

Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Уральский государственный университет путей сообщения

На правах рукописи

ПАНОВ КИРИЛЛ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЗА СЧЕТ
ПРИМЕНЕНИЯ ГИБКИХ ФОРМ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА**

Специальность 05.02.22 – Организация производства (транспорт)

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Буйносов А.П.

Екатеринбург – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ БАЗЫ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	9
1.1 Существующая ситуация и современное состояние локомотивного комплекса ОАО «РЖД».....	10
1.2 Используемые и перспективные системы управления техническим состоянием локомотивов.....	16
1.3 Техническое оснащение предприятий по ремонту локомотивов.....	19
1.3.1 Средства механизации и автоматизации технологических процессов на предприятиях по ремонту локомотивов.....	21
1.3.2 Поточные линии ремонта локомотивов.....	29
1.4 Формы организации производства на предприятиях по ремонту локомотивов.....	31
1.5 Постановка цели и задач диссертационной работы.....	36
2 ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПРИЧИН ОКАЗЫВАЮЩИХ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	38
2.1 Причины сверхнормативных простоев локомотивов на ремонтных предприятиях.....	39
2.2 Математическая модель исследуемого процесса.....	41
2.3 Выбор форм вероятностного распределения потока заявок и продолжительности ремонта и технического обслуживания локомотивов.....	47
2.4 Вероятность смены ремонтируемым локомотивом технологического участка.....	58
2.5 Вероятность возникновения нештатных ситуаций при ремонте локомотива.....	59
2.6 Адаптивность производственной структуры к изменениям технологического состояния локомотива.....	60
2.7 Выводы по второй главе.....	63
3 РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЛОГИСТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....	64
3.1 Общие принципы построения имитационных моделей.....	64

3.2	Программирование имитационной модели.....	67
3.3	Результаты расчета имитационной модели.....	74
3.4	Подтверждение адекватности имитационной модели	82
3.5	Выводы по третьей главе.....	83
4	РАЗРАБОТКА ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПОВЫШАЮЩИХ ГИБКОСТЬ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	84
4.1	Гибкая форма организации локомотиворемонтного производства.....	85
4.1.1	Имитационное моделирование гибкой формы организации ремонта локомотивов.....	90
4.1.2	Оценка гибкой формы организации производства.....	93
4.2	Повышения гибкости методов планирования и управления производственным процессом локомотиворемонтных предприятий	99
4.2.1	Система поддержки принятия решений при подготовке локомотиворемонтного производства	99
4.2.2	Определение запаса запасных частей при большой вариации объемов ремонта.....	103
4.3	Повышение гибкости и автоматизации технологических процессов производства.....	105
4.3.1	Разработка системы технического зрения.....	107
4.3.2	Автоматизированные комплексы для обслуживания и ремонта подвижного состава	116
4.4	Выводы по четверной главе	122
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	124
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	126
	ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Акты внедрения результатов диссертационной работы.....	142
	ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Патент на полезную модель № 169641: «Автоматизированный комплекс очистки деталей и узлов подвижного состава».....	147
	ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Патент на полезную модель № 107076: «Автоматизированный комплекс дробеструйной очистки кузовов подвижного состава железных до- рог».....	150
	ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019616586: «Планирование ремонта локомотивов»	153

Введение

Актуальность темы исследования. Техничко-экономические показатели железнодорожного транспорта в значительной мере определяются конструктивными параметрами, надежностью и эффективностью использования локомотивов. Расходы на эксплуатацию и содержание локомотивного парка составляют существенную часть совокупных затрат отрасли, из них около 20% приходится на техническое обслуживание и ремонт. Техническое состояние локомотивов остается доминирующим фактором рисков безопасности движения, что подтверждается результатами анализа браков в поездной работе и отказов технических средств, связанных с неисправностями локомотивов по причине низкого качества технического обслуживания и ремонта.

Транспортная стратегия РФ до 2030 года предусматривает значительное увеличение грузо- и пассажирооборота железных дорог, за счет строительства новых и реконструкции существующих магистральных линий, обновления парка подвижного состава и улучшения показателей его использования. Для успешной реализации намеченных планов важнейшую роль играет создание современной и эффективной производственной базы, обеспечивающей качественный ремонт локомотивов при минимальных затратах времени и ресурсов. Изменения должны содержаться не только во внедрение новых методов и технологий ремонта, но и в модернизации технологической инфраструктуры, в сочетании с комплексной оптимизацией производственных процессов для снижения их себестоимости.

Степень разработанности. Исследования проблем эффективного функционирования и совершенствования производственных процессов технического обслуживания и ремонта локомотивов, повышения качества производственной деятельности локомотиворемонтных предприятий проводились научными коллективами ВНИИЖТ, ВНИКТИ, ВЭлНИИ, НИИТКД, МИИТ, РГУПС, УрГУПС, ДВГУПС, ИрГУПС, СамГУПС, ПГУПС, ОмГУПС. Значительный вклад в решение этих проблем внесли: С.Я. Айзинбуд, А.Ю. Балакин, М.М. Болотин, В.П. Бугаев, А.П. Буйносов, А.А. Воробьев, И.И. Галиев, А.Т. Головатый, А.В. Горский, В.И. Гридюшко, Ю.А. Давыдов, Д.Г. Евсеев, А.М. Замышляев, И.П.

Исаев, В.А. Камаев, В.И. Киселев, В.С. Коссов, В.А. Кручек, В.Д. Кузьмич, Д.Н. Курилкин, В.Ф. Лапшин, И.К. Лакин, В.В. Лукин, В.Б. Медель, Б.Д. Никифоров, А.Т. Осяев, Ю.Е. Просви́ров, А.В. Плакс, Е.Н. Розенберг, А.П. Семёнов, К.А. Сергеев, В.Т. Стрельников, Э.Д. Тартаковский, П.А. Устич, В.П. Феоктистов, В.Т. Черемисин, В.А. Четвергов, Н.Г. Шабалин, С.Г. Шантаренко, Ю.С. Шашлюк и другие. Усилиями научных школ отраслевых вузов, научно-исследовательских и проектных институтов создана научно-методическая база в области оптимального проектирования, эксплуатации и ремонта подвижного состава. Наименее изученным, но не менее важным научным направлением, является повышение эффективности функционирования локомотиворемонтных предприятий за счет гибких форм организации производства.

Цель диссертационной работы: совершенствование производственных процессов предприятий по ремонту локомотивов путем повышения эффективности их организации и управления.

Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие **задачи:**

1. Выполнить статистическую обработку показателей производства ремонта локомотивов на предприятии с целью определения законов и параметров распределения их вероятности.

2. Разработать показатели качества организации производственных систем, определяющие адаптивность производственного процесса к появлению сверхцикловых работ при ремонте локомотивов и возможных нарушениях технологической структуры.

3. Разработать имитационную модель производственной структуры локомотиворемонтного предприятия, учитывающую перемещение локомотивов по тракционным путям и технологическим позициям.

4. Разработать организационно-технологические решения для локомотиворемонтного предприятия, позволяющие сократить количество сверхнормативных простоев локомотивов в ремонте.

5. Разработать метод планирования и управления производственным процессом ремонта локомотивов в условиях возможных нарушений производственной системы.

Объект исследования – производственные процессы локомотиворемонтного предприятия.

Область исследования является организация производственных процессов, направленных на повышение эффективности функционирования локомотиворемонтных предприятий.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1. Определены законы и параметры вероятностных распределений заходов, продолжительности простоев и смены ремонтных позиции локомотивов на ремонтном предприятии, позволяющие определить значения сверхнормативных простоев.

2. Разработаны критерии качества организации производственных систем, определяющие адаптивность производственного процесса к появлению сверхцикловых работ при ремонте локомотивов и возможных нештатных ситуаций на предприятии.

3. Разработана имитационная модель производственной структуры локомотиворемонтного предприятия, учитывающая перемещение локомотивов по траекторным путям и технологическим позициям.

4. Предложено организационно-технологическое решение для локомотиворемонтного предприятия, позволяющее сократить количество сверхнормативных простоев локомотивов при ремонте.

5. Разработана система планирования и управления постановкой локомотивов на ремонт, учитывающая занятость производственных участков и наличие запасных частей.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость работы состоит в разработанной имитационной модели производственной структуры локомотиворемонтного предприятия, позволяющей производить расчет производственных параметров при ремонте локомотивов, а также создавать различные сценарии функционирования предприятия и

оценивать моделируемые варианты проекта. Разработанные критерии позволяют определить адаптивность производственного процесса к появлению сверхцикловых работ при ремонте локомотивов и возможных нештатных ситуаций на предприятии.

Практическая значимость работы состоит в предложенной адаптивной (перенастраиваемой) форме организации производства, способную уменьшить количество сверхнормативных простоев локомотивов при ремонте. Разработанная система планирования и управления постановкой локомотивов на ремонт способна прогнозировать наличие сверхцикловых выполняемых работ на локомотиве, занятость производственных участков, наличие запасных частей и производить расчет оптимального графика ремонта локомотивов минимизируя количество сверхнормативных простоев.

Методология и методы исследования. Теоретические исследования проведены на основе методов теории систем, системного анализа, теории исследований операций. Анализ статистических данных проводился при помощи программного пакета Statistica. Имитационное моделирование производилось с использованием программного пакета ANYLOGIC, язык программирования JAVA. При разработке конструкторских и технологических решений использовано САПР Компас. Получение трехмерных моделей для исследования производилось при помощи программы DAVID-Laserscanner.

На защиту выносятся:

1. Законы и параметры вероятностных распределений заходов и продолжительности простоев локомотивов на ремонтном предприятии.
2. Критерии адаптивности производственного процесса к появлению сверхцикловых работ при ремонте локомотивов и возможных нештатных ситуаций на предприятии.
3. Имитационная модель производственной структуры локомотиворемонтного предприятия.
4. Форма организации локомотиворемонтного производства, повышающая эффективность функционирования предприятий.

5. Метод планирования и управления производственным процессом ремонта локомотивов.

Степень достоверности и апробация результатов.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-практической конференции «Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте» (Омск, 2014); международной научно-практической конференции «Транспорт-2014» (Ростов-на-Дону, 2014); второй Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов» (Омск, 2014); III Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава» (Омск, 2015); международной научно-практической конференции «Транспорт-2015» (Ростов-на-Дону, 2015); научно-практической конференции «Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте» (Омск, 2016); IV Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава» (Омск, 2017); III международной научно-практической конференции «Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов» (Москва, 2018); Сибирский транспортный форум «TransSiberia-2018» (Новосибирск, 2018).

Публикации. По результатам проведенных исследований опубликовано 20 работ, в том числе две статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, одна в изданиях, индексируемом в международной реферативной базе данных Scopus. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, приложений, списка литературы из 130 наименования и содержит 141 страницу основного текста, 53 рисунка и 14 таблиц.

1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ БАЗЫ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Подвижной состав наряду с транспортной инфраструктурой является центральным элементом перевозочного процесса, от эксплуатационных параметров и показателей которого зависят результаты работы железнодорожного транспорта в целом. Основная функция ремонтных предприятий – обеспечение перевозочного процесса исправными единицами подвижного состава, соответствующими требованиям безопасности движения, сохранности грузов и пассажиров при оптимальном уровне затрат, обеспечивающим необходимый технологический рост и рентабельность производства [5].

Современное предприятие по ремонту подвижного состава – сложная, динамическая, вероятностная, многокритериальная, иерархическая, технологическая, информационная, организационно-экономическая система, состоящая из взаимосвязанных элементов: цехов, производственных участков, рабочих мест и т.д. Производственное, технологическое, информационное, экономическое и организационное единство элементов системы обеспечивает взаимосвязь различных производственных процессов в рамках выполнения заданной функции [4].

Основное назначение локомотиворемонтных предприятий – уменьшение износа и устранение повреждений локомотивов (ТПС), обеспечение их безотказной эксплуатации. Это весьма сложные и ответственные задачи. Несмотря на усилия, предпринимаемые локомотивостроительной промышленностью по повышению надежности и безотказности подвижного состава, главная роль в этом деле принадлежит ремонтным подразделениям железнодорожного транспорта.

На систему технического обслуживания и ремонта электровозов большое влияние оказывают организация их эксплуатации и технология ремонта. Удлинение участков обращения, появление более совершенных электровозов новых серий, применение прогрессивных технологических процессов и соответствующих

материалов, внедрение передовых методов труда — все это влечет изменения в системе технического обслуживания и ремонта локомотивов [39, 60].

Для формулирования задач повышения эффективности предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава рассмотрим процессы их создания и функционирования как сложной производственно-технологической системы.

1.1 Существующая ситуация и современное состояние локомотивного комплекса ОАО «РЖД»

Переход на полное сервисное обслуживание локомотивного парка ОАО «РЖД» был реализован с учетом мирового опыта организации обслуживания техники. В результате сформирована модель, в которой основную ответственность за техническое состояние локомотива в течение всего жизненного цикла должен нести его изготовитель. В логике дефицита ресурсов важным является внедрение механизмов управления с непрерывным циклом улучшений и повышением уровня технического состояния тягового подвижного состава, а также совершенствование системы технического обслуживания (ТО) и текущего ремонта (ТР), в том числе с привлечением отраслевой науки [77].

На данном этапе, не в полном объеме обеспечивается заданный уровень надежности локомотивов, в том числе новых серий. На рисунке 1.1 представлены показатели надежности перевозочного процесса в 2017 г. Сохраняется тенденция ухудшения показателей надежности локомотивов после окончания срока гарантии. Количество отказов и unplanned ремонтов в разы превосходит показатели гарантийных локомотивов.

Сегодня параметрам надежности, заявленным производителями в технических условиях как гарантийных, так и негарантийных локомотивов, соответствуют только электровозы ЭП2К, а по гарантийному парку — электровозы 2(3)ЭС5К и ЭП1. Не обеспечена положительная динамика по снижению unplanned ремон-

тов локомотивов производства ЗАО «Трансмашхолдинг» по сериям 2(3)ЭС4К, 2ТЭ116УД и ЭП1М.



Рисунок 1.1 – Среднесуточное пересодержание локомотивов, ед/сут

Не меньшую обеспокоенность из-за роста отказов вызывают электровозы серий 2ЭС10 и 2ЭС6 производства АО «Группа Синара». При этом 2ЭС6 является основным для замены длительно эксплуатирующихся грузовых электровозов постоянного тока. Ежедневно порядка 70 – 80 единиц из 643 локомотивов данной серии простаивают по причине их неисправности. Основная и длительно не решаемая проблема – отказы тяговых электродвигателей и износ бандажей колесных пар.

Необходимо отметить недостаточное качество оказываемых сервисными компаниями услуг по ремонту и обслуживанию локомотивов всех серий. Длительный сверхнормативный простой на плановых видах ремонта, заходы на межпоездной ремонт и ожидание свободных ремонтных позиций вынуждают руководство Дирекции тяги изымать из эксплуатации ежесуточно более 1000 локомотивов [12].

Работа сервисных компаний, несмотря на ряд проблем, находится, на удовлетворительном уровне. В целом по сети программа ремонта выполняется, но у ряда дирекций тяги наблюдается регулярное невыполнение программы, а именно: по Дальневосточной дирекции тяги в части ремонта тепловозов, эксплуатирую-

щихся на участках Байкало-Амурской магистрали, а также по тепловозам Северной дирекции тяги. Невыполнение программы ремонта электровозов допущено в сервисных локомотивных депо (СЛД) Чита Дальневосточной компании ООО «ТМХ-Сервис», СЛД Московка, Тайга компании ООО «СТМ-Сервис».

Срыв программы ремонта тепловозов произошел в СЛД Муром-Восточный, Юдино-Казанский, Сольвычегодск, Тында-Северная, Поворино компании ООО «ТМХ-Сервис», СЛД Свердловск, Чусовской (ПУ Пермь II), Артемовский компании ООО «СТМ-Сервис».

В 2017 году удалось снизить на 11,7 % общее количество неплановых ремонтов локомотивов (рисунок 1.2). За 2017 г. количество неплановых ремонтов составило 67,7 на 1 млн. км пробега (всего 64170 случаев), а за аналогичный период 2016 г. – 76,7 (всего 71957 случаев). Общее время простоя локомотивов на неплановом ремонте составило 1058 тыс. ч, а средний простой локомотива на неплановом ремонте — 16,5 ч.

Наибольший рост количества неплановых ремонтов тепловозов к уровню 2016 г. допустили Октябрьская дирекция тяги — на 27 %, Северо-Кавказская — на 9 %, Дальневосточная — на 43 %. Наибольший рост неплановых ремонтов электровозов к уровню 2017 г. допустили Свердловская дирекция тяги — на 22 %, Южно-Уральская — на 7 %.

Со II квартала 2016 г. организовано производство средних ремонтов локомотивов в условиях сервисных локомотивных депо, а также текущих ремонтов в объемах ТР-2 и ТР-3 с продлением срока службы.

Для устранения потерь, возникающих в процессе ремонта, и, как следствие, увеличения простоя, а также для повышения надежности локомотивов необходимо оптимизировать существующую систему ремонта локомотивов.

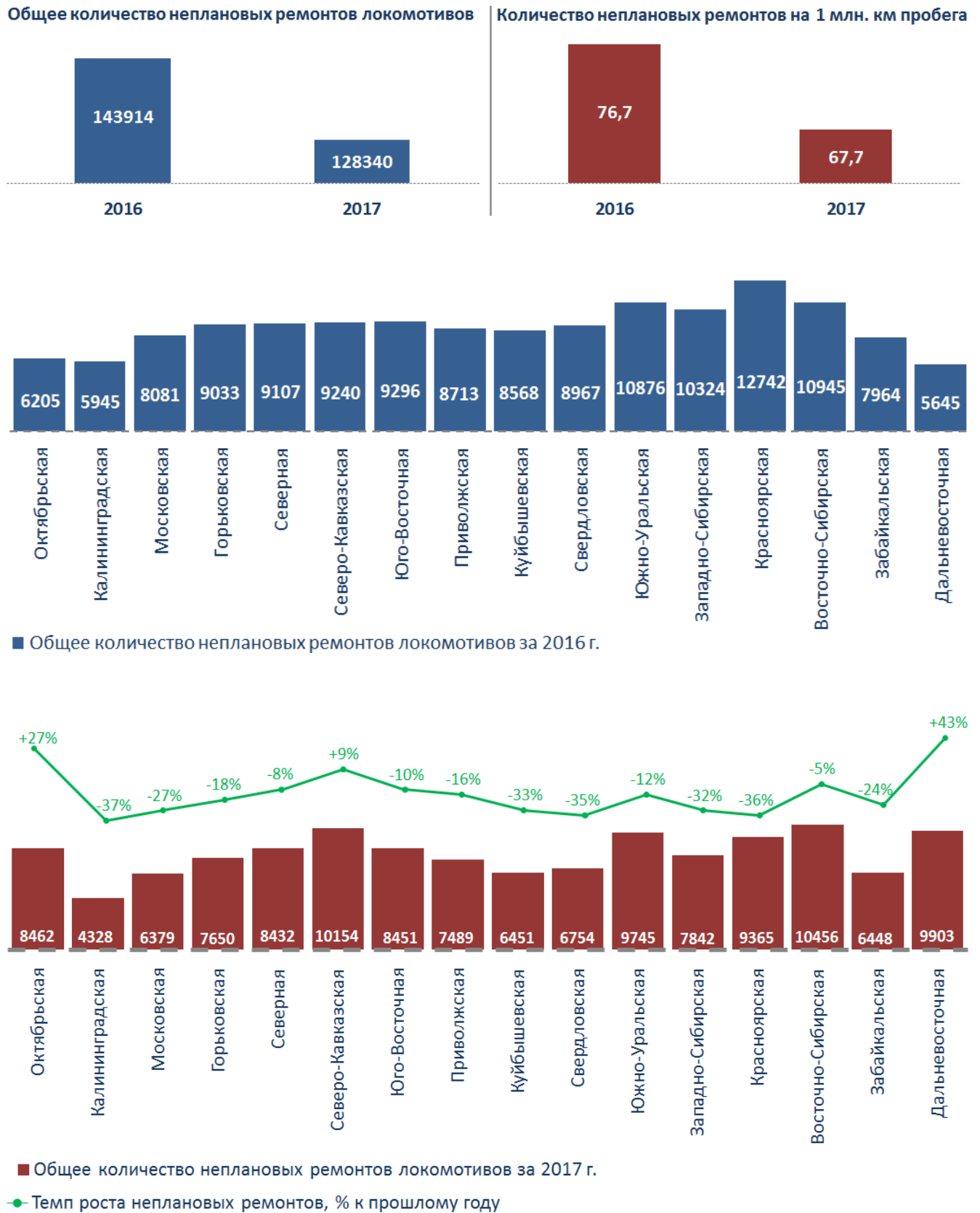


Рисунок 1.2 – Показатели неплановых ремонтов локомотивов на сети

ОАО «РЖД»

Большую роль в программе оптимизации играет повышение надежности новых и отремонтированных локомотивов. На рисунке 1.3 представлены причинно-следственные связи факторов влияющие на надежность тягового подвижного состава (ТПС). Низкий уровень надежности, а также несоблюдение технологии ремонта заводами и депо заставляют Дирекцию тяги ОАО «РЖД» содержать сверх норматива порядка 1400 локомотивов.

Данное обстоятельство требует от руководства ОАО «РЖД» пересмотреть логику взаимодействия с поставщиками локомотивов и ремонтными предприятиями. Условия должны предполагать отсутствие оплаты за поставленный некачественный локомотив. Это позволит настроить производителей локомотивов, локомотиворемонтные заводы и сервисные компании системно достигать поставленных целей по повышению качества в рамках принципов жизненного цикла.

При намеченной динамике изменения объемов работы, а также выполнении оптимизационных программ уровень закупки локомотивов, обеспечивающий сокращение износа и естественное обновление, должен быть не менее 440 ед. в год. План приобретения по типам соответствует прогнозной потребности в локомотивах по полигонам.

Ежегодная программа заводских ремонтов локомотивов должна быть увеличена для того, чтобы охватить полную потребность в ремонтах. В период до 2020 г. требуется увеличить программы капитальных ремонтов локомотивов на 4579 ед., или на 1145 ед. в среднем в год [11].

Локомотиворемонтный комплекс включает в себя 111 ремонтных локомотивных депо, 46 депо по ремонту и техническому обслуживанию мотор-вагонного подвижного состава, 10 заводов по капитальному и среднему ремонту локомотивов ОАО «Желдорреммаш». 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. При ремонте локомотивов задействовано более 45 тысяч слесарей по ремонту тягового подвижного состава.



Рисунок 1.3 – Факторы, влияющие на повышение надежности тягового подвижного состава

1.2 Используемые и перспективные системы управления техническим состоянием локомотивов

Система 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. На рисунке 1.4 представлены системы ТО и ремонта используемые на сети железных дорог разных стран.

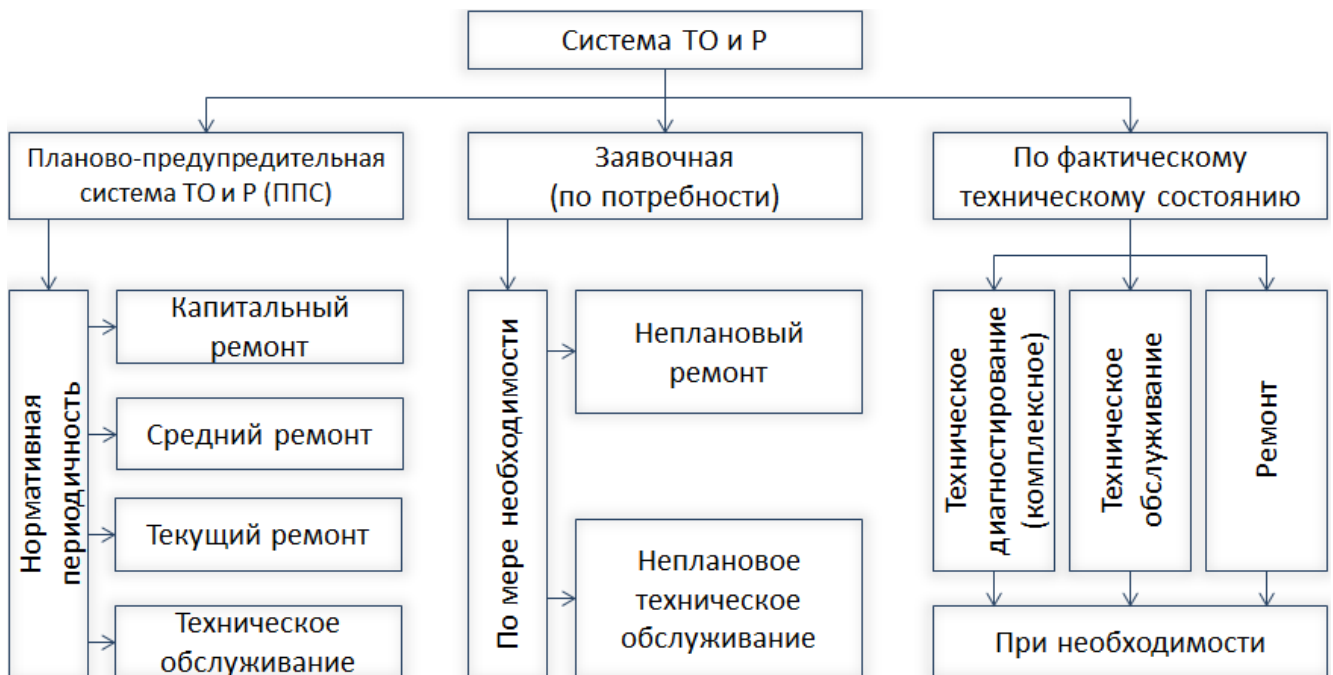


Рисунок 1.4 – Классификация системы ТО и ремонта подвижного состава

В настоящий момент на железных дорогах России и большинства стран ближнего и дальнего зарубежья принята планово-предупредительная система (ППС) ремонта подвижного состава по наработке, предусматривающая в себе несколько видов технического обслуживания и ремонтов. Схема планово-предупредительной системы ремонта представлена на рисунке 1.5. В качестве

единицы наработки принят пробег. Техническое обслуживание отличается от ремонта объемом и содержанием работ, которые определяют два признака: для ремонта подвижной состав изымается из эксплуатации, большинство работ технического обслуживания выполняют непосредственно на подвижном составе без демонтажа оборудования и без применения станочных методов обработки [77, 25, 106, 103].

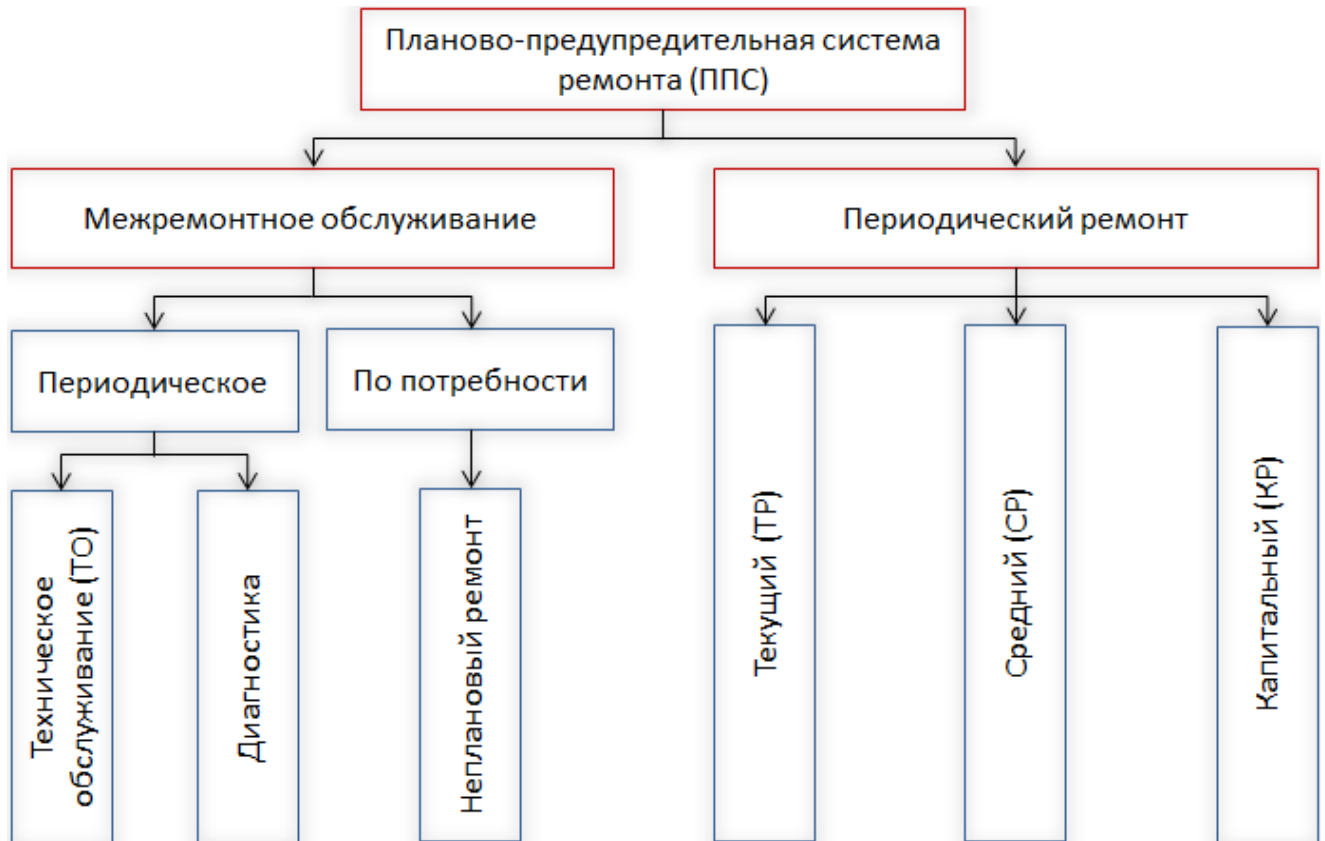


Рисунок 1.5 – Схема планово-предупредительной системы ТО и Р

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).

