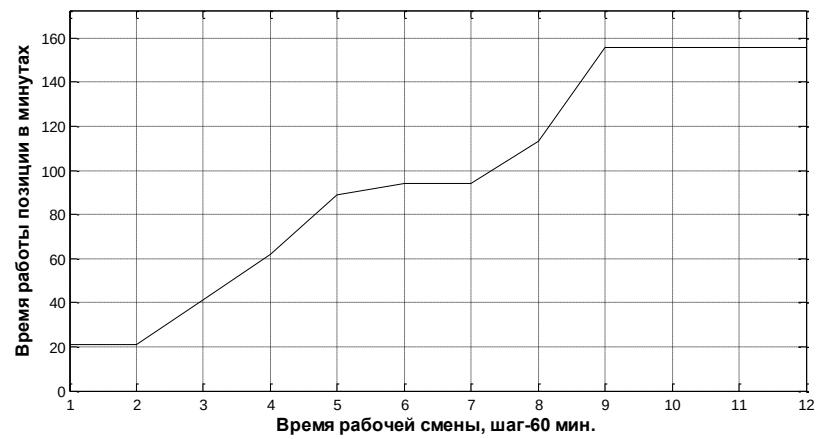
Рисунок 5.15 – График технологического процесса ремонта ТЭД на 10 –й день
(составлено по результатам имитационного моделирования)



а)



б)



в)

Рисунок 5.16 – Примеры графического представления результатов имитационного моделирования: а) производительность цеха, ТЭД в день; в, г) график и суммарное время работы позиции сборки ТЭД в 10-й день моделирования соответственно

На рисунке 5.17 представлены результаты серии вычислительных экспериментов по определению оптимального количества объектов ремонта, одновременно задействованных в производственном процессе, для достижения наибольшей производительности системы при сохранении в допустимых пределах времени цикла ремонта и очередей в накопителях.

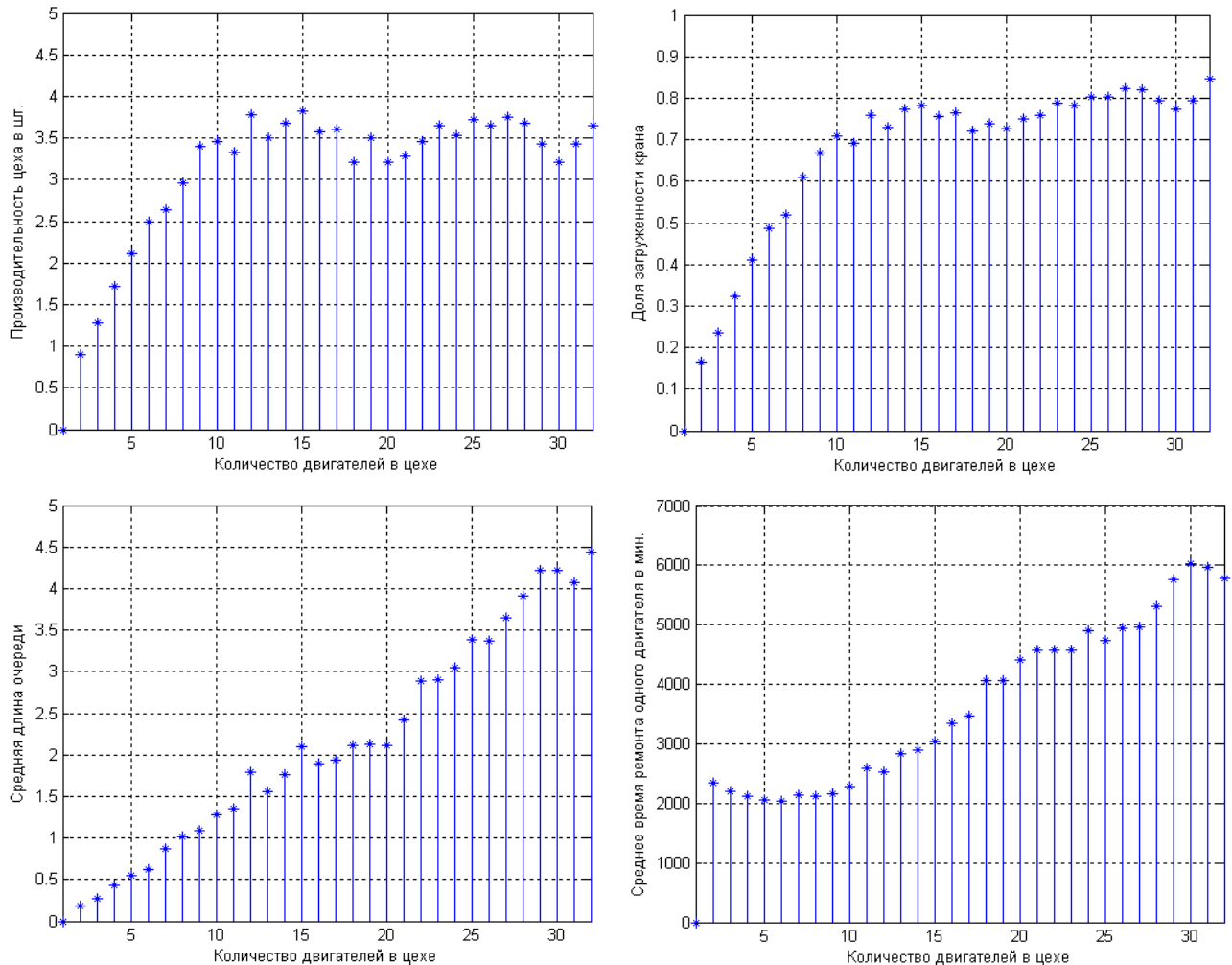


Рисунок 5.17 – Параметры работы электромашинного цеха по результатам моделирования при различном объеме незавершенного производства

Благодаря имитационному моделированию могут быть получены границы оптимального объема незавершенного производства для достижения максимальной производительности технологической системы при заданных ограничениях по времени ремонта. Для рассматриваемого примера эти границы

составили $(2,5 - 3)p$ и $(1,5 - 1,7)p$ соответственно, где p – производительность лимитирующего оборудования (единиц в день).

Важно отметить нелинейный характер зависимости производственной мощности технологической системы от производительности основного технологического оборудования. Нелинейность обусловлена ограничениями со стороны транспортной системы и прогрессивным возрастанием непроизводительных затрат. В рассматриваемом примере, при повышении производительности оборудования в два раза наблюдался прирост мощности цеха на 30 % (рисунок 5.18).

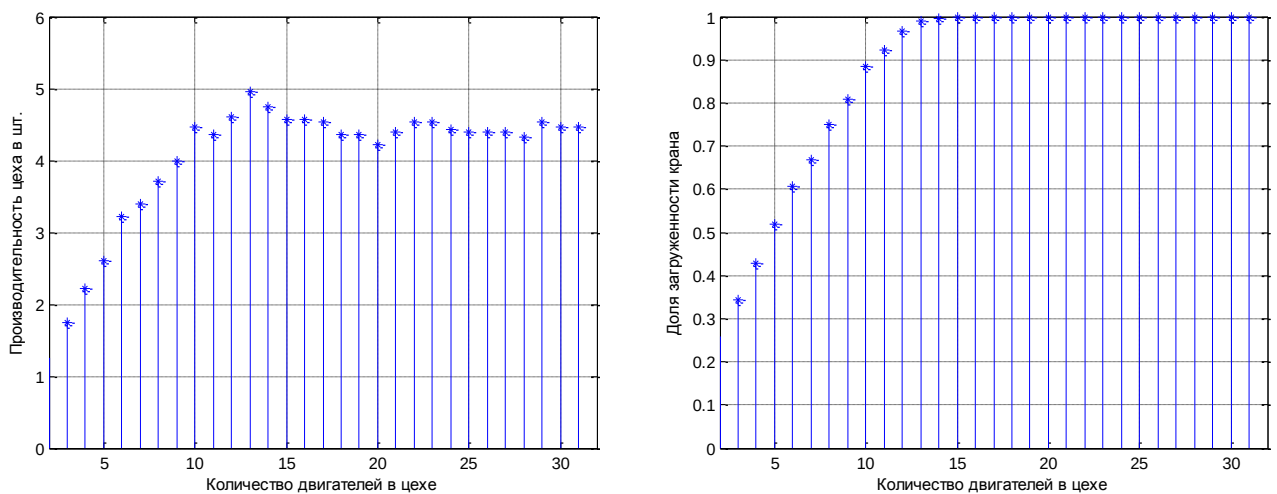


Рисунок 5.18 – Параметры работы после установки дополнительных единиц оборудования по лимитирующим позициям

Кроме непосредственно оптимизации проектных решений, с использованием созданных моделей может исследоваться широкий круг проблем по оценке влияния на показатели работы предприятия процессов производственной логистики и материально-технического снабжения, организации системы контроля качества ремонта, методов управления технологическим процессом производства. На практике решены задачи по оценке качества и оптимизации проектных решений ряда реконструируемых и строящихся предприятий локомотивного и вагонного хозяйства России и Казахстана (акты внедрения представлены в приложении А).

5.5. Выводы по главе 5

1. Разработаны методология моделирования технологических процессов ремонта и ТО подвижного состава на основе модульного принципа паттерновых сетей. Основным понятием теории паттернов является понятие абстрактной образующей (паттернового модуля) и неотделимых от нее связей. Паттерновые сети строятся из образующих, путем попарного объединения связей различных образующих в связки. Множество всех образующих называется составом сети, а множество всех связок – структурой.

Модель реальной модульной системы строится путем попарного объединения связей в связки из образующих. В случае технологической сети образующие являются технологическими операциями. Количество входящих и исходящих связей образующей определяется типом операции и их последовательностью.

Методология может быть описана следующими основными положениями:

- структурной и информационной основой моделирования является конкретная паттерновая сеть, формируемая на основании формализованного описания технологического процесса ремонта подвижного состава;
- время изменяется дискретно, при каждом изменении времени обновляются значения переменных и, тем самым, определяется новая ассоциированная сеть;
- время изменяется в моменты разъединения хотя бы одной связки ассоциированной сети;
- разъединение связок происходит при перемещении узла или детали объекта ремонта с одной рабочей позиции на другую и, в свою очередь, вызывает выполнение технологических операций и соединение других связок;
- при перемещении деталей используются общие производственные ресурсы (например, мостовой кран).

2. Выполнен синтез классов элементарных объектов регулярных конфигураций паттерновых модулей, характерных для технологических

процессов ремонта и ТО подвижного состава. Предложен принцип модульного построения модели технологической системы в виде стандартных фрагментов – регулярных конфигураций, составленных из комбинаций элементарных паттерновых модулей.

На основе предложенной классификации паттерновых модулей созданы имитационные модели для основных традиционных и перспективных форм организации ремонтного производства: стационарной, цеховой, жесткой поточной, поточной с гибким маневрированием.

3. Разработан алгоритм создания имитационных моделей технологических систем предприятий по ремонту подвижного состава с использованием модульного принципа паттерновых сетей. Предложена функциональная схема построения имитационных моделей, обеспечивающая динамическое формирование ассоциированных паттерновых сетей в процессе имитационного эксперимента, включающая в себя генератор модельного времени, модули управления заявками, хранения информации и формирования отчетов.

4. Разработаны информационная структура модели, содержащая информацию о рабочих позициях, технологических операциях, заявках на перемещение и параметрах имитационного эксперимента, и алгоритм динамического имитационного моделирования технологических процессов ремонта и ТО подвижного состава на основе принципа «особых состояний», суть которого заключается в дискретном изменении времени и состояния моделируемой системы в момент разрыва или соединения хотя бы одной из связей ассоциированной паттерновой сети.

5. Выполнена классификация статистических показателей функционирования технологических систем предприятий по ремонту и ТО подвижного состава, на основании которой выбраны критерии оценки качества технологических проектных решений, получены соответствующие расчетные выражения и алгоритмы для их вычисления по результатам имитационного моделирования.

Для оценки качества частных проектных решений отдельных подсистем и элементов технологической системы введен интегральный критерий – показатель структурной эффективности и предложен алгоритм его расчета.

Показатель рассчитывается по результатам серии вычислительных экспериментов как отношение производительности технологической системы при заданных параметрах исследуемой подсистемы к производительности с «идеальной» подсистемой.

6. Описан алгоритм оптимизация параметров действующих технологических систем предприятий по ремонту и ТО подвижного состава методами имитационного моделирования, позволяющий выбрать оптимальные значения параметров работы элементов и подсистем в зависимости от фактических внешних и внутренних условий, оценить потенциал повышения эффективности и целесообразность модернизации предприятия.

7. Проведены вычислительные эксперименты по исследованию ранее малоизученных вопросов влияния на показатели функционирования предприятия подсистем производственной логистики, управления и контроля качества. В частности выявлен факт нелинейной зависимости прироста производственной мощности технологической системы от увеличения производительности основного оборудования. Как показала серия вычислительных экспериментов, это обусловлено прогрессивным возрастанием непроизводительных затрат и ограничениями со стороны транспортной системы.

8. На практике с использованием разработанной методологии имитационного моделирования решены задачи по оптимизации технологических проектов ряда реконструируемых и строящихся предприятий локомотивного и вагонного хозяйства России и Казахстана. Результаты подтверждены соответствующими актами внедрения.

9. Применение модульного принципа паттерновых сетей позволяет формализовать создание имитационных моделей, обеспечить преемственность их алгоритмической и информационной структуры тем самым сократив сроки и трудоемкость создания моделей.

6. ОПТИМИЗАЦИЯ И ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТОВ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

По данным ОАО «РЖД» затраты на модернизацию и реконструкцию одного крупного ремонтного депо составляют в среднем около 200 – 250 млн. руб. в вагонном и до 1 – 1,5 млрд. руб. в локомотивном хозяйствах. Рост проектной мощности вагоноремонтного депо на каждую 1000 вагонов в год обходится в среднем около 60 – 70 млн. рублей без учета затрат на проектно-изыскательские работы [3].

Значительный объем финансовых вложений и длительный срок реализации проектов модернизации и реконструкции требует особо тщательного анализа планов технического перевооружения, с целью выбора оптимального варианта, обеспечивающего получение максимальной выгоды компании на единицу финансовых вложений.

Как уже отмечалось ранее, процесс технологического проектирования, по сути, является многовариантным и предполагает наличие альтернатив. Выбор варианта модернизации каждого конкретного предприятия во многом определяется возможным объемом инвестиций, целями модернизации и критериями оценки эффективности инвестиций. Общепринятые критерии экономической эффективности инвестиций (см., например, [292]), такие, как период окупаемости, чистая приведенная стоимость, индекс рентабельности, внутренняя норма прибыли и т.п., позволяют однозначно оценить эффективность каждого из вариантов и выбрать наиболее предпочтительный для последующей реализации.

Однако, количество возможных вариантов модернизации предприятия даже при заданном объеме инвестиций очень велико. Технически сложно провести финансовый анализ всех возможных вариантов.

В рамках диссертационной работы разработана методика предварительного отбора вариантов технологической модернизации предприятия на основе целевой функции полезности и их последующего технико-экономического анализа.

6.1. Выбор оптимального плана технологической модернизации предприятия для заданных объемов финансирования проекта

6.1.1. Математическая модель объекта модернизации

Исходными данными для формирования математической модели модернизации технологической системы предприятия является набор из n основных технологических операций, их характеристики в зависимости от используемого оборудования, а также характеристики самого оборудования. Под модернизацией операции будем понимать частичную или полную замену технологического оборудования с выбором одного из вариантов замены. Возможные варианты замены оборудования для каждой технологической операции подбираются на основании маркетинговых исследований предложений на рынке отечественных и зарубежных производителей [211].

Любой возможный план модернизации технологической системы предприятия задается матрицей X размера $n \times k$

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1k} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{ik} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nj} & \dots & x_{nk} \end{pmatrix}, \quad (6.1)$$

где $x_{ij} = 0, 1$.

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 $k = \max\{k_1, \dots, k_n\}$. Поэтому, в каждой строке матрицы X только один элемент

отличен от нуля, точнее $\sum_{j=1}^{k_i} x_{ij} = 1, \quad i = 1, \dots, n$. Так как $x_{ij} = 0$ при значениях $j > k_i$, то

получаем еще одно ограничение на элементы матрицы $\sum_{i=1}^n \sum_{j=k_i+1}^k x_{ij} = 0$.

Обозначим через X_0 матрицу размера $n \times k$ у которой первый столбец состоит из единиц, а все остальные столбцы нулевые

$$X_0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 1 & 0 & \dots & \dots & 0 \end{pmatrix}^{n \times k}. \quad (6.2)$$

где $x_{i1} = 1, i = 1, 2, \dots, n$, $x_{ij} = 0, i = 1, 2, \dots, n, j \geq 2$.

Матрица X_0 соответствует состоянию предприятия до модернизации.

Для нераздельно связанных технологических операций (замена оборудования на одной позиции или участке требует обязательной замены на другой) введем понятие технологической последовательности (цикла), для описания которых воспользуемся наборами пар $I_p = \{(i_1^p, j_1^p), (i_2^p, j_2^p), \dots, (i_{s_p}^p, j_{s_p}^p)\}$, $p = 1, \dots, l$, где первые индексы в парах попарно различны, а вторые индексы больше 1. Элементы матрицы X , соответствующие наборам I_p , должны быть равными, т.е. либо все они нули, либо единицы одновременно. Запишем это условие в виде ограничений на элементы матрицы X следующим образом:

$$\sum_{k=2}^{s_p} x_{i_k^p j_k^p} = (s_p - 1) \cdot x_{i_1^p j_1^p}, p = 1, \dots, l. \quad (6.3)$$

Каждой характеристике технологических операций сопоставим матрицу $H_m, m = 1, 2, \dots, s$ размера $n \times k$:

$$H_m = \begin{pmatrix} h_{11}^m & h_{12}^m & \dots & h_{ij}^m & \dots & h_{1k}^m \\ h_{21}^m & h_{22}^m & \dots & h_{2j}^m & \dots & h_{2k}^m \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{i1}^m & h_{i2}^m & \dots & h_{ij}^m & \dots & h_{ik}^m \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{n1}^m & h_{n2}^m & \dots & h_{nj}^m & \dots & h_{nk}^m \end{pmatrix}, \quad h_{ij}^m = 0, j > k_i \quad (6.4)$$

где h_{ij}^m – значение m -ой характеристики для i -ой технологической операции при j -ом варианте замены оборудования (количественная или качественная оценка); элементы матриц с индексами (i, j) , $j > k_i$ равны нулю.

Состав характеристик технологических операций определяется целями исследования, особенностями технологического процесса и применяемого оборудования. Ниже представлен возможный перечень характеристик, наиболее полно отражающий различные свойства технологического процесса ремонта.

Количественные характеристики себестоимости и производительности:

- 1) H_1 – себестоимость выполнения технологической операции, руб.;
- 2) H_2 – время выполнения технологической операции, минут.

При формировании параметров себестоимости учитываются

Характеристики, определяющие технический уровень, экологичность и безопасность производства:

- 3) H_3 – уровень технологии.

Возможные значения $0 \leq h_{ij}^3 \leq 1$:

0 – оборудование морально устарело; 1 – оборудование соответствует передовому технологическому уровню.

Назначение h_{ij}^3 производится экспертным методом на основании сравнения с оборудованием аналогичного класса, используемым на предприятиях по ремонту и ТО подвижного состава в технологически развитых странах мира.

- 4) H_4 – использование в технологии экологически вредных или потенциально опасных для жизни и здоровья людей веществ и материалов.

Возможные значения $h_{ij}^4 = 0, 1$:

0 – потенциальная опасность отсутствует – экологии, жизни и здоровью людей ничего не угрожает при любом возможном состоянии оборудования и технологии его использования;

1 – возможно отрицательное воздействие на экологию, жизнь и здоровье людей в случае неисправности оборудования, нарушения технологии использования и т.д.

Характеристики, определяющие качество выпускаемой продукции:

5) H_5 – качество выполнения технологической операции.