Подготовка производства для проведения среднего или капитального ремонта требует значительных капиталовложений для приобретения технологического оборудования, строительства и обустройства производственной инфра-

структуры, 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.

ППС обеспечивает хорошие условия для планирования процесса выполнения подготовок локомотивов к использованию проведению регламентных работ; своевременной подготовки инженерно-технического персонала, средств обслуживания, оборудования к выполнению работ.

Однако эта система имеет недостаток, связанный с тем, что техническое обслуживание и ремонт выполняется вне зависимости от технического (физического) состояния узлов и агрегатов. Из-за отсутствия необходимых инструментальных методов и средств оценки технического состояния не исключает техническое обслуживание и ремонт исправного локомотива, что приводит к значительным расходам [0].

При ППС финансово-экономические показатели формировались в зависимости от объёма и количества выполненных ремонтов: чем больше ремонтов, тем больше доход. При сервисной системе финансово-экономические показатели формируются от фактического пробега и коэффициента технической готовности, а также времени нахождения локомотива в эксплуатации. Таким образом, у сервисных компаний появляется мотивация к повышению эффективности управления техническим состоянием локомотивов, поддержанию на заданном уровне коэффициента технической готовности (КТГ) и совершенствованию системы ТО и Р с целью снижения её себестоимости на каждый локомотив [1, 51].

В мировой практике за счёт внедрения систем диагностирования перешли к системе ремонта с учётом фактического технического состояния локомотивов, что позволило существенно снизить издержки на содержание локомотивного парка. Однако полностью перейти на ремонт локомотивов по фактическому техническому состоянию не удалось пока еще никому [6].

Современное научное видение организации ремонта и технического обслуживания подвижного состава основывается на интеграции в систему планово-

предупредительного ремонта концепции ремонта и обслуживания по 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 [8, 0].

Предпосылками для такого решения может служить повышение конструкционной надежности и контролепригодности оборудования подвижного состава, а также интенсивное внедрение современных средств контроля и прогнозирования технического состояния соответствующих узлов или деталей 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.

1.3 Техническое оснащение предприятий по ремонту локомотивов

Ремонт и техническое обслуживание локомотивов осуществляется в сервисных локомотивных депо (СЛД), пунктах технического обслуживания локомотивов (ПТОЛ) и на ремонтных заводах.

Технологический аудит предприятий локомотивного хозяйства в рамках внедрения концепции бережливого производства, проводимый специалистами компании с участием экспертов в области менеджмента качества, организации производства и логистики, выявил ряд системных проблем в числе которых: недостаточное качество технологических операций, что обуславливает значительные непроизводительные расходы на повторный ремонт узлов и деталей, забракованных по результатам выходного контроля; значительная ресурсоемкость процессов; низкая адаптивность технологических систем к изменению структуры и объема программы ремонта. Последнее обстоятельство особенно остро проявляется при перепрофилировании отдельных технологических комплексов, вынуж-

денной диверсификации производства в условиях рынка, при необходимости освоения ремонта и ТО новых серий подвижного состава.

Кроме того, в условиях реструктуризации ремонтного комплекса, появления все большего количества частных ремонтных предприятий, нуждаются в пересмотре и уточнении цели и задачи модернизации технологической системы, принципы создания производственных структур, выбора проектной мощности, степени механизации и автоматизации процессов, оборудования, машин и механизмов. Основой решения обозначенных вопросов является системный анализ существующего состояния объектов производственной системы, их оснащения и потенциальных возможностей [67, 68].

Понятие технологического оснащения подразумевает обеспечение производства необходимым технологическим оборудованием, оснасткой, инструментом, контрольно-измерительным и диагностическим оборудованием. В виду многочисленных конструктивных особенностей и широкой номенклатуры объектов ремонта, основу технологического оснащения предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава составляет нестандартное технологическое оборудование, средства допускового контроля и измерений, специализированное испытательное и диагностическое оборудование.

Так регламент технологического оснащения предприятий для проведения текущего ремонта ТР-3 грузовых электровозов постоянного тока включает в себя номенклатуру из 125 наименований специализированного оборудования, средств контроля, диагностирования, оснастки и приспособлений, тепловозов – 134. В связи с обновлением парка подвижного состава новыми сериями, имеющими много новых конструктивных решений, задача создания нестандартного оборудования становится еще более актуальной.

Данное обстоятельство накладывает существенные ограничения при разработке проектных решений, структурировании и конфигурировании производства, выборе производственной стратегии и оборудования.

1.3.1 Средства механизации и автоматизации технологических процессов на предприятиях по ремонту локомотивов

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 [21].

В данное время на железных дорогах России заканчивается интенсивное обновление локомотивного парка, внедрение новых электровозов с коллекторным (2ЭС6, 2ЭС5К, 2ЭС4К, ЭП2К, ЭП1М) и асинхронным тяговым приводом (ЭП20, 2ЭС10). Анализ повреждаемости электровозов с коллекторными двигателями показал, что одним из доминирующих факторов недостаточной надежности локомотивов в эксплуатации по-прежнему остается техническое состояние тяговых электрических машин [66].

Одна из причин заходов электровозов на неплановый ремонт является неудовлетворительное качество плановых осмотров и текущего ремонта. Повышение качества ремонта, при одновременном достижении высоких показателей производительности труда, снижения затрат, сокращения продолжительности операций, достигается за счет широкой механизации производственных процессов.

Структурную схему технологического процесса ремонта ТПС со снятием деталей и узлов можно представить в виде следующей структурной технологической последовательности (рисунок 1.7). Структурная схема технологического

процесса ремонт или технического обслуживания без снятия деталей с локомотива представлена на рисунке 1.6.

Основной объем трудоемких технологических операций сконцентрирован на технологических участках разборки и сборки ТПС, ремонта механической части, ремонта электрических машин и т.д. По видам технологических операций преобладают сборочно-разборочные, монтажно-демонтажные операции, наплавка и механообработка, промежуточный контроль отдельных узлов и испытания локомотивов в сборе после ремонта.

Сложность механизации технологических процессов локомотиворемонтного производства обуславливается, как разнообразием технологических операций, так и широким типажом подвижного состава, существенно отличающихся по конструкции. На рисунке 1.6 показана классификация нестандартного механизированного оборудования, применяемого при ремонте ТПС.



Рисунок 1.6 – Классификация механизированного оборудования для ремонта ТПС

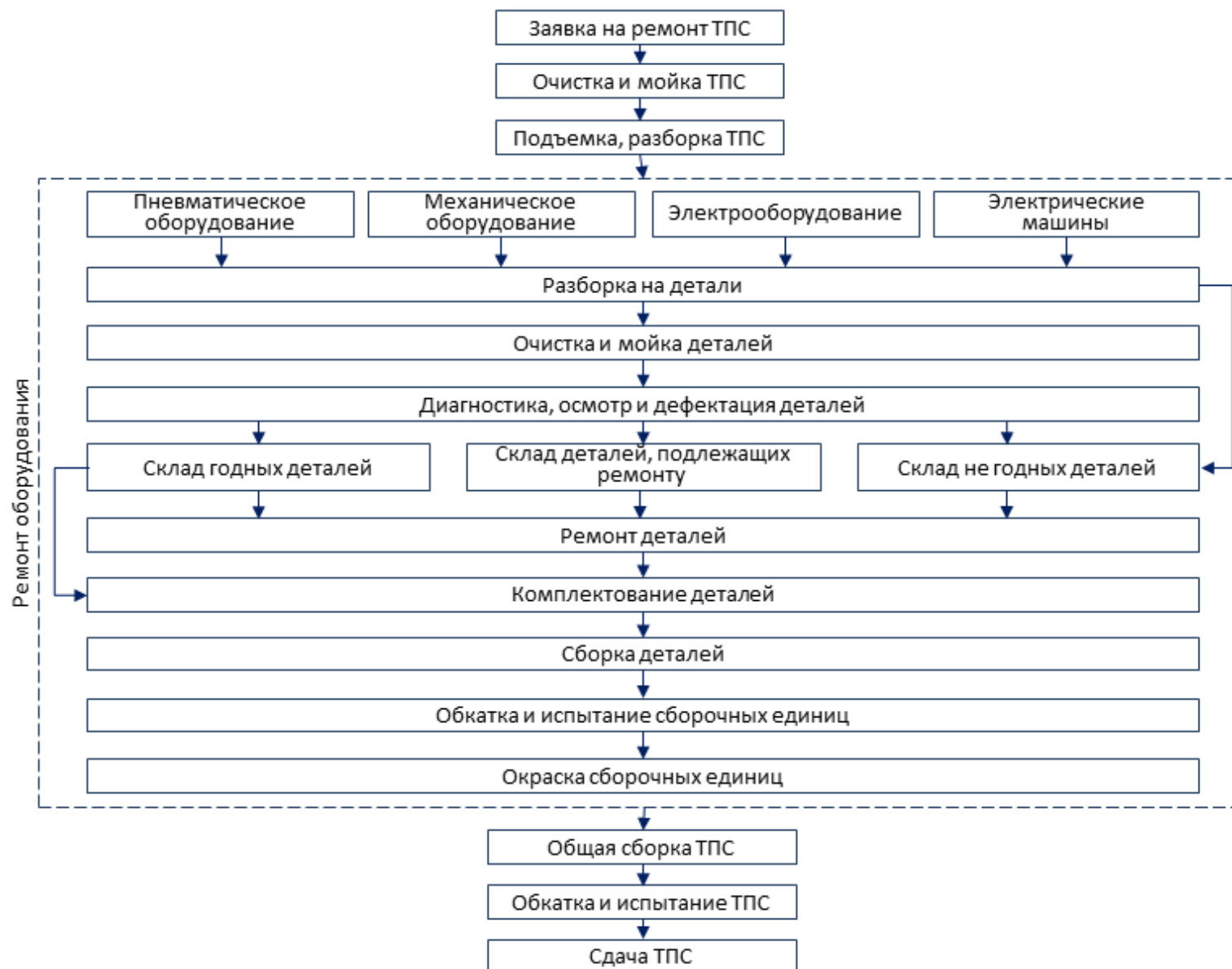


Рисунок 1.7 – Структурная схема технологического процесса ремонта ТПС



Рисунок 1.8 – Структурная схема технологического процесса технического обслуживания ТПС

В основу классификации положены характерные признаки, влияющие на производительность и организационно-технологическую способность оборудования, отражающие особенности ремонтного производства. Важнейшими из этих признаков являются: характер технологического процесса, тип привода, захватных и удерживающих приспособлений, степень специализации, уровень автоматизации, особенности конструктивного исполнения и организации связей межоперационного транспорта.

Степень механизации и автоматизации технологических цехов и участков зависит от масштаба производства. 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 [71].

В условиях крупных специализированных ремонтных предприятий отдельные машины и механизмы образуют организованный взаимосвязанный процесс, объединяясь в поточные линии при помощи механизированных транспортных устройств. На предприятиях по ремонту локомотивов получили распространение поточные механизированные линии очистки, разборки, ремонта кузова и сборки подвижного состава, ремонта тележек, колесных пар, автосцепных устройств, деталей тормозной рычажной передачи, тяговых электрических двигателей и вспомогательных электрических машин, роликовых подшипников и другие (рисунок 1.9).

На рынке РФ и стран ближнего зарубежья наиболее полно представлено механизированное технологическое оборудование для выполнения операций по очистке, механообработке, сварке, наплавке поверхностей; сборки и разборки; неразрушающего контроля и испытаний; пропитки, сушки изоляции, нанесения защитных покрытий при текущем и среднем ремонте.



а



б



в



г



д



е

Рисунок 1.9 – Механизированные комплексы для ремонта ПС:

а – оборудование для напрессовки буксового узла; б – портал сборки-разборки колесно-моторных блоков; в – кантователь рам тележек; г – кантователь полюсов тягового электродвигателя; д – подъемник для замены колесно-моторного блока; е – моечная машина дизелей

В настоящее время рынок производства техники для ремонта локомотивов в России представлен следующими производителями:

1) машиностроительные заводы бывшего СССР – станочное, сварочное, наплавочное, прессовое оборудование;

2) ремонтные заводы ОАО «Желдорреммаш» – нестандартное технологическое оборудование, средства механизации ремонта;

3) отраслевые университеты, научно-исследовательские и опытно-конструкторские организации – ОмГУПС, ОАО «НИИТКД», ПКБ ЦТ, УНТК и другие;

4) малые научно-производственные предприятия РФ;

5) зарубежные фирмы – CAM INNOVATION (США), Siemens (Германия), ElmotecStatomat (Германия).

При капитальном ремонте практически отсутствует типовое оборудование для механизации ремонта электрических машин: разборки якоря, продорожки коллектора, ремонту железа и установке обмотки якоря, демонтажу и установке полюсной системы остова, суммарная трудоемкость которых составляет около 40% от общих трудозатрат электромашинного цеха. Существующие предложения на рынке оборудования для капитального ремонта тяговых двигателей соответствуют потребностям ремонтных заводов менее чем наполовину [68].

Зарубежное оборудование может компенсировать «рыночные пробелы» лишь от части, в основном по позициям универсального применения (продорожка коллектора и снятие фасок, вакуумная пропитка, сварочно-наплавочное оборудование, тестовые системы якорей) по ценам существенно превышающим отечественные.

Вместе с тем, необходимо отметить, что в целом уровень технологического оснащения отечественных депо и заводов по ремонту подвижного состава продолжает отставать от передовых зарубежных предприятий аналогичного профиля. Механизированное оборудование характеризуется низкой технологической гибкостью, практически отсутствуют автоматические и роботизированные установки, недостаточное внимание уделяется вопросам энергосбережения и производственной логистики. Около 1/4 трудоемких операций производятся с использованием

простейшего слесарного инструмента, не механизированы, зачастую отсутствует специальная оснастка, транспортная тара и приспособления. Это ухудшает условия труда, отрицательно сказывается на производительности, качестве и безопасности работ.

По степени автоматизации, имеющееся механизированное оборудование соответствует второму, реже третьему классу звенности, с высокой степенью участия оператора в результатах работы. Ситуация осложняется высоким уровнем износа технологического оборудования. Так на ремонтных заводах срок эксплуатации у более 70% наплавочного, прессового, сварочного, сушильного и токарно-фрезерного оборудования составляет свыше 15 лет, а подъемно-транспортного оборудования более 20 лет [18].

Общее состояние технологического оборудования и проектных решений по его использованию обуславливает не достаточно высокие показатели эффективности ремонтного производства в целом, в том числе в виду высокого уровня производственных потерь и непроизводительных затрат. Решение данных вопросов должно основываться на комплексном подходе создания бережливого и ресурсосберегающего производства [67, 68].

Современный этап развития средств механизации и автоматизации ремонта подвижного состава ОАО «РЖД» характеризуется переходом от механизации отдельных операций и процессов к комплексной механизации и автоматизации производства в целом. Средства механизации служат материальной базой изменения характера труда и содержания ремонтного производства, обеспечивают высвобождение исполнителей, оказывают существенное влияние на коэффициент технической готовности локомотивов, качество и себестоимость технического обслуживания и ремонта.

Дальнейшее развитие средств механизации ремонта локомотивов связано с созданием роботизированных технологических комплексов на основе систем интеллектуального управления, оптических и тактильных сенсоров, систем радиочастотной идентификации, пространственных манипуляторов.

Применение промышленных роботов обеспечивает следующие преимущества:

- 1) высокую производительность оборудования и качество операций;
- 2) экономию производственных площадей за счет концентрации технологических операций в составе одной позиции (в отличие от традиционного подхода при построении механизированных систем на основе поточных линий);
- 3) адаптивность технологического оборудования к ремонту тягового подвижного состава различных серий, имеющих существенные конструктивные отличия;
- 4) сокращение общей продолжительности обработки;
- 5) снижение энергозатрат на поддержание микроклимата рабочей зоны в виду отсутствия оператора, либо его ограниченного нахождения (поддержание комфортной температуры, уровня освещенности, качества воздуха).

Как показывает опыт зарубежных стран, комплексное применение промышленных роботов позволяет повысить производительность труда в среднем в полтора-два раза. Использование промышленных роботов открывает перспективы создания принципиально новых технологических процессов не связанных с ограничениями налагаемыми непосредственным участием человека.

Сдерживающим фактором внедрения промышленных роботов является их относительно высокая стоимость. Однако ожидаемое увеличение масштаба производства промышленных роботов (за счет активного внедрения в добывающей и перерабатывающей промышленности, сфере обслуживания, сельском хозяйстве) в ближайшем будущем обеспечит их широкую доступность для применения на предприятиях железнодорожного транспорта.

1.3.2 Поточные линии ремонта локомотивов

В условиях крупных специализированных ремонтных предприятий, например локомотиворемонтные заводы, отдельные машины и механизмы образуют организованный взаимосвязанный процесс, объединяясь в поточные линии при по-

мощи механизированных транспортных устройств. На предприятиях по ремонту локомотивов получили распространение поточные механизированные линии очистки, разборки, ремонта кузова и сборки подвижного состава, ремонта тележек, колесных пар, автосцепных устройств, деталей тормозной рычажной передачи, тяговых электрических двигателей и вспомогательных электрических машин, роликовых подшипников и другие.

Классификация механизированных и автоматизированных поточных линий ремонта подвижного состава представлена на рисунке 1.10. В основу классификации положены характерные признаки, влияющие на производительность и организационно-технологическую способность линий, отражающие особенности ремонтного производства.



Рисунок 1.10 – Классификация поточных линий ремонтного производства

Важнейшими из этих признаков являются: характер технологического процесса и вид продукции, степень специализации линий и рабочих мест, уровень механизации и автоматизации данного производственного процесса, степень объема и охвата производства средствами механизации, степень непрерывности производственного процесса, стабильности и способа поддержания ритма, особенности межоперационного транспорта и типа технологического оборудования, структуры и конфигурации поточных линий.

Границы применимости отдельных видов поточных линий при ремонте локомотивов определяются комплексом факторов, учитывающих массогабаритные характеристики транспортируемых узлов и агрегатов, интенсивность грузопотоков, архитектурно-строительные, планировочные и компоновочные решения производственных цехов и участков [90]. По мере развития механизации производственных процессов и увеличения количества механизированных и автоматизированных линий и участков последние объединяются в единую общезаводскую комплексно-механизированную систему, обеспечивая наиболее производительную и экономичную организацию ремонта единиц локомотива [72].

1.4 Формы организации производства на предприятиях по ремонту локомотивов

Форма организации производства это порядок перемещения предметов труда в производственном процессе, по рабочим местам или позициям. Каждая форма организации соответствует определенному типу производства. Различают формы организации сборочного и обрабатывающего производства. Формы организации ремонтного производства аналогичны формам организации сборочного производства [98].

По функциональному принципу и характеру привязки к объекту ремонта все способы организации производства могут быть разделены на два класса – стационарные и нестационарные. В стационарных системах объект ремонта остается неподвижным, а выполнение заданной технологической последовательности опе-

раций производится путем перемещения в зону проведения работ необходимого оборудования и персонала. Характерным примером стационарной формы организации производства является постовой метод, получивший широкое распространение для сборочных и ремонтных цехов мелкосерийного и штучного производства. Для нестационарных систем напротив характерно перемещение объектов ремонта относительно технологических позиций [19].

Классические формы организации производства включают в себя: постовое, цеховое, поточное производство и производство по предметно-замкнутому циклу (рисунок 1.11). Основные характеристики форм организации локомотиворемонтного производства представлены в таблице 1.1.



Рисунок 1.11 – Способы организации локомотиворемонтного производства

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. Жесткая привязка рабочей силы и средств труда к рабочему месту отсутствует. Движение материальных потоков ограничивается перемещением между складом материалов и комплектующих, рабочим и смежными участками.

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.

Таблица 1.1 – Характеристики форм организации локомотиворемонтного производства

Сравнительные характеристики	Формы организации локомотиворемонтного производства		
	Постовая	предметно-замкнутый цикл	поточная
Выполнение производственного процесса	На одной неспециализированной позиции	В ряде групп специализированных позиций	В комплексе узко-специализированных позиций
Перемещение предметов труда в производственном процессе	Отсутствует	Между группами позиций	С позиции на позицию конвейером
Регламентация перемещения во времени	После окончания всех работ	Свободное (без учета такта выпуска)	Регламентированное (в соответствии с тактом выпуска)
Техническое оснащение позиций	Слабое	Удовлетворительное	Хорошее
Расположение рабочих мест	Удалены от позиции	В пределах расположения позиций	Непосредственно на позициях
Производительность труда и другие технико-экономические показатели	Низкие	Средние	Наиболее высокие

Цеховое производство ориентировано на технологию обработки, при этом рабочие места группируется и размещается 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.

Организация производства по предметно-замкнутому циклу (рисунок 1.12) является переходной формой между структурами ориентированными на технологию и на объект ремонта. Для данной формы организации производства типичным является то, что из цеховой структуры выводится от четырех до шести различных по технологии рабочих мест, привязанных к материальному потоку, которые размещаются кольцеобразно и децентрализованно от цеха, образуя предметно-замкнутый производственный цикл, представляющий собой лишь часть производственного цикла.

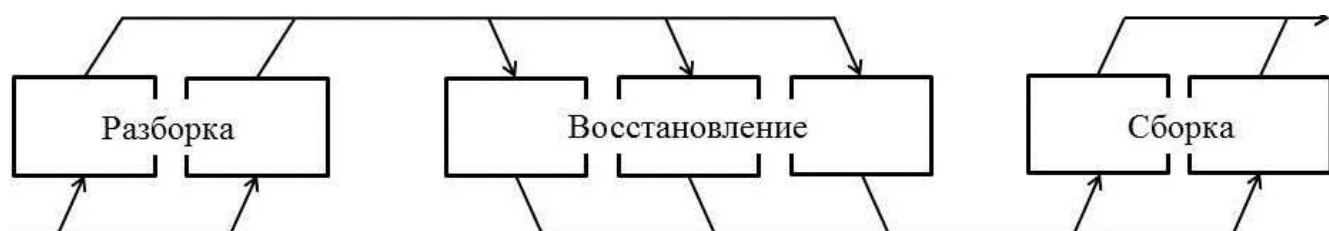


Рисунок 1.12 – Организация производства по предметно-замкнутому циклу

Поточное производство (рисунок 1.13) предполагает привязку технологического цикла «к месту и времени». Это означает, что рабочие места размещаются точно в соответствии с последовательностью рабочих операций, через которые проходит объект ремонта (например, по прямой линии, по кругу или U-образно). 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 [98, 78].

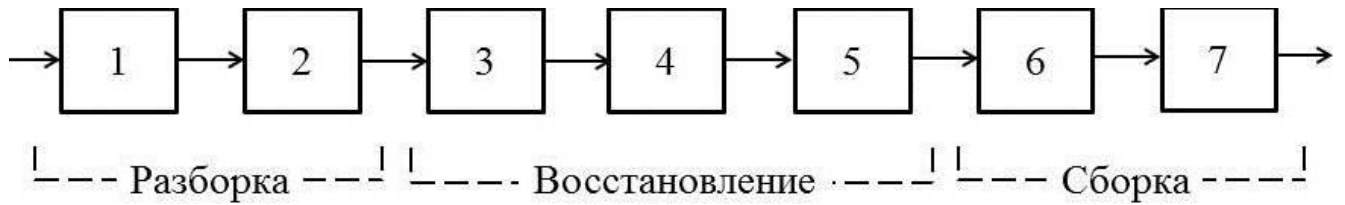
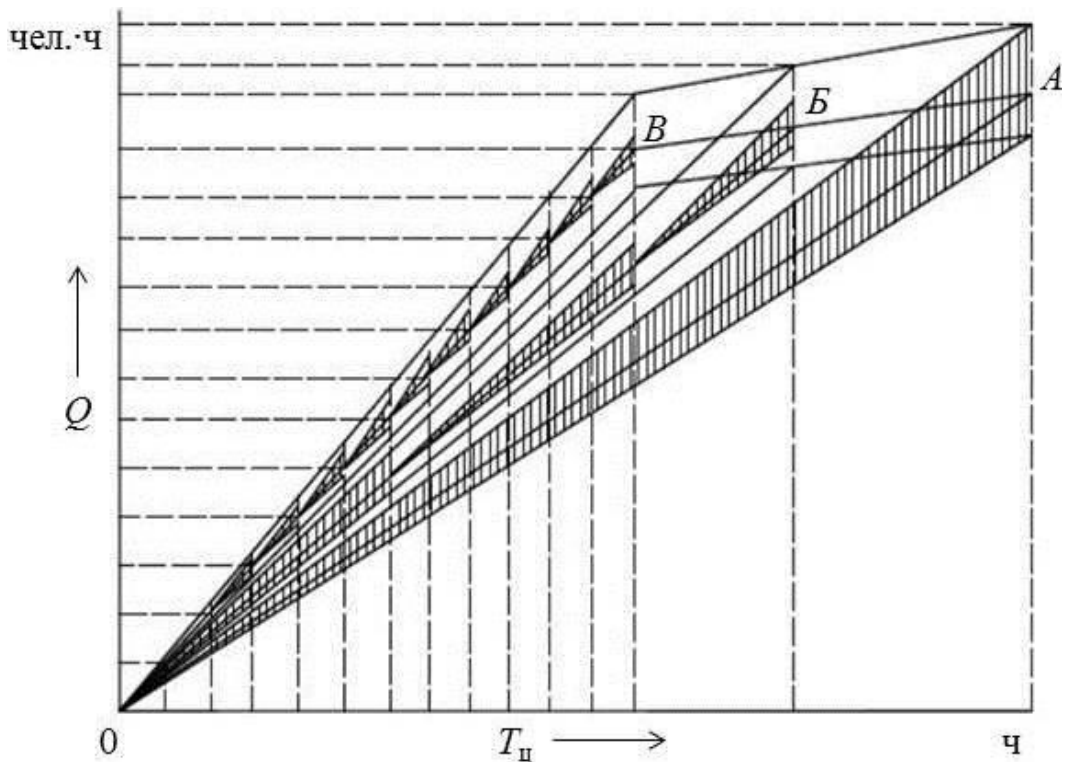


Рисунок 1.13 – Организация производства поточного метода.

Данная форма применяется в массовом и серийном производстве при постоянстве повторяемости производственного процесса, односерийной программе, значительном объеме выпуска и его неизменности во времени. Эта форма распространена на заводах по ремонту ТПС и в локомотивных депо.

Повышение эффективности производственного процесса капитального ремонта локомотивов при переходе от стационарной формы организации производства к прямоточной и поточной наглядно представлено на рисунке 1.14.



А – стационарная форма организации; Б – организация производства по предметно-замкнутому циклу; В – поточная форма организации

Рисунок 1.14 – Изменение показателей производственного процесса ремонта при переходе к прогрессивным формам организации производства

Организация трех позиций (разборки, восстановления и сборки точка Б) вместо одной (точка А) дает существенный экономический эффект использования трудовых ресурсов за счет ликвидации лишних движений и перемещений рабочих. При дальнейшем увеличении числа позиций (точка В) этот эффект нарастает. Эффективное использование рабочего времени при ремонте ТПС позволяет повысить производительность труда в 2,8 раза, сократив при этом продолжительность производственного цикла в 2,5 раза [98].

Практика проектирования последних лет показывает, что ни одной из приведенных форм организации ремонтного производства не может быть отдано однозначное предпочтение, а резерв повышения эффективности существующих форм организации практически уже исчерпан. Эффективным способом решения возникающих противоречий является создание так называемых интегрированных форм организации производства, сочетающими высокую производительность поточных линий с адаптивностью и технологичностью постового метода [78].

1.5 Постановка цели и задач диссертационной работы

Цель диссертационной работы: совершенствование производственных процессов предприятий по ремонту локомотивов путем повышения эффективности их организации и управления.

Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие задачи:

1. Выполнить статистическую обработку показателей производства ремонта локомотивов на предприятии с целью определения законов и параметров распределения их вероятности.

2. Разработать показатели качества организации производственных систем, определяющие адаптивность производственного процесса к появлению сверхцикловых работ при ремонте локомотивов и возможных нарушениях технологической структуры.

3. Разработать имитационную модель производственной структуры локомотиворемонтного предприятия, учитывающую перемещение локомотивов по тракционным путям и технологическим позициям.

4. Разработать организационно-технологические решения для локомотиворемонтного предприятия, позволяющие сократить количество сверхнормативных простоев локомотивов в ремонте.

5. Разработать метод планирования и управления производственным процессом ремонта локомотивов в условиях возможных нарушений производственной системы.

2 ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПРИЧИН ОКАЗЫВАЮЩИХ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Главным показателем локомотиворемонтного предприятия является надежность локомотива, которые проявляются через отказы в виде появления сверхцикловых работ на плановых видах ремонта или через unplanned заход локомотива в депо.

При этом причины отказов можно разделить на: некачественное ТОиР (наказание виновных, обучение, совершенствование технологического процесса), некачественные комплектующие (наказание поставщиков, смена поставщика, смена типа комплектующих); нарушения режимов эксплуатации (отнесение затрат на виновную сторону, обучение, изменение условий эксплуатации); неправильный технологический процесс ТОиР (изменение технологических карт ТОиР); конструкционный отказ (отнесение затрат на завод-изготовитель, изменение конструкции); деградационный отказ (изменении сроков планово-предупредительных ремонтов) [0].

Количество сверхцикловых работ и unplanned ремонтов сокращает время пребывания локомотива в работоспособном состоянии, тем самым локомотив не выполняет свои эксплуатационных функции. Отношение полезного (коммерческого) времени локомотива к общему объективно оценивает, как эффективность использования локомотива, так и его надёжность.

Для предприятий по ремонту локомотивов в качестве основного показателя, интегрально оценивающего непроизводительный простой локомотива, принят коэффициент технической готовности (КТГ), рассчитываемый по формуле [27]:

$$K_{\text{тг}} = \frac{T_{\text{рсп}}}{T_{\text{рсп}} + T_{\text{тр}} + T_{\text{то}} + T_{\text{аи}}}, \quad (2.1)$$

где $T_{\text{рсп}}$ – суммарное время пребывания секции локомотива n-ой серии в работоспособном состоянии;

$T_{тр}$ – суммарное время пребывания секции локомотива n-ой серии в неработоспособном состоянии в связи с гарантийным ремонтом;

$T_{то}$ – суммарное время пребывания секции локомотива n-ой серии в неработоспособном состоянии в связи с обслуживанием;

$T_{ан}$ – общее время ожидания сервисного обслуживания секции локомотива n-ой серии, а также другие административные издержки, которые зависят только от действий исполнителя.

КТГ напрямую зависит от надежности локомотивов. Обычно в РЖД при анализе надёжности локомотивов берётся показатель «Число отказов на 1 млн. км пробега» или «Число unplanned заходов в депо». Анализ показал, что использование этих параметров недостаточно для предприятий по ремонту локомотивов [80].

В качестве показателя, учитывающие потери от низкой надежности локомотивов, выбраны: сверхцикловые работы, выполняемые в депо дополнительно к работам, предусмотренным планово-предупредительной системой ремонта (ППР), т.е. циклом: ТО-2, ТО-4, ТР-1, ТР-2, ТР-3; количество и продолжительность unplanned ремонта.

2.1 Причины сверхнормативных простоев локомотивов на ремонтных предприятиях

Условия перевозочного процесса и качество локомотивов и ряда других показателей, которые влияют на интенсивность поступления локомотивов на ремонт, состав и объем технологических операций и времени восстановления работоспособности, являются не постоянными величинами, что говорит о вероятностной природе производственных процессов ремонта.

При такой сложной технологической системе возникают длительные простои на плановых ремонтах больше необходимого нормированного срока (сверх-

цикловые простои). На рисунке 2.1 представлена классификация причин сверхнормативных простоев на предприятиях по ремонту локомотивов.

Кроме того, совокупность действие работников, орудий труда и объекта ремонта, в результате взаимодействия которых, во первых, требуются затраты времени и ресурсов, во вторых возникают отклонения в производственном процессе, приводящие к нерациональному использованию средств производства приводят к логистическим потерям внутри предприятия — это все операции, которые требуют затрат времени и ресурсов, но не добавляют ценности.

В организации производства различаются два вида потерь: потери, необходимые для функционирования системы; потери, не являющиеся необходимыми для функционирования системы. Последние и находятся в центре внимания рассматриваемого ключевого показателя эффективности.



Рисунок 2.1 – Классификация видов причин простоев локомотивов на предприятиях

На рисунке 2.2 приведены причины потерь КТГ. Так же из рассчитанных данных следует: 40,3% длительных простоев связано с ожиданием постановки в

цех; планово-предупредительные ТОиР составляют 34,5% (с учётом ТО-2); наибольшие потери КТГ из всех видов ТОиР приходится на ТО-2 (9,5%); unplanned repairs (НР) вместе с ожиданием НР и ожиданием пересылки составляют 27,2% в потерях КТГ (связаны с низкой надёжностью локомотивов).

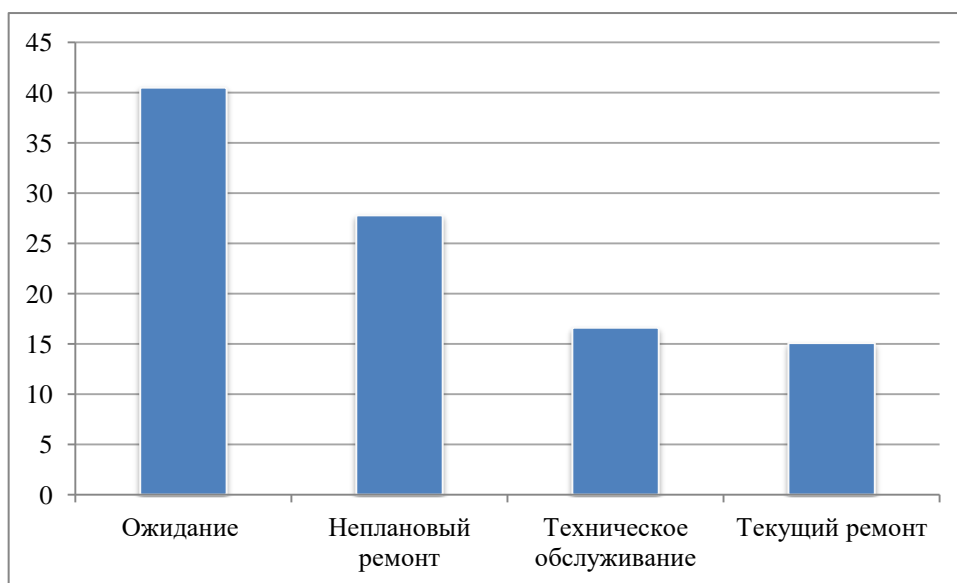


Рисунок 2.2 – Причины снижения КТГ, %

Суммарные потери КТГ, связанные с организацией ремонта локомотивов, составляют 74,8 %. Следовательно, повышение эффективности эксплуатации отечественных локомотивов существенно зависит от принятой модели организации производства.

2.2 Математическая модель исследуемого процесса

Концептуальная модель – это абстрактная описательная модель, отражающая представление (концепцию) исследователя о сущности изучаемого процесса или явления. Процесс построения концептуальной модели можно разбить на три этапа: формулировка цели моделирования, составление содержательного описания объекта и его формализация [49].

Концептуальная модель технологического процесса функционирования депо Московка, может быть представлена в виде графа состояний (рисунок 2.3).

В процессе ремонта локомотив может находиться на следующих позициях: S_0 – очередь на ремонт (нахождение локомотива на тракционных путях депо); S_1 – участок технического обслуживания ТО-2; S_2 – участок текущего ремонта ТР-1 (ТР-30) и ТР-2 (ТР-300); S_3 – участок текущего ремонта ТР-3 (ТР-600); S_4 – участок обточки колесных пар (ТО-4); S_5 – участок непланового ремонта (НР); S_6 – выдача локомотива из ремонта и его приемка бригадой. А каждая позиция определяет соответствующее состояние локомотива в процессе ремонта в депо.

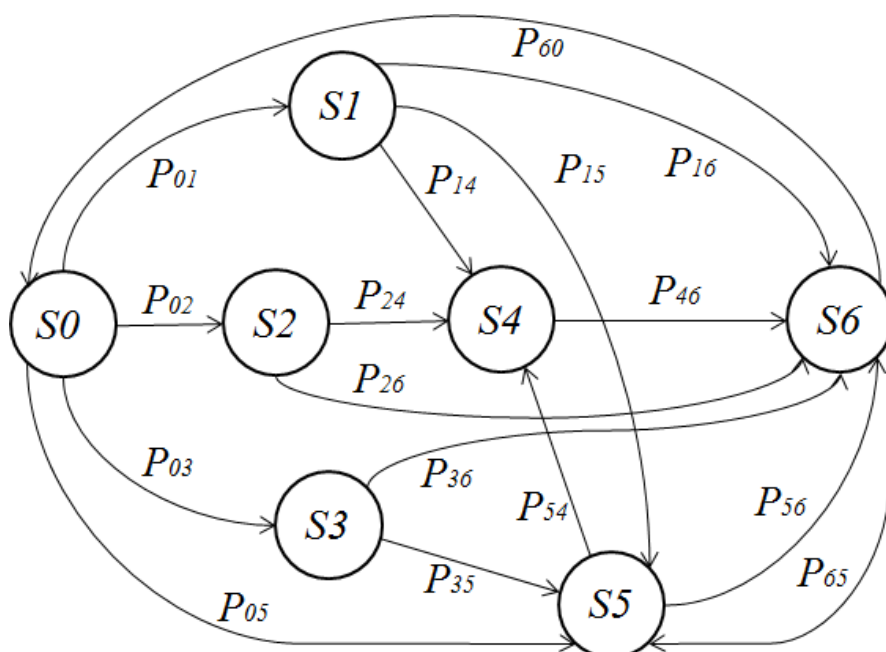


Рисунок 2.3 – Граф технологический состояний ремонтируемого локомотива

Процесс перехода ремонтируемого локомотива из текущего состояния S_i в состояние S_j (т.е. перемещение объекта ремонта с одной технологической позиции на другую) определяется вероятностью P_{ij} . Соответственно взаимосвязи технологических перемещений локомотива в депо можно будет представить в виде булевой матрицы бинарных отношений.

$$G_k = \begin{pmatrix} - & (P_{12}, t_{12}) & \dots & (P_{1j}, t_{1j}) & \dots & (P_{1n}, t_{1n}) \\ (P_{21}, t_{21}) & - & \dots & (P_{2j}, t_{2j}) & \dots & (P_{2n}, t_{2n}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ (P_{i1}, t_{i1}) & (P_{i2}, t_{i2}) & \dots & (P_{ij}, t_{ij}) & \dots & (P_{in}, t_{in}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ (P_{n1}, t_{n1}) & (P_{n2}, t_{n2}) & \dots & (P_{nj}, t_{nj}) & \dots & - \end{pmatrix}, \begin{cases} \sum_{i=1}^{n_i} P_{ij} = 1 \\ \sum_{j=1}^{n_i} P_{ij} = 1 \\ k = 1, \dots, m, \end{cases} \quad (2.2)$$

где n – количество вершин графа (технологических участков), $n = 8$;

$P_{ij} = [0, 1]$ – технологическая связь между i -й на j -й позициями (вероятность перехода): $P = 1$, если операции выполняются последовательно и безусловно, $P = 0$ если связь отсутствует.

t_{ij} – время перемещения объекта с i -й на j -ю позицию, минут.

Соответствующую матрицу материальных потоков объектов ремонта можно представить в виде:

$$H^R = \begin{pmatrix} - & h_{12}^R & \dots & h_{1j}^R & \dots & h_{1n}^R \\ h_{21}^R & - & \dots & h_{2j}^R & \dots & h_{2n}^R \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{i1}^R & h_{i2}^R & \dots & h_{ij}^R & \dots & h_{in}^R \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{n1}^R & h_{n2}^R & \dots & h_{nj}^R & \dots & - \end{pmatrix}. \quad (2.3)$$

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:

$$\sum_{k=1}^n (h_{1,k}^R + h_{k,n}^R) - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^{n-1} (h_{i+1,j}^R) \rightarrow \max. \quad (2.4)$$

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 в технологическую систему:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n h_{i,j}^R = H(T), \quad (2.5)$$

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:

$$\sum_{k=1}^{n-1} (h_{k,k+1}^R) - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j \neq i+1}^{n-1} (h_{i,j}^R) \rightarrow \max. \quad (2.6)$$

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.

Время технологической подготовки и переналадки ремонтной позиции при смене объекта ремонта:

$$pt_{ij} = (t_{ij}^{(1)}, t_{ij}^{(2)}, \dots, t_{ij}^{(n)}), \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, m \quad (2.7)$$

где pt_{ij}^k – среднее время переналадки k -ой позиции при смене объекта ремонта с i -го на j -ый тип ($t = 0$, если подготовка и переналадка не требуется).

Формирование потока заявок на обслуживание, в виде потока заявок на ремонт с интенсивностью поступления в ремонт, 1/день (час).

$$Pot = (pot_1(t), \dots, pot_m(t)), \quad t = 1, \dots, 24 \quad (2.8)$$

Среднесуточная программа ремонта:

$$\overline{Pot}(t) = (\overline{pot}_1(t), \dots, \overline{pot}_m(t)) = \frac{1}{30} (vol_1, \dots, vol_m), \quad t = 1, \dots, 30 \quad (2.9)$$

На следующем этапе построения имитационной модели выполняется разработка моделирующего алгоритма (рисунок 2.4).

Для повышения эффективности функционирования предприятий по ремонту локомотивов необходимо выявить и измерить закономерности различных явлений и процессов производства. Одним из эффективных методов решения подобных задач является метод статистического анализа, предусматривающий сбор, обработку и исследование количественных данных изучаемого производства [0].

Закономерность, в самом широком смысле слова, означает некую регулярность, однотипность. О регулярности, в свою очередь, можно говорить там, где явления повторяются, где они носят более или менее массовый характер. Статистические методы как раз и предназначены для анализа подобных явлений и процессов. Они позволяют выявлять устойчивые тенденции и строить на этой основе теории, предназначенные для их объяснения [69].

Необходимость выбора законов распределения потока заявок, и продолжительности переходных периодов во многих случаях определяется тем, что последние могут составлять существенную часть рабочего периода системы, а закон распределения входного потока заявок может оказывать существенное влияние на статистические характеристики выходных параметров системы массового обслуживания. Поэтому, не учитывая период нестационарности и влияние вида закона распределения потока заявок, невозможно оптимизировать рабочие характеристики системы в целом [28].

В качестве объекта исследования было выбрано сервисное локомотивное депо (СЛД) Московка, которое является одним из крупнейших предприятий по ремонту тягового подвижного состава на Западно-Сибирской железной дороге, задачей для которого – обеспечение безотказной и надежной работы электровозов серии 2ЭС6, ВЛ11 и ВЛ10 разных индексов, сети ОАО «РЖД» [24]. Исследование влияния эффективного функционирования и использование производственного потенциала предприятия, является одним из наиболее сложных и ответственных задач [89].

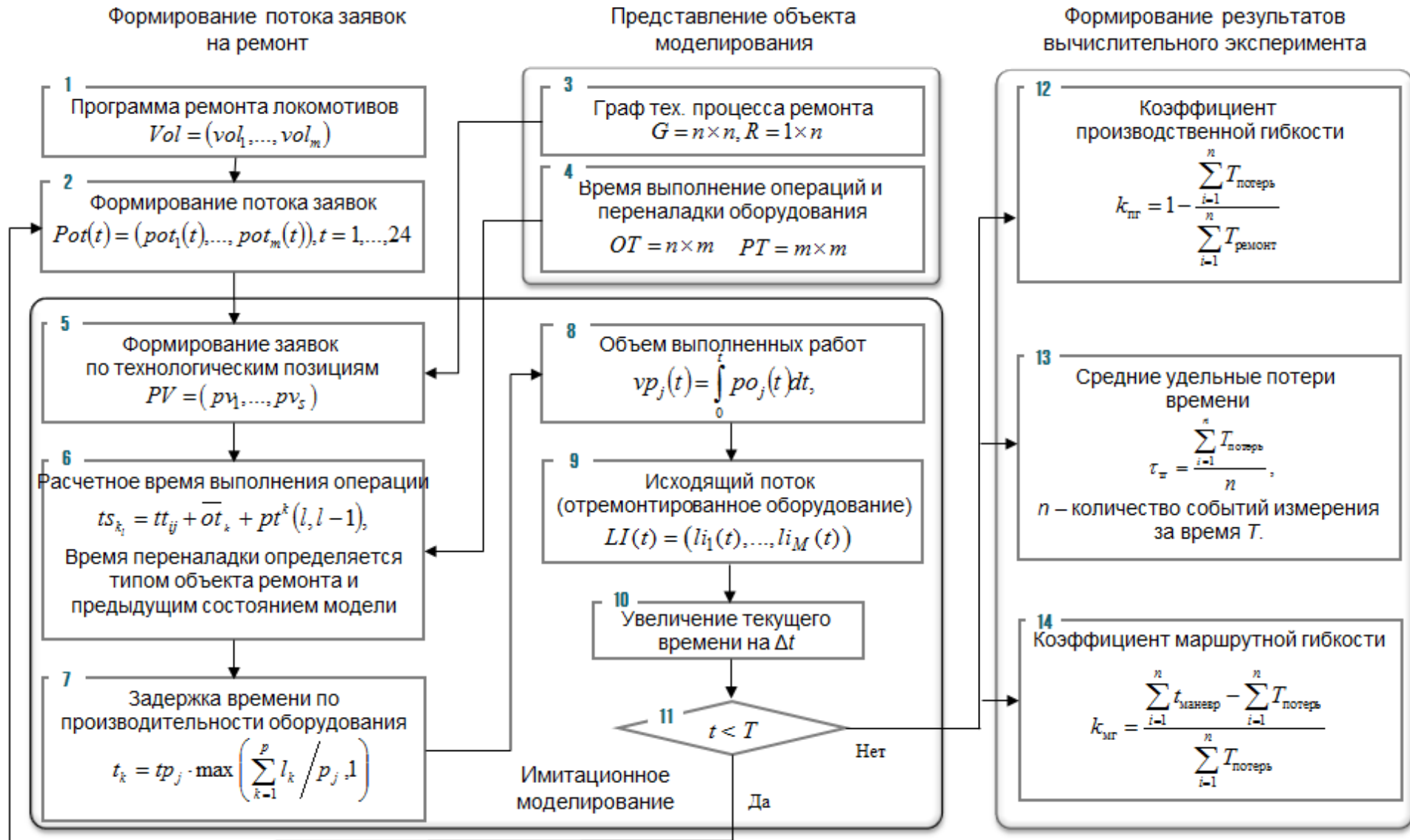


Рисунок 2.4 – Алгоритм имитационного моделирования

2.3 Выбор форм вероятностного распределения потока заявок и продолжительности ремонта и технического обслуживания локомотивов

В качестве исходных данных были взяты технологические акты выполненных работ в депо, каждого локомотива прошедшего обслуживание в течении года. По результатам обработки получена выборка значений времени простоя локомотив $t_{пр}^i$ на технологическом участке и время поступления заявки на ремонт t_3^i для каждого вида технического обслуживания и ремонта в депо.

Результаты описательной статистики для переменных $t_{пр}^i$ и t_3^i i -го вида ремонта представлены в таблице 2.1, 2.2.

Таблица 2.1 – Результат описательной статистики для переменной $t_{пр}^i$ по видам ремонта

№ П/ П	Параметр	$t_{пр}^{TO-2}$	$t_{пр}^{TO-4}$	$t_{пр}^{TP-1}$	$t_{пр}^{TP-2}$	$t_{пр}^{TP-3}$	$t_{пр}^{HP}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Количество наблюдений, $N_{пр}^i$	244	104	730	164	166	1231
2	Математическое ожидание, $t_{пр}^{ср}$	1,67	14,43	73,61	112,75	250,7	27,65
3	Стандартная ошибка среднего, $S_{пр}^i$	0,11	0,91	3,37	4,49	11,8	1,48
4	Минимальное значение, $t_{пр}^{мин}$	0,38	3,5	12,44	68,03	125,53	0,24
5	Максимальное значение, $t_{пр}^{макс}$	8,18	32,11	464,12	227,01	632,15	600
6	Медиана, $Me_{пр}^i$	1,2	14,5	52,91	94,31	221,56	12,1

Окончание таблицы 2.1.

1	2	3	4	5	6	7	8
7	Дисперсия, $\sigma_{\text{пр}}^2$	1,54	43,34	4041,06	1654,63	11553,5	2689,5
8	Мода, $Mo_{\text{пр}}^i$	1,07	15,0	207,08	89,14	304	18,75
9	Среднеквадратичное отклонение, $\sigma_{\text{пр}}^i$	1,24	6,58	63,57	40,68	107,49	51,86
10	Коэффициент асимметрии, $A_{\text{пр}}^i$	0,22	0,33	0,13	0,26	0,26	0,07
11	Коэффициент эксцесса, $E_{\text{пр}}^i$	0,43	0,65	0,26	0,52	0,52	0,14
12	Доверительный интервал для среднего, $\bar{x}_{\text{пр}}^i$	1,42	16,26	80,24	48,07	126,88	53,99
13	Сумма значений измерений, $\sum t_{\text{пр}}^i$	408,8	1500,68	52413,4	18490,9	20808,4	34040,1

Для технического обслуживания ТО-4 время поступления на ремонт $t_{\text{пр}}^{\text{ТО-4}}$ не было рассчитано в связи с тем, что операции данного вида обслуживания локомотивов производятся после выполнения операций вида технического ремонта ТР-1. В случае, если появляется необходимость проведения обточка колесной пары (ТО-4), то данная операция уже будет относиться к неплановому виду ремонта (НР).

Время поступления заявки на текущий ремонт ТР-3, также не было рассчитано из-за отсутствия стохастических характеристик данного вида восстановительных операций. В депо на ТР-3 поступает строго один электровоз в неделю.

Для переменных $t_3^{\text{ТО-2}}$, $t_3^{\text{ТР-1}}$ и $t_3^{\text{ТР-2}}$ случайная величина принимает дискретные значения. Это обуславливается особенностью технологического процесса в СЛД Московка. На плановые виды восстановительных операций локомотивы поступают на производство в соответствии графиком и программой ремонта в депо.

Заявка на определенное количество локомотивов, которым необходимо произвести обслуживание формируется заранее.

Таблица 2.2 – Результат описательной статистики для переменной t_3^i по видам ремонта

№ п/п	Параметр	$t_3^{ГО-2}$	t_3^{TP-1}	t_3^{TP-2}	t_3^{HP}
1	2	3	4	5	6
1	Количество наблюдений, N_3^i	483	166	243	244
2	Математическое ожидание, t_3^{cp}	3,73	5,22	5,42	5,01
3	Стандартная ошибка среднего, $S_{t_3^{cp}}$	0,09	0,19	0,12	0,18
4	Минимальное значение, $t_3^{мин}$	1	1	1	0
5	Максимальное значение, $t_3^{макс}$	12	11	10	12,87
6	Медиана, $Me_{t_3^i}$	3	5	5	4,66
7	Дисперсия, $\sigma_{t_3^i}^2$	3,74	5,72	4,06	7,95
8	Мода, $Mo_{t_3^i}$	3	5	5	{4.8, 5.5}
9	Среднеквадратичное отклонение, $\sigma_{t_3^i}$	1,93	2,39	2,02	2,82
10	Коэффициент асимметрии, $A_{t_3^i}$	0,12	0,19	0,16	0,15
11	Коэффициент эксцесса, $E_{t_3^i}$	0,23	0,37	0,31	0,31
12	Доверительный интервал, \bar{x}_3	2,07	2,68	2,21	3,09
13	Сумма значений измерений, $\sum t_3$	1635	867	1318	1220,22

В остальных случаях, где случайная величина является непрерывной, описательная статистика показала о недопустимости считать распределение полученных данных близкому к нормальному закону распределения, т.к. значения медианы и математическое ожидание не одинаковы, а значения асимметрии и эксцесса не равны нулю.

Появилась необходимость оценки параметров распределения графическим методом. Гистограммы, для определения законов распределения простых локо-

мотивов на технологическом участке $t_{пр}^i$, для каждого i -го вида технического обслуживания и ремонта в депо, представлены на рисунке 2.5.

Использование критериев согласия и критериев нормальности для оценки вида функции распределения непрерывной величины первоначально оценивают приближёнными методами – графическими [29].

Подгонку наиболее вероятного выбранного теоретического распределения к наблюдаемым данным можно зрительно оценить на графике квантиль-квантиль (рисунок 2.6) [23]. На графике показана связь между наблюдаемыми значениями переменных Q_H^i и расчетными квантилями Q_T^i .

Для технического обслуживания ТО-2 и ТО-4, а также для текущего ремонта ТР-2 и ТР-3 было выбрано гамма-распределение, плотность распределения, которой определяется по формуле [36]:

$$p(t_{пр}^i) = \frac{(t_{пр}^i - t_{min}^i)^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \exp\left(-\frac{[t_{пр}^i - t_{min}^i]}{\beta}\right), \quad (2.10)$$

где t_{min}^i – минимальное значение гамма-распределения, для i -го вида ремонта.

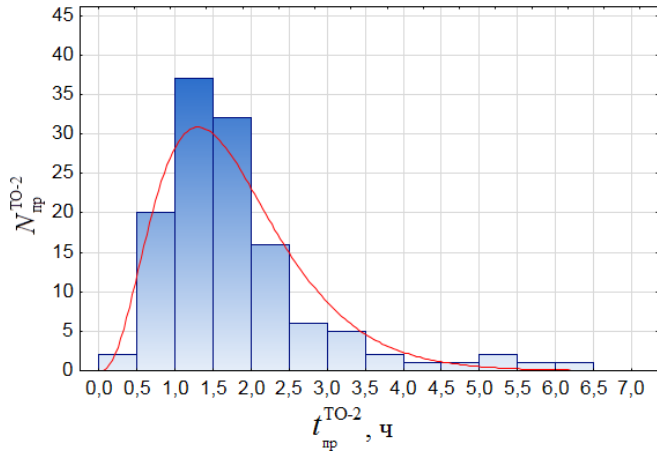
α – фактор формы вероятностного распределения; β – параметр масштаба распределения;

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} (t_{пр}^i)^{\alpha-1} e^{-t_{пр}^i} dx \text{ – гамма-функция.}$$

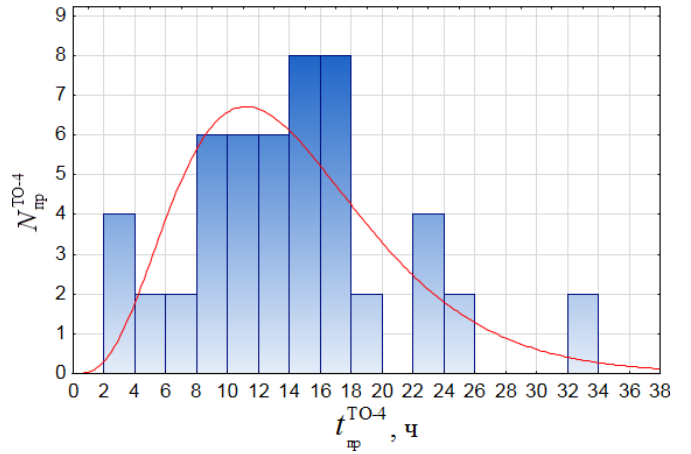
Значение параметров закона гамма-распределения для i -го вида ремонта приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Значения параметров закона гамма-распределения переменной $t_{пр}^i$.

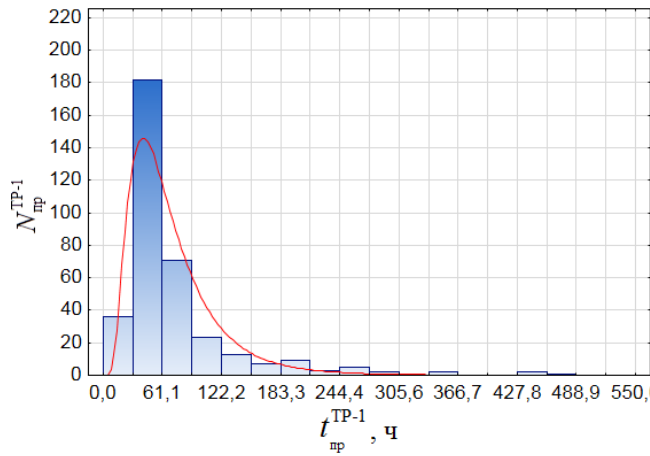
№ п/п	Параметр	$t_{пр}^{ТО-2}$	$t_{пр}^{ТО-4}$	$t_{пр}^{ТР-2}$	$t_{пр}^{ТР-3}$
1	Минимальное значение распределения, t_{min}^i	0,43	1,59	10,6	3
2	Фактор формы вероятностного распределения, α	3,64	4,43	9,25	6,85
3	Коэффициент масштаба распределения, β	0,48	3,26	12,18	36,6



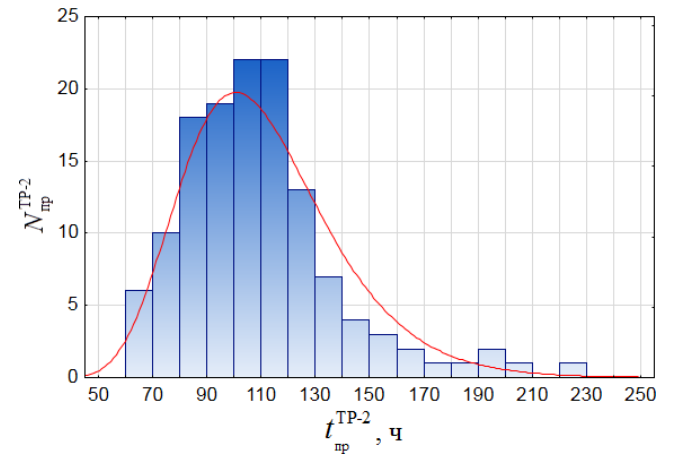
а



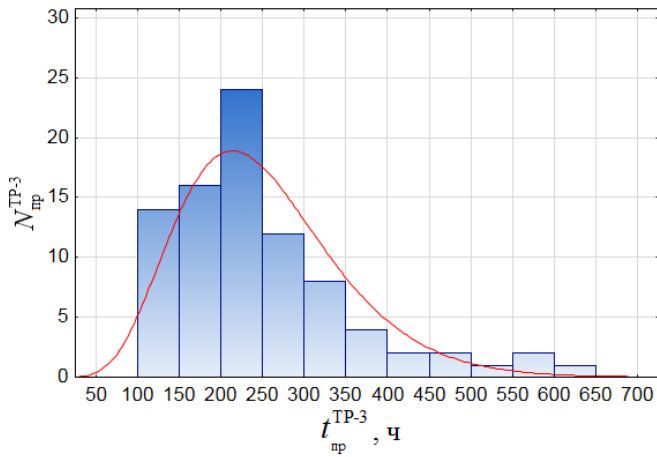
б



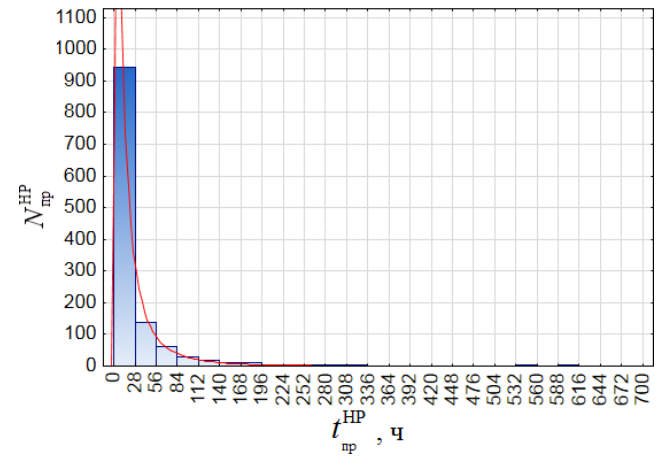
в



г



д



е

Рисунок 2.5 – Гистограмма распределения времени простоя локомотивов на ре-

монте t_{np}^i :

а – ТО-2; б – ТО-4; в – ТР-1; г – ТР-2; д – ТР-3; е – НР

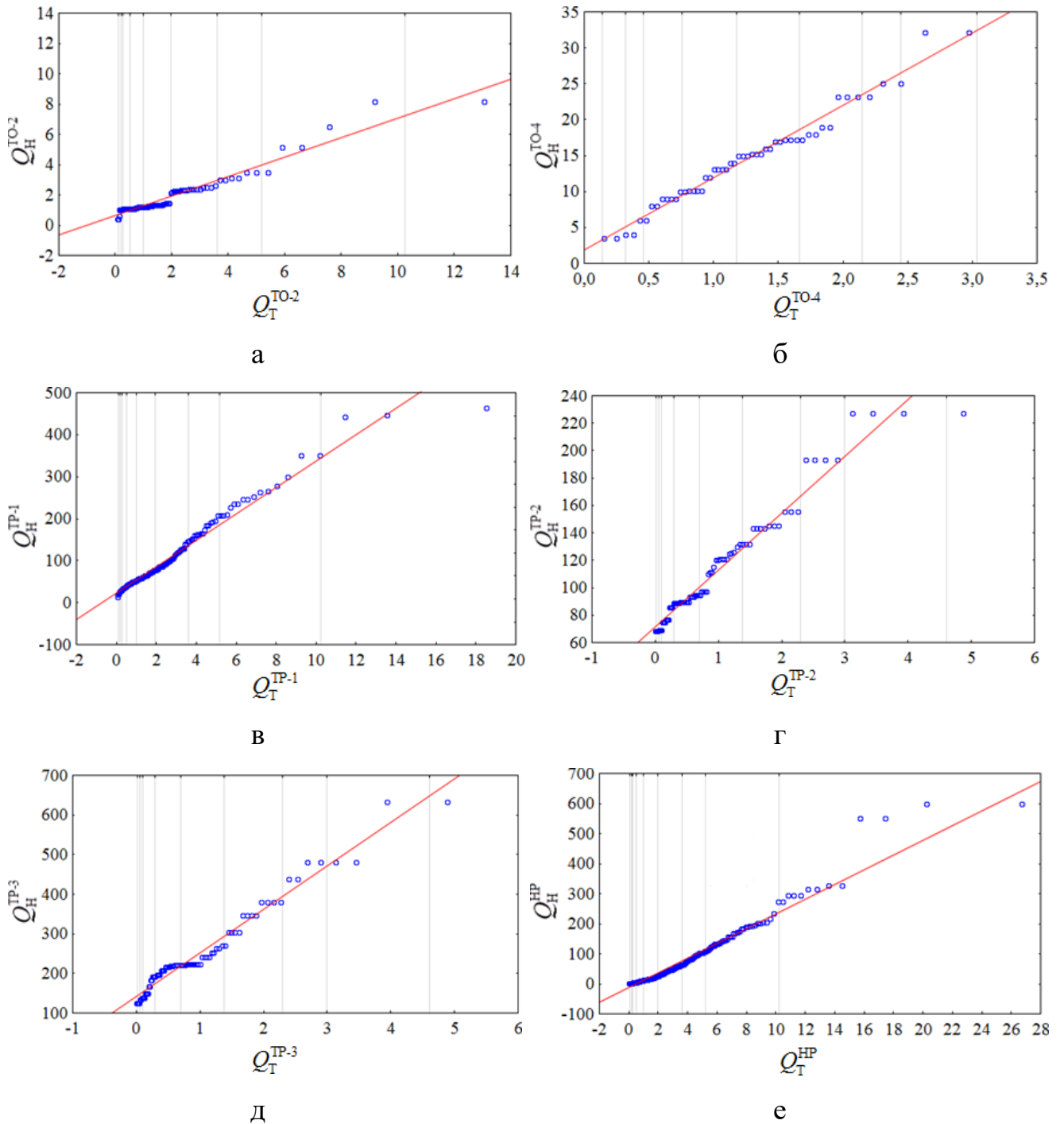


Рисунок 2.6 – График квантиль-квантиль переменной $t_{пр}^i$:

а – ТО-2 (гамма-распределение); б –ТО-4 (гамма-распределение); в –ТР-1 (лог-нормальное распределение); г –ТР-2 (гамма-распределение); д –ТР-3 (гамма-распределение); е –НР (логнормальное распределение).