Возможные значения $h_{ij}^5 = 0, 1, 2, 3, 4$:

0 – качество не устраивает, требуются безотлагательные меры;

1 – качество удовлетворительное, улучшения желательны;

2 – качество хорошее, улучшения возможны;

3 – качество отличное, улучшения не требуются.

Под качеством выполнения технологической операции подразумевается условная оценка удовлетворенности внутренних и внешних потребителей технологических операций, выполняемых на данном оборудовании.

6) H_6 – влияние человеческого фактора в обеспечении качества выполнения технологической операции.

Возможные значения $h_{ij}^6 = 0, 1, 2$:

0 – процесс полностью автоматизирован;

1 – технологическая операция автоматизирована частично, оператор выполняет функции управления процессом и контролирует его качество;

2 – результат выполнения технологической операции зависит от квалификации и технологической дисциплины оператора.

Характеристики, определяющие доступность внедрения оборудования:

7) H_7 – требования к уровню квалификации оператора при выполнении технологической операции.

Возможные значения $h_{ij}^7 = 0, 1, 2, 3$:

0 – специальные навыки и знания не требуются;

1 – требуются профессиональные навыки для работы на оборудовании;

2 – требуются профессиональные навыки и глубокие технические знания;

3 – для получения необходимых навыков работы на оборудовании требуется дополнительная подготовка на учебных курсах в условиях специализированного учебного центра.

8) H_8 – ремонтпригодность технологического оборудования.

Возможные значения $h_{ij}^8 = 0, 1, 2, 3, 4$:

0 – плановое техническое обслуживание или ремонт не требуются;

1 – ТО, текущий и капитальный ремонт выполняются своими силами;

2 – капитальный ремонт производит сторонняя организация;

3 –ТО и ремонт производятся с использованием ремонтных заводских комплектов, приобретаемых у завода-изготовителя;

4 – предполагается фирменное обслуживание оборудования.

Для вычисления общих качественных характеристик производства, например, качества выполнения технологических операций по группе оборудования, воспользуемся матрицей масштабных коэффициентов G размера $n \times s$

$$G = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} & \dots & g_{1m} & \dots & g_{1s} \\ g_{21} & g_{22} & \dots & g_{2m} & \dots & g_{2s} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ g_{i1} & g_{i2} & \dots & g_{im} & \dots & g_{is} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ g_{n1} & g_{n2} & \dots & g_{nm} & \dots & g_{ns} \end{pmatrix}, \quad (6.5)$$

где g_{im} – степень важности i -ой технологической операции для улучшения m -ой качественной характеристики производства.

Условия формирования элементов матрицы G будут описываться следующим выражением:

$$g_{im} \begin{cases} 0 < g_{im} \leq 1, \text{ для качественных характеристик производства,} \\ 1, \text{ для количественных характеристик производства.} \end{cases} \quad (6.6)$$

При заданном плане модернизации X можно определить общие характеристики производства после модернизации предприятия следующим образом:

$$H_m(X) = \sum_{i,j} g_{im} \cdot h_{ij}^m \cdot x_{ij}, m=1,2,...,s. \quad (6.6)$$

Пусть

$$a_m = \min_X H_m(X) = \sum_i g_{im} \cdot \min_j h_{ij}^m, \quad (6.7)$$

$$b_m = \max_X H_m(X) = \sum_i g_{im} \cdot \max_j h_{ij}^m. \quad (6.8)$$

Тогда диапазоны изменения характеристик $H_m, m=1,2,...,s$ представляют собою отрезки $[a_m, b_m]$. Диапазоны изменения характеристик могут сильно различаться между собою, поэтому рассмотрим нормированные характеристики

$$R_m(X) = \frac{H_m(X) - a_m}{b_m - a_m}, m=1,2,...,s. \quad (6.9)$$

Диапазон изменения каждой нормированной характеристики отрезок $[0,1]$.

6.1.2. Постановка оптимизационной задачи

Для каждого варианта модернизации X можно рассчитать приращения нормированных характеристик производства

$$\Delta_m(X) = R_m(X) - R_m(X_0), m=1,2,...,s. \quad (6.10)$$

Таким образом, для каждого варианта модернизации определен вектор приращения общих нормированных характеристик производства $\Delta(X) = (\Delta_1(X), \Delta_2(X), ..., \Delta_s(X))$. Все координаты данного вектора удовлетворяют условию $-1 \leq \Delta_m(X) \leq 1$.

Положительное направление вектора $\Delta(X)$ описывается сигнатурой $q = (q_1, q_2, ..., q_s)$, 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.

Исходя из *целей модернизации* предприятия, для каждой общей характеристики производства введем вес w_m . Чем большее значение придается характеристике производства, тем больше соответствующее значение w_m . Веса позволяют количественно задать приоритетные направления технологического перевооружения предприятия (стратегию модернизации):

- 1) снижение себестоимости ремонта подвижного состава;
- 2) обеспечение наилучшего качества ремонта;
- 3) повышение технического уровня 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 $\Delta(X)$.

Использование того или иного варианта определяется фактическим состоянием производственного комплекса предприятия на момент планирования инвестиций и ожидаемой рыночной ситуацией по завершению проекта.

Теперь можно определить целевую функцию оптимизационной задачи как скалярное произведение векторов

$$F(X) = d \cdot \Delta(X) \quad (6.11)$$

и сформулировать задачу целочисленного программирования, как нахождение минимума целевой функции

$$F(X) \rightarrow \min \quad (6.12)$$

при следующих ограничениях:

а) ограничение на объем инвестиций

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=2}^k s_{ij} x_{ij} \leq I, \quad (6.13)$$

где s_{ij} – стоимость оборудования для i -ой технологической операции и

j -го варианта замены оборудования, I – заданный объем инвестиций;

б) ограничения на матрицу плана модернизации:

$$\sum_{j=1}^{k_i} x_{ij} = 1, \quad i = 1, \dots, n; \quad (6.14)$$

$$x_{ij} = 0, \quad i = 1, \dots, n; \quad j = k_i + 1, \dots, k; \quad (6.15)$$

$$\sum_{k=2}^{s_p} x_{i_k^p j_k^p} = (s_p - 1) \cdot x_{i_1^p j_1^p}, \quad p = 1, \dots, l; \quad (6.16)$$

в) ограничения на значения переменных

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, k. \quad (6.17)$$

Сформулированная задача целочисленного программирования может быть решена с помощью метода ветвей и границ. На каждом шаге решения формулируется задача линейного программирования с ослабленными ограничениями на переменные $0 \leq x_{ij} \leq 1, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, k$. Для решения может быть использован один из общедоступных пакетов математических программ, например MATLAB.

Для предложенного ранее набора характеристик положительное направление вектора приращения $\Delta(X)$ общих нормированных характеристик производства определяется сигнатурой $q = (1, 1, -1, -1, 1, -1, 1)$.

Пусть $Z(I)$ – решение задачи (1) для ряда различных объемов инвестиций I . Для каждого значения I вычисляются относительные значения общих характеристик

$$T_m(Z(I)) = \frac{H_m(Z(I))}{H_m(X_0)}, \quad m = 1, \dots, s \quad (6.17)$$

и рассчитываются относительные изменения общих характеристик производства

$$\delta_m(Z(I)) = T_m(Z(I)) - 1, \quad m = 1, \dots, s. \quad (6.18)$$

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

Для более детального анализа плана модернизации удобно использовать показатели относительных изменений общих характеристик по группам

технологических операций, например, выполняемые в одном или нескольких структурных подразделениях предприятия, или технологические операции со степенью важности в обеспечении эксплуатационной надежности подвижного состава.

Например, среди всех операций по степени важности могут быть выделены две группы: существенная и определяющая. Отнесение операции к конкретной группе производится методами менеджмента качества на основании анализа причин отказов подвижного состава в гарантийный послеремонтный период.

Допустим, что выделена группа технологических операций, т.е. задан вектор $y = (y_1, \dots, y_n)$, где $y_i = 1$, если i -ая операция входит в группу и $y_i = 0$, если i -ая операция не входит в выделенную группу. Тогда расчеты можно провести по формуле

$$\delta_m^y(Z(I)) = T_m^y(Z(I)) - 1, m = 1, \dots, s, \quad (6.19)$$

где

$$T_m^y(Z(I)) = \frac{H_m^y(Z(I))}{H_m^y(X_0)} = \frac{\sum_{i,j} y_i \cdot g_{im} h_{ij}^m \cdot z_{ij}}{\sum_i y_i \cdot g_{im} h_{i1}^m}, \quad (6.20)$$

т.е. вместо матрицы G при вычислении общих характеристик производства используется матрица,

$$Y \cdot G = \begin{pmatrix} g_{11} \cdot y_1 & g_{12} \cdot y_1 & \dots & g_{1m} \cdot y_1 & \dots & g_{1s} \cdot y_1 \\ g_{21} \cdot y_2 & g_{22} \cdot y_2 & \dots & g_{2m} \cdot y_2 & \dots & g_{2s} \cdot y_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ g_{i1} \cdot y_i & g_{i2} \cdot y_i & \dots & g_{im} \cdot y_i & \dots & g_{is} \cdot y_i \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ g_{n1} \cdot y_n & g_{n2} \cdot y_n & \dots & g_{nm} \cdot y_n & \dots & g_{ns} \cdot y_n \end{pmatrix}, \quad (6.21)$$

где Y – диагональная матрица размера $n \times n$, у которой на главной диагонали стоят числа $y_1, y_2, \dots, y_n$.

6.1.3. Построение целевой функции для различных стратегий модернизации предприятия

6.1.3.1. Снижение себестоимости ремонта подвижного состава

Показатель оценки – себестоимость единицы выпущенной продукции. При формировании целевой функции использованы количественные характеристики технологических операций: трудозатраты и затраты топливно-энергетических ресурсов на единицу выпущенной продукции.

Расчет изменения затрат на единицу продукции для i -ой технологической позиции определяется выражением:

$$dc_i = c_{i2} - c_{i1} = (a_{i2} + b_{i2} + k_{i2} \cdot s_{i2}) \cdot t_{i2} - (a_{i1} + b_{i1} + k_{i1} \cdot s_{i1}) \cdot t_{i1} \quad (6.22)$$

где c_{ij} – технологические затраты на единицу ремонта для i -ой позиции, руб.;

a_{ij} – расход ТЭР для i -ой позиции, руб./ч;

t_{ij} – время ремонта для i -ой позиции, ч.;

b_{ij} – заработная плата оператора для i -ой позиции, руб./ч.;

r_{ij} – срок службы оборудования для i -ой позиции, лет;

k_{ij} – коэффициент амортизации оборудования для i -ой позиции, 1/ч.;

s_{ij} – стоимость замены i -ой технологической позиции, тыс. руб.

Пусть $x_i = 0$ если на i -ой позиции не планируется модернизация оборудования и $x_i = 1$ если планируется. Тогда изменение себестоимости ремонта единицы подвижного состава вычисляется по формуле

$$dc(X) = \sum_i dc_i \cdot x_i. \quad (6.23)$$

Пусть I – размер планируемых инвестиций. Тогда задача бинарной оптимизации принимает вид:

$$dc(X, I) \rightarrow \min \quad (6.24)$$

с ограничением на размер инвестиций

$$\sum_i s_{i2} \cdot x_i \leq I. \quad (6.25)$$

Энергетическая эффективность проекта модернизации оценивается по удельной экономии энергоносителей на единицу ремонта, руб:

$$da(X, I) = \sum_i (a_{i2} \cdot t_{i2} - a_{i1} \cdot t_{i1}) \cdot x_i. \quad (6.23)$$

6.1.3.2. Повышение качества ремонта

Для формирования целевой функции использованы следующие характеристики оборудования: условная оценка, характеризующая степень соответствия фактического качества выполнения ожиданиям потребителя; доля человеческого фактора в обеспечении качества технологической операции.

Расчет приращения качественных характеристик производства после модернизации осуществляется для технологической системы в целом X и для двух групп оборудования Y, Z и по степени приоритетности замены для повышения качества ремонта подвижного состава.

Определение факта морального старения оборудования, $l_{ij} = 0,1$

$$l_{ij} = \begin{cases} 1, & dl_{ij} \geq k \\ 0, & dl_{ij} < k \end{cases} \quad (6.24)$$

где dl_{ij} – степень морального старения оборудования для i -ой позиции, $0 \leq d_{ij} \leq 1$;

Показатель морального старения оборудования в целом по предприятию

$$dl(X) = \frac{1}{N} \cdot \sum_i (d_{i1}(1-x_i) + d_{i2} \cdot x_i) \quad (6.25)$$

и по выделенным группам оборудования

$$dl_y(X) = \frac{\sum_i (dl_{i1}(1-x_i) + dl_{i2} \cdot x_i) \cdot y_i}{\sum_i y_i}, \quad (6.26)$$

$$dl_z(X) = \frac{\sum_i (dl_{i1}(1-x_i) + dl_{i2} \cdot x_i) \cdot z_i}{\sum_i z_i}, \quad (6.27)$$

где N – общее количество позиций; $y_i = 1$, если $g_i \geq 0.25$ и $y_i = 0$, если $g_i < 0.25$; $z_i = 1$, если $g_i \geq 0.5$ и $z_i = 0$, если $g_i < 0.5$; g_i – степень важности технологических операций, выполняемых на оборудовании в обеспечении эксплуатационной надежности подвижного состава для i -ой позиции, $0 \leq g_i \leq 1$.

Процент оборудования, соответствующего передовому техническому уровню в целом по предприятию

$$fl(X) = \frac{1}{N} \cdot \sum_i (f_{i1}(1-x_i) + f_{i2} \cdot x_i), \quad (6.28)$$

и по выделенным группам оборудования

$$fl_y(X) = \frac{\sum_i (fl_{i1}(1-x_i) + fl_{i2} \cdot x_i) \cdot y_i}{\sum_i y_i}, \quad (6.29)$$

$$fl_z(X) = \frac{\sum_i (fl_{i1}(1-x_i) + fl_{i2} \cdot x_i) \cdot z_i}{\sum_i z_i}. \quad (6.30)$$

где fl_{ij} – факт соответствия оборудования современному зарубежному технологическому уровню для i -ой позиции, $f_{ij} = 0,1$.

Процент технологических операций «отличных» по качеству в целом

$$vl(X) = \frac{1}{N} \cdot \sum_i (p_{i1}(1-x_i) + p_{i2} \cdot x_i), \quad (6.31)$$

и по выделенным группам оборудования

$$vl_y(X) = \frac{\sum_i (p_{i1}(1-x_i) \cdot y_{i1} + p_{i2} \cdot x_i \cdot y_{i2})}{\sum_i ((1-x_i) \cdot y_{i1} + x_i \cdot y_{i2})}, \quad (6.32)$$

$$vl_z(X) = \frac{\sum_i (p_{i1}(1-x_i) \cdot z_{i1} + p_{i2} \cdot x_i \cdot z_{i2})}{\sum_i ((1-x_i) \cdot z_{i1} + x_i \cdot z_{i2})}. \quad (6.33)$$

Целевая функция – линейная функция изменения нормированных характеристик с учетом степени важности операций (обобщенный показатель качества ремонта).

Обобщенный показатель качества ремонта можно оценить по следующей формуле

$$K(X) = \sum_i \left(\frac{(v_{i1} - v_{i2})(p_{2i} - p_{1i} + 1)}{5} + \frac{u_{i2} - u_{i1}}{4} \right) \cdot (g_i + 0.01) \cdot x_i, \quad (6.34)$$

где u_{ij} – доля человеческого фактора в обеспечении качества технологической операции на оборудовании для i -ой позиции, $u_{ij} = 0, 1, 2, 3, 4$; v_{ij} – качество выполнения технологической операции на оборудовании для i -ой позиции, $v_{ij} = 0, 1, 2, 3, 4, 5$.

Пусть I – размер планируемых инвестиций. Тогда задача бинарной оптимизации принимает вид:

$$K(X, I) \rightarrow \min \quad (6.35)$$

с ограничением на размер инвестиций

$$\sum_i s_{i2} \cdot x_i \leq I. \quad (6.36)$$

6.1.3.3. Повышение общего технического уровня производства

Для оптимизации использованы следующие качественные характеристики оборудования: степень морального старения оборудования, соответствие оборудования современному зарубежному технологическому уровню, уровень квалификации оператора, наличие вредных и опасных производственных факторов, показатель ремонтпригодности оборудования.

Целевая функция – обобщенный показатель условий труда и технического уровня производства:

$$T(X) = \sum_i \left(2(dl_{i1} - dl_{i2} + fl_{i1} - fl_{i2}) + \frac{h_{i1} - h_{i2} + e_{i1} - e_{i2}}{3} + \frac{q_{i2} - q_{i1}}{4} \right) \cdot (g_i + 0.01) \cdot x_i, \quad (7.37)$$

где h_{ij} – требования к квалификации оператора для i -ой позиции, $h_{ij} = 0, 1, 2, 3$;

e_{ij} – показатель ремонтпригодности оборудования i -ой позиции,
 $e_{ij} = 0, 1, 2, 3$;

q_{ij} – наличие вредных и опасных производственных факторов при выполнении технологических операций на оборудовании для i -ой позиции,
 $q_{ij} = 0, 1, 2, 3, 4$.

Задача бинарной оптимизации имеет вид:

$$T(X, I) \rightarrow \min \quad (6.38)$$

при соответствующих ограничениях на размер инвестиций и область допустимых значений переменных.

6.1.4. Примеры результатов вычислительного эксперимента

В качестве примера ниже приведены результаты расчетов для технологической системы электромашинного производства одного из заводов по ремонту электровозов ОАО «РЖД» (*акт внедрения*, приложение А).

При проведении вычислительных экспериментов в качестве исходных данных принят набор операций, соответствующих технологическому процессу капитального ремонта тяговых электрических двигателей, их количественные и качественные характеристики. При формировании количественных характеристик использованы фактические данные о параметрах технологических операций и характеристики оборудования. Назначение качественных оценок производилось экспертным методом.

Результаты моделирования представлены графиками относительных изменений характеристик производства для различных вариантов стратегии модернизации и объемов инвестиционных вложений (рисунок 6.1 – 6.3).