Для ТР-1 и непланового ремонта было выбрано логнормальное распределение, плотность распределения, которой определяется по формуле [87]:

$$p(t_{\text{пр}}^i) = \frac{1}{(t_{\text{пр}}^i - t_{\text{мин}}^i) \sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{[\ln(t_{\text{пр}}^i - t_{\text{мин}}^i) - \mu]^2}{2\sigma^2}\right), \quad (2.11)$$

где $t_{\text{мин}}^i$ – минимальное значение логнормального распределения, для i -го вида ремонта;

σ – среднее значение включенной нормальной величины; μ – среднеквадратичное отклонение включенной нормальной величины.

Значение параметров логнормального закона распределения для i -го вида ремонта приведены в таблице 2.4.

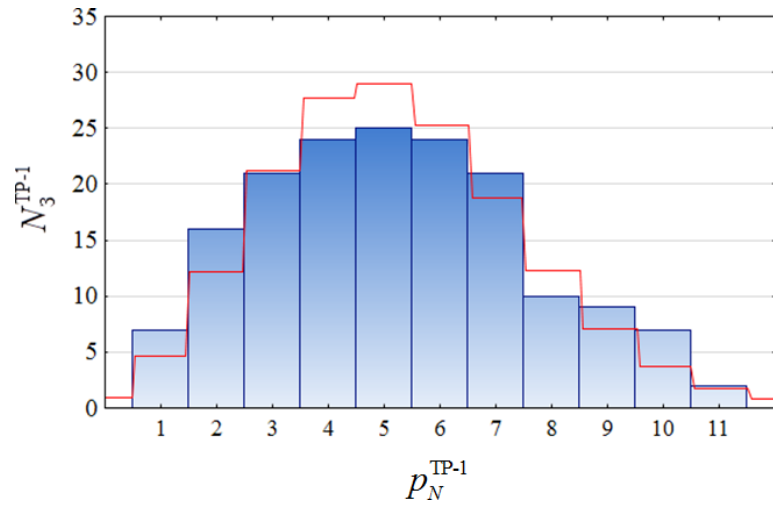
Таблица 2.4 – Значения параметров логнормального закона распределения переменной $t_{\text{пр}}^i$.

№ п/п	Параметр	$t_{\text{пр}}^{\text{ТР-1}}$	$t_{\text{пр}}^{\text{НР}}$
1	Минимальное значение распределения, $t_{\text{мин}}^i$	6,22	0,24
2	Среднее значение включенной нормальной величины, σ	0,6	1,2
3	Среднеквадратичное отклонение включенной нормальной величины, μ	4,08	2,52

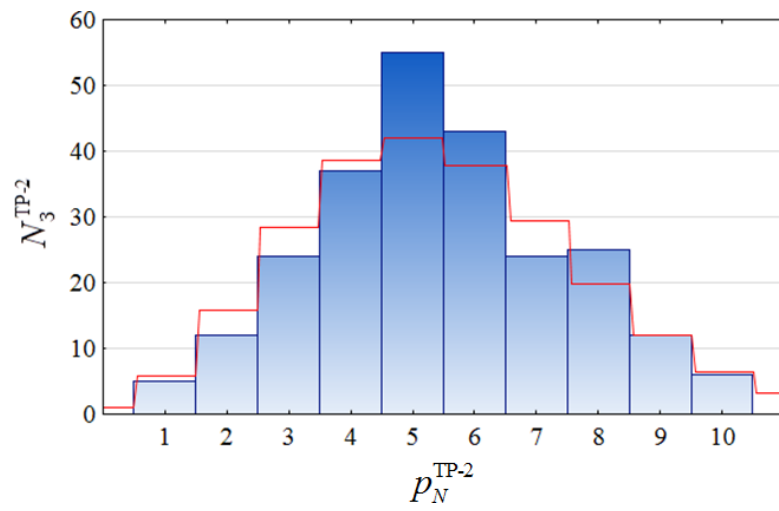
Для дискретных значений поступления заявки на ремонт $t_3^{\text{ТО-2}}$, $t_3^{\text{ТР-1}}$ и $t_3^{\text{ТР-2}}$ выборка значений рассматривается, как вероятность поступления в ремонт N объектов на i -ый вид ремонта за время Δt (рисунок 2.7).

В качестве значений формирования потока заявок на ремонт, в условиях, что данные события выполняются с некоторой фиксированной интенсивностью и независимо друг от друга, применяют закону Пуассона [100]:

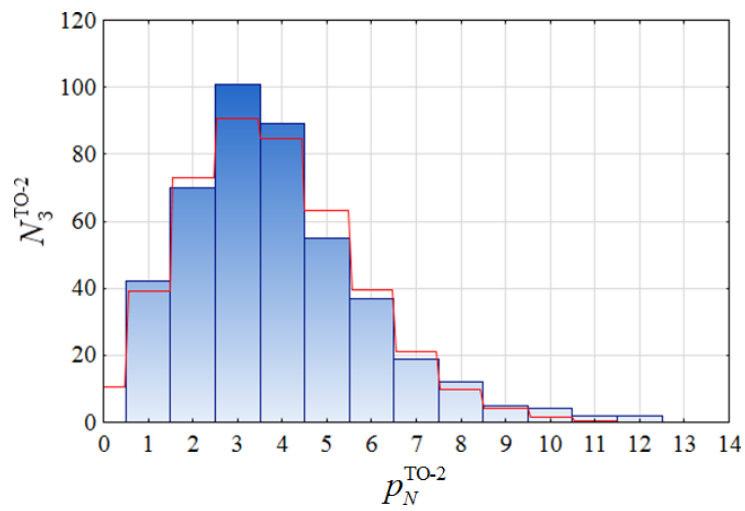
$$p_N^i = \frac{(\overline{pt}_i \cdot \Delta t)^N}{N!} \cdot e^{-\overline{pt}_i \cdot \Delta t}. \quad (2.12)$$



а



б



в

Рисунок 2.7 – Гистограмма распределения дискретных значений поступления заявки на ремонт t_3^i :

а – TP-1; б – TP-2; в – TO-2.

Распределение Пуассона играет важную роль в теории массового обслуживания. При увеличении средней интенсивности λ данное распределение стремится к нормальному распределению. В свою очередь, оно само является «приближенной» моделью биномиального распределения при больших n и крайне малых p .

Значение интенсивности потока событий $\overline{p}t_i \cdot \Delta t$ вероятностного распределения поступления заявок:

- для технического обслуживания ТО-2 – 3,73 ТПС/день;
- для текущего ремонта ТР-1 – 5,22 ТПС/день;
- для текущего ремонта ТР-2 – 5,42 ТПС/неделя;

Поток заявок на неплановый ремонт является непрерывным распределением (рисунок 2.8) и подчиняется особому случаю распределения Вейбулла – распределение Рэлея [36, 116].

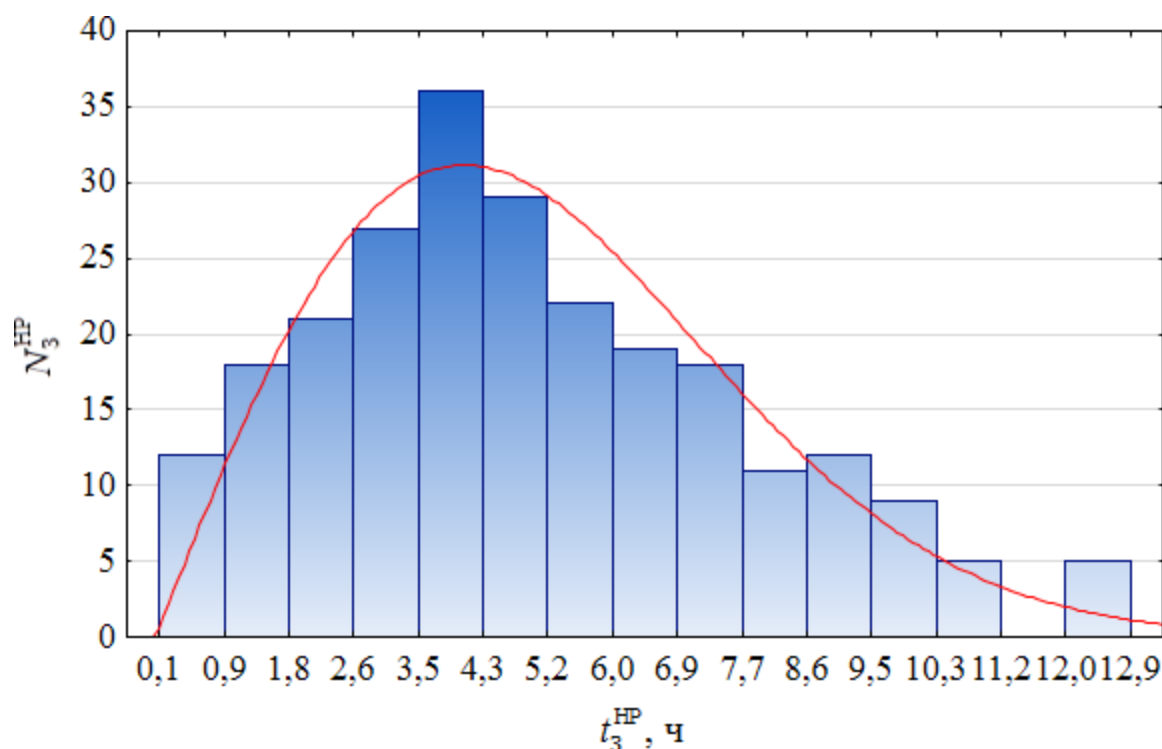


Рисунок 2.8 – Гистограмма распределения поступления заявок на НР

Плотность распределения поступления заявок на неплановый ремонт будет определяться по формуле [36]:

$$p(t_3^{HP}) = \frac{(t_3^{HP} - t_{min}^{HP})}{\sigma_R^2} \exp\left(-\frac{(t_3^{HP} - t_{min}^{HP})^2}{2\sigma_R^2}\right), \quad (2.13)$$

где $t_{min}^{HP} = 0,64$ – минимальное значение распределение при поступлении заявок на НР, ч;

$\sigma_R = 4,06$ – параметр масштаба распределения при поступлении заявок на НР, ч.

Сравнение совокупности данных с принятым распределением Рэля показано на квантильной диаграмме (рисунке 2.9).

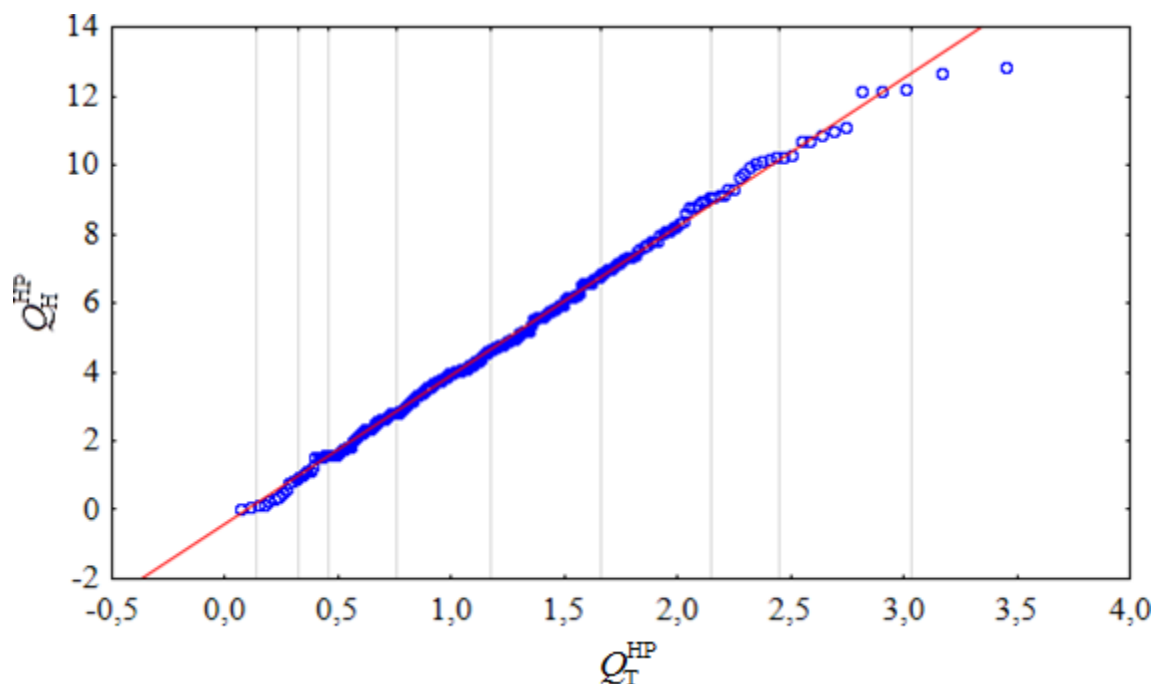


Рисунок 2.9 – График квантиль-квантиль переменной t_3^{HP} при распределении Рэля

В качестве подтверждения выбранных закон, проведено сравнение эмпирических гистограмм распределения случайных величин с ее теоретической плотностью, (хи-квадрат) [75]:

$$\chi_{\text{эмп}}^2 = N^i \sum_{k=1}^n \frac{(P_k^T - P_k^Э)^2}{P_k^T}, \quad (2.14)$$

где P_k^T – теоретическая вероятность попадания случайной величины в k -й интервал;

$P_k^Э$ – экспериментальная вероятность попадания случайной величины в k -й интервал.

В таблице 2.5 указаны значения $\chi_{\text{эмп}}^2$, степень свободы распределения χ_n^2 и уровень значимости ρ результатов для каждого исследуемого параметра.

Для параметра $t_{\text{пр}}^{\text{ТР-1}}$ значение $\chi_{\text{эмп}}^2$ вычислялась с учетом поправки Ф. Йейтса [102].

$$\chi_{\text{эмп}}^2 = N_{\text{изм}}^i \sum_{k=1}^n \frac{(|P_k^{\text{T}} - P_k^{\text{Э}}| - 0,5)^2}{P_k^{\text{T}}}, \quad (2.15)$$

Все значения критерия $\chi_{\text{эмп}}^2$ выполняются условию $\chi_{\text{эмп}}^2 \leq \chi_{\text{т}}^2$, что говорит о статистической взаимосвязи между теоретическими $\chi_{\text{т}}^2$ и наблюдаемыми значениями параметров, и выбранные гипотезы вероятностного распределения не могут быть отвергнуты.

Таблица 2.5 – Результат проверки гипотез о законах распределения вероятностей

№ п/п	Параметр	Вид закона распределения	$\chi_{\text{эмп}}^2$	χ_n^2	ρ
1	2	3	4	5	6
1	Простой локомотива на ТО-2 $t_{\text{пр}}^{\text{ТО-2}}$, ч	гамма-распределение	6,74	4	0,15
2	Простой локомотива на ТО-4 $t_{\text{пр}}^{\text{ТО-4}}$, ч	гамма-распределение	4,7	4	0,32
3	Простой локомотива на ТР-1 $t_{\text{пр}}^{\text{ТР-1}}$, ч	логнормальный	7,4	4	0,12
4	Простой локомотива на ТР-2 $t_{\text{пр}}^{\text{ТР-2}}$, ч	гамма-распределение	8,55	7	0,29
5	Простой локомотива на ТР-3 $t_{\text{пр}}^{\text{ТР-3}}$, ч	гамма-распределение	4,69	4	0,19
6	Простой локомотива на НР $t_{\text{пр}}^{\text{НР}}$, ч	логнормальный	11,8	7	0,11

Окончание таблицы 2.5.

1	2	3	4	5	6
7	Количество заявок на ТО-2 в течение суток $N_3^{\text{ТО-2}}$	Пуассон	11,75	7	0,11
8	Количество заявок на ТР-1 в течение суток $N_3^{\text{ТР-1}}$	Пуассон	10,86	8	0,21
9	Количество заявок на ТР-2 в течение недели $N_3^{\text{ТР-2}}$	Пуассон	10,06	8	0,26
10	Время между заявками на НР $t_3^{\text{НР}}$, ч	Рэлей	9,97	7	0,19

Полученные значения позволяют: определить причины сверхнормативного простоя локомотивов; совершенствовать методы планирование и управление производственного процесса, учитывающие вероятностный характер ремонтного производства.

2.4 Вероятность смены ремонтируемым локомотивом технологического участка

Для сокращения логистических потерь необходимо предусмотреть планирование ремонтов, внутрипроизводственное планирование и диспетчеризацию (управление нахождением локомотива в депо).

В соответствии со статистическими данными сервисного локомотивного депо вероятность перехода представлена в виде матрице, в соответствии с формулой (2.2):

$$G_k = \begin{pmatrix} - & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,772 \\ 0,201 & - & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,075 \\ 0,362 & 0 & - & 0 & 0,281 & 0 & 0,043 \\ 0,011 & 0 & 0,01 & - & 0 & 0 & 0 \\ 0,098 & 0,016 & 0,262 & 0 & - & 0,21 & 0 \\ 0,328 & 0,118 & 0,124 & 0 & 0,009 & - & 0,11 \\ 0 & 0,866 & 0,604 & 1 & 0,71 & 0,79 & - \end{pmatrix} \quad (2.16)$$

Анализируя место и причину простоя локомотива в СЛД, можно управлять сверхнормативным простоем локомотивов [81]. Необходимо исследовать техническое состояние локомотивов во время их нахождения на предприятии.

2.5 Вероятность возникновения нештатных ситуаций при ремонте локомотива

К нештатным ситуациям при ремонте локомотива, кроме непланового ремонта, также относятся возникновение дополнительных (сверхцикловых) видов работы при плановых видах ремонта и технического обслуживания, которые приводят к сверхнормативным простоям и уменьшению КТГ локомотива.

В таблице 2.6 приведены статистические данные возникновения сверхцикловых работ и сверхнормативных простоев.

Таблица 2.6 – Статистика нештатных ситуаций локомотиворемонтного предприятия

№ п/п	Вид технического обслуживания или ремонта	Количество заход, шт.	Количество сверхцикловых работ, шт.	Количество сверхнормативных простоев, шт.
1	ТО-2	1177	982	741
2	ТО-4	402	0	51
3	ТР-1	1517	412	337
4	ТР-2	135	27	18
5	ТР-3	38	1	0
7	Всего	3269	1422	1147

Значения вероятности возникновения длительного простоя локомотива на предприятии (таблица 2.7) можно использовать при прогнозировании занятости участков, цехов и оборудования при составлении оперативного плана постановки локомотива на ремонтное предприятие.

Таблица 2.7 – Вероятность возникновения сверхнормативного простоя локомотива при ремонте

ТО-2	ТО-4	ТР-1	ТР-2	ТР-3
0,843	0	0,271	0,21	0,026

Качество локомотивов и ряда других показателей, которые влияют на интенсивность поступления локомотивов на ремонт, состав и объем технологических операций и времени восстановления работоспособности, представляются вероятностными значениями.

2.6 Адаптивность производственной структуры к изменениям технологического состояния локомотива

В условиях развития новых технологий требование приспособления к изменяющейся ситуации хозяйственной деятельности выдвигается на передний план и начинает заменять прежнюю относительную стабильность производственных систем [14, 46].

Определено, что для внешней функциональной среды технологических систем предприятий по ремонту подвижного состава характерным является непрерывное случайным образом изменение во времени следующих параметров:

- интенсивность поступления заявок;
- времени восстановления работоспособности локомотива;
- позиция ремонта.

Возможность адаптации предприятий под вероятностную модель функционирования производства характеризуется гибкостью производственного процесса,

т.е. переход из одного работоспособного функционального состояния в другое, при минимальных потерях и затратах с целью выполнения очередного задания или новой функции.

Возможность производственной структуры предприятия быстро совершить переход на новую технологическую функцию, необходимую для восстановления работоспособности локомотива, характеризуется производственной гибкостью:

$$k_{\text{шт}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n T_{\text{потерь}}}{\sum_{i=1}^n T_{\text{ремонт}}}, \quad (2.17)$$

где $T_{\text{потерь}}$ – время потерь возникающих на предприятии во время ремонта i -го локомотива;

$T_{\text{ремонт}}$ – время нахождения i -го локомотива на ремонте;

n – количество локомотивов прошедших ремонт.

Для каждого ремонтируемой единицы временные потери будут равны:

$$T_{\text{потерь}} = t_{\text{очередь}} + t_{\text{маневр}} + t_{\text{позиция}}, \quad (2.18)$$

где $t_{\text{очередь}}$ – время ожидания ремонта;

$t_{\text{маневр}}$ – время маневровой работы на территории депо (постановка и выход с участка ремонта);

$t_{\text{позиция}}$ – время ожидания смены позиции ремонта.

Возможность быстрого перехода с одного технологического участка ремонта на другой оценивает маршрутная гибкость:

$$k_{\text{мг}} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{\text{потерь}} - \sum_{i=1}^n t_{\text{маневр}}}{\sum_{i=1}^n T_{\text{потерь}}}, \quad (2.19)$$

Адаптация производственного процесса к существенному росту объема ремонта или продолжительности времени ремонта, не может быть автоматической и требует внесения изменений в структуру производства, что определяется объемной гибкостью:

$$k_{\text{омг}} = \frac{(T_{\text{ремонт}}^{\text{ср}} + T_{\text{потерь}}^{\text{ср}}) \cdot n}{\sum_{i=1}^n T_{\text{потерь}}}, \quad (2.20)$$

где $T_{\text{ремонт}}^{\text{ср}}$ – среднее время ремонта локомотива на участке;

$T_{\text{потерь}}^{\text{ср}}$ – среднее время потерь.

На повышение производственных потерь в локомотиворемонтном производстве также влияет смена и добавление новых серий локомотивов в производственный процесс. Оценить способность предприятия к освоению ремонта новой серии может объектная гибкость:

$$k_{\text{окг}} = \frac{(T_{\text{ремонт}}^{\text{ср}} + T_{\text{потерь}}^{\text{ср}} + t_{\text{пер}}) \cdot n}{F \cdot N_{\text{ту}}}, \quad (2.21)$$

где F – эффективный фонд работы участка ремонта;

$N_{\text{ту}}$ – количество технологических позиций на участке ремонта.

$t_{\text{пер}}$ – время переналадки технологических операций между сменами серии локомотива.

Быстрота переналадки технологической системы при изменении структуры ремонтного задания, характеризуется оперативной технологической гибкостью производства:

$$k_{\text{тр}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n t_{\text{пер}}}{F}, \quad (2.22)$$

Показатели гибкости наглядно показывают устойчивость предприятий к производственным потерям, возникающих в изменяющихся условиях функционирования, с тем чтобы, во-первых, можно было четко определить «узкие места» предприятия, во-вторых, представлять направления модернизации, при изменении функциональной среды (увеличение программы ремонта, изменение времени технологического процесса, смена серий локомотивов и т.д.), в-третьих, оценивать новые формы организации производства и новые структуры производственного процесса при ремонте локомотивов.

2.7 Выводы по второй главе

1. Определены причины длительных сверхнормативных простоев локомотивов на предприятиях по ремонту локомотивов.

2. Разработана математическая модель ремонта локомотивов, учитывающая вероятность перемещения объекта ремонта с одной технологической позиции на другую, из-за изменения объема восстановительных операций. Сформирован алгоритм моделирования локомотиворемонтных предприятий.

3. Выявлено, что фактическая продолжительность ремонта локомотивов на технологических участках подчиняется: гамма-распределению для технического обслуживания ТО-2, ТО-4 и текущего ремонта ТР-2, ТР-3; логнормальному распределению для текущего ремонта ТР-1 и непланового ремонта.

4. Определен закон вероятностного распределения потока локомотивов на ТО и ремонт. Для ТО-2, ТР-1 и ТР-2 значение принимает дискретное значение и подчиняется закону распределения Пуассона. Поток заявок на неплановый ремонт является непрерывным распределением и принимает значения подчиняющиеся закону распределения Рэлея.

5. Рассчитана вероятность перемещения ремонтируемого локомотива с одной технологической позиции на другую и определены технологические связи цехов и участков на предприятиях по ремонту локомотивов.

6. Рассчитана вероятность возникновения сверхцикловых (дополнительных) видов работ при плановых видах ремонта и вероятность пересодержания локомотива на предприятии.

7. Определено, что эффективность локомотиворемонтного производства зависит от гибкости и адаптивности производственного процесса к изменяющимся параметрам технического состояния локомотива.

8. Разработаны критерии оценивающие способность локомотиворемонтного предприятия воспринимать изменения в производственном процессе.

3 РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЛОГИСТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

3.1 Общие принципы построения имитационных моделей

Важной особенностью процесса функционирования производственных систем, случайный или вероятностный, характер протекающих в них процессов и явлений. Получение явных аналитических зависимостей, связывающих входные, выходные параметры вероятностных моделей достаточно сложная задача [32, 33]. В таких случаях применяется кибернетический подход исследования стохастических процессов, в соответствии с которым модель представляется в виде «черного ящика» [38] (рисунок 3.1). При этом $\vec{X} = \{x_i\}$ – вектор значений параметров, оказывающих влияние на протекание процесса, $\vec{U} = \{u_l\}$ – вектор начальных условий эксплуатации системы (устройства), $\vec{\Pi} = \{\rho_k\}$ – вектор внутренних параметров исследуемого процесса, $\vec{S} = \{s_m\}$ – вектор статистических данных о состоянии процесса и $\vec{Y} = \{y_j\}$ – вектор откликов модели.