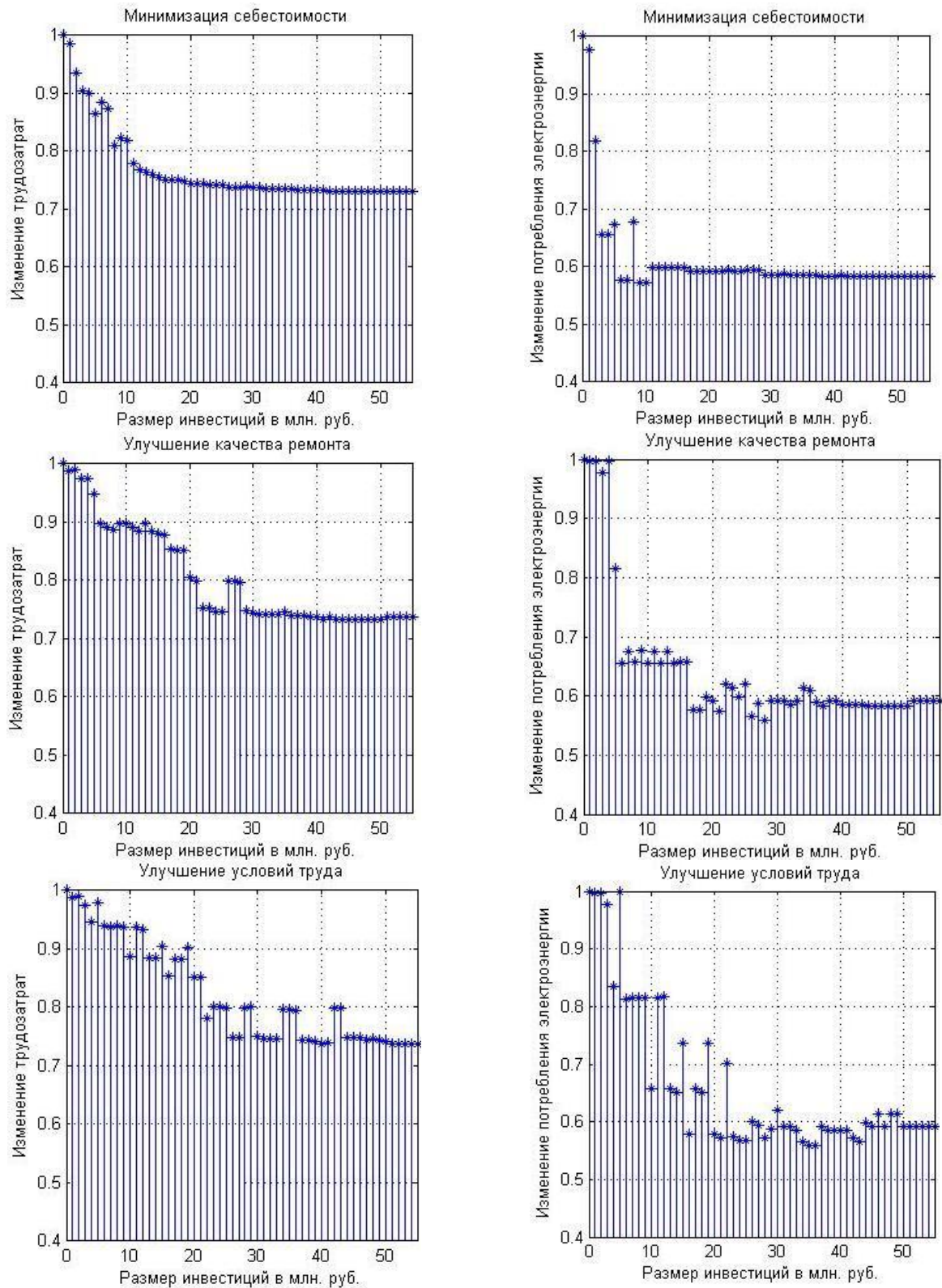


Рисунок 6.1 – Результаты расчета показателей производительности труда и себестоимости ремонта (получены автором)

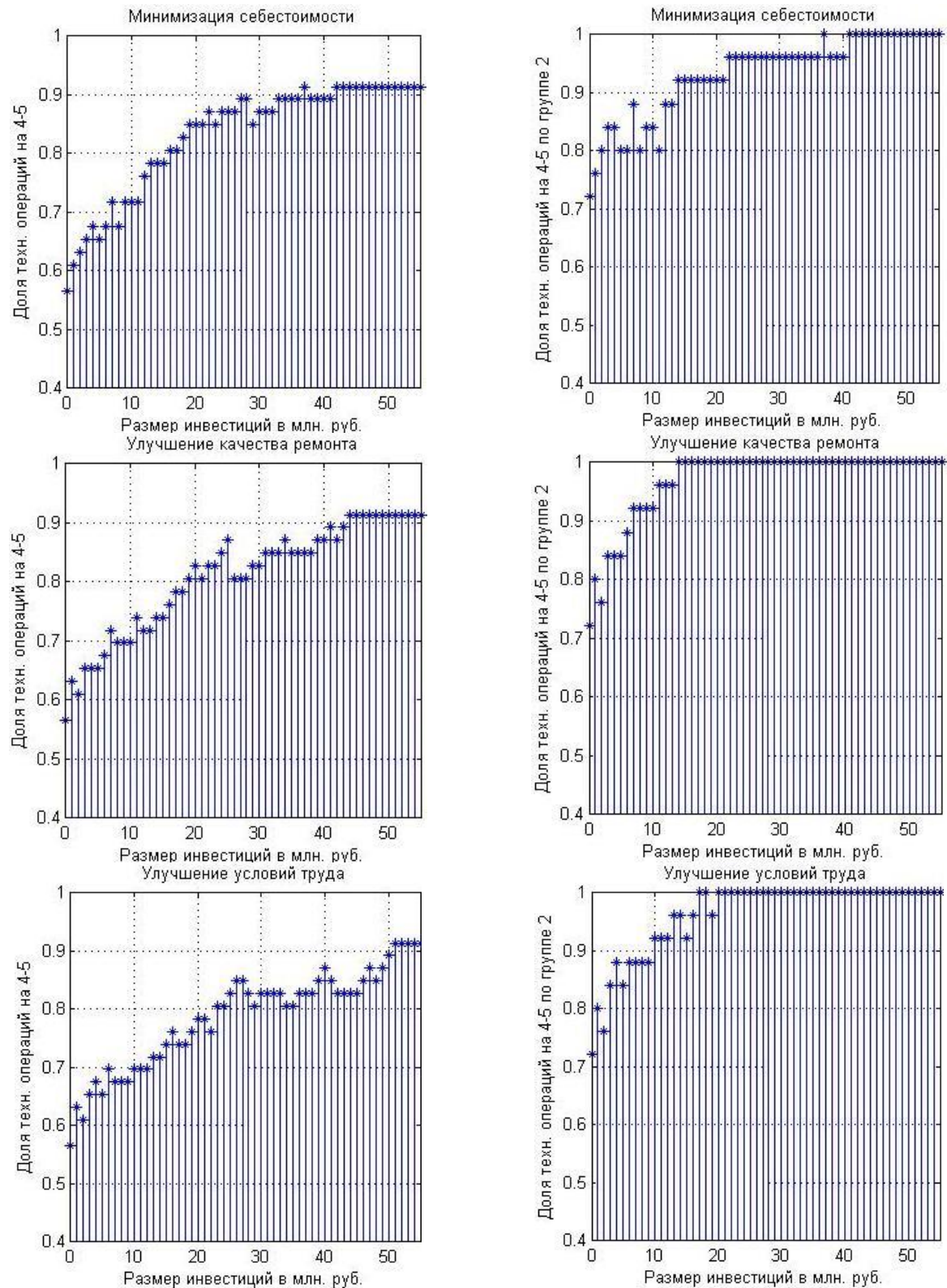


Рисунок 6.2 – Результаты расчета показателей качества ремонта
(получены автором)

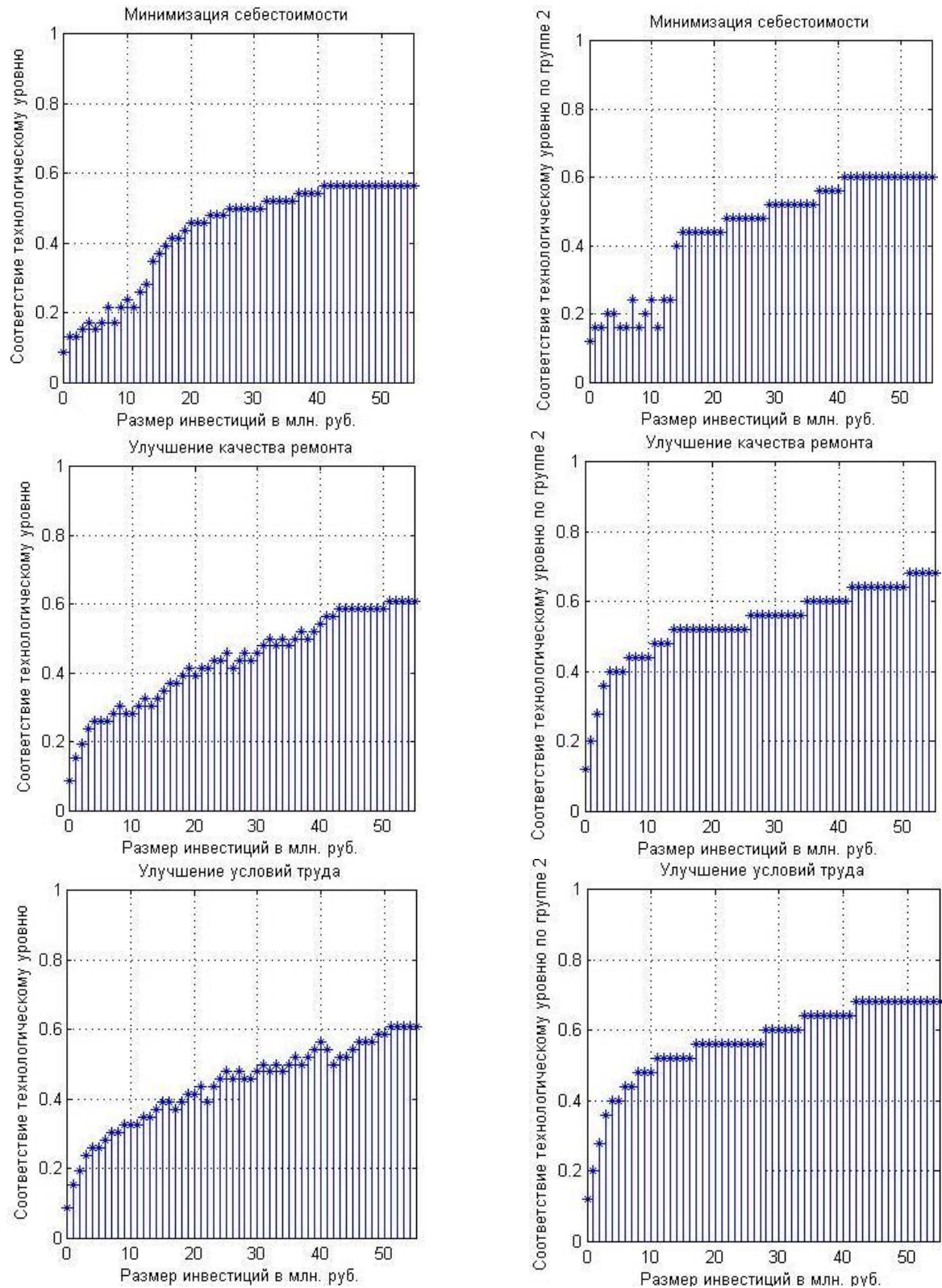


Рисунок 6.3 – Результаты расчета показателей технического уровня производства
(получены автором)

Графики позволяют выбрать минимальный объем инвестиций достаточный для достижения приоритетными характеристиками желаемого уровня.

Анализ графиков показал, что из возможных вариантов наибольшую финансовую эффективность обеспечивает сценарий «Сокращение производственных затрат» при объеме инвестиций в пределах 20% от потребного уровня. При дальнейшем росте объемов инвестирования рентабельность инвестиций снижается и достигает практически установившихся значений при объеме вложений 50 – 60 %.

Очевидно, что с точки зрения достижения максимальной полезности инвестиций для рассматриваемого случая, разумным видится ограничение объема финансирования на уровне 40 % от максимального расчетного уровня с достижением показателя роста производительности труда ~ 30 % по основным технологическим операциям. Дальнейшее финансирование оказывает влияние преимущественно на показатели производства, не связанные с прямой финансовой выгодой.

Следует отметить, что на первой половине объема инвестиционных вложений совпадение по трем сценариям инвестиционного развития не превышает 45 % (рисунок 7.4). Это обстоятельство важно учитывать при выборе стратегии развития производственного комплекса.

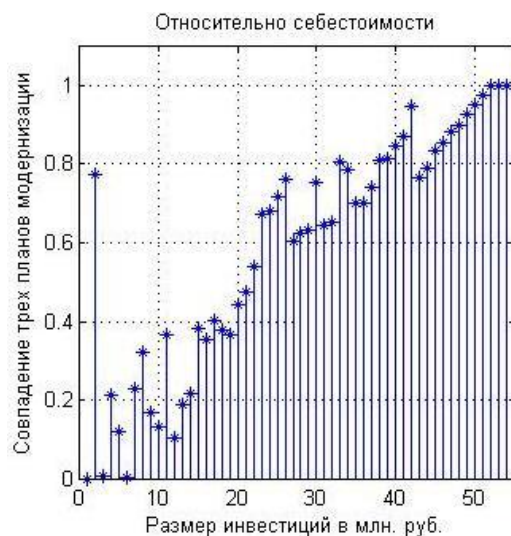


Рисунок 6.4 – Совпадение планов модернизации при различных объемах финансирования проекта (результаты получены автором)

Созданная методика позволяет провести предварительный отбор вариантов модернизации предприятия, наиболее соответствующих целям модернизации и оптимальных по объему инвестиций. Окончательная оценка отобранного варианта производится с помощью критериев экономической эффективности с учетом возможных технологических и финансовых рисков.

6.2. Оценка экономической эффективности проектов модернизации предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава

6.2.1. Основные положения и критерии оценки экономической эффективности инвестиционных проектов

Обобщая рекомендации Министерства экономики и отраслевых министерств РФ, ОАО «РЖД», современной практики в области инвестиционного финансирования можно сформулировать следующие принципы оценки эффективности проектов создания и модернизации предприятий по ремонту и ТО подвижного состава [110, 111]:

- оценка проекта на протяжении всего жизненного цикла от момента проектного замысла;
- многоцелевой характер проекта, несовпадение интересов в лице эксплуатационных и ремонтных предприятий;
- системность финансово-экономического анализа проекта с учетом совокупности внутренних и внешних факторов;
- учет всех наиболее существенных результатов проекта, прямых, косвенных и мультипликативных эффектов;
- сравнение вариантов «при наличии проекта» и «при отсутствии проекта».

Для проектов подлежащих обязательной реализации оценка эффективности производится путем сравнения различных вариантов ситуации «при наличии

проекта» (например, реконструкция депо в связи с освоением ремонта подвижного состава нового поколения);

- расчет потоков денежных средств доходов и расходов для каждой заинтересованной стороны проекта за расчетный период;
- получение максимума интегрального эффекта по основному количественному показателю для варианта «при наличии проекта» по сравнению с вариантом «при отсутствии проекта».
- изменчивость параметров проекта и внешнего окружения во времени;
- различная ценность затрат и результатов понесенных и полученных в различные периоды во времени;
- анализ затрат, потерь и эффектов предстоящих в ходе реализации проекта, без учета предыдущих периодов;
- равные или сопоставимые экономические условия для оценки вариантов реализации проекта.
- установленные (паспортные) параметры использования технологической системы при сравнении нескольких вариантов проекта;
- влияние инфляции при формировании цен на материалы, комплектующие и топливно-энергетические ресурсы в течение жизненного цикла проекта;
- анализ технико-экономических рисков проекта, в частности изменения программы ремонта и его рыночной стоимости.

Международная практика оценки привлекательности инвестиционных проектов использует несколько показателей, позволяющих подготовить решение о целесообразности (нецелесообразности) вложения средств.

В качестве основных показателей, используемых для расчетов эффективности проектов в промышленности и на транспорте, рекомендуются: дисконтированный срок окупаемости; чистый дисконтированный доход; внутренняя норма доходности; индексы доходности затрат и инвестиций [111].

Чистый дисконтированный доход (ЧДД, *Net Present Value, NPV*) – накопленный дисконтированный эффект за расчетный период. ЧДД рассчитывается по формуле [111, с. 23]:

$$NPV = \sum_m CF_m \alpha_m . \quad (6.39)$$

где CF_m — чистый денежный приток на m -м шаге, α_m — коэффициент дисконтирования денежных потоков шага m , а суммирование распространяется на все шаги расчетного периода.

Дисконтирование денежных потоков предполагает приведение их разновременных значений к их ценности на момент времени приведения. Дисконтирование денежного потока в момент времени t осуществляется путем умножения его значения $CF(t)$ на коэффициент дисконтирования $\alpha(t)$:

$$\alpha(t) = \frac{1}{(1 + E)^{t-t_0}} . \quad (6.40)$$

Расчет денежных потоков, осуществляемых в различные моменты времени, производится на начало, середину или конец рассматриваемого шага t_0 . Ставка дисконта (E) отражает доходность возможных альтернативных вариантов использования денежных средств и темп падения ценности денег.

Срок окупаемости с учетом дисконтирования соответствует времени до момента окупаемости проекта с учетом дисконтирования, т.е. наиболее раннему моменту времени горизонта планирования, после которого накопленный чистый дисконтированный доход становится неотрицательным:

$$\sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1 + E)^t} \geq I_0 \quad (6.41)$$

Проект считается эффективным, если дисконтированный срок окупаемости проекта находится в пределах периода его активного использования T . Для проектов «точечного» внедрения инновационных технологий в ремонтном производстве приемлемым считается дисконтированный срок окупаемости 3-4 года. Проекты комплексной модернизации и реконструкции предприятий по ремонту подвижного состава имеют аналогичный показатель < 10 лет.

Внутренняя норма доходности (ВНД, Internal Rate of Return, IRR) определяется как такое положительное число E_b для которого при ставке дисконта

$E = E_b$ чистый дисконтированный доход проекта равен 0, при всех значениях $E > E_b$ – он отрицателен, а при всех значениях $E < E_b$ – положителен:

$$-I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} = 0 \quad (6.42)$$

Для оценки эффективности инвестиционного проекта значение внутренней нормы доходности сопоставляется со ставкой дисконта. Проекты, у которых $IRR \geq E$ являются эффективными и имеют неотрицательный чистый дисконтированный доход. Проекты, для которых $IRR < E$ имеют отрицательный чистый дисконтированный доход и считаются неэффективными.

Индексы доходности характеризуют (относительную) «отдачу проекта» на вложенные в него средства. При оценке инфраструктурных проектов наиболее часто используются [111, с. 25]:

- индекс доходности дисконтированных затрат (ИДДЗ) – отношение суммы дисконтированных денежных притоков к абсолютной величине суммы дисконтированных денежных оттоков:
- индекс доходности дисконтированных инвестиций ID (ИДД) – увеличенное на единицу отношение ЧДД к сумме дисконтированных объемов инвестиций K_E :

$$ID = 1 + \frac{NPV}{K_E}. \quad (6.43)$$

Максимальный денежный отток (Cash Outflow), называемый в отечественных источниках потребностью финансирования (ПФ) – это максимальное значение абсолютной величины отрицательного накопленного сальдо от инвестиционной и операционной деятельности. Величина максимального денежного оттока соответствует минимальному требуемому объему внешнего финансирования проекта для возможности его финансовой реализации.

6.2.2. Пример расчета экономической эффективности модернизации производственного комплекса группы ремонтных предприятий

6.2.2.1. Общая информация о проекте

В рамках диссертационного исследования выполнены расчеты технико-экономической эффективности проекта комплексной модернизации и реконструкции производственного комплекса группы ремонтных предприятий – вагоноремонтных депо Балхаш, Арысь, Кушмурун и Уральск компании АО «Казтеміртранс» (Казахстан).

Масштаб проекта – 8 500 вагонов в год плановых видов депоовского, капитального и капитального ремонта с продлением срока службы, в том числе: Уральское вагоноремонтное депо - 2500 вагонов/год, Кушмурунское вагоноремонтное депо – 2000 вагонов/год, Балхашское вагоноремонтное депо – 2000 вагонов/год, Арыское вагоноремонтное депо - 2000 вагонов/год с последующим увеличением проектной мощности производственного комплекса до 18 000 вагонов в год плановых видов ремонта.

В рамках проекта модернизации производственного комплекса предприятий были запланированы следующие виды работ:

- повышение энергетической эффективности технологических процессов ремонта вагонов за счет внедрения нового энергосберегающего оборудования и рационального использования производственной инфраструктуры;
- внедрение комплексов автоматизированного контроля и испытаний автотормозного оборудования вагонов после ремонта;
- капитальный ремонт кранового оборудования, восстановление и модернизация парка колесно-токарных станков;
- строительство дополнительных обгонных путей и путей накопления вагонов для улучшения логистических процессов накопления, подачи и выдачи подвижного состава;

- повышение производственной мощности предприятий за счет комплексной реконструкции вагоноборочных, тележечных и колесных цехов с изменением компоновочных и планировочных решений;
- создание общекорпоративного производства по восстановлению литых деталей и капитальному ремонту колесных пар.

Суммарный объем инвестиционных вложений по проекту составил 5508.978 млн. тенге (в ценах 2009 года). Срок реализации проекта (активная инвестиционная фаза) – 5 лет.

6.2.2.2. Исходные данные и порядок расчета

Длительность одного интервала планирования 1 год. Горизонт планирования 15 лет (с 2009 года по 2023 год). Макроэкономическое окружение учитывалось параметром месячного темпа инфляции в размере от 1.2 на момент разработки проекта до 0.4 % по истечению срока горизонта планирования (таблица 6.1).

При расчете также учитывались (таблица 6.2 – 6.7):

- налоговое окружение – в форме размеров ставок налоговых платежей в бюджеты всех уровней;
- уровень средней заработной платы работников для различных категорий;
- прогноз рыночной стоимости ремонта по видам вагонов;
- планируемые внереализационные доходы.

Прогноз рыночной стоимости ремонта (таблица 6.3) сформирован исходя из цен на материальные и трудовые ресурсы с учетом расчетной экономии удельных трудозатрат, затрат материальных и топливно-энергетических ресурсов, рентабельности 15%, темпа годовой инфляции 15%.

Таблица 6.1 – Макроэкономическое окружение, прогноз темпов общей инфляции

Год	2009-2012	2013-2018	2018–2023
Прогнозируемый месячный темп общей инфляции (%)	1.2	0.8	0.4

Таблица 6.2 – Налоговое окружение

Вид налога (сбора)	Ставка (%)
НДС	13
Налог на имущество	1
Корпоративный подоходный налог	30
Социальный налог + страхование	13 +3
Подоходный налог с работников	10

Таблица 6.3 – Прогноз рыночной стоимости ремонта

Тип вагона	Прогноз рыночной стоимости ремонта в 2009 году (тыс. тенге), без НДС
Крытый ДР	350
Полувагон ДР	423
Платформа ДР	357
Цистерна 4-осн. ДР	435
Прочие ДР	378
Крытый КР	914
Полувагон КР	1104
Платформа КР	932
Цистерна 4-осн. КР	1135
Прочие КР	987
Полувагон КРП	1214
Платформа КРП	1025

Таблица 6.4 – Выручка от реализации услуг по ремонту вагонов в постоянных ценах

Предприятия	Годовая выручка (тыс. тенге)					
	2009 год	2010 год	2011 год	2012 год	2013–2023 г.г.	Всего
Всего	3 621 778	3 991 815	4 385 160	4 732 895	5 119 860	73 050 108

Таблица 6.5 – Внереализационные доходы

Внереализационные доходы (тыс. тенге)					
2009 год	2010 год	2011 год	2012 год	2013–2023 годы	Всего
13760	14240	15472	16496	17792	255680

Таблица 6.6 – Текущие затраты на заработную плату персонала

Номер года	Основной производственный персонал.	Вспомогательный производственный персонал.	Административно-управленческий персонал.
	Средневзвешенная заработная плата		
	39766	35018	63655
	Численность работников		
1	392	210	130
2	480	175	145
3–4	540	155	155
5-15	600	160	160

Таблица 6.7 – Структура расходов на реконструкцию вагоноремонтных депо, в млн. тенге.

Вид затрат	2008 год	2009 год	2010 год	2011 год	2012 год	Всего
Проектирование, строительство	222.74	1401.19	707.66	95.83	23.31	2450.730
Машины и оборудование	–	1177.92	1383.048	217.56	279.72	3058.248
Итого	222.74	2579.11	2090.708	313.39	303.03	5508.978

Размер ожидаемых внереализационных доходов (таблица 6.5) определен исходя из прогноза уменьшения среднего по всем депо коэффициента качества на 0.02 с 0.07 до 0.05 и прогнозной цены внепланового ремонта одного вагона 80 тыс. тенге для планируемого объема ремонта.

Расчет выполнен в соответствии с методическими рекомендациями по оценке эффективности инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте [110, 111].

6.2.2.3. Результаты расчета

Длительность одного интервала планирования выбрана 1 год, горизонт планирования 15 лет. На горизонте планирования рассчитаны параметры движения денежных средств (приток, отток), накопленная прибыль, налоговые платежи в бюджеты всех уровней, показатели коммерческой и финансовой эффективности проекта.

Выполнен анализ коммерческих рисков методом оценки чувствительности финансовых показателей проекта к риску недозагрузки производственной мощности и падения цен на ремонт вагонов.

По результатам расчетов дисконтированный срок окупаемости составил 7.2 года, простой срок окупаемости – 6 лет. Чистый дисконтированный доход (ЧДД) составил – 595121 тыс. рублей при внутренней норме доходности (ВНД) – 23%. Потребность в дополнительном финансировании (ПФ) - максимальное значение абсолютной величины отрицательного накопленного сальдо от инвестиционной и операционной деятельности – 778967,2 тыс. рублей.

Для окончательной оценки проекта с учетом коммерческих рисков были произведены расчеты чувствительности финансовых показателей проекта к риску недозагрузки производственной мощности и падения цен на ремонт вагонов. Результаты расчета чувствительности приведены в таблицах 6.8, 6.9 и на рисунках 6.5 – 6.8.

Наиболее чувствительны показатели эффективности к изменению рыночных цен на ремонт подвижного состава. Цветом выделена область благоприятных значений параметров уровня рыночных цен и производственной мощности. Показатели коммерческой эффективности проекта достаточно устойчивы. Внутренняя норма доходности остается высокой (19%) даже при уменьшении объема ремонта на 10%.

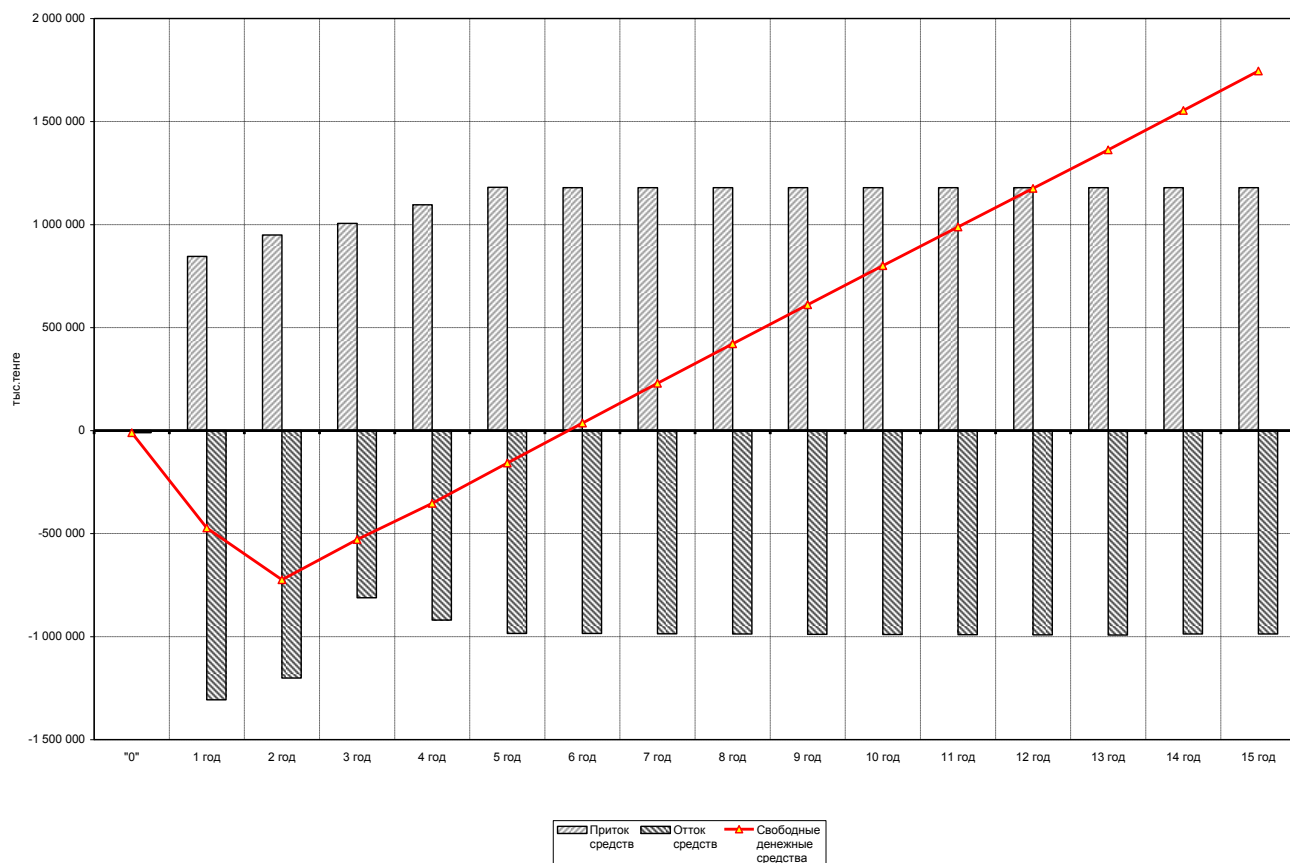


Рисунок 6.5 – Движение денежных средств по проекту

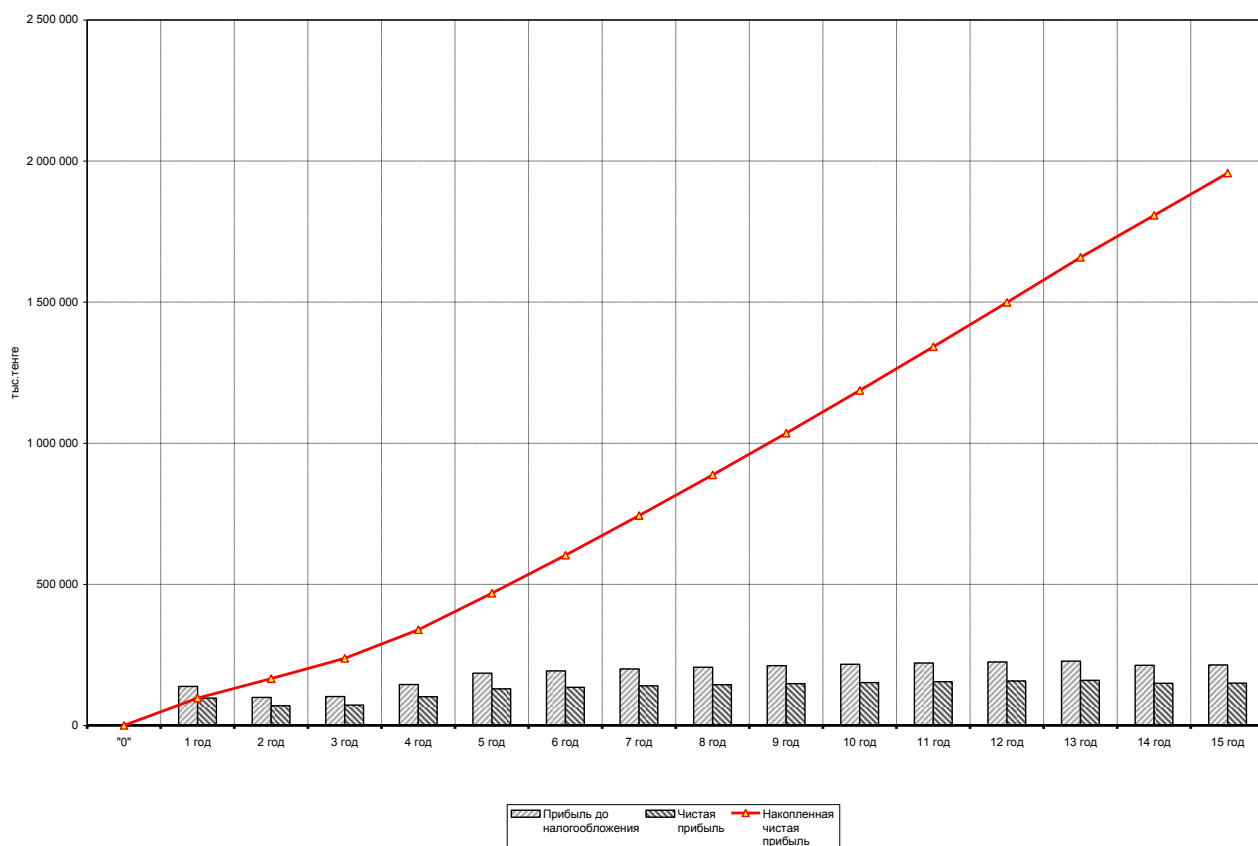


Рисунок 6.6 – Накопленная прибыль при реализации проекта

Таблица 6.8 – Чистый приведенный доход, млн. тенге

Уровень цен	Программа ремонта						
	80%	90%	100%	110%	120%	130%	140%
80%	-3072907	-2494541	-1994411	-1518451	-1056869	-603817	-154848
90%	-873641	-172515	521083	1213945	1902084	2590113	3278142
100%	1105009	2042618	2975604	3908591	4840654	5770187	6699663
110%	3069293	4247238	5424059	6597765	7771470	8945175	10118881
120%	5028956	6448423	7866358	9284293	10702228	12120163	13538099

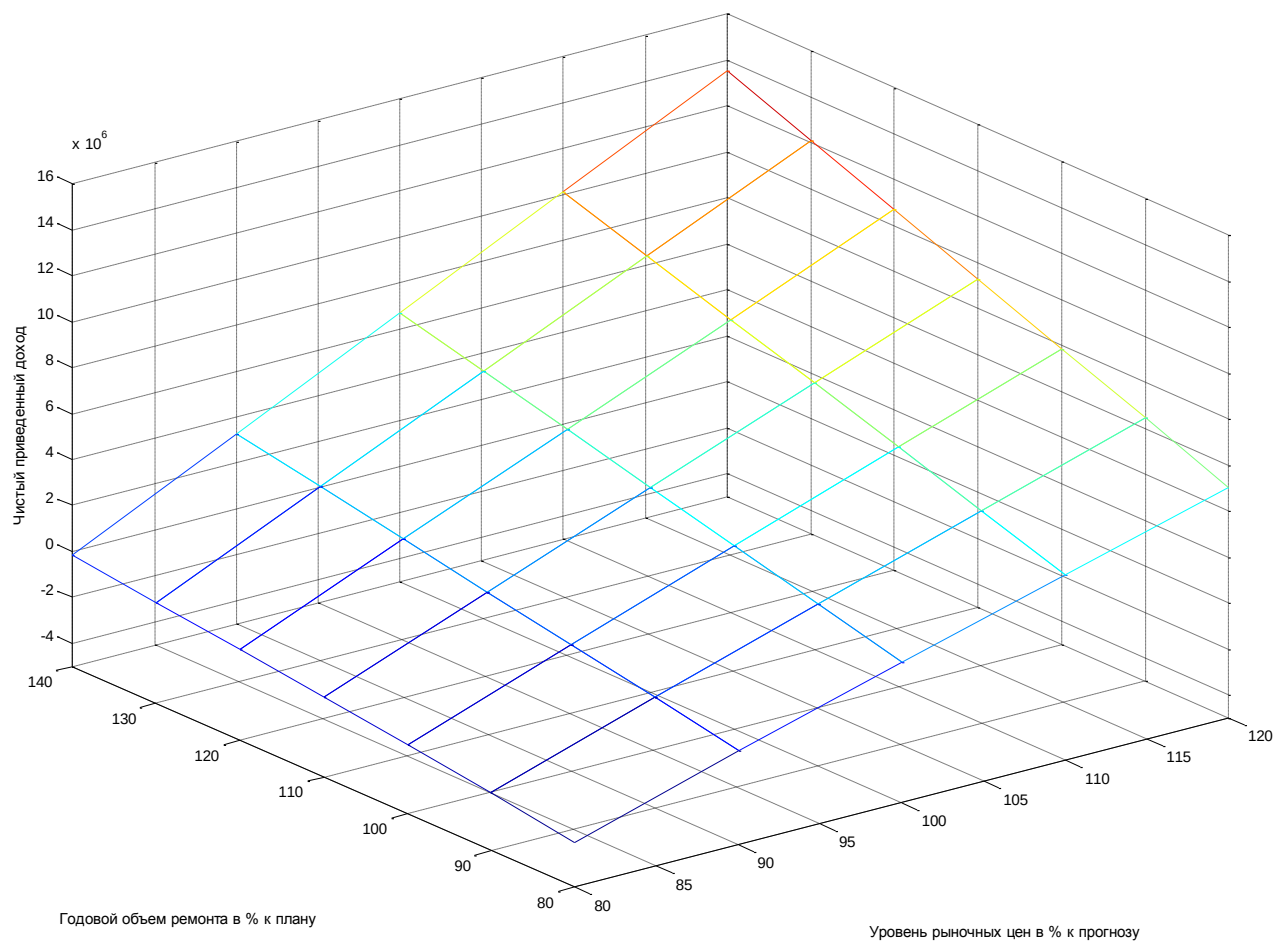


Рисунок 6.7 – Зависимость чистого приведенного дохода от уровня цен и программы ремонта подвижного состава

Таблица 7.2 – Дисконтированный срок окупаемости

Уровень цен	Программа ремонта						
	80%	90%	100%	110%	120%	130%	140%
80%	-	-	-	-	-	-	-
90%	-	-	12.4	10.3	9.0	8.0	7.3
100%	10.6	8.8	7.6	6.7	6.0	5.5	5.1
110%	7.5	6.4	5.7	5.1	4.7	4.3	4.0
120%	5.9	5.2	4.7	4.2	3.9	3.5	3.2

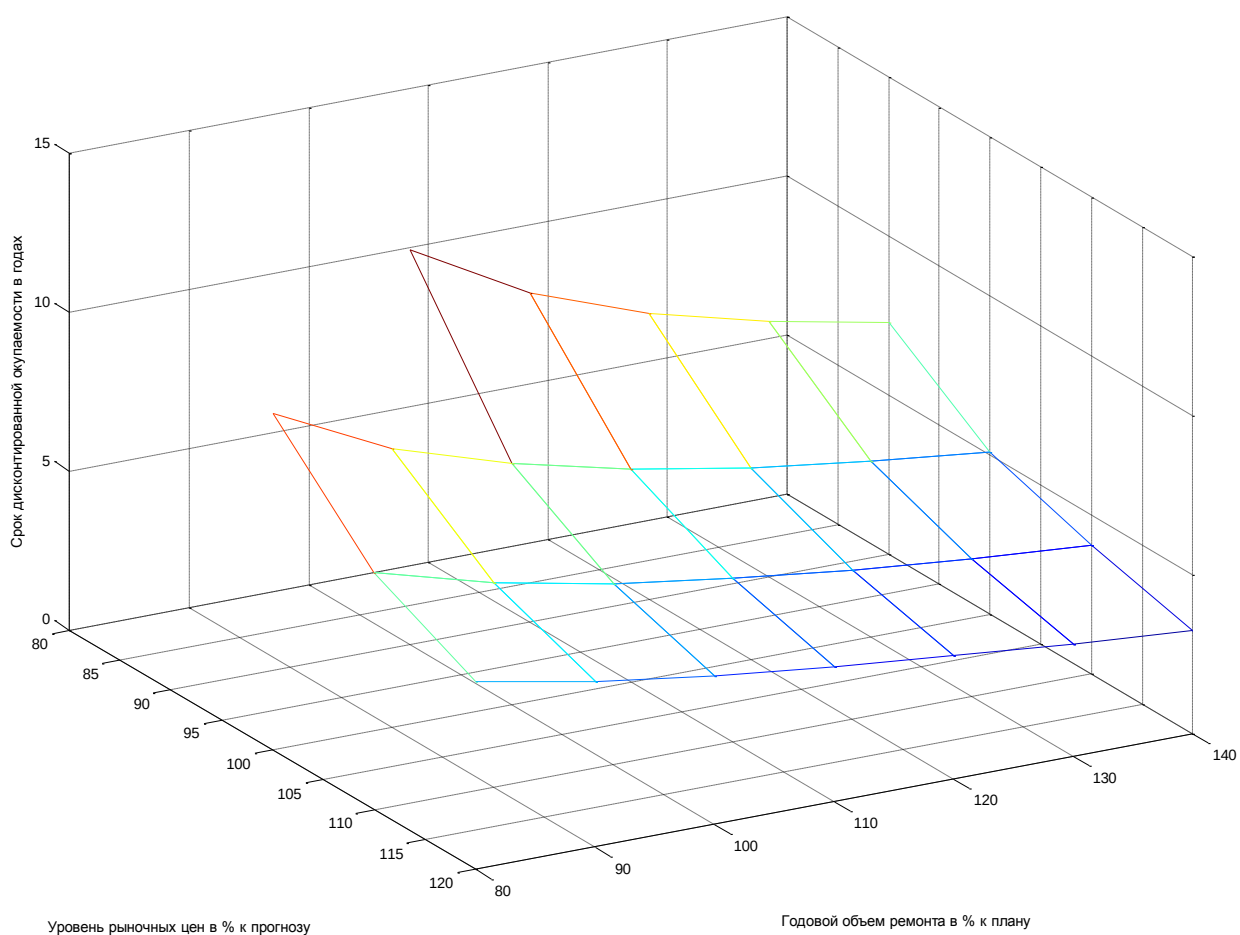


Рисунок 6.8 – Зависимость дисконтированного срока окупаемости
от уровня цен и программы ремонта подвижного состава

6.3. Выводы по главе 6

1. Предложен метод формирования оптимального плана технического перевооружения предприятия с учетом комплекса параметров ремонтного производства, разработана методика построения целевой функции, произведена постановка задачи целочисленного программирования, решениями которой являются варианты модернизации предприятия, наиболее полно соответствующие поставленным целям при заданных объемах инвестиционных вложений.