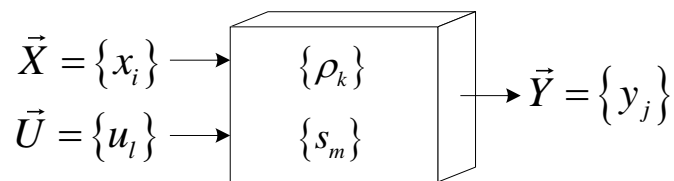


Рисунок 3.1 – Схема модели исследуемого процесса

Компоненты векторов \vec{X} , \vec{U} и $\vec{\Pi}$ могут иметь стохастический характер, отражая воздействия окружающей среды. Имитационное моделирование такого процесса можно выполнить при помощи теории массового обслуживания [37, 26, 85, 109]. Выполнение N статистических экспериментов с моделью позволяет получить ансамбль реализаций компонентов вектора откликов \vec{Y} :

$$\vec{Y}_n = f_n(\vec{X}, \vec{U}, \vec{\Pi}, \vec{S}). \quad (3.1)$$

В ходе имитации фиксируется статистика \vec{S} и вычисляются компоненты вектора откликов \vec{Y}_n . Эта статистика должным образом обрабатывается в ходе имитации, либо накапливается и по окончании заданного интервала моделирования обрабатывается статистическими методами. В большинстве случаев, по реализациям \vec{Y}_n , $n = \overline{1, N}$, определяются оценки математического ожидания и дисперсии компонент вектора откликов по формулам:

$$\bar{Y} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N Y_n; \quad (3.2)$$

$$\bar{D} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (Y_n - \bar{Y})^2. \quad (3.3)$$

Результаты модельного эксперимента (\bar{Y} и \bar{D}) подлежат анализу и интерпретации в форме выводов и заключений.

Процесс разработки ИМ представляет собой последовательное выполнение ряда процедур, в общем случае, включающие следующие этапы [34, 35]:

1) построение математической модели – составление содержательного описания объекта анализа, его формализация – подбор типовых математических схем взаимодействия составляющих элементов объекта анализа;

2) разработка моделирующего алгоритма – детального логического описания моделируемого объекта;

3) программирование и отладка модели на основе специализированного или универсального языка высокого уровня;

4) доказательство адекватности имитационной модели теоретической.

Для решения задач могут быть использованы различные среды и методологии разработки аналитических и имитационных моделей сложных систем: MvStudium, MATLAB, Arena, GPSS, Ex-tend, iThink Analyst, Process Model и др. Особое место среди сред разработки компьютерных моделей сложных систем принадлежит много подходной среде моделирования – AnyLogic [117, 118]. Разные средства спецификации и анализа результатов, имеющиеся в AnyLogic, по-

звolyают строить модели различными методами исследования: динамические (СД), дискретно-событийные (ДС), агентное моделирование (АМ) (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – Методы моделирования систем

Данный подход позволяет имитировать практически любой реальный процесс, выполнять анализ моделей на компьютере без проведения реальных экспериментов и самостоятельных сложных вычислений [50].

Практически все присутствующие на рынке инструменты имитационного моделирования разработаны для поддержки одного определённого подхода. Для системной динамики есть всего четыре инструмента. Дискретно-событийное же моделирование поддерживается десятками различных инструментов. Это объясняется просто: ДС как дисциплина определена не так строго, как СД, существует масса “диалектов”, созданных под конкретные приложения. В мире динамических систем доминирует MATLAB Simulink. Для агентного моделирования до последнего времени не существовало ни одного коммерческого инструмента, только библиотеки на Java или C++, разработанные в различных университетах [7].

Во многих случаях АМ позволяет легче отобразить в модели многие явления реального мира, чем СД или ДС-моделирование. Это, однако, не означает, что АМ – абсолютная замена традиционных подходов. Для большого числа приложе-

ний СД и ДС позволяют эффективно строить адекватные модели и получать достоверные результаты. Более того, в таких случаях попытки применить агентное моделирование могут быть менее продуктивными: агентные модели труднее строить.

3.2 Программирование имитационной модели

Для разработки модели был выбран программный продукт AnyLogic. В качестве метода имитационного моделирования было выбрано агентное моделирование. Логика функционирования депо проектировалась при помощи встроенных библиотек: «Железнодорожная библиотека» и «Библиотека моделирования процессов» [124, 125]. В процессе моделирования были учтены различные нештатные ситуации (неплановый ремонт, неплановые перемещения локомотива по тракционным путям депо, объема технологических операций, время восстановления работоспособности объекта ремонта и т.д.).

Логическая схема имитационной модели в среде AnyLogic представлена на рисунке 3.3, 3.4. Исходные данные для имитационной модели приведены в таблице 3.1.

При помощи группы блоков 1, для каждого вида ремонта, формируются заявки в виде созданного агента (`agent_eps`) моделирования, который является ремонтируемой единицей в нашей системе.

Перемещения и нахождение локомотивов на участке отображается на графической схеме (рисунок 3.5), которая является частью модели и составлялась в соответствии с генеральным планом депо.

Популяция агентов, параметры и переменные цехов и участков предприятия (`agent_main`) в имитационной модели представлены на рисунке 3.6. Заявки ТР-1 (ТР-30) и ТР-2 (ТР-300) объединены в дальнейшем в один поток, так, как в депо технологические операции данного вида ремонта выполняются в одних и тех же цехах.

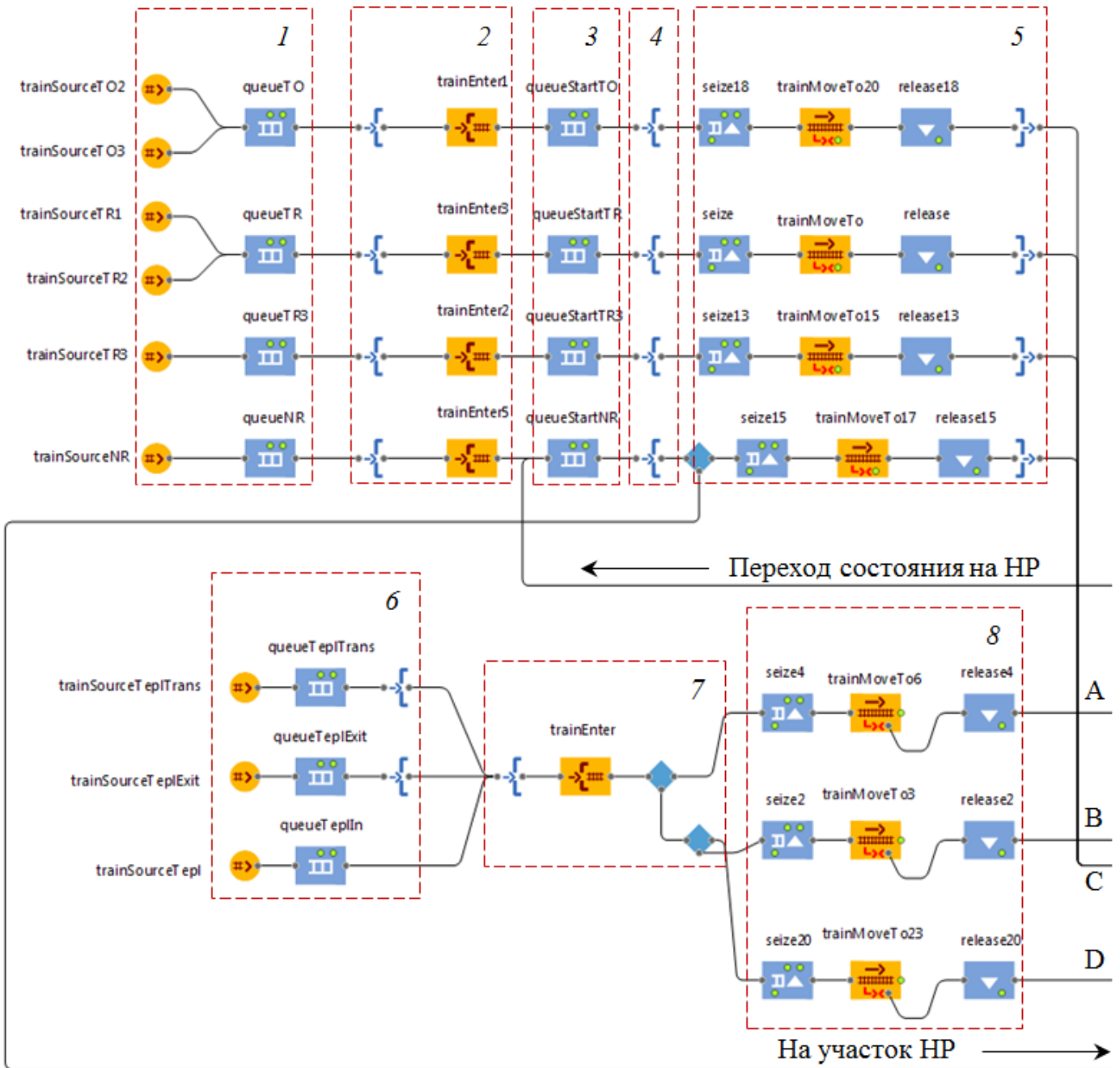


Рисунок 3.3 – Логическая схема имитационной модели (часть 1)

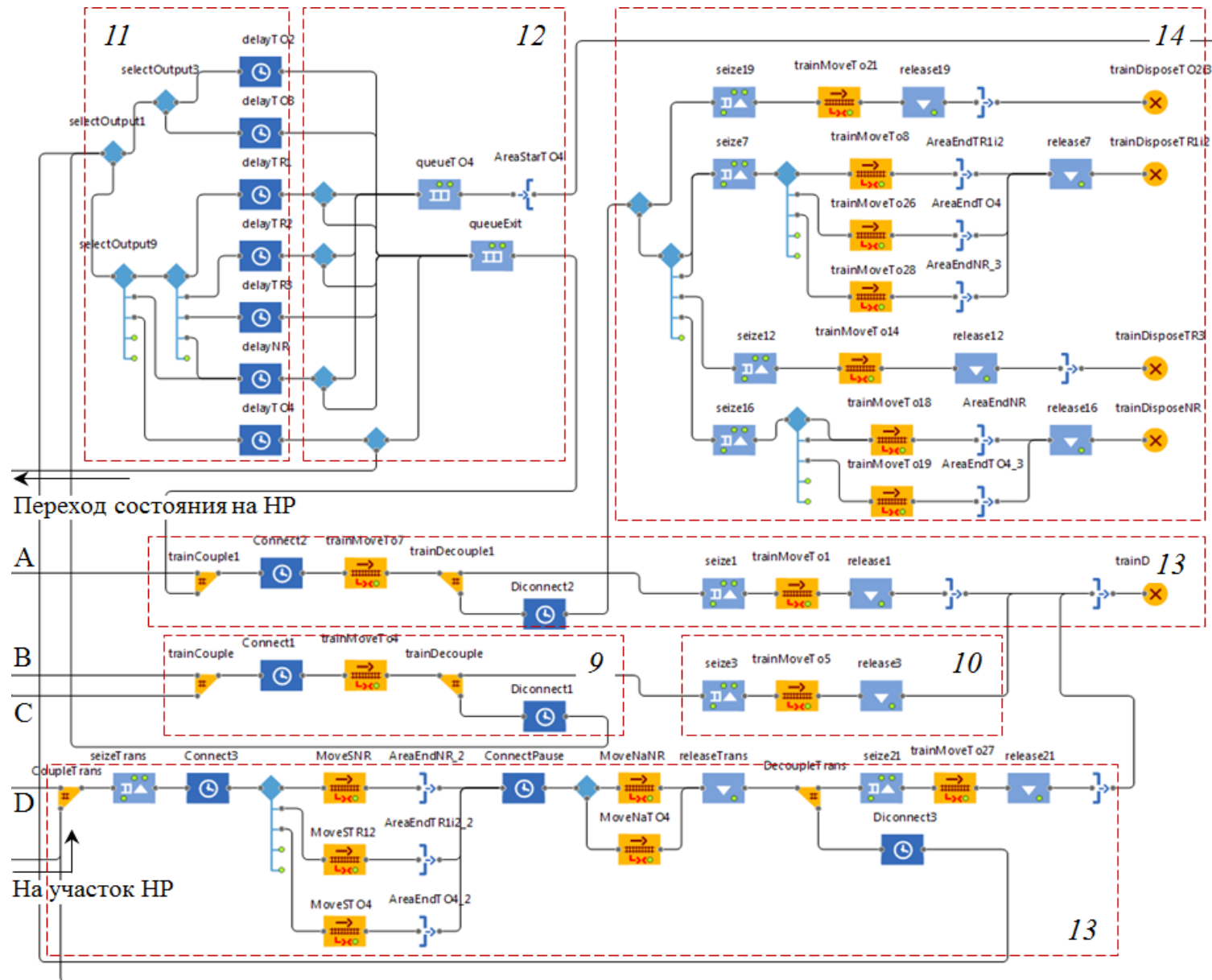


Рисунок 3.4 – Логическая схема имитационной модели (часть 2)

Таблица 3.1 – Исходные данные имитационной модели функционирования локомотиворемонтного предприятия

№ п/п	Наименование	Значение
1	Время выполнения технического обслуживания ТО-2 [11], час	3
2	Среднее количество электровозов, проходящих ТО-4, в течение месяца, $(pot_{TO-4} \cdot \Delta t)$	25,42
3	Среднее количество электровозов, требующий НР, в течение месяца, $(pot_{НР} \cdot \Delta t)$	183,71
4	Время выполнения текущего ремонта ТР-1 [11], час	18
5	Время выполнения текущего ремонта ТР-2 [11], сутки	3
6	Время выполнения текущего ремонта ТР-3 [11], сутки	6
7	Фактор формы вероятностного распределения, для выполнения НР и ТО-4, m	2
8	Коэффициент масштаба распределения для выполнения НР, β	28,15
9	Коэффициент масштаба распределения для выполнения ТО-4, β	2,88
10	Минимальное время простоя на ТО-4, t_{min}	2
11	Скорость подвижного состава на тракционных путях депо [14], км/ч	5
12	Ускорение и торможение подвижного состава на тракционных путях депо, m/c^2	0,5
13	Скорость маневрового локомотива при подходе к ремонтной единицы [14], км/ч	3
14	Время сцепления и расцепления подвижного состава [15], мин	3
15	Вероятность перехода с участка ТР-1 и ТР-2 на участок ТО-4, %	20,1
16	Вероятность перехода с участка ТР-3 на участок ТО-4, %	0,22
17	Вероятность прохождения ТО-4 при НР, %	3,16
18	Вероятность перехода с участка ТО-4 на НР, %	0,26
19	Количество ремонтных позиций участка ТО-2, кол-во	2
20	Количество ремонтных позиций участка ТР-1 и ТР-2, кол-во	10
21	Количество ремонтных позиций участка ТР-3, кол-во	1
22	Количество ремонтных позиций ТО-4, кол-во	1
23	Количество маневровых локомотивов, кол-во	1

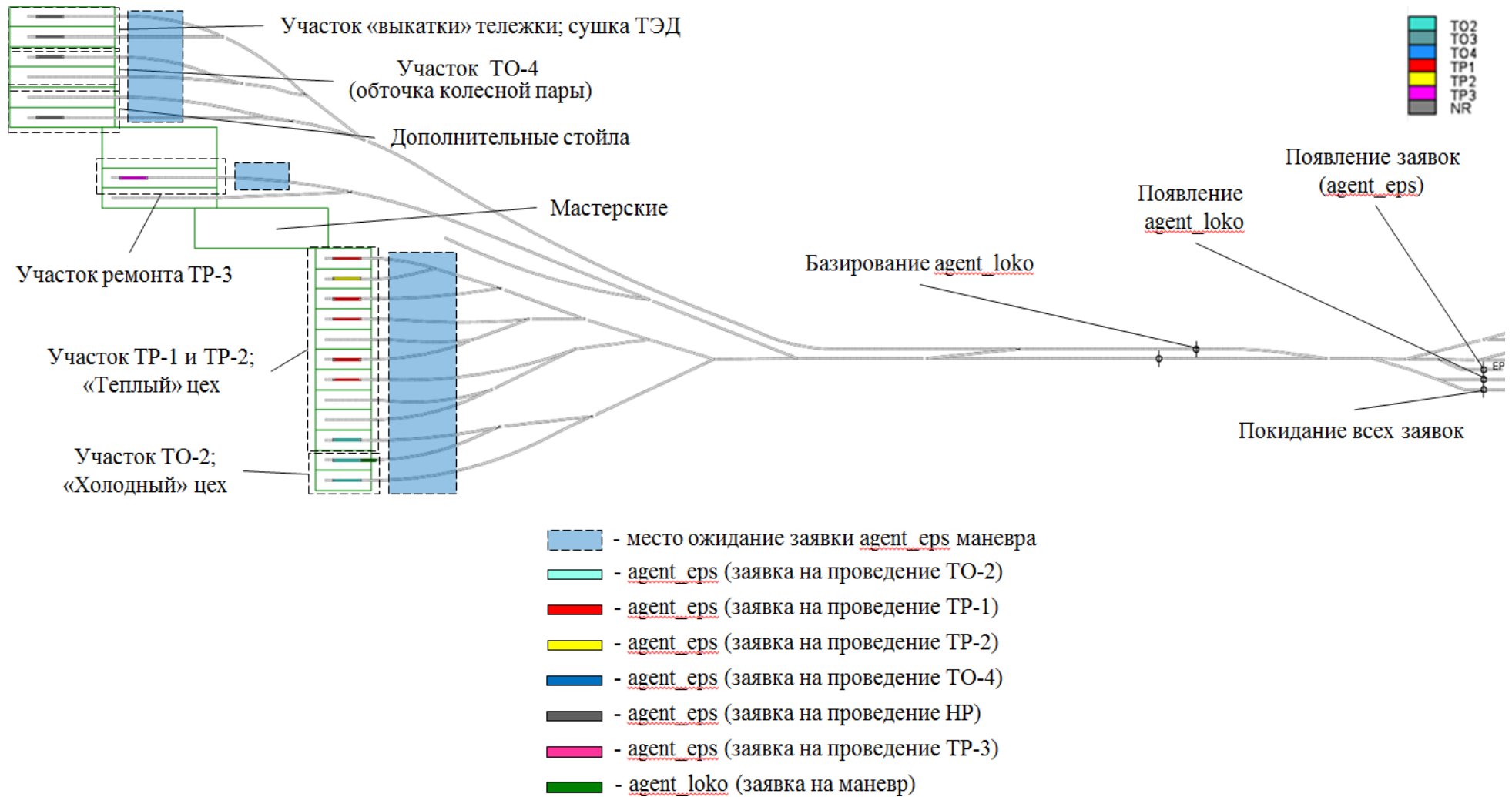


Рисунок 3.5 – Графическая схема имитационной модели

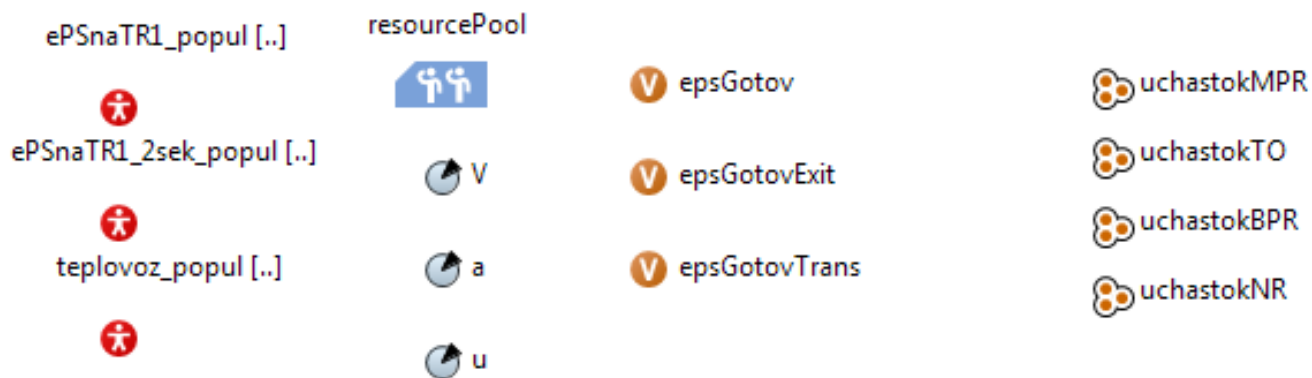


Рисунок 3.6 – Компоненты (популяции агентов, переменные, ресурсы и коллекции) `agent_main`.

При выходе заявке из блоков каждому `agent_eps` присваивается параметр (рисунок 3.7), значение для которого сохраняется внутри агента и задается значение ремонтируемой единицы, сохраняющемся на протяжении всем моделирования. Это необходимо для того, что бы, созданный агент, в дальнейшем в процессе моделирования, поступал в необходимый блок задержки в системе, в соответствии со своим видом ремонта.

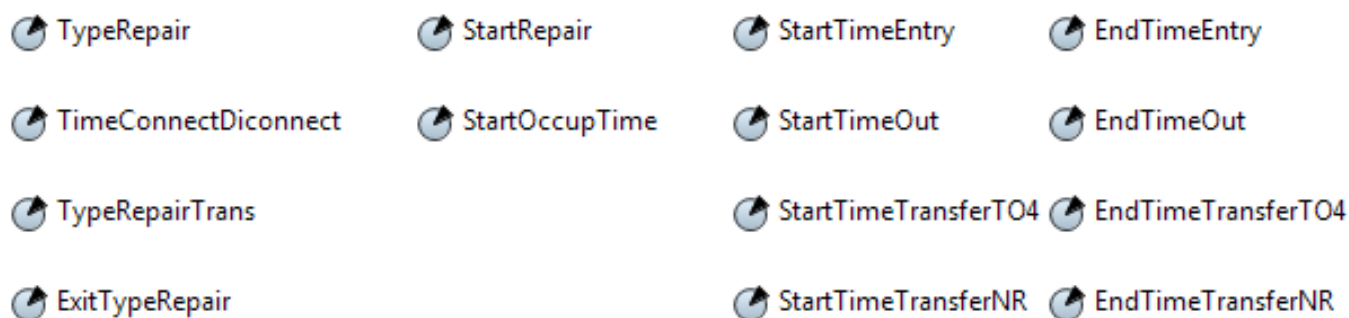


Рисунок 3.7 – Параметры `agent_eps`

Группа блоков 2 вводит агента на графическую схему модели, если все стойловые участки заняты, необходимые для данного вида ремонта, то формируется очередь - блоками 3. Занятость стойловых участков контролируют блоки 4,

которым задается значение в соответствии с количеством стойловых участков в цехах на производстве.

Блоки группы 5 моделируют перемещение ремонтируемого электровоза к необходимому, в соответствии с видом ремонта, производственным цехам. Во время выхода из блоков группы 5, `agent_eps` создает сигнал для появления в модели агента маневрового локомотива (`agent_loko`). На производстве маневровый локомотив необходим для постановки ремонтируемого подвижного состава в цех производственного участка. Параметры `agent_loko` представлены на рисунке 3.8.

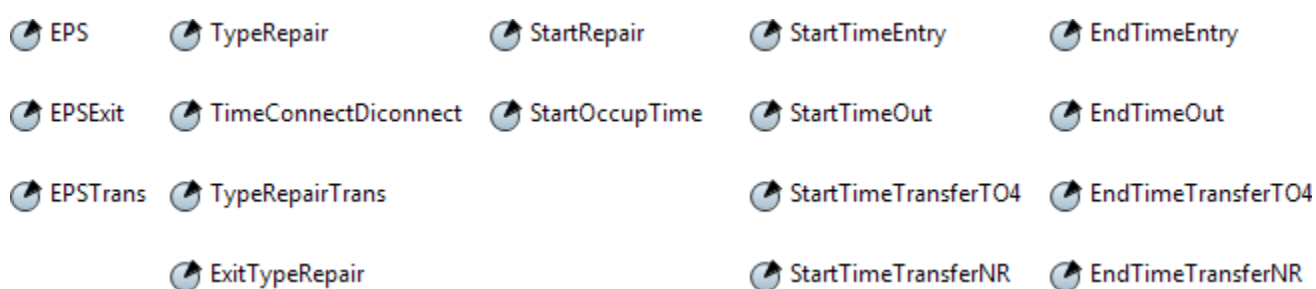


Рисунок 3.8 – Параметры `agent_loko`

Заявку `agent_loko` формируют блоки 6. Блоки 7 определяют `agent_eps` (ожидающий захода в цех электровоз) требующий совершить маневр. Перемещение к необходимому ремонтируемому электровозу маневрового локомотива моделируется при помощи блоков 8.

В блоке 9 реализованы процессы моделирования зацепки маневрового локомотива и объекта ремонта, перемещение в цех и отцепку. Далее локомотив моделирует перемещение в точку своей локации и покидает модель и до следующего требования `agent_eps` (блок 10).

После процессов моделирования отцепки локомотива, агент поступает в блокам 11, где формируется задержка в системе (моделируется время выполнения технологических операций на участке ремонта) в соответствии с Руководством [63].

С определенной вероятностью P_{ij} в соответствии с графом на рисунке 2.3 ремонтируемому электровозу может потребоваться изменить технологическую

позицию из-за возникновения непредвиденных видов восстановительных операций (ухода на непредвиденный ремонт, потребности в обточке колесной пары и т.д.). Данная вероятность перехода выражена в блоках 12. Если необходим переход на другую ремонтную позицию, `agent_eps` занимает очередь и как только необходимая ремонтная позиция станет свободной, вызывает `agent_loko` для перемещения, при помощи блоков 13.

Если переход на другую позицию ремонтируемому электровозу не требуется, заявка полностью прошла обслуживание и готова к эксплуатации, то блоки 15 моделируют перемещение объекта ремонта из цеха маневровым локомотивом, также моделируется отцепка, а затем перемещение `agent_loko` в место локации и удаление из системы. Отремонтированный электровоз проходит ТО-1, проводимый локомотивной бригадой и покидает модель при помощи блоков 16.

3.3 Результаты расчета имитационной модели

Степень использования технологических участков предприятия по времени, обуславливается коэффициентом загрузки k_3^{my} , для данной операции будет определяться по формуле:

$$k_3^{my} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{T_o \cdot n} \quad (3.4)$$

где n – количество технологических позиций на участке (количество стойловых участков цеха);

T_i – время нахождения электровоза на технологической позиции;

T_o – общая длительность исследуемого временного отрезка.

Как изменялось значение коэффициента загрузки k_3^{my} в течении времени, для каждого технологического участка, показано на рисунок 3.10. На рисунке можно наблюдать время становления (запуска) модели t_{cm} , после чего происходит переход на постоянный (рабочий) режим. Показатели времени становления моде-

ли и среднего коэффициента загрузки, для каждого вида ремонта и обслуживания, представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Показатели времени становления модели и среднего k_3^{my}

№ п/п	Параметр	Участок ТО-2	ТР-1 и ТР-2	Участок ТР-3	Участок ТО-4	Участок НР
1	Время становление модели $t_{см}$, час	19	98	380	200	300
2	Среднего значение $k_{3.ср}^{my}$	0,448	0,487	0,74	0,372	0,813

Общее время распределения затраченное машинами в ремонте и на обслуживании в депо по видам ремонта представлена на рисунке 3.9.