2. В результате вычислительных экспериментов установлено, что около основная доля (около 80%) от общего потенциала повышения эффективности предприятия приходится на первые 30-40% объема финансовых затрат. Дальнейшее вложение денег оказывает влияние преимущественно на качественные показатели производства.

3. Исследования трех различных вариантов стратегий развития предприятия показали, что при финансировании менее 40 % совпадение по трем сценариям инвестиционного развития менее 50 %. Это обстоятельство важно учитывать при выборе стратегии развития производственного комплекса.

4. Выполненные расчеты технико-экономической эффективности нескольких вариантов проекта вагоноремонтного депо подтвердили, что наилучшие результаты могут быть получены путем комплексной оптимизации параметров размещения, выбора производственной специализации и параметров технологической системы с учетом факторов среды функционирования предприятия. Для конкретного примера установлено, что ожидаемый чистый дисконтированный доход составил 595,1 млн р. в год, норма рентабельности 23%, что свидетельствует о высокой экономической привлекательности развития данного направления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований решена комплексная научно-техническая задача создания совокупности теоретических положений, методов, технических средств и технологических решений, обеспечивающих повышение эффективности предприятий по ремонту и ТО подвижного состава за счет многоуровневой оптимизации их технологических систем на основных этапах жизненного цикла предприятия.

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 технологической системы, 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 трудозатрат, повышение качества и сокращение времени простоя подвижного состава в ремонте.

Результаты работы также использованы в учебном процессе подготовки студентов специальности «Подвижной состав железных дорог» по дисциплине «Производство и ремонт подвижного состава» (ОмГУПС) и при написании учебника «Энергосбережение на железнодорожном транспорте» (М.: Издательский дом МИСиС, 2012, под редакцией В.А. Гапановича).

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 технологических систем 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 оптимального места размещения, объема производства и структуры производственной мощности предприятия в условиях 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 технологической системы.

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 технологической системы предприятия на показатели перевозочного процесса.

6. Теоретически обобщены и сформулированы базисные 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 интегральной целевой функции, показатели которой рассчитываются по принципу относительных предпочтений возможных альтернатив в сравнении с базовым вариантом (отработанным и известным), с последующей нормировкой по коэффициентам эластичности показателей относительно себестоимости ремонта для базового варианта.

8. Предложен метод имитационного моделирования производственных 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 технологического 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 технологической 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 технологической модернизации предприятия, наиболее полно соответствующие поставленным целям технического 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 технологических решений

производственного комплекса, 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.

Результаты работы были использованы при выполнении следующих научно-технических проектов:

1) «Совершенствование технологического процесса заводского ремонта электрических машин, подготовка комплексного технического проекта по снижению затрат, повышению качества ремонта, производительности и безопасности труда» (тема №7.1.001.Р план НТР ОАО «РЖД» 2007 г., функциональный заказчик – Дирекция по ремонту подвижного состава «Желдорреммаш»);

2) «Моделирование работы Екатеринбургского железнодорожного узла» по титулу «Реконструкция Северного обхода Екатеринбургского узла Свердловской железной дороги» (2010 – 2012 г.г., заказчик ОАО «Росжелдорпроект», функциональный заказчик – Свердловская ж.д.);

3) при разработке технологических проектов комплексной модернизации и реконструкции предприятий локомотивного и вагонного хозяйства РФ и Казахстана в том числе: вагоноремонтных депо Арысь, Кушмурун, Балхаш, Уральск (функциональный заказчик работ АО «Казтеміртранс», Казахстан); локомотиворемонтных депо Егоршино, Кинель, Зима ОАО «РЖД» (заказчик ОАО «Росжелдорпроект»);

4) в ходе предпроектных изысканий и технико-экономического обоснования Проекта строительства вагоноремонтной базы, пункта текущего отцепочного ремонта и пропарочно-промывочной станции в Западном регионе

Казахстана (заказчик Baran Construction & Infrastructure Ltd, Израиль, 2010 г.);

5) при разработке Методических указаний по проведению энергетических обследований объектов ОАО «РЖД» (ОАО «РЖД», 2011) и энергосберегающих мероприятий для группы ремонтных предприятий Западно-Сибирской железной дороги.

7) результаты работы вошли в учебный процесс подготовки студентов специальности «Подвижной состав железных дорог» по дисциплине «Производство и ремонт подвижного состава» и были использованы при написании учебника «Энергосбережение на железнодорожном транспорте» (М.: Издательский дом МИСиС, 2012, под редакцией В.А. Гапановича).

Библиографический список

1. Авербах С.А. Автоматизированное оптимальное технологическое проектирование механических цехов / С.А. Авербах, Г.П. Тетерин // Станки и инструмент, №8, 1984. с. 3-6.
2. Аксенов В.А. Проектирование предприятий и технологических процессов ремонта и эксплуатации машин / В.А. Аксенов, А.В. Бабич, Д.Г. Евсеев: Учеб. пособие / Сибирский гос. ун-т путей сообщения. Новосибирск, 2004. – 248 с.
3. Александров А.А. Исследование систем организации производства на ПТО вагонов / А.А. Александров // Научные труды Омского ин-та инж. ж.-д. транспорта, 1977. Вып. 183, с. 47-51.
4. Алехин С.А. Вопросы оптимизации технологических процессов и оборудования ремонтного производства, повышение долговечности подвижного состава / С.А. Алехин // Сборник статей. ЛИИЖТ, 1981.
5. Алтухов В.Я. Механизация и автоматизация технического обслуживания и ремонта подвижного состава / В.Я. Алтухов, А.Ф. Трофименко, А.С. Зенкин. – М.: Транспорт, 1989. – 200 с.
6. Анализ состояния безопасности движения в локомотивном хозяйстве железных дорог России за 2010 г.: Информационное письмо № ЦТЛ-4 от 27.02.2010 г./Дирекция тяги ОАО «РЖД». М., 2010. 75 с.
7. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения / Б.С. Балакшин. – М.: Машиностроение, 1969, – 560 с.
8. Бараш Ю. С. Анализ существующих депо по ремонту вагонов и методы их реконструкции / Ю. С. Бараш // Совершенствование ремонта, и текущего содержания вагонов. Тр. Белорусского ин-та инж. ж.д. трансп, Вып. №150. Гомель, 1976, с. 37-45.
9. Бараш Ю. С. К вопросу реконструкции существующих вагонных депо / Ю. С. Бараш // Совершенствование ремонта и текущего содержания вагонов. Межвузовский сб. науч. статей. Гомель, 1979, с. 58-65.

10. Барбарич С.С. Требования к грузовым вагонам нового поколения / С.С. Барбарич, В.Н. Цюренко // Ж.д. транспорт, № 8, 2001.
11. Беллман Р. Динамическое программирование / Р. Беллман. – М.: Наука, 1960. – 400 с.
12. Беллман Р. Прикладные задачи динамического программирования / Р. Беллман, С. Дрейфус. – М.: Наука, 1965. – 269 с.
13. Бервинов В.И. Техническое диагностирование локомотивов / В.И. Бервинов: Учебное пособие / УМК МПС России. – М., 1998. – 190 с.
14. Берталанфи Л. Общая теория систем. Критический обзор. Исследования по общей теории систем/ Под общ. ред. В.Н. Садовского, Э.Г.Юдина. – М.: Прогресс, 1969. – С. 23 – 82.
15. Блауберг И.В., Юдин Э.Г. Становление и сущность системного подхода. – М.: Наука, 1973. – 272 с.
16. Богданов А.А. Тектология (Всеобщая организационная наука): В 2 кн. – М.: Экономика, 1989.
17. Болотин М.М. Математические модели инженерного анализа вагонных депо / М.М. Болотин // Мир транспорта, 2005. – №3. – С. 4 – 15.
18. Болотин М.М. Прогнозирование и оптимизация мощности депо по ремонту грузовых вагонов/ М.М. Болотин, Т.В. Второва, А.В. Гоголев// Труды Моск. инст. инж. ж.д. тр-та. 1981, вып. 679. – С. 8-14.
19. Бородюк В.П. Статистическое описание промышленных объектов / В.П. Бородюк, Э.К. Лецкий. М.: Энергия, 1971. – 112 с.
20. Брук В.М. Системотехника: Методы и приложения / В.М. Брук, В.И. Николаев. – Л.: Машиностроение, Ленинг. отд-ние, 1985. – 190 с.
21. Бугаев В.П. Совершенствование организации ремонта вагонов. Системный подход / В.П. Бугаев. – М.: Транспорт, 1982. – 152 с.
22. Бугаев В.П. Экономико-математическое моделирование производственной структуры вагоноремонтных предприятий / В.П. Бугаев. Гомель, 1975. – 65 с.

23. Бугаев В.П. Автоматизация процесса подбора законов распределения случайных величин при решении задач оптимизации ремонта вагонов / В.П. Бугаев, В.В. Пигунов // Труды Белорусского института инж. ж.д. Транспорта. Совершенствование конструкции и ремонта вагонов, 1979.

24. Бурнышев К.В. Стратегии инновационного поведения предприятий / К.В. Бурнышев // Сибирский социологический вестник, 2004. – № 2. – С. 92 – 106.

25. Вагонное хозяйство: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / П.А. Устич, И.И. Хаба, В.А. Ивашов и др.; под ред. П.А. Устича. – М.: Маршрут, 2003. – 560 с.

26. Вентцель Е.С. Введение в исследование операций / Е.С. Вентцель. – М.: Сов. радио, 1964. – 287 с.

27. Вермишев Ю.Х. Основы автоматизации проектирования / Ю.Х. Вермишев. – М.: Радио и связь, 1988. – 80 с.

28. ВНТП 08-90 МПС «Ведомственные нормы технологического проектирования. Нормы технологического проектирования депо по ремонту грузовых вагонов».

29. Волков Б.А. Экономическая эффективность инвестиций на железнодорожном транспорте в условиях рынка / Б.А. Волков. – М.: Транспорт, 1996. – 191 с.

30. Володин А.И. Научные основы и пути повышения качества технического обслуживания и ремонтов тепловозов / А.И. Володин: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. Омск, 1990. 40 с.

31. Воротилкин А.В. Локомотивный комплекс и перспективы его развития / А.В. Воротилкин // Локомотив, 2011. – №3. – С. 2-5.

32. ВСН 56-78 «Инструкция по проектированию станций и узлов на железных дорогах Союза ССР».

33. ВСН 02-91 МПС «Ведомственные строительные нормы. Железнодорожные пассажирские вагонные депо. Нормы проектирования».

34. Г.Хакен. Информация и самоорганизация / Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 240 с.

35. Г.Хакен. Синергетика. – М.: Мир, 1980.
36. Галиев И.И. Динамические качества полувагонов в порожняковых поездах / И.И. Галиев, В.А. Нехаев, В.А. Николаев, Е.А. Самохвалов, В.Н. Ушак // Труды Международной конференции «Экспериментальное кольцо ВНИИЖТ-70» / Щербинка, Россия, 25 – 26.09.2002. – М., 2002. – С. 7.
37. Галиев И.И. Проблема безопасности движения поезда и динамика грузового вагона / И.И. Галиев, В.А. Нехаев, В.А. Николаев, Е.А. Самохвалов, В.Н. Ушак // Безопасность движения поездов: Труды третьей науч.-техн. конф. / Московский гос. ун-т путей сообщения. – М., 2002. – С. 11 – 29.
38. Галиев И.И. Параметры тележки грузового вагона и безопасность движения / И.И. Галиев, В.А. Нехаев, В.А. Николаев, Г.И. Давыдов // Железнодорожный транспорт, 2003. – №3. – С. 36 – 41.
39. Галиев И.И. Повышение уровня безопасности движения железнодорожных экипажей совершенствованием динамических качеств рессорного подвешивания / И.И. Галиев, В.А. Николаев // Безопасность движения поездов: Труды третьей науч.-техн. конф. / Московский гос. ун-т путей сообщения. – М., 2002. – С. 11 – 23.
40. Галиев И.И. Повышение эффективности эксплуатации магистральных грузовых электровозов совершенствованием их рессорного подвешивания / И.И. Галиев, В.А. Нехаев, В.А. Николаев // Транссибирская магистраль на рубеже XX – XXI веков. Пути повышения эффективности использования перевозочного потенциала: Материалы междунар. науч.- практ. конф. / Московский гос. ун-т путей сообщения. – М, 2003. – С. 14, 15.
41. Галкин В.Г. Надежность тягового подвижного состава / В.Г. Галкин, В.П. Парамзин, В.А. Четвергов: Учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. – М.: Транспорт, 1981. – 184 с.
42. Гапанович В.А. Инновационное обновление подвижного состава Российских железных дорог / В.А. Гапанович // Транспорт Российской Федерации, 2009. – №6. – С. 44 – 48.

43. Герасимов В.С. Технология вагоностроения и ремонта вагонов / В.С. Герасимов. – М.: Транспорт, 1988. – 381 с.

44. Глушков В.М., Иванов В.В., Яненко В.М. Моделирование развивающихся систем. – М.: Наука, 1983. – 337с.

45. 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. Оpubл. 20.08.2009. Бюл. № 23.

46. Головаш А.Н. Автоматизированная система диагностирования электрооборудования электровозов / А.Н. Головаш, В.В. Молчанов, Е.В. Молчанов, П.Н. Рубежанский, В.А. Смирнов // Контроль. Диагностика, №12, 2005. – с. 55 – 58.

47. 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.

48. Горский А.В. Оптимизация системы ремонта локомотивов / А.В. Горский, А.А. Воробьев. – М.: Транспорт, 1994. – 208 с.

49. ГОСТ 14.004-83. Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 9 с.

50. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1980. 25 с.

51. ГОСТ Р 56046-2014. Показатели использования локомотивов. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 2014. – 31 с.

52. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288—2005. Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем.

53. Гранагуров В. М. Экономический риск: сущность, методы измерения, пути снижения / В. М. Гранагуров. – М.: Дело и Сервис, 1999. – 112 с.

54. Гренандер У. Лекции по теории образов / У. Гренандер. – М.: Изд-во «Мир», 1979.
55. Данилов Н.И. Основы энергосбережения / Н.И. Данилов, Я.М. Щелоков, под ред. Н.И. Данилова / Уральский гос. ун-т путей сообщения. – Екатеринбург, 2010. – 564 с.
56. Демьянюк Ф.С. Технологические основы поточно-автоматизированного производства / Ф.С. Демьянюк. – М.: Машиностроение. 1969. – 700 с.
57. Дитрих Я. Проектирование и конструирование: Системный подход / Пер. с польск. – М.: Мир, 1981. – 465 с.
58. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных производственных систем / Г.В. Дружинин. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 480 с.
59. Дунаев И.М. Система технологического проектирования контроля качества на машиностроительном предприятии. – М.: Знание, 1975. – 56 с.
60. Дунаев И.М. Организация проектирования систем технического контроля / И.М. Дунаев, Т.П. Скворцов, В.Н. Чупырин. – М.: Машиностроение, 1981. – 191 с.
61. Евгеньев Г.Б. Основы инженерной системологии / Г.Б. Евгеньев. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. – 56 с.
62. Евгеньев Г.Б. Системология инженерных знаний: Учебное пособие / Г.Б. Евгеньев. – М.: Изд-во МГТУ имени Н.Э. Баумана. 2001. – 374 с.
63. Евсеев Д.Г. Повышение долговечности и надежности подвижного состава технологическими методами / Д.Г. Евсеев // Межвузовский сборник. – М., 1979.
64. Егоров В.А. Автоматизация проектирования предприятий / В.А. Егоров. – Л.: Машиностроение, 1983. – 327 с.
65. Егоров М.Е. Основы проектирования машиностроительных заводов / М.Е. Егоров. – М.: Высшая школа, 1969. – 480 с.
66. Ежиков В.А. Анализ влияния основных параметров механизированных линий на коэффициент надежности / В.А. Ежиков // Труды МИИТа, вып. 530. – М., 1976.

67. Ильин В.А. Дефектоскопия деталей подвижного состава железных дорог и метрополитенов / В.А. Ильин. – М.: Транспорт, 1983. – 315 с.
68. Имаи Н. Путь к успеху японских компаний / Н. Имаи. Пер. с англ. – М.: Альпина Паблишер, 2009. – 280 с.
69. Имитационное моделирование производственных систем. // Под общ. ред. чл. кор. АН СССР А.А. Вавилова, – М.: Машиностроение; Берлин: Техника, 1983. – 416 с.
70. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог. – М.: Транспорт, 1991. – 304 с.
71. Исмаилов Ш. К. Испытательная станция ТЭД как объект автоматизации: Материалы временных коллективов / Ш. К. Исмаилов, В. О. Мельк, А.В. Раздобаров, С.В.Смыков, И.Г. Шахов // Современные тенденции в развитии и конструировании коллекторных и других электромеханических преобразователей энергии: Материалы восьмой всерос. науч.-техн. конф. / Омский государственный университет путей сообщения. - Омск : ОмГУПС, 2003. – С. 105-109.
72. Исмаилов Ш.К. Математическая модель ремонта тяговых электрических машин тягового подвижного состава / Ш.К. Исмаилов, О.В. Гателюк, Е.И. Селиванов, В.В. Бублик // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения, 2011. – №1. – С. 58 – 62.
73. Исмаилов Ш.К. Имитационная модель усовершенствованной системы ремонта тяговых электрических машин подвижного состава / Ш.К. Исмаилов, О.В. Гателюк, Е.И. Селиванов, В.В. Бублик // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения, 2012. – № 2. – С. 52-57.
74. Исследование операций: В 2-х томах. Пер. с англ./ Под ред. Дж. Моудера, С. Элмаграби. – М.: Мир, 1981. – 677 с.
75. Капитальный ремонт грузовых вагонов // «РЖД-Партнер». 2010. №15. – С. 28.
76. Капустин Н.М. Автоматизация машиностроения / Н.М. Капустин. – М.: Высшая школа. 2002.