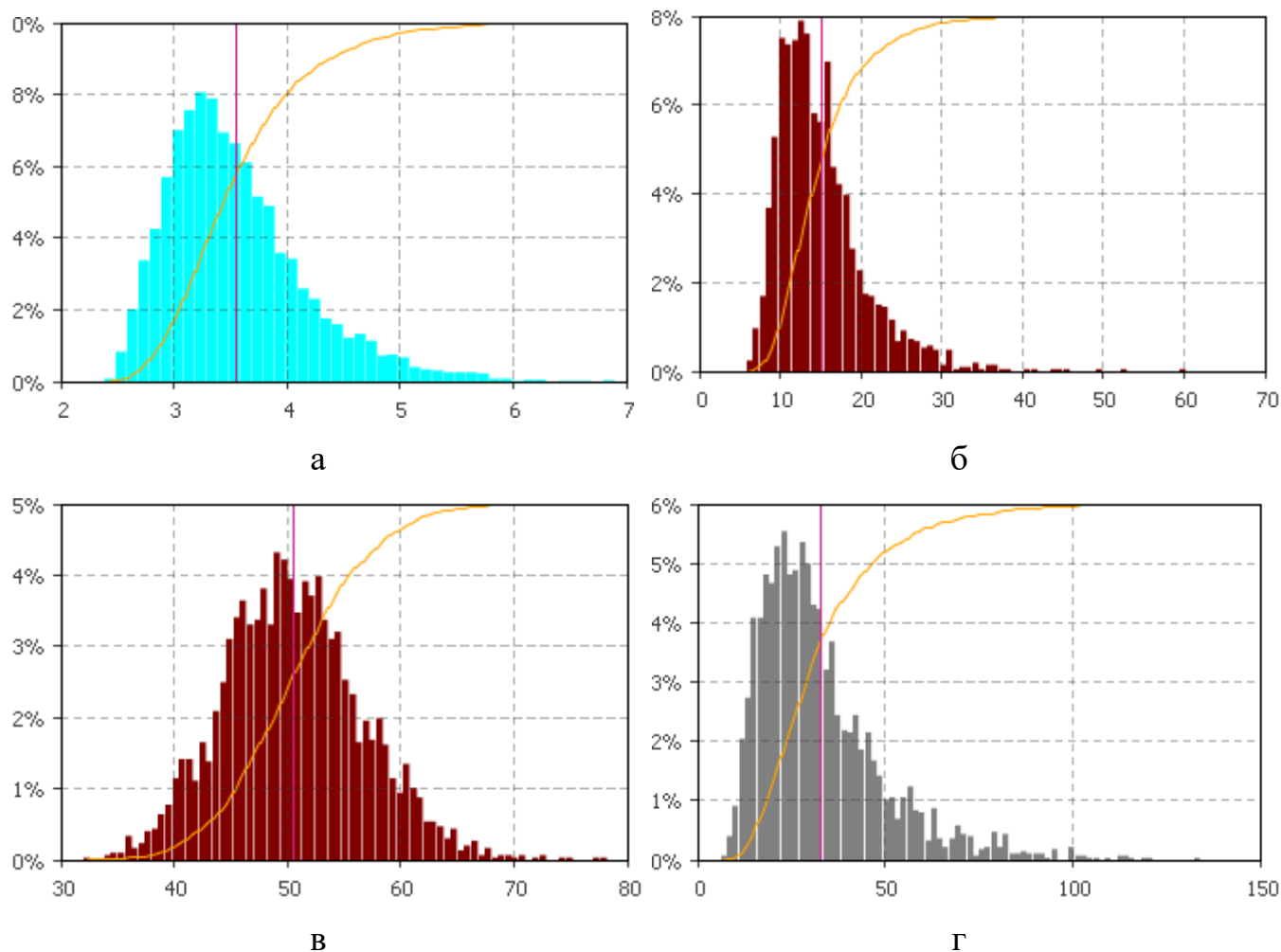
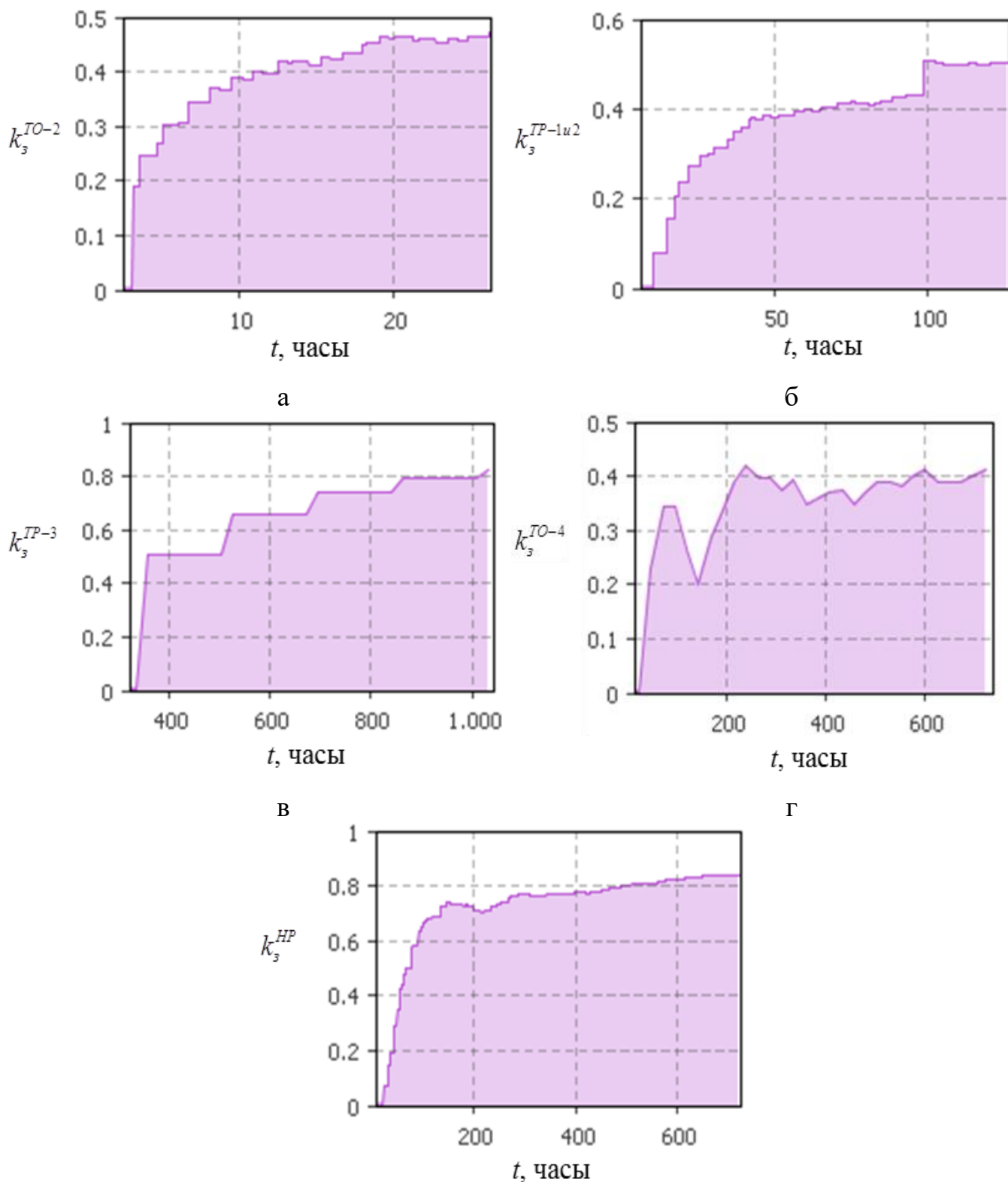


Рисунок 3.9 – Распределение времени продолжительности обслуживания и ремонтов в депо:

а – для ТО-2; б – для ТР-1; в – для ТР-2; г – для НР.



Д

Рисунок 3.10 – Изменение среднего значения коэффициента загрузки технологи-

ческого участка k_3^{my} :

а – для участка обслуживания ТО-2; б – для участка ремонта ТР-1 и ТР-2; в – для участка ремонта ТР-3; г – для участка обслуживания ТО-4; д – для участка НР

Показателем эффективности локомотиворемонтного предприятия, является время ожидания локомотива на ремонт $t_{очередь}$. Среднее время нахождения в очереди заявки определяется по формуле.

$$t_{очередь} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{очередь}}{n_{эпс}} \quad (3.5)$$

где $t_{очередь}$ – время нахождения i -го локомотива в очереди;

$n_{эпс}$ – количество локомотивов поступивших на обслуживание в депо.

Статистика распределения времени ожидания в очереди на ремонт с помощью гистограммы показана на рисунок 3.11.

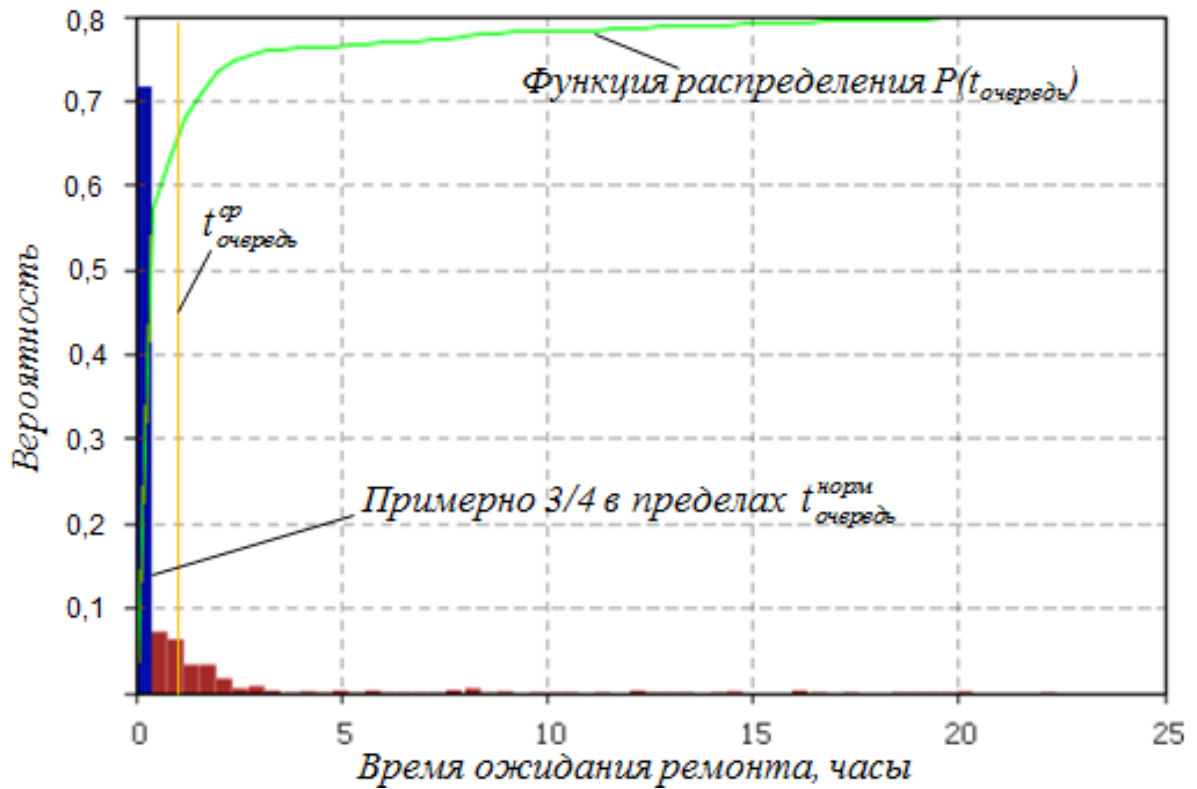


Рисунок 3.11 – Распределение вероятности времени ожидания заявки в очереди $t_{очередь}$ на ТО и ТР

Примем за норму простой локомотива в ожидании очереди на выполнение ремонта $t_{очередь}^{норм}$ – 24 минуты. По графику распределения вероятности видно, что 71,56% подвижного состава ожидает ремонта менее или равной значению $t_{очередь}^{норм}$.

В таблице 3.3 приведены показатели измерений в распределении вероятности времени ожидания ремонта.

Таблица 3.3 – Показатели измерений в распределении вероятности времени ожидания ремонта

№ п/п	Параметр	Единица измерения	Значение
1	Количество измерений, $N_{изм}$	-	1 089
2	Математическое ожидание, $t_{очередь}^{cp}$	час	1,167
3	Минимальное значение, $t_{очередь}^{мин}$	час	0
4	Максимальное значение, $t_{очередь}^{макс}$	час	22,379
5	Количество интервалов, $N_{инт}$	-	56
6	Среднеквадратичное отклонение, $\sigma_{очередь}$	час	2,524
7	Доверительный интервал для среднего, $X_{очередь}$	час	0,151
8	Сумма значений измерений, $\sum t_{очередь}$	час	890,25
9	Время прогона модели, T_o	сутки	41

Один из источников производственных потерь в локомотиворемонтном производстве является время, затраченное на выполнение постановки локомотива в цех, вывода из участка ремонта, ожидание ремонта и т.д. [64].

Для каждого ремонтируемой единицы временные потери будут равны:

$$T_{потерь} = t_{очередь} + t_{маневр} + t_{позиция} \quad (3.6)$$

где $t_{маневр}$ – время маневровой работы на территории депо (поставка и выход с участка ремонта);

$t_{позиция}$ – время ожидания в очереди при смене позиции ремонта.

На рисунке 3.12, по результатам имитационного моделирования, произведен расчет временных потерь для каждого ремонтируемого электровоза и представлен в виде функции плотности вероятности. Гистограммы показывают, что для потерь времени $T_{потерь}$ технического обслуживания ТО-2 и текущий ремонт ТР-1, ТР-2 и ТР-3 наблюдается положительно скошенная асимметрия распределения, близкая к биномиальному закону, с обрывом слева. Тогда, как для технического обслуживания ТО-4 и неплановых ремонтов наблюдается экспоненциальный закон распределения.

Обрывы и смещения на гистограммах говорят, о минимальных значениях потери времени $T_{потерь}^{мин}$ поступившем на ремонт подвижному составу, который не возможно сократить из-за структуры депо (преодоление тракционных путей депо, время преодоление пути маневровым локомотивом, время сцепки и отцепки и т.д.). Показатели измерений в распределении вероятности потерь времени $T_{потерь}$ локомотива во время обслуживания и ремонта представлены в таблице 3.4.

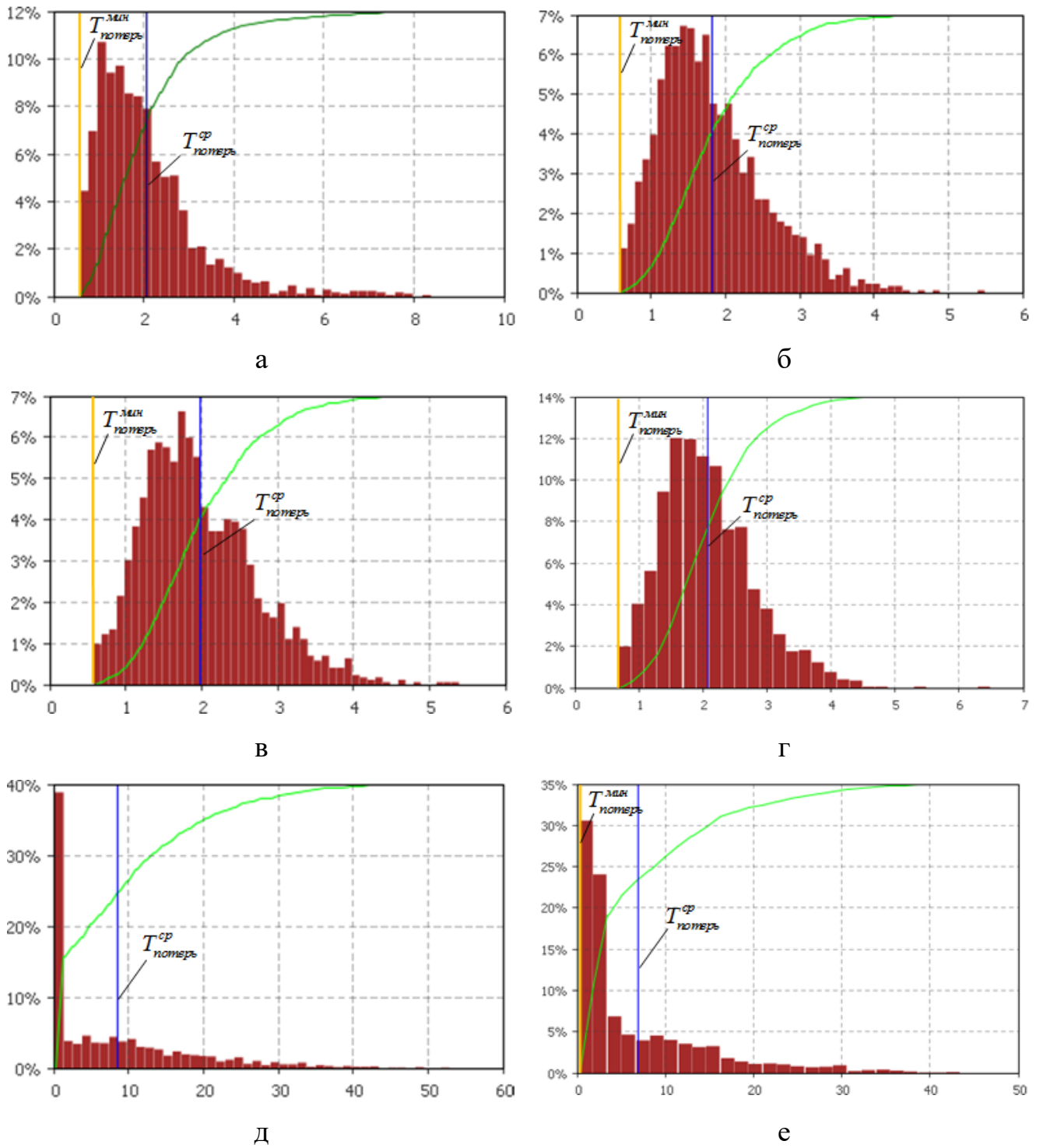


Рисунок 3.12 – Распределение вероятностей временных потерь $T_{потерь}$ ремонта локомотивов в депо по видам ремонта:

а – для ТО-2; б – для ТР-1; в – для ТР-2; г – для ТР-3; д – для ТО-4; е – для НР.

Таблица 3.4 – Показатели измерений в распределении вероятности потерь времени локомотива во время ремонта на предприятии по видам ТО и ТР

№ п/п	Параметр	Техническое обслуживание ТО-2	Текущий ремонт ТР-1	Текущий ремонт ТР-2	Текущий ремонт ТР-3	Техническое обслуживание ТО-4	Неплановый ремонт
1	Количество измерений $N_{изм}$	1709	1784	1719	1705	1709	1720
2	Количество интервалов $N_{инт}$, час	39	49	48	29	44	27
3	Математическое ожидание $T_{потерь}^{ср}$, час	2,066	1,827	1,981	2,083	8,496	6,886
4	Минимальное значение $T_{потерь}^{мин}$, час	0,635	0,639	0,635	0,758	0,365	0,697
5	Максимальное значение, $T_{потерь}^{макс}$, час	8,319	5,447	5,341	6,465	51,969	42,233
6	Среднеквадратичное отклонение $\sigma_{потерь}$, час	1,164	0,714	0,74	0,722	9,513	7,708
7	Доверительный интервал для среднего $\bar{x}_{потерь}$, час	0,055	0,033	0,035	0,034	0,451	0,364
8	Сумма значений измерений $\sum t_{потерь}$, час	3531,4 9	3260,1 0	3406,1 2	3552,0 0	14519, 0	11844, 7
9	Время прогона модели T_o , час	2435,8 5	4400,0 0	69104, 5	287432, 0	29061, 5	15418, 9

3.4 Подтверждение адекватности имитационной модели

Адекватность имитационной модели оценивалась при помощи сравнения фактической годовой программы ремонта на предприятии и количества локомотивов прошедших по каждому виду технического обслуживания и ремонта в имитационной модели за 365 дней (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Сравнение годовой программы ремонта предприятия с результатами имитационной модели

№ п/п	Параметры	Фактические значения предприятия	Значения имитационной модели	Расхождение параметров, %
1	Программа ремонта ТР-1, локомотивов/год	1517	1451	4,35
2	Программа ремонта ТР-2, локомотивов/год	135	130	3,7
3	Программа ремонта ТР-3, локомотивов/год	38	42	7,69
4	Программа ремонта ТР-1+ТО-4, локомотивов/год	402	382	4,97
5	Количество НР, локомотивов/год	2159	2046	5,23
6	Всего	4252	4013	4,73

Отклонения значений реального производства от значений имитационной модели не превышает 5%.

3.5 Выводы по третьей главе

1. Разработана имитационная модель локомотиворемонтного предприятия, при помощи программного продукта AnyLogic, с использованием современных методов моделирования.

2. Рассчитаны производственные показатели локомотиворемонтного предприятия: коэффициент загрузки стойловых участков; коэффициент загрузки маневровых локомотивов; среднее количество локомотивов ожидающих обслуживания по каждому виду ремонта.

3. Рассчитаны логистические потери при ремонте на предприятии: продолжительность постановки локомотивов в цех; продолжительность ожидания ремонта.

4. Выявлено, что на локомотиворемонтных предприятиях невозможно сократить ряд логистических потерь при перемещении объектов ремонта по территории, из-за структуры производственных участков и принятой формы организации производства.

Длина и расположение тракционных путей предприятий сохраняет высокие потери связанных с преодолением расстояния, как ремонтных, так и маневровых локомотивов, что приводит к низкой пропускной способности ремонтных предприятий, а в следствии увеличение очередей и занятости участков и продолжительности ремонта.

4 РАЗРАБОТКА ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПОВЫШАЮЩИХ ГИБКОСТЬ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Отрицательным фактором традиционных методов и способов ремонта локомотивов является их низкая адаптивность к изменению структуры производственной программы и объектов ремонта. Одним из возможных решений проблемы является создание поточных линий по ремонту подвижного состава с гибким маневрированием, где дополнительно к основному технологическому контуру, соответствующему типовой последовательности и глубине операций, создаются параллельные участки повышенного объема ремонта, оснащенные дополнительной специальной оснасткой [83, 0, 95].

Использование интегрированной системы ремонта ставит под сомнение реализацию традиционных методов ремонта локомотивов. В работе выявлено, что существует два очень важных фактора, негативно влияющих на эффективную организацию традиционных методов ремонта локомотивов. Это трудоемкость ремонта локомотивов, имеющий широкий диапазон значений и носящий вероятностный характер, а также трудность в надежном перемещении подвижного состава между позициями ремонта, вдоль технологического маршрута ремонтного предприятия. Все это негативно сказывается на планировании и управлении производственным процессом [23].

Гибкость производства определяется принятой формой организации производства, техническими характеристиками непосредственно самих средств производства, системы управления и логистики.

Адаптация производственной системы ремонтного предприятия к существенным изменениям факторов функциональной среды, например, изменению технологических требований к ремонту, смене серии подвижного состава, значительном росте объема заказов и т.п., не может быть автоматической и требует внесения изменений в технологическую структуру производства путем его модернизации и реконструкции [108, 27].

4.1 Гибкая форма организации локомотиворемонтного производства

Поточная линия с гибким маневрированием представляет собой многомаршрутную технологическую линию, позволяющую ремонтировать подвижной состав с различными объемами ремонта (рисунок 4.1) [92, 93, 57]. Маршрут движения объекта ремонта определяется техническим состоянием и характером восстановительных операций.

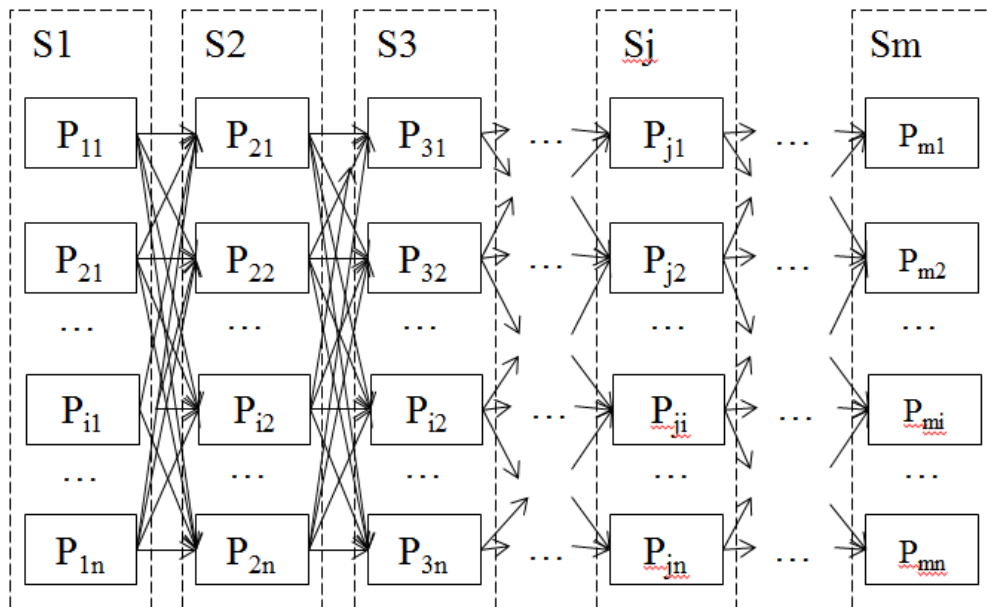


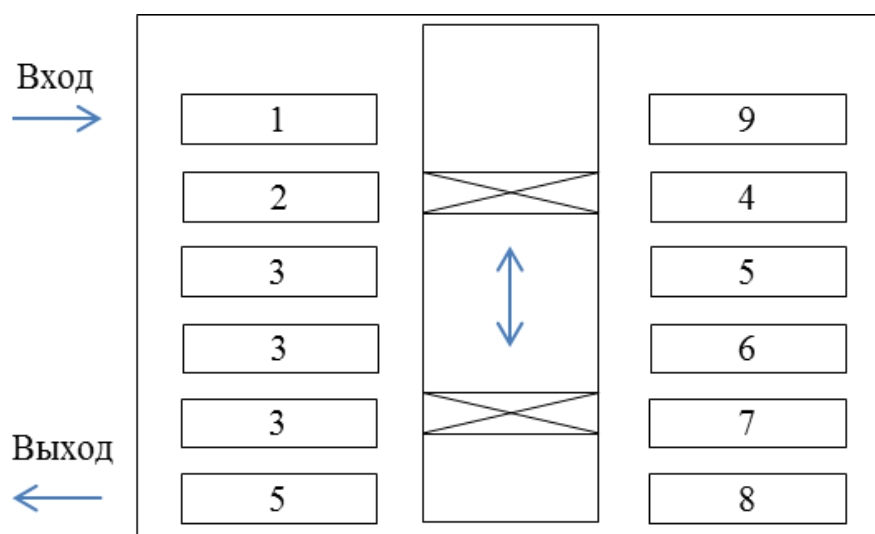
Рисунок 4.1 – Структурная схема гибкой организации производства

Для локомотиворемонтного депо, выполняющего все виды текущего и среднего ремонта, может быть предложена следующая конфигурация технологического комплекса с гибким маневрированием (рисунок 4.2).

В составе технологического комплекса предусмотрено наличие 9 видов специализированных ремонтных позиций, каждая из которых оборудуется соответствующим набором средств малой механизации, технологического, подъёмного и транспортного оборудования. Перемещение локомотива между позициями осуществляется при помощи двух трансбордеров (второй трансбордер выполняет функции горячего резерва). Технологический маршрут формируется в зависимости от вида ремонта (ТО-2, ТР-1, ТР-2, ТР-3, СР) и результатов входного контроля

объектов ремонта. Например, для текущего ремонта ТР-1 с обточкой колесных пар: 1 – 2 – 3 – 4 – 5.

За счет специализации технологических позиций существенно повышается качество и производительность работ, а наличие трансбордеров снижает потери времени на перемещение локомотива по сравнению с традиционными способами (стрелочная улица, поворотный круг).



1 – наружная и внутренняя очистка локомотива перед ремонтом; 2 – входной контроль и диагностирование; 3 – осмотр и текущий ремонт; 4 – обточка колесных пар под локомотивом; 5 – экипировка локомотива; 6 – подъем кузова; 7 – испытания и развеска кузова; 8 – наладка и доводка; 9 – восстановление защитных покрытий.

Рисунок 4.2 – Поточная организация ремонта локомотивов с гибким маневрированием

Такой принцип организации и проектирования предприятия по ремонту ТПС позволяет значительно расширить номенклатуру типов ремонтируемых локомотивов и осуществить переход от однопредметной специализации (один тип локомотива) к многопредметной (несколько типов и, даже, несколько видов ремонта: деповской, капитальной) [58].

Учитывая, что появляется возможность ремонтировать несколько типов локомотивов, общая программа ремонта определяется по формуле [52]:

$$N_n = \sum_{i=1}^n N_i \quad (4.1)$$

где N_i – программа ремонта локомотивов i -го типа;

n – количество типов ремонтируемого подвижного состава.

Продолжительность простоя объекта ремонта i -го типа определяется по формуле:

$$T_i = \sum_{j=1}^m t_{ij} \quad (4.2)$$

где t_{ij} – время простоя локомотива i -го типа на j -й позиции, ч:

m – общее количество ремонтных позиций.

Количество ремонтных модулей на j -й ремонтной позиции определяется по формуле:

$$n_j = \frac{\sum_{i=1}^n N_i t_{ij}}{F_n m_{см}} \quad (4.3)$$

где F_n – номинальный годовой фонд времени потока в одну смену, ч:

$m_{см}$ – количество рабочих смен.

Общее количество ремонтных модулей определяется по формуле:

$$R = \sum_{j=1}^m n_j \quad (4.4)$$

Количество модулей для ожидания определяется по формуле:

$$\Omega = R \cdot k_o \quad (4.5)$$

где k_o – коэффициент, учитывающий количество модулей для ожидания.

Общее количество технологических модулей определяется по формуле:

$$\Theta = R \cdot \Omega \quad (4.6)$$

Все технологические модули располагаются по обе стороны транспортного пролёта. Поэтому общее количество технологических модулей можно ещё определить по формуле:

$$\Theta = H_m + H_l \quad (4.7)$$

где H_m – количество технологических модулей, расположенных с правой стороны от трансбордера:

H_l – количество технологических модулей, расположенных с левой стороны от трансбордера.

Исходя из того, что ширина различных технологических модулей может быть неодинакова, с разных сторон может быть также неодинаковое количество модулей.

Под фронтом ремонта будем понимать количество локомотивов, находящихся одновременно в ремонтных модулях. Фронт ремонта должен быть не более общего количества ремонтных модулей, $N_p < R$.

Общее количество всех ремонтируемых локомотивов, находящихся на потоке, определяется по формуле:

$$N = N_p + N_o \quad (4.8)$$

где N_o – количество локомотивов, находящихся в модулях для ожидания. $N_o \leq \Omega$.

Средний такт ремонта определяется по формуле:

$$\tau_{cp} = \frac{F_m m_{cm}}{N_l} \quad (4.9)$$

Средний ритм определяется следующим образом:

$$r_{cp} = \frac{1}{\tau_{cp}} \quad (4.10)$$

Количество трансбордерных тележек определяется согласно формуле:

$$n_{TB} = \frac{N_{tr} t_{об} k_H}{60 F_{д} m_{cm} k_H} \quad (4.11)$$

где N_{tr} – общее количество перемещений локомотивов:

$$N_{tr} = N_l \cdot S_1 \cdot k_{дл} \quad (4.12)$$

где $k_{дп}$ – коэффициент, учитывающий дополнительные перемещения, связанные с нахождением подвижного состава в ожидании;

S_1 – количество минимально необходимых перемещений одного локомотива при помощи трансбордера:

$$S_1 = m - 1 \quad (4.13)$$

$t_{об}$ – время оборота трансбордера, мин;

k_n – коэффициент, учитывающий неравномерность транспортировки;

$k_{и}$ – коэффициент использования трансбордера во времени;

F_d – действующий годовой фонд рабочего времени трансбордера на смену, ч:

$$F_d = F_n - T_{обсл} \quad (4.14)$$

где $T_{обсл}$ – время на техническое обслуживание и ремонт трансбордера.

Продолжительность оборота трансбордера определяется по формуле:

$$t_{об} = (t_{загр} + t_{выгр} + t_{tb}) \quad (4.15)$$

где $t_{загр}$ – время загрузки ремонтируемой единицы на трансбордер;

$t_{выгр}$ – время выгрузки вагона с трансбордера;

t_{tb} – среднее время перемещения трансбордера (в гружённом и порожнем состоянии), мин:

$$t_{tb} = \frac{l_{цех}}{v} \quad (4.16)$$

где $l_{цех}$ – длина транспортного пролёта, м:

$$l_{tb} = \sum_{a=1}^b d_a \quad (4.17)$$

где b – максимальное количество модулей, расположенных с одной из сторон транспортного пролёта:

$$b = \max\{N_r, N_l\} \quad (4.18)$$

d_a – ширина a -го технологического модуля (участка ремонта).

v – средняя скорость перемещения трансбордера.

Количество трансбордеров должно быть не менее двух, $n_{mp} \geq 2$.