77. Квейд Э. Анализ сложных систем: Пер. с англ./ Э. Квейд. – М.: Сов. радио, 1969. – 519 с.
78. Кельтон В. Имитационное моделирование / В. Кельтон, А. Лоу. – С.Пб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2004. – 847 с.
79. Кетков Ю.Л. Matlab 6.x.: программирование численных методов / Ю.Л. Кетков, А.Ю. Кетков, М.М. Шульц. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 672 с.
80. Кини Р. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Р. Кини, Х. Райфа. Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с.
81. Кирилюк А.В. АСУ в вагоноремонтном производстве / А.В. Кирилюк. – М.: Транспорт, 1978. – 174 с.
82. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач / Дж. Клир. – М.: Радио и связь, 1990. – 544 с.
83. Ковалев В.В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия / В.В. Ковалев, О.Н. Волкова. – М.: Велби, 2002. – 424 с.
84. Ковалев В.В. Финансовый анализ: Управление капиталом. Выбор инвестиций. Анализ отчетности. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 512 с.
85. Комплексная механизация и автоматизация ремонта подвижного состава / Д.Я. Перельман и др. – М.: Транспорт, 1969. – 312 с.
86. Криворучко Н.З., Гридюшко В.И., Бугаев В.П. Вагонное хозяйство: учеб. пособие. – М.: Транспорт, 1988. – 295 с.
87. Крысин В.Н. Технологическая подготовка авиационного производства / В.Н. Крысин. – М.: Машиностроение, 1984. – 200 с.
88. Куанышев Б.М. Оптимизация количественных параметров переходного комплекта и состава ремонтных позиций при агрегатном методе ремонта локомотивов / Б.М. Куанышев: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. Москва, 1988, 47 с.
89. Куренков П.В. Тенденции и перспективы развития рынка операторских услуг / П.В. Куренков, Д.С. Бельницкий, Т.М. Тарасова // Безопасность движения поездов: Девятая науч.- прак. конф. – М.: МИИТ, 2008. – С. 12–13.

90. Куренков П.В. Инфраструктура железных дорог России и регулирование вагонных парков / П.В. Куренков, Ф.И. Хусаинов // Экономика железных дорог, № 9, 2013 г., С. – 35 – 48.
91. Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB / Ю. Лазарев. – СПб.: Питер, 2005. – 512 с.
92. Лайкер Д. Дао Toyota: 14 принципов менеджмента ведущей компании мира / Джеффри Лайкер. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. – 402 с.
93. Лакин И.К. и др. Автоматизированная система управления локомотивным хозяйством. АСУТ М.: ОЦВ, 2002. – 514 с.
94. Лапин М.С. Математическое моделирование и автоматизированное проектирование технологических процессов (систем) сборки.// Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТПО. – 1980, вып. 3. с. 84 - 87.
95. Ларин В.П. И др. Автоматизация проектирования в системе технологической подготовки роботизированных ГПС// Разработка и внедрение АСУТП в условиях интенсификации производства. – Л.: ЛДНТП, – 1986. с.46-50.
96. Лебедев Ю.А. Сетевые модели при ремонте локомотивов / Ю.А. Лебедев. – М.: Транспорт, 1982.
97. Левыкин Ф.М. Дефектоскопия деталей локомотивов и вагонов / Ф.М. Левыкин. – М.: Транспорт, 1974. – 238 с.
98. Лищинский Л.Ю. Структурный и параметрический синтез гибких производственных систем. М.: Машиностроение, 1990. - 312 с.
99. Логашев В.Г. Технологические основы гибких автоматических производств / В.Г. Логашев. Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение. 1985 -176 с.
100. Лосев В.С. Производственный потенциал: оценка, управление / В.С. Лосев. Хабаровск: РИОТИП, 1998. – 240 с.
101. Лугинин Н.Г. Технология ремонта тепловозов / Н.Г. Лугинин. – М.: Машиностроение, 1972. 262 с.
102. Лукин В.В. и др. Вагоны. Общий курс. – М.: Маршрут. 2004. 424с.

103. Лэсдон Л.С. Оптимизация больших систем: Пер. с англ. / Под ред. Н.А. Первозванного. – М.: Наука, 1975. – 432 с.
104. Мазурин А. САЭЕ-средства для автоматизации инженерной деятельности // САПР и графика, № 2, 2001. – С 50 – 57.
105. Мазурова И.И. Анализ эффективности деятельности предприятия: Учебное пособие / И.И. Мазурова, Н.П. Белозерова, Т.М. Леонова, М.М. Подшивалова. СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2010. – 113 с.
106. Максимей И.В. Имитационное моделирование на ЭВМ / И.В. Максимей. – М.: Радио и связь, 1988. – 232 с.
107. Мамаев В.С. Основы проектирования машиностроительных заводов / В.С. Мамаев, Е.Г. Осипов. – М.: Машиностроение, 1974. – 290 с.
108. Мельников Г.Н., Проектирование механосборочных цехов./ Под ред. А.М.Дальского. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
109. Методика проведения энергетических обследований потребляющих устройств, обеспечивающих тягу поездов и ремонтное производство на железнодорожном транспорте: Инструктивно-методические указания комплексной системы энергетического обследования / Под общ. ред. В. Т. Черемисина / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2004. – 429 с.
110. Методические рекомендации по обоснованию эффективности инноваций на железнодорожном транспорте. – М., 1999. – 230 с.
111. Методические рекомендации по оценке инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте / МПС. – М., 1998. – 124 с.
112. Модели и методы теории логистики / Под ред. В.С. Лукинского. — СПб: Питер, 2003. – 176 с.
113. Моделирование процессов обслуживания и ремонта подвижного состава / Под ред. Э.Д. Тартаковского: Межвуз. сб. науч. тр. / Харьковский ин-т инж. ж.-д. трансп. Харьков, 1989. Вып. 892. – 192 с.
114. Моисеев Н.Н. Математические методы системного анализа / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1984.

115. 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.

116. 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.

117. 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.

118. Мониторинг и анализ эксплуатационной деятельности локомотивного хозяйства ОАО «РЖД» за декабрь и 12 месяцев 2009 года: ОАО «РЖД», 2010.

119. Мотовилов К.В. Выбор рациональных путей повышения производственной мощности вагоноремонтных предприятий / К.В. Мотовилов // Межвузовский сб. научн. трудов. Вопросы совершенствования технологии, организации и ремонта вагонов. – М., 1984. – С. 3 – 10.

120. Мурашкин С.Л. Технология машиностроения в 3-х кн. Часть 2. Проектирование технологических процессов / под ред. С.Л. Мурашкина. Учебное пособие в 3-х кн. – СПб. Изд-во СПбГТУ, 2000. 498 с.

121. Муртаф Б. Современное линейное программирование. Пер. с . англ. / Б. Муртаф. – М.: Мир, 1984. – 224 с.

122. Мямлин В.В. Использование метода статистического моделирования при проектировании поточных линий для ремонта вагонов / В.В. Мямлин // Вопросы оптимизации деталей тележек и организации обслуживания вагонов. Сб. науч. тр. Днепропетровск, 1985. – С. 64-69

123. Мямлин В.В. Прогнозирование значений производительности труда в проектируемых вагоноборочных цехах при помощи регрессионных моделей / В.В. Мямлин // Вопросы оптимизации деталей тележек и организации обслуживания вагонов. Сб. науч. тр. Днепропетровск, 1985.

124. Мямлин В. В. Ретроспективный анализ методов организации ремонта грузовых вагонов в депо и пути его дальнейшего развития / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. - Д., 2010. - Вип. 34. - С. 51-60. На «пространстве 1520» // РЖД-Партнер, №10, 2010. – С. 10.

125. На «пространстве 1520» // РЖД-Партнер, №10, 2010. – С. 10.

126. Наговицын В.С. Неразрушающий контроль и направления его развития / В.С. Наговицын // Ж.д. транспорт, №3, 2002.

127. Находкин В.М. Технология ремонта тягового подвижного состава / В.М. Находкин, Р.Г. Черепашшинец. – М.: Транспорт, 1998. – 461 с.

128. Ножевников А.М. Поточно-конвейерные линии ремонта вагонов / А.М. Ножевников. – М.: Транспорт, 1980. – 137 с.

129. Нормы времени и трудоемкости на выполнение работ по ремонту подвижного состава в ОАО "РЖД" / утверждены распоряжением ОАО "РЖД" от 3 июля 2006 г. N 1350р., 2006.

130. Организация текущего ремонта подвижного состава на железных дорогах Великобритании // Железнодорожный транспорт за рубежом: локомотивное и вагонное хозяйство. Подвижной состав. ЦНИИТЭИ. 2001. – вып. 3-4.

131. Организация и планирование машиностроительного производства (производственный менеджмент) / под ред. Ю.В. Скворцова, Ю.А. Некрасова. – М.: Высш. шк., 2003. – 470 с.

132. Основы технической диагностики / Под ред. П.П. Пархоменко. – М.: Энергия, 1966. – 285 с.

133. ОСТ 32.109-97. Тяговой подвижной состав (ТПС). Система технического обслуживания и ремонта. Термины и определения.

134. Осяев А.Т. Обеспечение эксплуатационной надежности локомотивов на этапах жизненного цикла / А.Т. Осяев, А.Б. Подшивалов и др. – М.:, 2006. – 159 с.
135. Осяев А.Т. Система ремонта локомотивов с учетом их фактического состояния на основе технической диагностики / А.Т. Осяев, И.П. Исаев, А.В. Горский // Вестник ВНИИЖТ, № 6. – М., 1991. С. 17.
136. Ответчиков Н.В. и др. Сетевое планирование и управление в отрасли вагоностроения // Труды ВНИИВ, вып.9. – М.: 1969.
137. Панков Г.В., Селиванов С.Г. Непрерывная реконструкция предприятий машиностроения / Г.В. Панков, С.Г. Селиванов. – М.: Машиностроение, 1991. – 178 с.
138. Парамонов Ф.И. Моделирование процессов производства / Ф.И. Парамонов. – М.: Машиностроение, 1984. – 232 с.
139. Первозванский А. А. Курс теории автоматического управления / А.А. Первозванский. – М.: Лань, 2010. – 624 с.
140. Перегудов Ф.И. Введение в системный анализ / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. – М.: Высшая школа, 1989.
141. Пигунов В.В. Изучение времени использования оборудования способом моментных наблюдений на вагоноремонтных предприятиях ж.д. Транспорта / Белорусский НИИ НТИ и ТЭИ Госплана БССР. Наука и технич. прогресс в машиностроении. Тезисы докладов, 1974.
142. Пигунов В.В. Методика и результаты проведения на ЭВМ имитационных экспериментов с моделями управления запасами вагоноремонтных предприятий// Белорусский ин-т инж. ж. д. тр-та. Тез. докл. Гомель, 1977. С. 39-40
143. Подиновский В.В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. – М.: Наука, 1982. – 256 с.
144. Подшивалов Ю.С. Передвижные машины для безотцепочного ремонта вагонов / Ю.С. Подшивалов, Л.И. Сидоренко. М.: Транспорт, 1986. –145 с.

145. Половинкин А.И. Алгоритмы оптимизации проектных решений. – М.: Энергия, 1976. – 264 с.
146. Положение о системе технического обслуживания и ремонта локомотивов ОАО «РЖД». Утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 17.01.2005 г. № 3р.
147. Полуэктов М.В. Построение системы автоматизированного проектирования технологических процессов (АПТП) для ГАП / М.В. Полуэктов, С.В. Курников // Материалы межотраслевой конференции "Прогресс 84". – М.: ВИМИ. 1985. 186 с.
148. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати; Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
149. Приоритетные задачи энергетической стратегии ОАО «РЖД» // Локомотив, 2008. – №8. – С. 2 – 5.
150. Программа инновационного развития ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 года / Утверждена советом директоров ОАО «РЖД» (протокол №13 от 24.06.2011). – М.: ОАО «РЖД», 2011. – 167 с.
151. Проектирование автоматизированных участков и цехов / В.П. Вороненко, В.А. Егоров, М.Г. Косов и др.; под ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Высшая школа, 2003. – 272 с.
152. Проектирование машиностроительных заводов и цехов. Справочник в 6 томах. Том 4. Проектирование механических, сборочных цехов, цехов защитных покрытий / под общей редакцией Е.С. Ямпольского. – М.: Машиностроение, 1974. – 326 с.
153. Проектирование промышленных предприятий: Принципы. Методы. Практика/ Клаус-Герольд Грундиг; Пер. с нем. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. – 340 с.
154. Работать по новым принципам// Железнодорожный транспорт, №4, 2010. – С. 30-34.
155. Райков Г.В. Алгоритм расчета оптимальной последовательности выполнения операций при ремонте вагонов // Вестник ВНИИЖТ, 1976, №5.

156. Райков Г.В. Развитие системы ТО и ремонта грузовых вагонов // Г.В. Райков, Д.И. Хаба // Ж.д. транспорт, № 8, 2002.
157. Рахматуллин М.Д. Ремонт тепловозов / М.Д. Рахматуллин. – М.: Машиностроение, 1977. – 447 с.
158. Реконструкция предприятий машиностроения / Г.В. Пешков, В.М. Смирнов, И.Д. Спектор, А.Г. Мокроносов. – М.: Машиностроение, 1988. – 160 с.
159. Ремонт грузовых вагонов по пробегу / Н.А. Бочкарев // Железнодорожный транспорт, №11, 2010. – С. 37 – 40.
160. Ремонт с осложнениями // Коммерсант. 10.04.2008.
161. Реформе нужен ремонт // РЖД-Партнер, №24, 2009. – С. 28 – 31.
162. Руководство по текущему и среднему ремонту электрических машин электровозов: ОАО «РЖД». – М., 2010. – 296с.
163. Руководство по текущему ремонту и техническому обслуживанию электровозов переменного тока серии ВЛ: ОАО «РЖД». – М., 2004. – 404 с.
164. Рынок транспортных услуг: взаимодействие и партнерство // РЖД-Партнер, №22, 2009. – С. 21.
165. Савоськин А.Н. Автоматизация ЭПС / А.Н. Савоськин, А.В. Плакс, В.П. Феоктистов и др. – М.: Транспорт, 1990. – 310 с.
166. Савоськин А.Н. Прочность и безотказность подвижного состава железных дорог / А.Н. Савоськин, Г.П. Бурчак, А.П. Матвеевич и др.; под общей ред. А.Н. Савоськина. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.
167. Самочкин В.Н. Оценка инновационных возможностей предприятия и их использование при формировании долгосрочных планов развития / В.Н. Самочкин, О.А. Тимофеева, А.А. Калюкин // Менеджмент в России и за рубежом, №6, 2002. – С. 12–21.
168. Самуэльсон Пол А. Экономика / Пол А., Самуэльсон, Вильям Д. Пордхаус. – М.: Издательство “Бином-КноРус”. 1997. – 800 с.

169. Саркисян С.А. Теория прогнозирования и принятия решений: учебное пособие / С.А. Саркисян, В.И.Каспин, В.А. Лисичкин, Э.С. Минаев, Г.С.Пасечник / под ред. С.А. Саркисяна – М.: Высшая школа, 1977. – 351 с.

170. Северинова Т.П. Исследование трещиностойкости сталей литых деталей тележек грузовых вагонов длительного периода эксплуатации / Т.П. Северинова // Вестник ВНИИЖТ, №3, 1999. – С. 35 – 40.

171. Северинова Т.П. Определение интенсивности напряжений при наличии трещины в нижнем поясе надрессорной балки грузового вагона / Т.П. Северинова // Вестник ВНИИЖТ, №1, 1990. – С. 32 – 34.

172. Селиванов С.Г. Проектирование роботизированных технологических процессов / С.Г. Селиванов. Уфа: УГАТУ, 1994. – 87с.

173. Сенько В.И. Обоснование долгосрочных тенденций функционирования и развития базы для деповского ремонта грузовых вагонов Тез.докл. Всесоюз. науч.-технич.конф. Гомель. 1985. – С. 357 – 358

174. Сенько В.И. Актуальные проблемы совершенствования системы технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов на ж.д. СССР / В.И. Сенько, Ю.С. Бараш и др // Ж.д. транспорт: ВИНТИ. № 3.

175. Сенько В.И. Поточные линии ремонта грузовых вагонов с гибким маневрированием / В.И. Сенько, Ю.С. Бараш и др // Межвуз. сб. науч. тр. "Динамика и прочность грузовых вагонов".– М.: 1986. – С. 152 – 159.

176. Сергеев К.А. Снижение энергозатрат железнодорожного транспорта за счет повышения качества ремонта и технического обслуживания вагонов / К. А. Сергеев, В.В. Готаулин // Энергосберегающие технологии на ж.д. транспорте. Сборник научных статей. РГОТУПС. 2002.

177. Сергеев К.А. Проектирование вагонных депо и ремонтных заводов / К.А. Сергеев, ред. В.Н. Жданов, О.Ю. Кривич. Учебное пособие. – М.: РГОТУПС. 2002. – 143 с.

178. Сергеев К.А. Резервы повышения уровня механизации работ на пункте технического обслуживания (ПТО) / К.А. Сергеев // Межвузовский сборник науч. тр. № 122, ВЗИИТ, 1984.

179. Сергеев К.А. Сокращение расходов на технологическую подготовку производства вагоноремонтных предприятий / К.А. Сергеев // Сборник ВИНТИ "Транспорт. наука, техника, управление" №8, 2002. – С. 51 – 53 .
180. Сергеев К.А. Совершенствование работы вагонного депо / К.А. Сергеев, А.В. Васильев, В.М. Кисляков, К.Н. Торубаров // Труды ВЗИИТа. – М.: 1990. – С. 68 – 71.
181. Сергеев К.А. Автоматизация проектирования вагонных депо / К.А. Сергеев, А.В. Васильев, А.С. Якушев // Труды ВЗИИТа. – М.: 1990. – С. 72 – 74.
182. Сергеев К.А. Технологическую подготовку производства в вагонных депо на современный уровень / К.А. Сергеев, С.Ф. Ващенко, А.В. Кучеренко // Труды ВЗИИТа. – М.: 1990. – С. 65 – 67.
183. Сергеев К.А. Ультразвуковой контроль колесных пар и безопасность движения поездов / К.А. Сергеев, В.В. Готаулин // Безопасность движения на ж.д. транспорте. Сборник научных статей. РГОТУПС. 2002. – С. 49 – 51.
184. Сергеев К.А. Оценка затрат ресурсов в технологических процессах ремонта вагонов / К.А. Сергеев, О.Ю. Кривич, Т.Г. Чернова // Ресурсосберегающие технологии на ж.д. транспорте. Сборник научных статей. СамГУПС. 2003.
185. Сергеев К.А. Пути поиска энергосберегающих технологий при техническом осмотре и ремонте вагонов / К.А. Сергеев, Ф.Ф. Насибулин // Энергосберегающие технологии на ж.д. транспорте. Сборник научных статей. РГОТУПС. 2002.
186. Сирота А.А. Компьютерное моделирование и оценка эффективности сложных систем / А.А. Сирота. – М.: Техносфера, 2006. – 280 с.
187. Сиротенко Э.А. Системное представление аудита / Э.А. Сиротенко // Аудит и финансовый анализ, 2005. – №1. – С. 80 – 102.
188. Скиба И.Ф. Комплексная механизация и автоматизация ремонта подвижного состава / И.Ф. Скиба и др. – М.: Транспорт, 1977. – 243 с.

189. Скиба И.Ф. Экономическая эффективность новой техники, организации и технологии ремонта вагонов / И.Ф. Скиба. – М.: Транспорт, 1964. – 243 с.
190. Скиба И.Ф. Комплексно-механизированные поточные линии в вагоноремонтном производстве / И.Ф. Скиба, В.А. Ежиков. – М.: Транспорт, 1982. – 136 с.
191. Скиба И.Ф. Анализ путей повышения экономической эффективности вагоноремонтных заводов / И.Ф. Скиба, К.В. Мотовилов // Межвузовский сб. научн. трудов. Вопросы совершенствования технологии, организации и ремонта вагонов. – М.: 1984. – С. 35-43.
192. 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.
193. 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, №1, 2013. – С. 217 – 223.
194. 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.
195. Смирнов В.А. Модульный принцип моделирования ремонта ПС / В.А. Смирнов, А.М. Семенов // Мир транспорта, 2012. – №3. – С. 158 – 163.
196. 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.

197. 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.

198. Смирнов В.А. Анализ состояния существующего технологического процесса ремонта тяговых электродвигателей грузовых электровозов 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.

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

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

201. 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.

202. 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.

203. 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.

204. 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.

205. 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.

206. 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.

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

208. 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.

209. 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.

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

211. 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.

212. 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.

213. 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.

214. 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.

215. Смирнов В.А. Оценка предельных параметров функционирования сложных технологических систем предприятий с общими производственными ресурсами / В.А. Смирнов // Транспорт Урала, 2020. – № 3.

216. 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.

217. 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.

218. Смирнов В.А. Оценка остаточного ресурса узлов и деталей подвижного состава по результатам неразрушающего контроля / В.А. Смирнов, В.Ф. Кузнецов // В мире неразрушающего контроля, № 3, 2008.

219. 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.

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

221. В.А. Смирнов. 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.

222. 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.

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

224. 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.

225. Смирнов В.А. Приоритеты инновационного развития неразрушающего контроля и диагностирования подвижного состава / В.А. Смирнов, Д.В. Таловский // Инновации для транспорта: Материалы международной научно-технической конференции / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2010.

226. 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.

227. 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.

228. Смирнов В.А. Современное состояние и перспективы развития средств механизации электромашиного 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.

229. 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.

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

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

232. 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.

233. 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.

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

235. 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.

236. 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.

237. Смирнов В.А. Анализ эффективности функционирования технологических комплексов сервисного обслуживания локомотивов методами имитационного моделирования / В.А. Смирнов // Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов: материалы второй Международной научно-практической конференции. – М.: ООО «Локомотивные технологии», 2015. – С. 292 – 297.

238. 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.

239. 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.

240. Патент на полезную модель RUS 169641 18.04.2016 Автоматизированный комплекс очистки деталей и узлов подвижного состава / Смирнов В. А., Панов К. В.

241. Смирнов В.А. Патент на полезную модель RUS 170076 22.06.2016 Автоматизированный комплекс дробеструйной очистки кузовов подвижного состава железных дорог / Смирнов В.А., Панов К.В.

242. 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.

243. 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.

244. 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.

245. Смирнов Н.В. Курс теории вероятности и математической статистики для технических приложений/ Н.В. Смирнов, И.В. Дунин-Барковский. – М., 1969. – 511 с.

246. Стратегические направления научно-технического развития ОАО «РЖД» на период до 2015 года («Белая книга» ОАО «РЖД»). Утверждены ОАО «РЖД» 31.08.2007.

247. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года / Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации № 877-р от 17.06.2008. – М., 2008.

248. Стратегия развития транспортного машиностроения Российской Федерации в 2007 – 2010 годах и на период до 2015 года. – М., 2007. – 69 с.

249. Сычев Е.И. Теоретические основы совершенствования планирования оптимального развития вагоноремонтной базы в крупных железнодорожных узлах / Е.И. Сычев, - Деп. ЦНИИТИ МПС, 1981.

250. Тамм Б.Г. Анализ и моделирование производственных систем / Б.Г. Тамм, М.Э. Пуусепп, Р.Р. Таваст. – М.: Финансы и статистика, 1987. – 191 с.

251. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем: учебник для вузов / В.П. Тарасик. – Минск: ДизайнПРО, 2004. – 640 с.

252. Теория организации / Под ред. В.Г. Алиева. – М.: Луч, 1999. – 416 с.

253. Терешин Л.В. Механизация и автоматизация производственных процессов при ремонте пассажирских вагонов / Л.В. Терешин, И.Г. Зеленин. – М.: Транспорт, 1974. – 86 с.

254. Технологические основы ГПС: Учебник для машиностроительных вузов/ В. А. Медведев, В. Н. Брюханов и др.; Под. ред. Соломенцева. - М.: Машиностроение, 1991. - 239с.

255. Технология вагоностроения и ремонта вагонов: Учебник для вузов / В. С. Герасимов, И. Ф. Скиба, Б. М. Кернич и др.; Под ред. В. С. Герасимова. – М.: Транспорт, 1988. – 381 с.
256. Транспортно-накопительные системы для ГПС / В.А. Егоров, В.Д. Лузанов, С.М. Щербаков. – Л.: Машиностроение, 1989. – 293 с.
257. Транспортные и погрузочно-разгрузочные средства / С.А. Ширяев, В.А. Гудков, Л.Б. Миротин; Под ред. С.А. Ширяева. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 848 с.
258. Устич П.А. Надежность рельсового нетягового подвижного состава / П.А. Устич, В.А. Карпычев, М.Н. Овечников. – М.: ИГ «Вариант», 1999. – 416 с.
259. Ушаков И.А. Надежность технических систем: справочник / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин и др. / под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.
260. Фалин Г.И. Математический анализ рисков в страховании / Г.И. Фалин. – М.: Российский юридический издательский дом, 2004. – с. 130.
261. Федосов Е.А. Автоматизация проектирования сложных технических систем // Вест. АН СССР. 1986. № 10. С. 40-49
262. Феоктистов В.П. Техническое диагностирование электронного оборудования транспортных средств / В.П. Феоктистов, И.К. Лакин // Транспорт: наука, техника, управление. 1997. № 11. С. 5-19.
263. Финаев В. И. Аналитические и имитационные модели: учебное пособие / В. И. Финаев, Е.Н. Павленко, Е.В. Заргарян. – Таганрог: Изд-во Технологического института ЮФУ, 2007. – 310 с.
264. Форсайт Р. ред. Экспертные системы. Принципы работы и примеры.: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1987. – 224 с.
265. Харин Ю.С. Основы имитационного и статистического моделирования: учебное пособие / Ю.С. Харин, В.И. Малюгин, В.П. Кирилица, В.И. Лобач, Г.А. Хацкевич. – Мн.: Дизайн ПРО, 1997, – 288 с.
266. Харламов В.В. Повышение качества изготовления и ремонта коллекторов тяговых электродвигателей подвижного состава / В.В. Харламов,

С.Г. Шантаренко, Ю.Я. Безбородов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения: Науч.-техн. журнал / Ростовский гос. ун-т путей сообщения. Ростов-на-Дону, 2005. – № 2 – С. 22-29.

267. Хилл П. Наука и искусство проектирования / Пер. с англ.; П. Хилл. – М.: Мир, 1973. – 259 с.

268. Хокс Б. Автоматизированное проектирование и производство: Пер. с англ. / Б.Хокс. – М.: Мир, 1991. – 296 с.

269. Цапенко М.П. Измерительные информационные системы. Структуры и алгоритмы: Схемотехническое проектирование / М.П. Цапенко. – М.: Энергоиздат, 1985. – 429 с.

270. Цвиркун А.Д. Имитационное моделирование в задачах синтеза структуры сложных систем / А.Д. Цвиркун, В.К. Акинфиев, В.Д. Филиппов. – М.: Наука, 1985. – 173 с.

271. Цыгичко А.Н. Повышение эффективности производства / А.Н. Цыгичко. – М.: Экономика, 1982. – 159с.

272. Чейз Р. Производственный и операционный менеджмент / Пер. с англ.; Р. Чейз, Н.Дж. Эквилайн, Р.Ф. Якобс. – М.: Вильямс, 2001. – 704 с.

273. 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.

274. Четвергов В.А. Надежность локомотивов / В.А. Четвергов, А.Д. Пузанков: Учебник для вузов ж.-д. трансп. – М.: Маршрут, 2003. – 415 с.

275. Шабалин Н.Г. Принципы организации систем управления техническим состоянием инфраструктуры железнодорожного транспорта для обеспечения безопасности движения поездов / Н.Г. Шабалин: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. Новосибирск, 2004. – 40 с.

276. Шабалин Н.Г. Контроль безопасности движения в локомотивном депо / Н.Г. Шабалин // Тезисы научно-практической конференции «Безопасность движения поездов». М.: МИИТ, 1999. – С. 25.

277. Шантаренко С.Г. Задачи рациональной организации процессов технического обслуживания и ремонта локомотивов / С.Г. Шантаренко // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тез. 65 Международ. науч.-практ. конф. / Днепропетровский национал. ун-т ж.-д. трансп. Днепропетровск, 2005. – С. 51.

278. Шантаренко С.Г. Новые технологии ремонта для электровозов ЭП1/ С.Г. Шантаренко// Локомотив, 2005. – №9. – С. 34 – 36.

279. Шантаренко С.Г. Обеспечить качество ремонта локомотивов в условиях депо / С.Г. Шантаренко // Локомотив, 2005. – №5. – С. 34 – 35.

280. Шантаренко С.Г. Опыт внедрения нестандартного технологического оборудования в локомотивных депо / С.Г. Шантаренко // Железнодорожный транспорт, 2005. – №1.– С. 64 – 66.

281. Шантаренко С.Г. Ученые отраслевых вузов - транспорту. Омский государственный университет путей сообщения // Железнодорожный транспорт, №8, 2009.

282. Шапкин А.С. Экономические и финансовые риски. Оценка, управление, портфель инвестиций: Монография. – М.: Издательско-торговая корпорация "Дашков и К°", 2003. – 544 с.

283. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон. – М.: Мир, 1978. – 420 с.

284. Шишков А.Д. Организация, планирование и управление производством по ремонту подвижного состава / А.Д. Шишков, В.А. Дмитриев, В.И. Гусаков. М.: Транспорт, 1997. – 343 с.

285. Школьник Л. М. Скорость роста трещин и живучесть металла / Л.М. Школьник. – М.: 1973. – 216 с.

286. Шляпин В.Б. Ремонт вагонов сваркой: Справочник / В.Б. Шляпин, А.Ф. Павленко, В.Ю. Емельянов. – М.: Транспорт, 1983. – 246 с.

287. Шпур Г. Автоматизированное проектирование в машиностроении: Пер. с нем / Г. Шпур, Ф.Л. Краузе. – М.: Машиностроение, 1988. – 648 с.

288. Шрейдер Ю.А. Системы и модели / Ю.А. Шрейдер, А.А. Шаров // – М.: Радио и связь. 1982. – 152 с.
289. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения: пер. с англ. / Р. Штойер. – М.: Радио и связь, 1992. – 504 с.
290. Шуткин Л.В. Новое мышление компьютерного мира: паттерновые сети для моделирования информационных систем / Л.В. Шуткин. М.: НТИ. 2001. Сер. 2. Информационные процессы и системы. №6. – С. 5 – 17.
291. Щербаков В.Г. Тяговые электродвигатели электровозов / В.Г. Щербаков. Новочеркасск: Агентство Наutilus, 1998. – 672 с.
292. Эконометрика / под ред. И.И. Елисеевой. М.: Финансы и статистика, 2004. – с. 248.
293. Электроподвижной состав. Эксплуатация, надежность и ремонт / Под ред. А.Т. Головатого и А.П. Борцова. – М.: Транспорт, 1983. – 352 с.
294. Энджел Дж.Ф. Поведение потребителей / Дж.Ф. Энджел, Р.Д. Блэкуэлл, П.У. Миниард. – СПб: Питер Ком, 2000. – 759 с.
295. Яглом И.М. Математические структуры и математическое моделирование / И.М. Яглом. М.: Советское радио, 1980.
296. Ястребов А.С. Принципы построения имитационной модели гибкого автоматизированного сборочно-монтажного производства приборной аппаратуры / А.С. Ястребов, В.И. Волгонин, Е.С. Щербаков // Межвуз. сб. ЛИАП. 1984. Вып. 170. С. 22 - 28.
297. Grenander U. General Pattern Theory / U. Grenander. – Oxford University Press, 1993. – 904 p.
298. Hillier F.S., Lieberman G.J. Introduction to Operations Research. – 7th ed. – Boston: McGraw-Hill, 2001. – 1214 p.
299. Schulte, H.: Fabrikplanung als Managementaufgabe. Vortrag auf der 2. Deutschen Fachkonferenz Fabrikplanung, Stuttgart, 1999.
300. Wild R. Essentials of production and operations management: text and cases / R. Wild. - 4th ed. -UK: Henley management college, 1995. – 520 p.

Приложение А

Акты внедрения результатов диссертационной работы

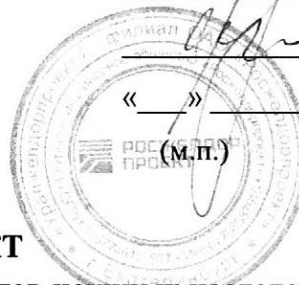


УТВЕРЖДАЮ

Главный инженер

С.А. Лукьянов

«__» _____ 2013 г.



АКТ

Об использовании результатов научных исследований и разработок в производстве

Основание: разработка, выполненная под руководством и при непосредственном личном участии к.т.н. Смирнова Виктора Александровича.

Предмет разработки: технологический проект реконструкции цеха ТР-3 локомотивного депо Егоршино Свердловской железной дороги.

Целью разработки является разработка технологических решений по повышению качества и увеличению программы текущего ремонта ТР-3 тепловозов ТЭМ2 в локомотивном депо Егоршино Куйбышевской железной дороги с перспективой освоения ремонта ТР3, СР тепловозов ТЭМ18.

Разработка выполнена в рамках проекта реконструкции локомотивного депо Егоршино по договору №01-036-06/08 от «10» сентября 2008 г. Генеральный подрядчик – Екатеринбургский проектно-изыскательский институт «Уралжелдорпроект» - филиал ОАО «Росжелдорпроект», функциональный заказчик – Свердловская железная дорога – филиал ОАО «РЖД».

Проектная мощность предприятия – 96 ТР-3 тепловозов ТЭМ2 в год. Основные объекты проектирования: цех ТР-3 тепловозов; поточная линия разборки, сборки и ремонта тележек; поточная линия разборки и сборки колесно-моторных блоков с участком ремонта малой шестерни и кожухов зубчатой передачи; отделение по ремонту автотормозного оборудования, компрессоров, тормозной рычажной передачи; отделение по ремонту электрической аппаратуры, электронного оборудования и приборов безопасности; механизированный склад агрегатов.

Технологический проект выполнен в соответствии с требованиями национальных стандартов, строительных норм и правил к комплектности и содержанию проектно-сметной документации марки «ТХ». В рамках проекта разработана функциональная схема производственного комплекса, выполнено структурирование и конфигурирование технологических участков, произведен расчет производственно-технологических показателей, решена задача выбора и оптимального размещения оборудования по критериям прямооточности, минимизации производственной площади, грузооборота ремонтного фонда и технологической энергоемкости ремонта тепловозов, выполнено виртуальное 3D моделирование объектно-планировочных решений основных цехов и участков.

Особые условия: в проекте предусматривается возможность гибкой переналадки производственно-технологической системы предприятия для освоения ТР-3, СР ТЭМ18.

1. Разработка является новой и характеризуется следующими основными особенностями (признаками):

- структурирование и конфигурирование производства выполнены с учетом доступности и безопасности транспортного обслуживания рабочих мест, минимальной протяженности маршрутов, прямоотчности и независимости материальных потоков;

- позиции сборки и разборки тепловозов стойловой части оборудованы смотровыми канавами с регулируемым уровнем пола, технологическими площадками для работы на крыше тепловоза, мостовым краном на вспомогательных колоннах, обеспечивающим удобство демонтажа и установки оборудования с управлением по командам слесаря-оператора;

- технологические участки ремонта тележек и колесно-моторных блоков организованы по принципу поточного производства с независимыми потоками разборки и сборки узлов и агрегатов, характеризуются высоким уровнем технологической замкнутости, имеют собственные полуавтоматические подсистемы транспортирования объектов ремонта;

- выбор оборудования произведен по комплексному критерию, учитывающему технический уровень разработки (производительность, качество, степень автоматизации и механизации операций), экономичность энергопотребления, требования к квалификации оператора, затраты на приобретение и последующего сервисного обслуживания;

- накопление и комплектование тяговых двигателей и колесных пар осуществляется с использованием механизированного склада агрегатов;

- технологическая транспортная система выполнена в виде двух функционально-разделенных уровней. Первый уровень образуют локальные подъемно-транспортные механизмы (монорельсовые транспортные системы, трансбордеры, рельсовые конвейеры), обслуживающие заявки в пределах одного технологического участка, а также между смежными участками, второй образован мостовыми кранами и предназначен для обслуживания маршрутов между цехами и удаленными участками.

2. Техничко-экономическая эффективность:

Техничко-экономическая эффективность обуславливается экономией годовых эксплуатационных расходов от уменьшения времени простоя на ремонте, повышения качества ремонта и снижения затрат на транспортировку локомотивов.

3. Предложения по дальнейшему использованию и другие замечания:

Рекомендуется использование разработки при создании аналогичных проектов нового строительства, модернизации и реконструкции локомотивных депо, выполняющих текущий ремонт ТР-3 и средний ремонт маневровых тепловозов.

Начальник бюро ГИПов

В.В. Пшеничников

Главный инженер проектов

В.И. Хомутских





УТВЕРЖДАЮ

Главный инженер института
 А.Н. Резинкин
 2013 г.



АКТ

Об использовании результатов научных исследований и разработок в производстве

Основание: разработка, выполненная под руководством и при непосредственном личном участии к.т.н. Смирнова Виктора Александровича.

Предмет разработки: проект испытательной станции дизелей тепловозов после среднего ремонта локомотивного депо Зима Восточно-Сибирской железной дороги.

Целью разработки является создание испытательного комплекса дизелей серии 10Д100, ПД1М, Д49 после среднего ремонта. При этом конструкторско-технологические решения испытательной станции должны обеспечивать: проведение испытаний в автоматизированном режиме, комплексное снижение затрат топливно-энергетических ресурсов, безусловное соблюдение экологических и санитарных норм с учетом особенностей местных условий (примыкание к станции производственных цехов, непосредственная близость жилой застройки).

Разработка выполнена в рамках проекта комплексной реконструкции локомотивного депо Зима Восточно-Сибирской железной дороги по договору № 17 от 28.02.2007 г. Генеральный подрядчик – Иркутский проектно-изыскательский институт «Иркутскжелдорпроект» — филиал ОАО «Росжелдорпроект», функциональный заказчик – Восточно-Сибирская железная дорога – филиал ОАО «РЖД».

1. Разработка является новой и характеризуется следующими основными особенностями (признаками):

- в рамках проекта проведены расчетно-аналитические исследования по оценке уровня акустического шума при испытаниях дизеля, объемов и концентрации вредных выбросов, возможных вариантов утилизации и повторного использования энергии при испытаниях;

- для минимизации акустического воздействия на персонал станции, помещения смежных ремонтных цехов, расположенные в непосредственной близости жилые строения в проекте предусмотрен многоуровневый комплекс защиты на основе шумоотражающих и шумопоглощающих элементов;

- разработан проект автоматизации процессов управления скоростными и нагрузочными режимами дизель-генераторной установки, системы контроля технического

состояния топливной аппаратуры, температуры и давления теплоносителей, экономичности дизель-генераторной установки на основе комплекса автоматизированных реостатных испытаний «Кипарис»;

- в качестве системы отвода и очистки отработавших газов используется двухступенчатый газоконвертор, состоящий из двух блоков. Первый блок обеспечивает охлаждение отработавших газов, второй – их очистку путем воздействия объёмного барьерно-стриммерного разряда мультirezонансной частоты, озона, кислорода атмосферного воздуха и каталитического воздействия на молекулы газообразных загрязнений;

- для сокращения потерь энергии при испытаниях, предусмотрена система пассивной нагрузки на реостаты-теплообменники, позволяющие повторно использовать выделившейся тепловой энергии для технологических нужд предприятия.

2. Техничко-экономическая эффективность

Техничко-экономическая эффективность обуславливается следующими факторами: экономии топлива за счет автоматизации процессов испытаний; повышения коэффициента экономичности схемы испытаний путем полезного использования преобразованной энергии; мультипликативного эффекта предприятия в целом за счет освоения среднего ремонта дизелей в условиях депо. Размер экономического эффекта определяется программой испытаний дизелей.

3. Предложения по дальнейшему использованию и другие замечания:

Рекомендуется использование разработки при создании аналогичных испытательных станций для локомотивных ремонтных депо и заводов, выполняющих средний и капитальный ремонт дизелей серии 10Д100, ПД1М, Д49.