Общее количество возможных вариантов перемещения вагона через ремонтные модули гибкой системы ремонта определяется по формуле [52]:

$$S_{\text{общ}} = \prod_{j=1}^m n_j \quad (4.19)$$

Представленные параметры гибкого потока ремонта не учитывает стохастический характер локомотиворемонтного производства и может быть использован только для предварительных проработок на стадии разработки проектного решения. Дальнейшие разработки (на стадии технического проекта) должны производиться с учётом обязательного использования компьютерного имитационного моделирования с использованием современных средств расчета. В качестве математических моделей функционирования локомотиворемонтных гибких потоков могут быть использованы уже рассмотренные схемы и методы расчета (см. главу 3) [56, 0].

Поточная линия с гибким маневрированием представляет собой следующий, более эффективный этап в совершенствовании и развитии локомотиворемонтного ремонтного производства, обладающий громадными потенциальными возможностями. Однако, при его создании требуется использование более точных методов проектирования и расчёта.

4.1.1 Имитационное моделирование гибкой формы организации ремонта ЛОКОМОТИВОВ

Применим описанный в предыдущей главе метод организации производства ремонта локомотивов на существующем ремонтном предприятии с такими же исходными параметрами (объем ремонта, поток заявок, продолжительность восстановительных операции, виды ремонта и технического обслуживания и т.д.).

Графическая схема имитационной модели показывает (рисунок 4.8) позволяет оценить адекватность построенной модели, визуализируя технологический процесс функционирования предприятия.

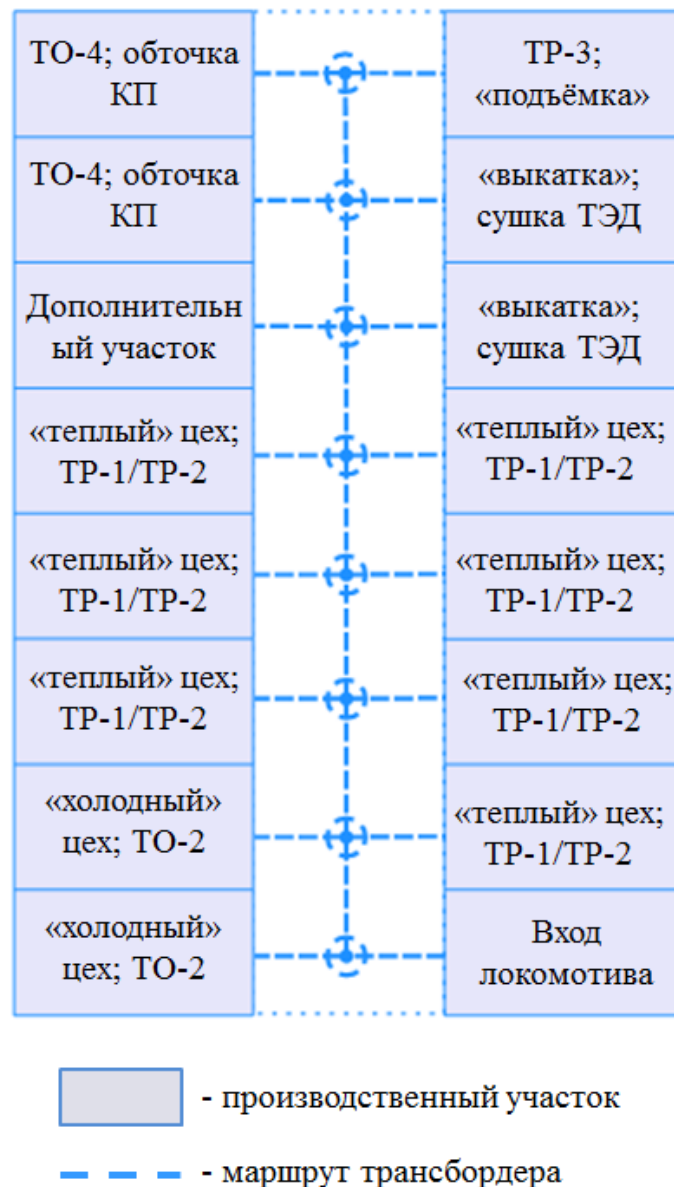


Рисунок 4.3 – Графическая схема имитационной модели гибкой формы организации локомотиворемонтного предприятия

Логическая схема имитационной модели в среде AnyLogic представлена на рисунке 4.4. Основные исходные данные моделирования сформированы при разработке предыдущей имитационной модели (глава 3) и приведены в таблице 3.1.

Время отклика трансбордера – 3 мин., скорость перемещения трансбордера, как вдоль технологических позиций, так и параллельно – 5 км/ч. Компоненты модели локомотивного депо agent_main (популяция агентов, переменные, ресурсы и коллекции) представлены на рисунке 4.5.

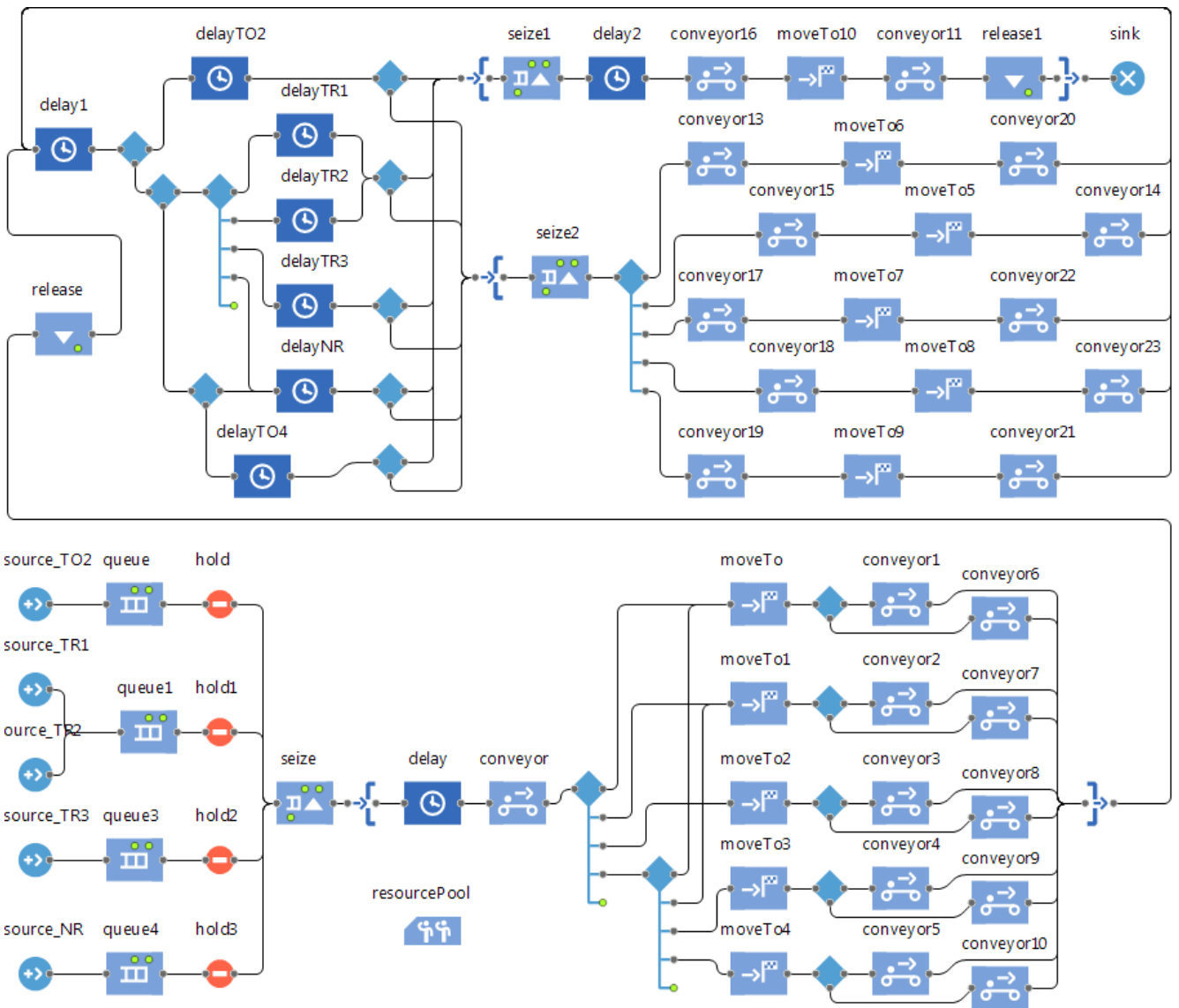


Рисунок 4.4 – Логическая схема имитационной модели гибкой формы организации локомотиворемонтного предприятия

Для каждого вида ремонта или технического обслуживания существует своя заявка. Заявки TR-1 и TR-2 объединены в дальнейшем в один поток, так, как в депо технологические операции данного вида ремонта выполняются в одних и тех же цехах.

Вместо agent_loko, отвечающий за постановку в цех ремонт, в данной системе функционирует агент трансбордера TransBorder, перемещающий объект ремонта на необходимый участок ремонта.

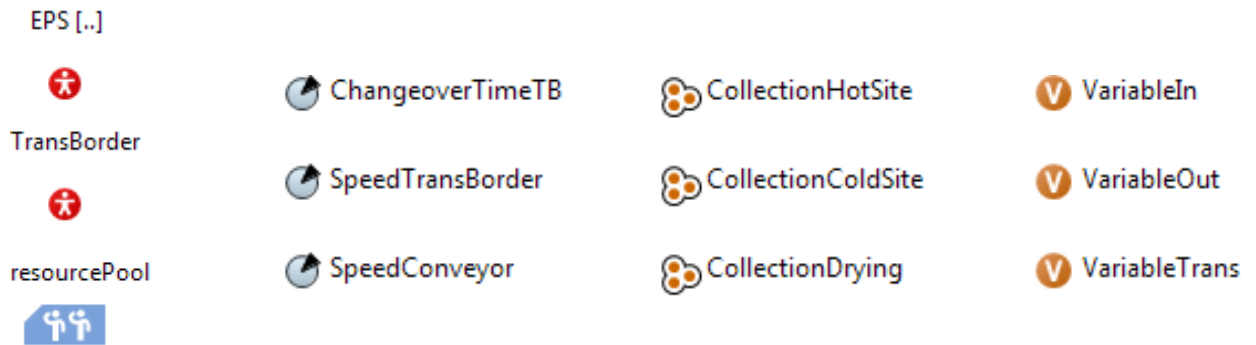


Рисунок 4.5 Компоненты agent_main имитационной модели гибкой формы организации производства

Модель учитывает вероятность неплановых восстановительных операции, вследствие чего появляются дополнительная необходимость перемещения ремонтируемого локомотива на другой технологический участок, что будет являться увеличением производственных потерь предприятия.

4.1.2 Оценка гибкой формы организации производства

Как изменялось значение коэффициента загрузки k_z^{my} при гибкой формы организации производства в течении времени для каждого технологического участка, показано на рисунок 4.7

Показатели времени становления модели и среднего коэффициента загрузки, рассчитанного по формуле (3.4), для каждого вида ремонта и обслуживания, представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Показатели времени становления модели и среднего k_z^{my}

№ п/п	Параметр	Участок ТО-2	ТР-1 и ТР-2	Участок ТР-3	Участок ТО-4	Участок НР
1	Время становление модели t_{cm} , час	15	92	250	50	50
2	Среднего значения коэффициента загрузки участка $k_{z,cp}^{my}$	0,5	0,8	0,45	0,372	0,47

В результате сравнения с существующей организацией замечено снижение коэффициентов загрузки производственных участков ремонта, что позволяет уменьшить количество последних и сократить производственную площадь предприятий.

Показателем эффективности локомотиворемонтного предприятия, является время ожидания локомотива на ремонт $t_{очередь}$. Среднее время нахождения в очереди заявки определяется по формуле 3.5. Статистика распределения времени ожидания в очереди на ремонт с помощью гистограммы показана на рисунке 4.6.

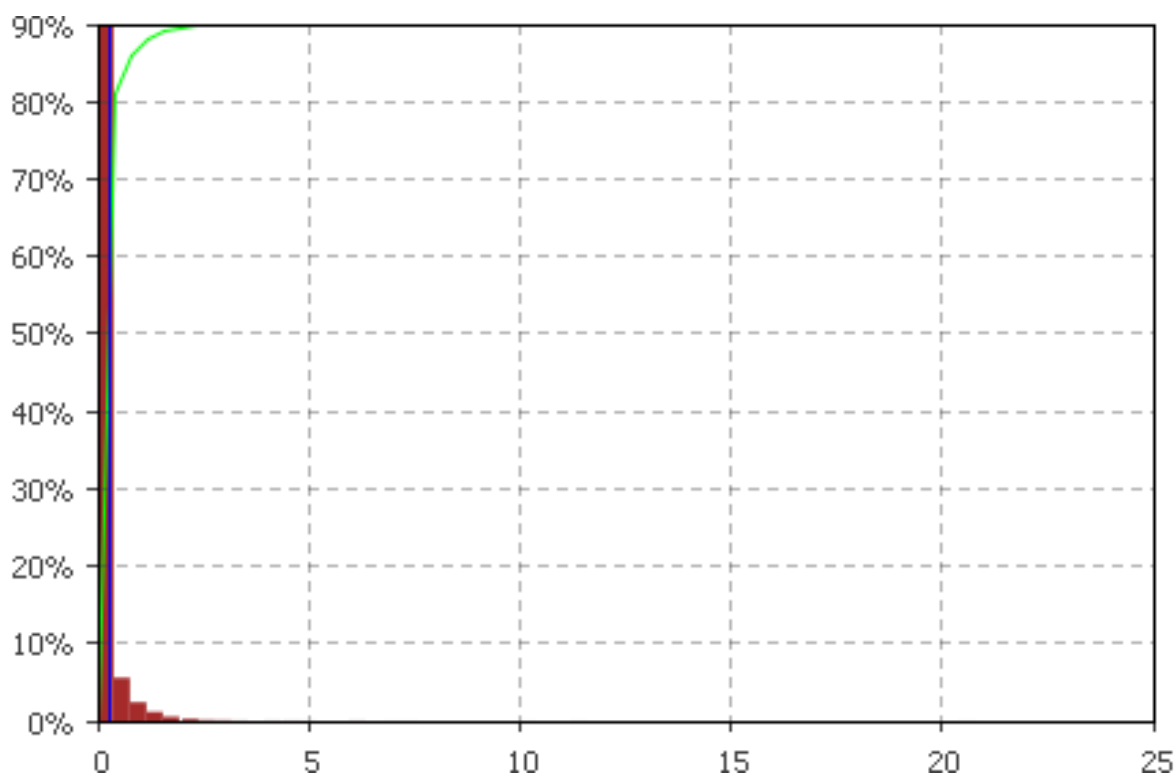


Рисунок 4.6 – Распределение вероятности $t_{очередь}$ при гибком производстве

По графику распределения вероятности видно, что около 90% подвижного состава ожидает ремонта менее или равной значению $t_{очередь}^{норм}$. В таблице 4.2 приведены показатели измерений в распределении вероятности времени ожидания ремонта.

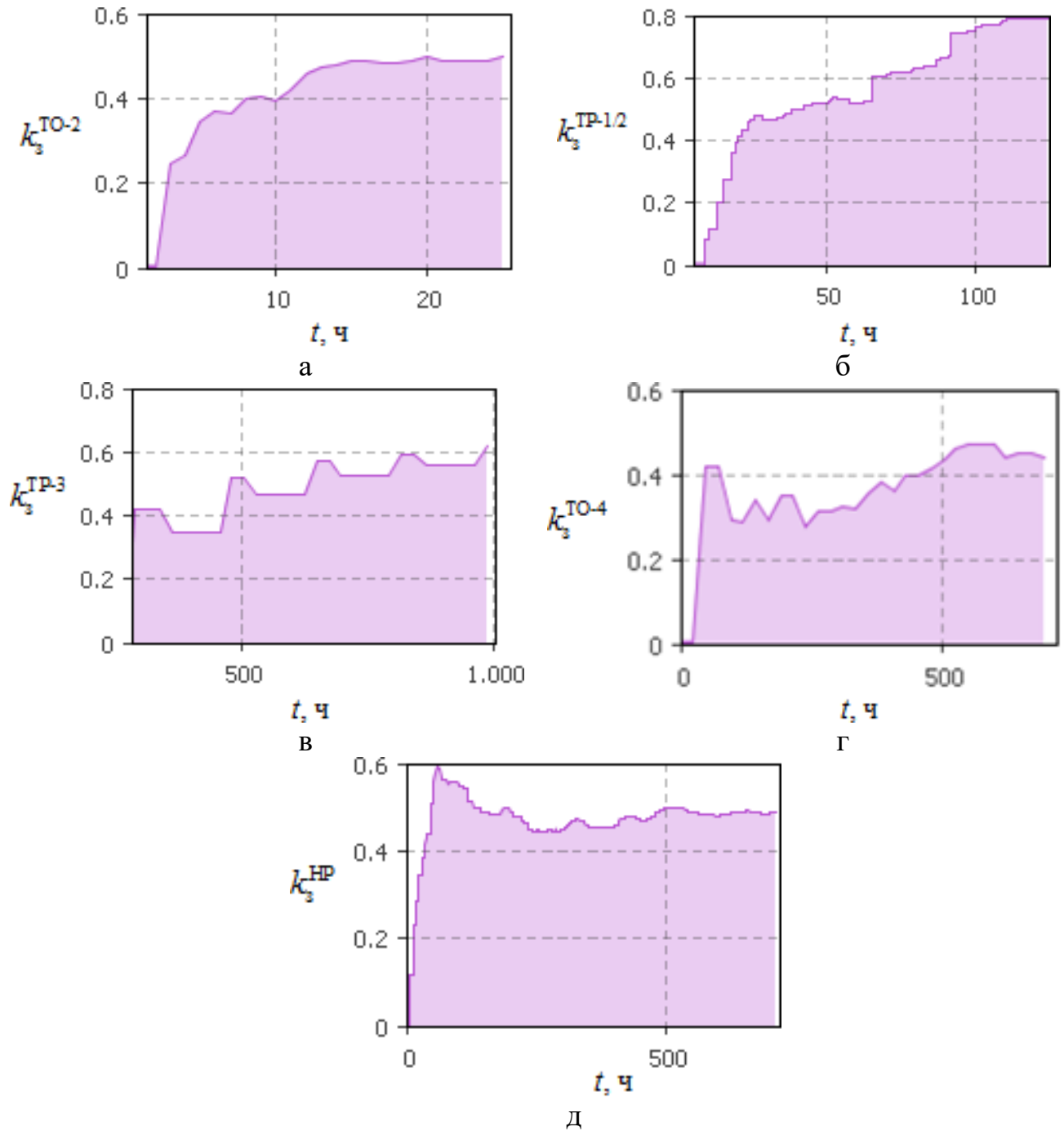


Рисунок 4.7 – Изменение среднего значения коэффициента загрузки технологического участка k_3^{my} :

а – для участка обслуживания ТО-2; б – для участка ремонта ТР-1 и ТР-2; в – для участка ремонта ТР-3; г – для участка обслуживания ТО-4; д – для участка НР

Что позволяет сделать вывод о том, что организация производства с гибким маневрированием сокращает «перепростой» локомотивов в ожидании ремонта примерно на 25%.

Таблица 4.2 – Показатели измерений распределения вероятности времени ожидания ремонта при гибкой форме производства

№ п/п	Параметр	Единица измерения	Значение
10	Количество измерений, $N_{изм}$	-	16 635
11	Математическое ожидание, $t_{очередь}^{cp}$	час	0,266
12	Минимальное значение, $t_{очередь}^{мин}$	час	0
13	Максимальное значение, $t_{очередь}^{макс}$	час	20,688
14	Количество интервалов, $N_{инт}$	-	53
15	Среднеквадратичное отклонение, $\sigma_{очередь}$	час	0,372
16	Доверительный интервал для среднего, $X_{очередь}$	час	0,006
17	Сумма значений измерений, $\sum t_{очередь}$	час	4422,73

Время, для каждого ремонтируемой единицы, затраченное на выполнение постановки локомотива в цех, вывода из участка ремонта, ожидание ремонта и т.д. вычисляется в соответствии с формулой (3.6) и представлен на рисунке 4.8.

Показатели измерений в распределении вероятности потерь времени $T_{потерь}$ локомотива во время обслуживания и ремонта представлены в таблице 4.3.

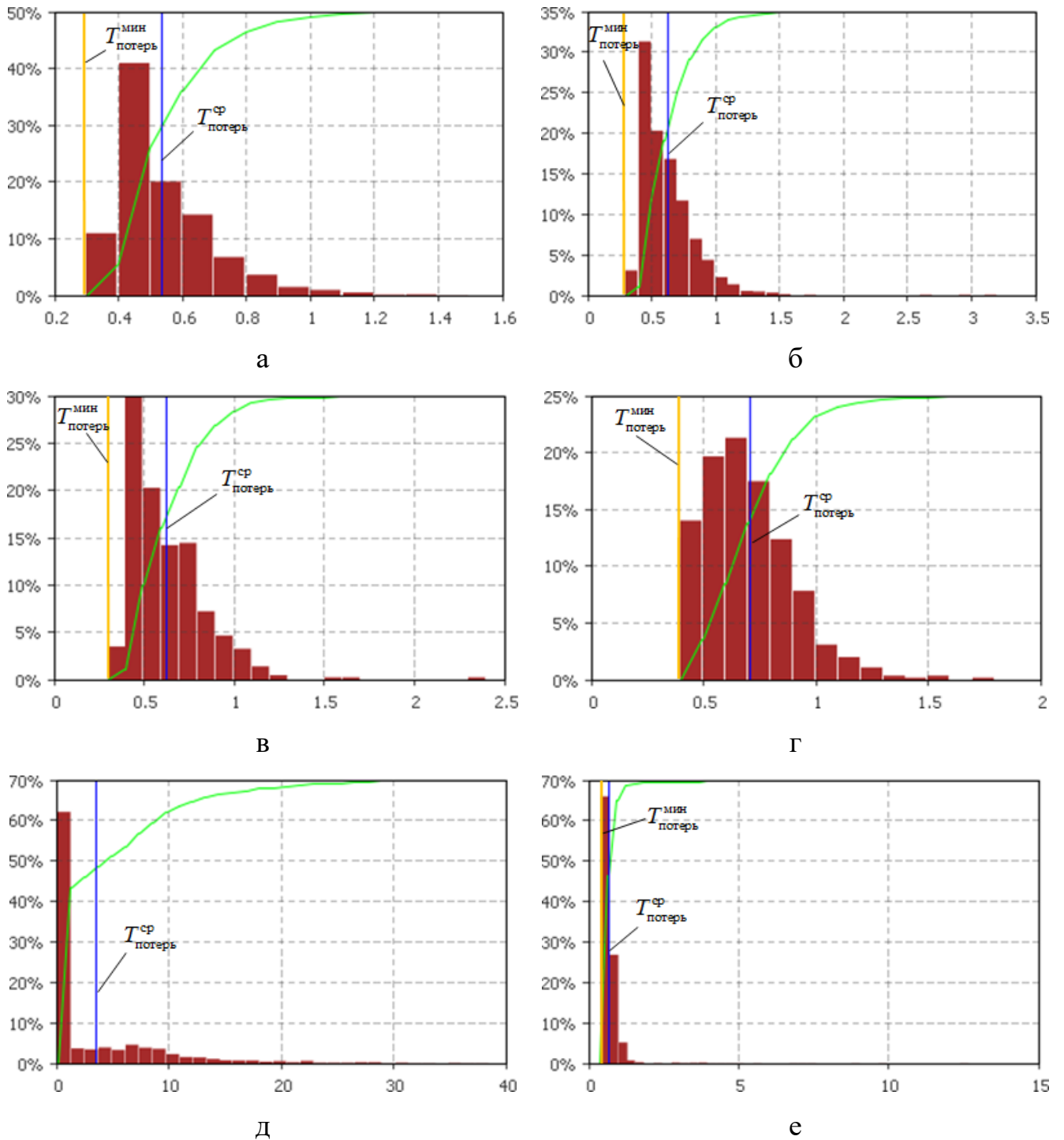


Рисунок 4.8 – Распределение вероятностей временных потерь $T_{\text{потерь}}$ ремонта локомотивов в депо:

а – для ТО-2; б – для ТР-1; в – для ТР-2; г – для ТР-3; д – для ТО-4; е – для НР.

Таблица 4.3 – Показатели измерений в распределении вероятности потерь времени локомотива во время ремонта при гибком производстве

№ п/п	Параметр	Техническое обслуживание ТО-2	Текущий ремонт ТР-1	Текущий ремонт ТР-2	Текущий ремонт ТР-3	Техническое обслуживание ТО-4	Неплановый ремонт
10	Количество измерений $N_{изм}$	2,498	2,707	429	549	2,070	2,451
11	Количество интервалов $N_{инт}$, час	13	41	21	14	32	44
12	Математическое ожидание $T_{потерь}^{cp}$, час	0.536	0.613	0.629	0.71	3.565	0.696
13	Минимальное значение $T_{потерь}^{мин}$, час	0.396	0.395	0.395	0.468	0.236	0.433
14	Максимальное значение, $T_{потерь}^{макс}$, час	1.408	4.319	2.376	1.77	37.806	12.479
15	Среднеквадратичное отклонение $\sigma_{потерь}$, час	0.157	0.218	0.217	0.197	5.594	0.535
16	Доверительный интервал для среднего $\bar{x}_{потерь}$, час	0.006	0.008	0.021	0.016	0.241	0.021
17	Сумма значений измерений $\sum t_{потерь}$, час	1,339.8	1,660.6	269.7	389.54	7,378.8	1,704.7

4.2 Повышения гибкости методов планирования и управления производственным процессом локомотиворемонтных предприятий

4.2.1 Система поддержки принятия решений при подготовке локомотиворемонтного производства

Прогнозное планирование призвано заранее определить количество и тип ресурсов предприятий по ремонту локомотивов: инфраструктуру депо (канавы, пути), оборудование депо (станки, скатоподъёмники, краны и др.), запасные части (товарно-материальные ценности и материалы повторного использования), трудовые ресурсы и др.

Прогнозное планирование строится на моделировании обслуживаемых локомотивов: зная среднесуточный пробег локомотивов, межремонтные пробеги и средний простой каждого локомотива на каждом виде ремонтов можно спрогнозировать на заданный период времени объём ожидаемых ремонтов.

Существующие методики прогнозного планирования отличались своей низкой сходимостью: прогноз даже на год вперёд даёт практически нулевую сходимость: ни один локомотив не встаёт на ремонт в рассчитанное время. Это объясняется большой вариативностью эксплуатации локомотивов, прежде всего, наличием неплановых ремонтов.

Разработанные методы в диссертациях [0, 2, 42] показывают высокое качество прогнозного и оперативного планирования, при помощи информационных технологий. Регулярный пересчёт, позволяющий постоянно корректировать данные прогноза и тем самым обеспечивая сходимость модели с фактом.

Однако, алгоритм оперативного планирования постановки локомотивов на предприятие, не производит прогноз технического состояния локомотива (объём будущих выполняемых ремонтных работ, именно для выбранного локомотива) и не сопоставляет с существующим состоянием производства (занятость участков, канав, оборудования и средств материально-технического обеспечения). Во вторых, разрабатываемый метод должен выполнять оптимизационную функцию и

выявлять наиболее эффективный сценарий функционирования предприятия. В третьих, учитывать логистическую составляющую, при перемещении локомотивов по территории предприятия.

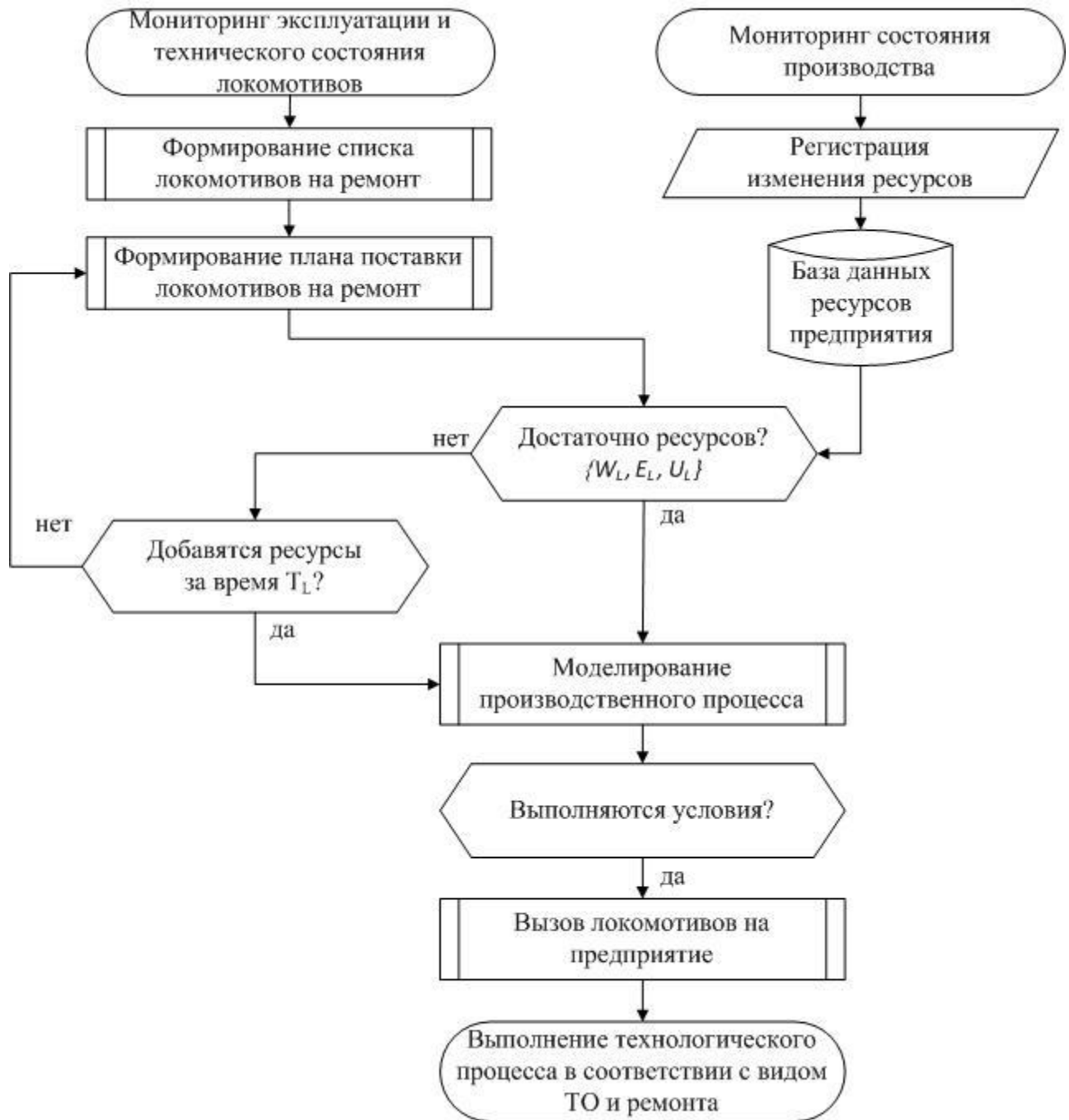


Рисунок 4.9 – Алгоритм оперативного планирования захода локомотивов адаптирующего под состояние производственного процесса.