Главный инженер проектов
института Иркутскжелдорпроект



С.М. Жигулин



УТВЕРЖДАЮ

Главный инженер

А.Г. Дудин

2013 г.

**АКТ**

**Об использовании результатов научных исследований
и разработок в производстве**

Основание: разработка, выполненная под руководством и при непосредственном личном участии к.т.н. Смирнова Виктора Александровича.

Предмет разработки: технологический проект реконструкции локомотивного депо Кинель Куйбышевской железной дороги.

Целью разработки является разработка технологических решений по организации текущего ремонта ТР-3 и тяговых двигателей грузовых электровозов постоянного тока в локомотивном депо Кинель Куйбышевской железной дороги.

Разработка выполнена в рамках проекта комплексной реконструкции локомотивного депо Кинель по договору №1СП/14339 от «09» 06.2008 г. в соответствии с требованиями технического задания на проектирование от 14.01.2008 г. и дополнениями к заданию от 10.04.2009 г., утвержденных начальником департамента локомотивного хозяйства ОАО «РЖД» Ю.А. Машталером. Генеральный подрядчик – Самарский проектно-изыскательский институт «Желдорпроект Поволжья» - филиал ОАО «Росжелдорпроект», функциональный заказчик – Куйбышевская железная дорога – филиал ОАО «РЖД».

Проектная мощность предприятия – 320 секций электровозов и 1520 тяговых двигателей в год. Основные объекты проектирования: стойловая часть цеха ТР-3 грузовых электровозов с участком сборки-разборки колесно-моторных блоков и тележечным отделением, электромашинный цех с пропиточно-сушильным отделением, центральный склад агрегатов, вспомогательные отделения цеха ТР-3 по ремонту токоприемников, пусковых резисторов, гидравлических гасителей колебаний, букс моторно-осевых подшипников.

Технологический проект выполнен в соответствии с требованиями национальных стандартов, строительных норм и правил к комплектности и содержанию проектно-сметной документации марки «ТХ». В рамках проекта разработана функциональная схема производственного комплекса, выполнено структурирование и конфигурирование технологических участков и рабочих позиций, решена задача выбора и оптимального размещения оборудования по критериям минимизации производственной площади,

грузооборота ремонтного фонда и технологической энергоемкости ремонта электровозов для заданного уровня механизации процессов.

1. Разработка является новой и характеризуется следующими основными особенностями (признаками):

- структурирование и конфигурирование производства выполнены с учетом доступности и безопасности транспортного обслуживания рабочих мест, минимальной протяженности маршрутов, прямооточности и независимости материальных потоков;

- технологические участки организованы по принципу поточного производства с управляемым реверсом параллельных позиций разборки-сборки и гибким маневрированием потока изделий при изменении состава ремонтно-восстановительных операций, характеризуются высоким уровнем технологической замкнутости;

- выбор оборудования произведен по комплексному критерию, учитывающему технический уровень разработки (производительность, качество, степень автоматизации и механизации операций), экономичность энергопотребления, требования к квалификации оператора, затраты на организацию последующего сервисного обслуживания;

- система контроля качества ремонта автоматизированная распределенная с электронной паспортизацией данных и идентификацией объектов ремонта по типу, марке и заводскому номеру узла или детали;

- перед позициями сборки предусмотрены специализированные участки комплектования объектов ремонта, на которых производится входной контроль и группировка отдельных узлов и деталей в сборочные единицы с учетом их взаимозаменяемости;

- технологическая транспортная система выполнена в виде двух функционально-разделенных уровней. Первый уровень образуют локальные подъемно-транспортные механизмы, обслуживающие заявки в пределах ограниченного участка или позиции, а также между смежными позициями и участками, второй образован мостовыми кранами и предназначен для обслуживания маршрутов между цехами и группами участков. Второй уровень также выполняет функцию резерва.

2. Технико-экономическая эффективность:

Технико-экономическая эффективность обуславливается экономией годовых эксплуатационных расходов от уменьшения времени простоя локомотивов на ремонте и снижения затрат на транспортировку тяговых двигателей для их ремонта в объеме ТР-3. По предварительной оценке специалистов Куйбышевской железной дороги суммарный экономический эффект от внедрения проекта составит около 138 млн. руб. в год.

3. Предложения по дальнейшему использованию и другие замечания:

Рекомендуется использование разработки при создании аналогичных проектов нового строительства, модернизации и реконструкции локомотивных депо, выполняющих текущий ремонт ТР-3 и средний ремонт электровозов.

Главный инженер проекта



К.В. Шепелев


KAZINTEH IRC
Investment Reengineering Company

Товарищество с ограниченной ответственностью

«KazInTeh- IRC»

 РК, 010000, г. Астана, ул. «181», зд. №10, цех №2
 8(7172)738-566, 738-567, info@kazinteh.kz

УТВЕРЖДАЮ

Директор ТОО «KazInTeh-IRC»

А.Ж. Омирбеков

2013 г.

АКТ

Об использовании результатов научных исследований и разработок в производстве

Основание: разработка, выполненная под руководством и при непосредственном личном участии к.т.н., доцента Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС) Смирнова В.А.

Предмет разработки: математическая модель производственного комплекса вагоноремонтного депо. Модель позволяет выполнить динамическое моделирование процессов ремонта грузовых вагонов с учетом технико-технологических параметров и показателей основных элементов технологической системы предприятия – технологического оборудования, накопителей, средств доставки и грузоподъемных механизмов.

Целью разработки является оптимизация технологических проектных решений путем комплексного анализа методами имитационного математического моделирования, выбора предпочтительного варианта и формирования предложений по его совершенствованию.

Разработка использована при выполнении договора № 25-06/4-НПС от 25.06.2012 г. на разработку проектно-сметной документации по реконструкции производственного комплекса филиала АО «Казтеміртранс» - Кушмурунское вагоноремонтное депо (генеральный подрядчик ТОО «KazInTeh-IRC»).

Основание для проектирования – план мероприятий по внедрению пилотного проекта «Oliwer Wyman» в филиалах Акционерного общества «Казтеміртранс» (утвержден 15.03.2011 г. президентом АО «Казтеміртранс» Ш. Жайсамбаевым). Цель

проекта – увеличение производственной мощности и оптимизация издержек вагоноремонтного комплекса компании путем создания корпоративного центра компетенций по ремонту запасных частей, узлов и деталей вагонов на базе депо Кушмурун.

Перечень узлов и деталей, подлежащих ремонту: колесные пары, балки надрессорные, рамы боковые, пятники, подвески тормозного башмака, триангели, узлы и детали автосцепки, оборудование тормозной системы вагона, разгрузочные люка и торцевые двери полувагонов, торцевые и боковые борта платформ, двери крытых вагонов.

1. Разработка является новой и характеризуется следующими особенностями (признаками):

- математическая модель создана с использованием модульного принципа паттерновых сетей на основе формализованного описания проектируемой технологической системы предприятия. Элементы модели – абстрактные образующие и неотделимые от них связи, создающие динамическую сеть путем попарного объединения связей различных образующих в связки;

- в качестве образующих приняты технологические операции ремонта узлов и деталей подвижного состава. Количество входящих и исходящих связей образующей определяется типом технологической операции и логистикой производственного процесса. Домены атрибутов образующих содержат возможные значения параметров технологических операций, условия их выполнения и другую необходимую информацию: наименование операции, функциональный тип позиции на которой производится операция, тип деталей, подвергающихся технологической обработке, детерминированный или вероятностный способ задания технологической связи с другими операциями, время выполнения;

- модель реализована в системе профессионального моделирования MATLAB. В основу алгоритма работы модели положено пошаговое изменение состояния технологической системы (дискретно во времени). Информация о состоянии модели на каждом шаге содержится в соответствующих структурах данных, доступных для последующего анализа и обработки;

- по результатам имитационного моделирования оцениваются параметры и показатели, отражающие работу подразделений предприятия: производительность, время ремонта, коэффициенты загрузки технологического и подъемно-транспортного оборудования в течение рабочей смены, длина очереди и время ожидания транспортного обслуживания, количество деталей в накопителях;

- модель позволяет проводить имитационные эксперименты максимально приближенные к реальным эксплуатационным условиям с учетом использования общих производственных ресурсов (мостовых кранов), вероятностного характера времени выполнения технологических операций, возврата и браковки изделий по результатам контроля.

Тестирование модели показало хорошую чувствительность результатов моделирования к изменению входных параметров имитационного эксперимента,

что свидетельствует о правильности выбора переменных и организации структур данных. Серия проведенных экспериментов позволяет сделать заключение об адекватности предложенной модели, верности ее логической структуры и соответствии данной структуры реальной логистике проектируемого вагоноремонтного производства.

2. Техничко-экономическая эффективность:

Разработанная математическая модель позволяет повысить качество технологического проектирования, снизить риски принятия нерациональных и ошибочных проектных решений при строительстве, модернизации и реконструкции предприятий по ремонту подвижного состава. Размер экономического эффекта определяется масштабом инвестиционных вложений на приобретение оборудования, строительные и монтажные работы.

3. Предложения по дальнейшему использованию и другие замечания:

Разработку рекомендуется использовать при создании моделей технологических систем аналогичного класса: технологических участков, цехов и предприятий по ремонту железнодорожного подвижного состава. С помощью данных моделей можно решать комплекс разноплановых задач по оптимизации технологических структур, выбору оборудования, компоновки и конфигурирования производственных участков, управления производством, производственной логистики.

Начальник
технического управления



Д.В. Деговцов



ОАО «РОСЖЕЛДОРПРОЕКТ»

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель Генерального
директора по инфраструктурным
проектам и инновациям
ОАО «Росжелдорпроект»

07 06 2011 г.
А.Г. Гельфгат

АКТ

Об использовании результатов научных исследований и разработок в производстве

Основание: Разработка Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС) и Омского государственного университета имени Ф.М. Достоевского (ОмГУ), выполненная под общим научным руководством и при личном участии к.т.н., доцента ОмГУПС Смирнова В.А., под научным руководством в области математических методов моделирования и при личном участии к.ф.-м.н., доцента ОмГУ Семенова А.М.

Предмет разработки: Математическая модель работы Екатеринбургского железнодорожного узла. В разработанной модели используется метод системно-динамического моделирования с применением оригинальных алгоритмов собственной разработки.

Целью разработки является проведение компьютерных экспериментов по моделированию работы одного из крупнейших в транспортной системе России Екатеринбургского железнодорожного узла в составе 22 железнодорожной станции, в том числе 1 внеклассной сортировочной, 1 внеклассной пассажирской, 1 участковой, 14 грузовых станций, объектов инфраструктуры локомотивного, вагонного, пассажирского, грузового хозяйства, обеспечивающего транзит и переработку грузовых, пассажирских и пригородных поездов 7 направлений по пропуску транзитного и местного поездопотока при реализации планов развития и перспективных размеров движения до 2030 года.

Работа выполнена в рамках разработки Генеральной схемы развития Екатеринбургского железнодорожного узла (генеральный подрядчик ОАО «Росжелдорпроект», функциональный заказчик ОАО «РЖД», техническое задание на разработку утверждено старшим вице-президентом ОАО «РЖД» В.А. Гапановичем) в соответствии с требованиями технического задания на математическое моделирование работы Екатеринбургского железнодорожного узла, утвержденного главным инженером Свердловской железной дороги – филиала ОАО «РЖД» И.О. Набойченко, по договору № 141К-2010-176/10 от 14 сентября 2010 года (генеральный подрядчик ОАО «Росжелдорпроект»), тема «Математическое моделирование работы Свердловского железнодорожного узла».

Акт составлен комиссией в составе: председатель комиссии – заместитель директора центра-главный технолог ЦПРЗ ОАО «Росжелдорпроект» Д.А. Вольфсон; члены комиссии: заместитель директора ЦПРЗ ОАО «Росжелдорпроект» С.А. Цымбал, проректор по научной работе и инновациям ОмГУПС В.Т. Черемисин.

1. Разработка является новой и характеризуется следующими основными особенностями (признаками):

сигналами в модели являются функции интенсивности движения;

подходы к узлу и внутриузловые соединения представлены в модели в виде шин сигналов;

интенсивности поездопотоков на подходах к узлу реализованы в виде дискретных случайных величин, имеющих Пуассоновское распределение;

объекты инфраструктуры являются подсистемами модели, реализующими: линейные, нелинейные и интегральные преобразования сигналов; задержки сигналов по времени и обратные связи;

топологические, технологические параметры железнодорожного узла и результаты расчетов хранятся в специальной структуре данных;

работа станций реализована с помощью общих функциональных модулей: генерирующий, распределительный, перерабатывающий и накопительный;

модель реализована в среде визуального моделирования Simulink, в качестве типа решения выбрано решение с фиксированным шагом времени.

Результаты работы рассматривались на научно-техническом совете Свердловской железной дороги – филиала ОАО «РЖД» под председательством начальника дороги А.Ю. Миронова с участием руководителей служб и дирекций структурных подразделений.

Адекватность предложенных методов и алгоритмов моделирования подтверждается экспертным заключением Открытого акционерного общества «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (ОАО «НИИАС») от 3.05.2011 г.

2. Техничко-экономическая эффективность:

Разработанная математическая модель позволяет, с помощью компьютерных экспериментов, снизить риски принятия нерациональных и ошибочных проектных решений при формировании планов развития железнодорожных узлов на стадии разработки генеральной схемы. Размер экономического эффекта определяется масштабом инвестиционных вложений по строительству, переустройству станций и объектов железнодорожной инфраструктуры.

3. Предложения о дальнейшем использовании и другие замечания:

Рекомендуется использование разработки в качестве базовой модели для дальнейшего создания моделей аналогичного класса (крупные железнодорожные узлы, транспортные системы) по количественным показателям.

Составлен в трех экземплярах:

1-й экземпляр – ОмГУПС;

2-й экземпляр – ОАО «Росжелдорпроект»;

3-й экземпляр – ОмГУ.

Председатель комиссии:

Д.А. Вольфсон

Члены комиссии:

С.А. Цымбал

В.Т. Черемисин



Закрывое акционерное общество «Инвестиции Строительство Менеджмент» (ЗАО «ИСМ»)
 ИНН 7801408330, КПП 780101001, ОГРН 5067847025989
 23-я линия, д. 2, В. О., Санкт-Петербург, 199106, Россия.
 Тел.: +7 (812) 622 14 37, факс: +7 (812) 622 14 39. E-mail: icm@icmrus.ru www.icmrus.ru

АКТ

Об использовании результатов научных исследований и разработок в производстве

21.02.2013

Основание: разработка, выполненная под научным руководством и при личном участии к.т.н., доцента Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС) Смирнова В.А.

Предмет разработки: методика выбора оптимальной структуры производственных мощностей предприятия по ремонту подвижного состава.

Целью разработки является выбор места размещения, оптимальной специализации и структуры производственных мощностей предприятия с учетом комплекса факторов организации перевозочного процесса, местных условий и сложившейся конъюнктуры рынка ремонта подвижного состава.

Разработка выполнена в рамках технико-экономического обоснования на строительство вагоноремонтной базы, пункта текущего отцепочного ремонта и пропарочно-промывочной станции в Западном регионе Казахстана (генеральный менеджер проекта Baran Construction & Infrastructure Ltd, Израиль) в соответствии с требованиями технического задания на разработку (утверждено генеральным директором LLP «Eastcomtrans» В.А. Малаховым) к договору №415.10(024)3 от «26» октября 2010 г. (подрядчик ЗАО «ИСМ», г. Санкт-Петербург).

1. Разработка является новой и характеризуется следующими основными особенностями (признаками):

- предлагаемая методика выбора места размещения предприятия по ремонту подвижного состава построена на основе классификации и последующей экспертной оценки технологических, финансово-экономических и социальных факторов, обусловленных характером основной деятельности компании оператора подвижного состава, ситуацией на рынке железнодорожных перевозок в целом и региональных условий;

- граничные значения минимального и максимального масштаба производства определяются потребностями собственного парка подвижного состава и долей нераспределенного заказа в регионе обслуживания, формируемой по принципу минимизации совокупных затрат стоимости ремонта, транспортных расходов на пересылку, упущенной выгоды и затрат на устранение последствий технических отказов по причине некачественного ремонта;

- выбор оптимальной структуры производственных мощностей предприятия в условиях рыночной неопределенности производится математическими методами теории игр с использованием критерия оптимальности Гурвица.

2. Техничко-экономическая эффективность:

Разработанная методика позволила снизить риски принятия нерациональных и ошибочных проектных решений при стратегическом планировании развития регионального комплекса предприятий по ремонту подвижного состава. Размер экономического эффекта определяется масштабом инвестиционных вложений по строительству и реконструкции объектов производственной инфраструктуры.

Генеральный директор



М.Аненбург



**ОАО «Научно-исследовательский институт технологий, контроля и
диагностики железнодорожного транспорта»
(ОАО «НИИТКД»)**



АКТ

**Об использовании результатов научных исследований
и разработок в производстве**

Основание: разработка, выполненная под научным руководством и при непосредственном личном участии к.т.н. Смирнова Виктора Александровича.

Предмет разработки: методика анализа вариантов модернизации предприятий, позволяющая решить задачу нахождения оптимального плана технического перевооружения для заданного объема инвестиций.

Целью разработки является: повышение эффективности проектов модернизации и реконструкции предприятий по ремонту подвижного состава за счет научно-обоснованного принятия решений о выборе предпочтительного варианта технического перевооружения производства в зависимости от целей стратегического развития и инвестиционного бюджета.

Разработка выполнена в рамках научно-технической работы ОАО «РЖД» №7.1.001.Р «Совершенствование технологического процесса заводского ремонта электрических машин, подготовка комплексного технического проекта по снижению затрат, повышению качества ремонта, производительности и безопасности труда» по договору № 991 от 10.09.2007 г. Генеральный подрядчик – ОАО «НИИТКД» (дочернее общество ОАО «РЖД»), заказчик – ОАО «РЖД», функциональный заказчик – Дирекция по ремонту подвижного состава «Желдорремаш» - структурное подразделение ОАО «РЖД».

1. Разработка является новой и характеризуется следующими основными особенностями (признаками):

- разработана методика выбора наиболее рационального плана модернизации технологического комплекса заводского ремонта тяговых электрических двигателей на основе методов линейного математического программирования и бинарной оптимизации

по критерию полезности вложенных средств в зависимости от объема инвестиций и целей стратегического развития предприятия;

- предложены целевые функции оптимизации для основных стратегий развития электромашиностроительного производства: минимизация себестоимости, повышение качества ремонта, улучшение условий труда, экологичности и технической культуры производства;

- разработана методика построения целевой функции, учитывающая количественные и качественные характеристики технологических процессов и оборудования: трудозатраты, затраты топливно-энергетических ресурсов на единицу продукции, уровень морального износа оборудования, требуемая квалификация персонала, степень автоматизации и механизации труда, оценка качества выполняемых технологических операций со стороны потребителей, экологичность и безопасность производства;

- приведена постановка задачи целочисленного программирования, решениями которой являются варианты модернизации предприятия, наиболее полно соответствующие поставленным целям стратегического развития.

2. Техничко-экономическая эффективность:

Разработанная методика позволяет повысить эффективность технологической подготовки производства при модернизации и реконструкции предприятий за счет выбора оптимального плана технического перевооружения в зависимости от выбранной стратегии развития и размеров инвестиционных вложений. Экономический эффект достигается за счет снижения рисков принятия ошибочных проектных решений, размер эффекта определяется масштабом реализуемого проекта.

3. Предложения по дальнейшему использованию и другие замечания:

Рекомендуется использование разработки при планировании модернизации и реконструкции предприятий по ремонту подвижного состава на стадии выбора основного оборудования и разработки технического проекта.

Результаты научно-технической работы №7.1.001.Р одобрены и приняты заказчиком, копия акта прилагается.

И.о. главного инженера



С. В. Елисеев

Начальник технологического
отдела



П. С. Корнеев

Начальник технического
отдела



М. В. Лифанов