На первом этапе производится мониторинг эксплуатации и технического состояния локомотивов: пробег S , предотказное состояние Q .

Затем формируется список локомотивов N необходимым проведение технического обслуживания или ремонта, определяется дата постановки на предприятие D_n постановки i -того локомотива:

$$D_L = \{ D_{L1}, D_{L2}, \dots, D_{Li}, \dots, D_{LN} \}, \quad (4.20)$$

Формируется необходимое количество ресурсов для выполнения работ для i -го локомотива:

1) необходимые технологические участки:

$$W_L = \{ W_{L1}, W_{L2}, \dots, W_{Li}, \dots, W_{LN} \}, \quad (4.21)$$

2) необходимое вероятностное количество запасных частей:

$$E_L = \{ E_{L1}, E_{L2}, \dots, E_{Li}, \dots, E_{LN} \}, \quad (4.22)$$

3) необходимое оборудование:

$$U_L = \{ U_{L1}, U_{L2}, \dots, U_{Li}, \dots, U_{LN} \}, \quad (4.23)$$

Изменение количества технологических участков предприятия W_R , или наличия запасных частей E_R и оборудования U_R регистрируется в производственном процессе и добавляется в базу данных ресурсов предприятия.

При выполнении условий (4.24) происходит имитационное моделирование производственного процесса предприятия, с учетом возникновения непланового ремонта и объема этих операций.

$$W_L \wedge E_L \wedge U_L = W_R \wedge E_R \wedge U_R. \quad (4.25)$$

В имитационной модели предусматривает использование различных сценариев развития событий производственного процесса по принципам обработки модельных данных:

- 1) FIFO «первым пришёл, первым обслужен» – принцип простой очереди;
- 2) SJN «следующий с кратчайшим заданием» – не вытесняющий алгоритм, в котором наивысший приоритет имеет самый короткий процесс.
- 3) Обратный SJN «следующий с длительным заданием» – не вытесняющий алгоритм, в котором наивысший приоритет имеет самый длительный процесс.

4) LIFO «обслуживание по приоритету» – способ организации и манипулирования данными относительно приоритетов.

В этом случае приоритет для каждого локомотива определяется по формуле:

$$N_{LIFO} = \max\{S_{L_1}, S_{L_2}, \dots, S_{L_i}, \dots, S_N\} \cup \max\{Q_{L_1}, Q_{L_2}, \dots, Q_{L_i}, \dots, Q_N\}; \quad (4.26)$$

5) RR «циклический» – алгоритм распределения методом переборov и упорядочения её элементов по круговому циклу.

В этом случае количество сценариев будет равно:

$$K_{VAR} = \prod_{i=1}^n N. \quad (4.27)$$

По результатам моделирования для каждого варианта развития событий вычисляются показатели по формулам (2.16), (2.18) и (3.5).

При рассмотрении моделью многих вариантов развития событий решается оптимизационная задача, целевая функция нахождения максимума коэффициента технической готовности $K_{ТГ}$:

$$K_{ТГ} \rightarrow \max, \quad (4.28)$$

с некоторой системой ограничений:

$$\begin{cases} t_{пр} \leq t_{норм}; \\ T_{потерь} \leq T_{потерь}^{мин}; \\ W_R \geq W_L; \\ E_R \geq E_L; \\ U_R \geq U_L; \end{cases} \quad (4.29)$$

При выполнении условий происходит вызов локомотивов на ремонт. Если условия не выполняются, то формируется заново список локомотивов на ремонт. Отбрасываются локомотивы с минимальным пробегом до планового вида ремонта.

$$N' = \min\{S_{L_1}, S_{L_2}, \dots, S_{L_i}, \dots, S_N\} \cup \min\{Q_{L_1}, Q_{L_2}, \dots, Q_{L_i}, \dots, Q_N\} \quad (4.30)$$

Данный алгоритм совместно с разработанной имитационной моделью позволяет:

1) Повысить гибкость системы управления и планирования постановки локомотивов при нештатных ситуациях возникающих на предприятии (неплановый ремонт, выход из строя оборудования, отсутствия запасных частей и т.д.).

2) Качество оперативного планирования с учетом вероятности выполнения сверхцикловых работ и нахождения локомотива на участке обращения.

3) Оптимизировать процесс постановки локомотивов на предприятие, при этом сократить количество длительных простоев свыше нормы локомотивов в депо, продолжительности ожидания локомотивов ремонта и т.д.

4.2.2 Определение запаса запасных частей при большой вариации объемов ремонта

Для устойчивой работы локомотиворемонтного предприятия необходимо обеспечить ресурсами, который характеризуется высокой вариабельностью потребности в запасных частях, товарно-материальных ценностях, что связано с неопределенностью характера и объема возникших неисправностей на локомотиве при заходе его на предприятие, требующих сверхцикловых работ. Возможна ситуация, когда под сверхцикловые работы может не оказаться в наличие запасных частей. Необходимо также уменьшить риск пересодержания склада материалов и запасных частей.

Необходимо учитывать их потребность в цикловых, сверхцикловых работ и при неплановых видах ремонта, с помощью вероятностного подхода на основе обработке статистических данных.

Необходимое количество запасных агрегатов рассчитывается по формуле [88]

$$F = F_{\text{см}} + F_{\text{зап}}, \quad (4.31)$$

где $F_{\text{см}}$ – технологический запас деталей или узлов;

$F_{\text{зап}}$ – страховой запас агрегатов при неплановых ремонтах и для замены агрегатов, не подлежащих восстановлению или требующих для своего восстановления особых условий и времени больше нормированного

Страховой запас необходим для замены узлов во время неплановых ремонтов а также узлов, которые не подлежат восстановлению или для восстановления которых требуются особые условия и время больше нормативного.

Определить необходимое количество запасных агрегатов можно по формуле [99, 113]

$$F_{\text{см}} = n_a N_i \left(\frac{t_a^{\text{сп}} \sigma_a - t_{\text{отс}}^j}{T_{\text{рч}}} \right), \quad (4.32)$$

где n_a – число однотипных агрегатов на локомотиве;

$t_y^{\text{сп}}$ – математическое ожидание продолжительности время простоя агрегата в ремонте;

σ_a – среднеквадратичное отклонение продолжительности время простоя агрегата в ремонте;

$t_{\text{отс}}^j$ – период времени, в течение которого j -ый агрегат отсутствует на локомотиве во время ремонта;

$T_{\text{рч}}$ – расчетный период.

Количество запасных агрегатов (узлов, деталей) определяется из выражения

$$F_{\text{см}} = \frac{k_{\text{см}}^j n_a N_i t_a^{\text{сп}} \sigma_a}{T_{\text{рч}}}, \quad (4.33)$$

где $k_{\text{см}}$ – коэффициент сменяемости j -ого узла или детали

Коэффициент сменяемости a [41] определяется на основании изучения статистических данных о смене тех или иных агрегатов (узлов, деталей).

$$k_{\text{см}}^j = \frac{\mu_j}{n_a N_i} \quad (4.34)$$

где μ_j – количество замененных j -ых узлов или деталей за расчетный период;

На предприятиях по ремонту выполняется несколько различных видов ремонта локомотивов. Для повышения гибкости оборота деталей и узлов и для того чтобы не допускать перепростой на видах ремонта с недостаточным временем для восстановления деталей или узла, снятые детали для ремонта с локомотива, находящегося на длительном простое на предприятии, могут устанавливаться на локомотив, проходящий, например, малый периодический ремонт. В этом случае фонд сменных агрегатов определяется по следующему выражению

$$F_{\text{см}} = n_a \frac{(N_{TP-3} + [N_i - N_{TP-3}])t_a^{\text{сп}} \sigma_a - N_{TP-3}t_{\text{отс}}^{TP-3} + (N_i - N_{TP-3})t_{\text{отс}}^j}{T_{\text{рсч}}}, \quad (4.35)$$

Необходимо «заложить» в алгоритм постановки на ремонт подобный адаптивный подход при замене деталей и узлов, которые не успевают восстановить в течении нормативного простоя локомотива. Подобный подход также сокращает продолжительность перепростоев на предприятии.

4.3 Повышение гибкости и автоматизации технологических процессов производства

В условиях усиления конкуренции на рынке производства и ремонта подвижного состава принципиальное значение приобретают вопросы снижения себестоимости продукции и услуг, повышения качества, возможности быстрой переналадки и адаптации производства под изменяющиеся условия внешней среды.

Одним из эффективных способов комплексного решения поставленных задач является автоматизация технологических процессов производства и ремонта подвижного состава путем внедрения технологического оборудования с исполнительными механизмами на основе промышленных роботов.

Применение промышленных роботов обеспечивает следующие преимущества: высокую производительность оборудования и качество операций; экономию производственных площадей за счет концентрации технологических операций в составе одной позиции (в отличие от традиционного подхода при построении ме-

ханизированных систем на основе поточных линий); адаптивность технологического оборудования к ремонту тягового подвижного состава различных серий, имеющих существенные конструктивные отличия; сокращение общей продолжительности обработки; снижение энергозатрат на поддержание микроклимата рабочей зоны в виду отсутствия оператора, либо его ограниченного нахождения (поддержание комфортной температуры, уровня освещенности, качества воздуха).

Наиболее технически-сложной является задача роботизации технологических процессов сборочного производства, как в виду существенной номенклатуры и разнообразия технологических операций, так и необходимости работы исполнительных механизмов в системе пространственных координат. Традиционное решение предполагает применение манипуляторов с тремя и более степенями свободы, оснащенные интеллектуальной системой управления со следящей обратной связью [70, 107].

Однако, как показывает анализ передового отечественного и зарубежного опыта, применение подобных технологий при производстве и ремонте подвижного состава носит единичный характер. Это обуславливается следующими причинами: сложностью и дороговизной оборудования, высокими профессиональными требованиями к обслуживающему персоналу, в том числе в вопросах программирования и обучения роботов, непригодность многих типовых промышленных решений системы интеллектуального управления к «жестким» условиям ремонтного производства (например, тактильных и сенсорных датчиков и т.д.) [96].

Система управления обеспечивает возможность быстрого перепрограммирования роботов путем непосредственного обучения, когда движениями манипулятора управляют в ручном режиме при помощи специального джойстика, а выполненная последовательность операций записывается в память, или методами моделирования на компьютере.

4.3.1 Разработка системы технического зрения

Альтернативным вариантом управления роботами-манипуляторами сборочного производства является использование систем следящего управления, использующих в качестве данных о пространственном расположении объекта обработки различного типа сенсоры (рисунок 4.10).

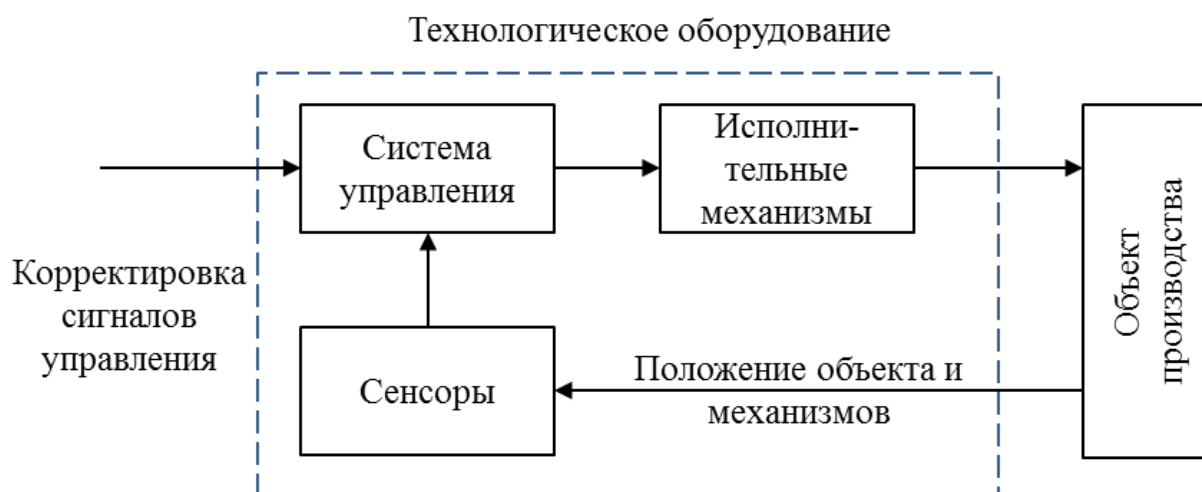


Рисунок 4.10 – Структурная схема роботизированного комплекса со следящей обратной связью

Чувствительные сенсоры воспринимают информацию о внешней среде, пространственном положении объекта технологической обработки и манипуляторов, и после предварительной обработки передают ее в систему управления для формирования управляющих воздействий для исполнительных механизмов.

Для получения информации о внешней среде могут применяться различные типы сенсоров, например, датчики присутствия деталей, датчики расстояния, параметров положения объекта в пространстве и т.д. [3, 31]. По принципу действия датчики можно разделить на четыре группы: тактильные, работающие на касание с объектом, бесконтактные видеодатчики, звуковые и ультразвуковые датчики, прочие типы бесконтактных датчиков – тепловые, магнитные и т.п. (рисунок 4.11).



Рисунок 4.11 – Классификация датчиков роботизированных комплексов

Задача получения точной информации о пространственных характеристиках изделия является одной из наиболее технически сложных. Попытки практического использования нескольких типов тактильных и видеодатчиков в системах следящей обратной связи робототехнических комплексов, предпринятые авторами статьи, состава показали их недостаточную устойчивость к агрессивным воздействиям внешней среды ремонтного производства подвижного. В частности, их неустойчивую работу в условиях высокой влажности, запыленности и загрязненности, невозможность размещения датчиков в непосредственной близости от исполнительных механизмов моечных машин, установок дробеструйной очистки и т.д.

Альтернативным вариантом, по сравнению с системами со следящей обратной связью, является получение пространственно-геометрического изображения поверхности объекта до начала технологической обработки. Например, путем его лазерного триангуляционного сканирования. В этом случае управление исполнительными механизмами осуществляется по заранее сформированной «жесткой» траектории, повторяющей контуры обрабатываемого изделия, что является вполне допустимым для целого ряда практических задач автоматизации таких операций, как дробеструйная очистка кузовов подвижного состава, колесных пар и рам тележек, мойка узлов и агрегатов, нанесение лакокрасочных покрытий и т.д. [6, 7].

Технологически, процесс обработки изделия производится в два этапа. На первом, формируется пространственная модель объекта по результатам предварительного сканирования. На втором этапе – производится непосредственно обработка изделия, например дробеструйная очистка по программе, сформированной в результате сканирования формы объекта. Важно отметить, что при обработке изделия чувствительные элементы (датчики) не используются и могут быть удалены из рабочей зоны, например, закрыты защитным кожухом [91].

Лазерный триангуляционный метод измерения в последние годы получил достаточно широкое распространения, как один из наиболее точных и быстрых способов получения цифровых трехмерных моделей реальных объектов [101,

110]. Метод основан на определении координат изображения отраженного лазерного луча на фоточувствительной площадке матричного фотоприемника.

Принцип действия лазерного триангуляционного датчика представлен на рисунок 4.12. 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.

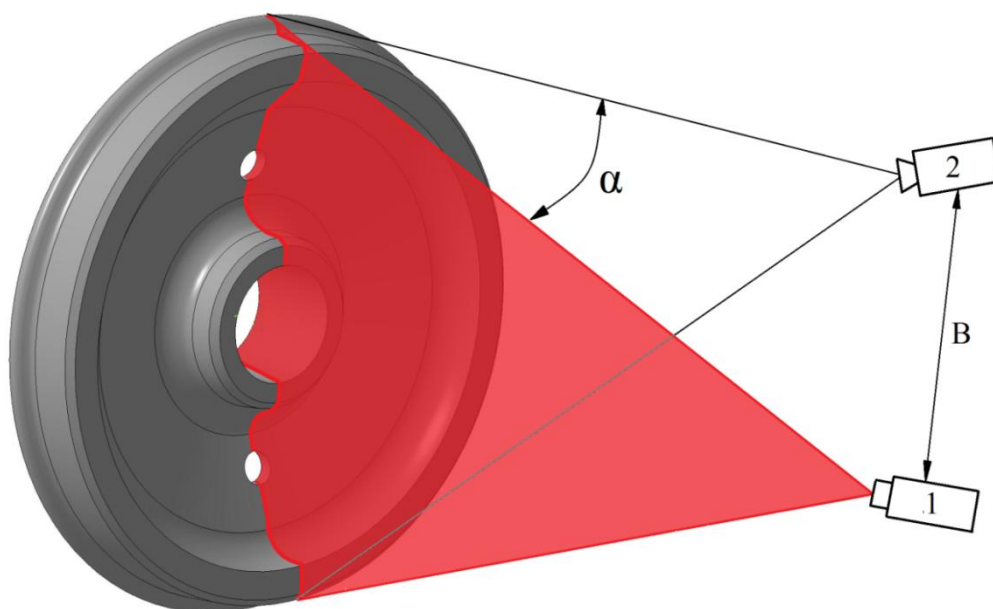


Рисунок 4.12 – Схема лазерного триангуляционного метода.

С целью исследования потенциальных возможностей лазерного триангуляционного метода для получения трехмерных моделей узлов подвижного состава сложной геометрической формы в лаборатории университета был проведен эксперимент с использованием макета рамы тележки электровоза (рисунок 4.13). Программная обработка результатов сканирования и построение 3D модели были выполнены при помощи программы DAVID-laserscanner.

Лазерный модуль, с длиной волны 650 нм (красного цвета) мощностью 5 мВт формировал перемещающийся сканирующий лазерный луч. Его проекция считывалась с помощью цифровой веб-камеры с разрешением 1024 x 768 пикселей.

По окончании проведения трехмерного сканирования результаты сохранялись в формате OBJ – общепринятом формате данных, который содержит 3D геометрию объекта, а так же, связь координат текстуры с вершиной, позицию каждой этой вершины, ее нормаль и параметры, которые создают полигоны [110].

Программа DAVID-laserscanner позволяет определить линейные геометрические размеры различных элементов полученной трехмерной модели, что позволит сравнить и оценить точность полученной модели и макета тележки подвижного состава.



Рисунок 4.13 – Трехмерная модель макета тележки подвижного состава, полученная в результате лазерного сканирования

В качестве значений измеряемых физической величин берем размеры определенных участков тележки подвижного состава l , пример таких участков для измерения по оси x приведены на рисунок 4.14.

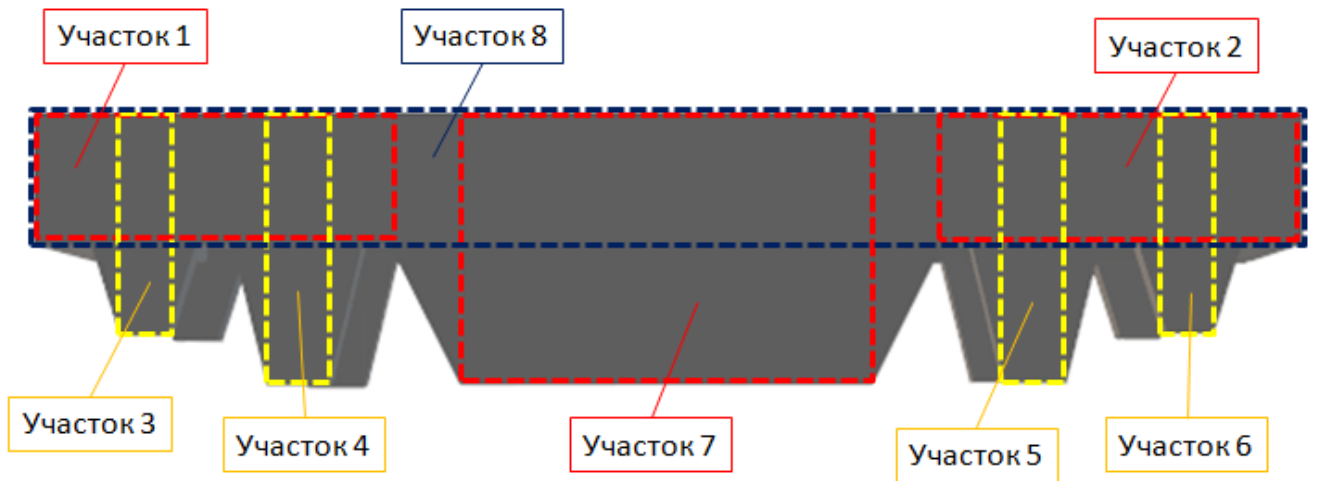


Рисунок 4.14 – Участки измерения макета тележки подвижного состава по оси x

В результате проведения многократных измерений нашей физической величины l на каждом рассматриваемом участке полученной в результате сканирования трехмерной модели тележки, получено множество результатов измерений:

$$l_{x_{ij}} = \{l_{x_{i1}}, l_{x_{i2}}, \dots, l_{x_{in}}\}, \quad (4.36)$$

где i – участок измерения;

j – измерение на i -ом участке;

n – количество измерений.

Найдем математическое ожидание параметров измерений физической величин на каждом исследуемом участке макета результат, которого занесем в таблицу 1.

$$\bar{l}_{x_i} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n l_{x_j}. \quad (4.37)$$

Аналогичным методом обозначим участки для оси y и оси z и проведем многократные измерения каждого участка модели. В результате общее количество участков составило 34, а количества измерений в сумме со всех участков – 230. Приведем упрощенный фрагмент общей полученной аналитической таблицы, в которой укажем истинные значения макета тележки L (таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Результат измерений при оценки точности сканированного макета тележки подвижного состава

№ участка измерения	Ось x				Ось y				Ось z			
	L_x , мм	\bar{l}_{x1} , мм	Δl_x , мм	δ_x , %	L_y , мм	\bar{l}_{y1} , мм	Δl_y , мм	δ_y , %	L_z , мм	\bar{l}_{z1} , мм	Δl_z , мм	δ_z , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	20,44	20,29	0,15	0,76	137,55	135,76	1,79	1,21	138,25	136,62	1,63	1,18
2	20,29	20,15	0,14	0,79	137,60	135,88	1,72	1,23	20,28	20,12	0,16	0,75
3	37,25	37,55	0,3	0,81	137,45	135,68	1,77	1,14	29,78	29,54	0,24	0,88
4	37,25	37,55	0,3	0,87	200,50	197,09	3,41	1,71	39,15	39,44	0,29	0,79
5	40,85	41,15	0,3	0,72	200,55	197,14	3,41	1,65	41,15	41,46	0,31	0,76
6	40,70	41,01	0,31	0,81	21,55	21,40	0,15	0,65	41,10	41,40	0,3	0,76
7	40,69	41	0,31	0,73	31,89	31,64	0,25	0,8	40,55	40,84	0,29	0,72
8	200,9	197,48	3,42	1,69	21,72	21,57	0,15	0,69	16,10	16,21	0,11	0,65
9	–	–	–	–	201,44	197,99	3,45	1,66	15,95	16,07	0,12	0,72
10	–	–	–	–	201,22	197,32	3,9	1,71	–	–	–	–
11	–	–	–	–	200,67	197,19	3,48	1,68	–	–	–	–
12	–	–	–	–	200,56	197,12	3,44	1,71	–	–	–	–
13	–	–	–	–	71,00	71,71	0,71	1,03	–	–	–	–
14	–	–	–	–	75,90	76,65	0,75	0,98	–	–	–	–
15	–	–	–	–	95,11	96,15	1,04	1,04	–	–	–	–
16	–	–	–	–	95,89	96,84	0,95	1,05	–	–	–	–
17	–	–	–	–	94,64	95,61	0,97	1,04	–	–	–	–

Для каждого измерения на каждом участке рассчитаем абсолютную погрешность измерений Δl :

$$\Delta l_{ij} = |L_{ij} - l_{ij}|. \quad (4.38)$$

Значение средней абсолютной погрешности на участке занесем в таблицу и следом найдем относительную погрешность результатов измерений δ .

$$\delta_{ij} = \frac{\Delta l_{ij}}{L_{ij}} \cdot 100\%. \quad (4.39)$$

Производим расчет среднеквадратичного отклонения σ результатов измерения от среднего арифметического каждого исследуемого участка трехмерной модели по формуле:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (L - l_j)^2}{n(n-1)}} \quad (4.40)$$

По результатам расчета относительной погрешности построим график зависимости относительной погрешности δ от истинных значений измеряемой физической величины L (рисунок 4.15).

По результатам статистических испытаний установлены доверительные интервалы относительных погрешностей δ математического ожидания \bar{l} измеряемой величины L в широком диапазоне ее измерения.

Для определения на какую установленную единицу измерения в среднем изменяется величина одного признака при изменении другого, нужно произвести регрессионный анализ методом наименьших квадратов (МНК).

Найдем и проанализируем уравнения экспоненциальной регрессии в соответствии с нашим графиком рассеивания $\hat{y} = e^{a+bx}$ и вычислим коэффициенты a и b этого уравнения по формулам:

$$a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \ln \delta_{ij} - \frac{b}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n L_{ij}; \quad (4.41)$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n L_{ij} \ln \delta_{ij} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n L_{ij} \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \ln \delta_{ij}}{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n L_{ij}^2 - (\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n L_{ij})^2} \quad (4.42)$$

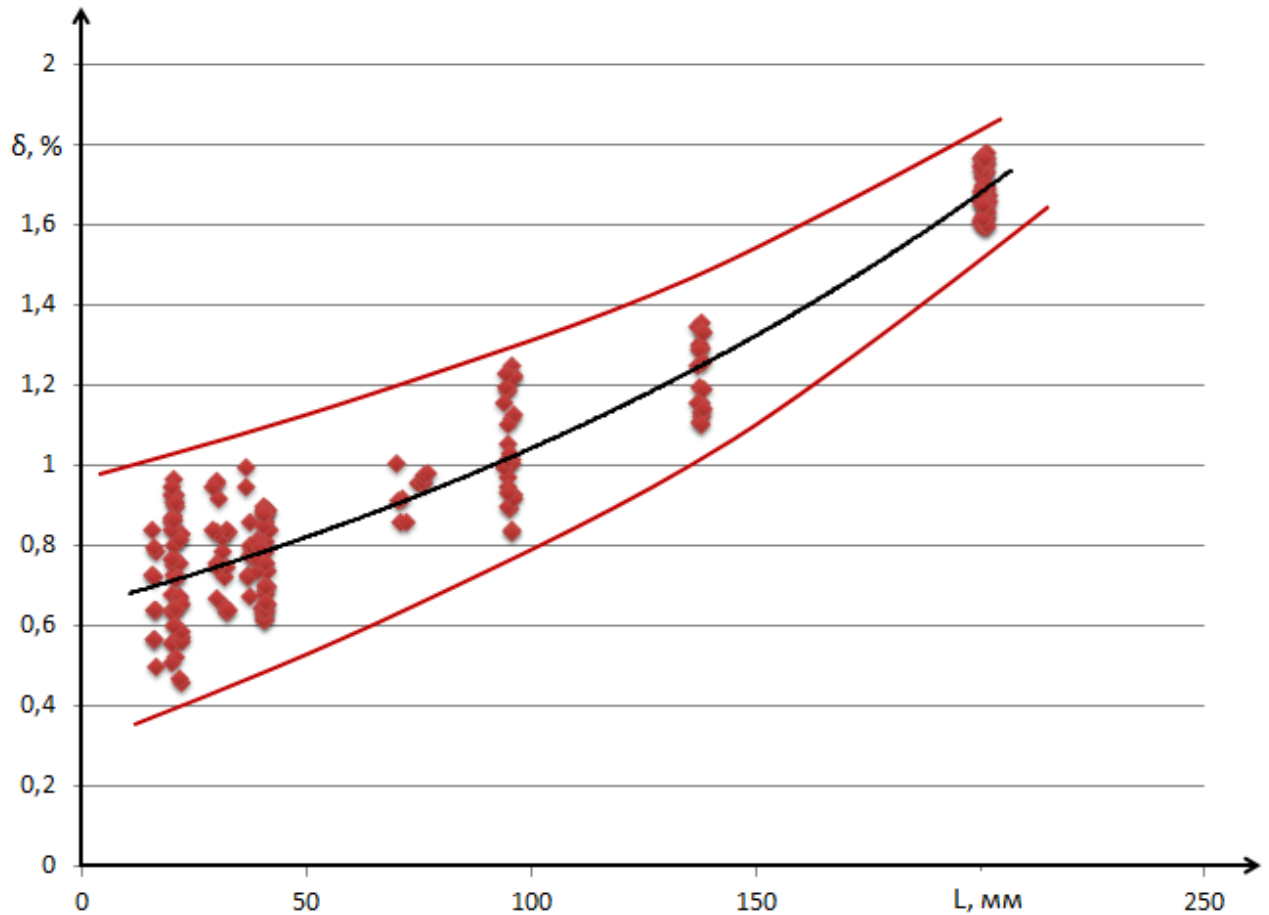


Рисунок 4.15 – График зависимости относительной погрешности δ от истинных размеров макета тележки L .

Итак, искомое уравнение регрессии имеет вид:

$$\hat{\delta} = e^{-0,4169+0,0046L}. \quad (4.43)$$

Для оценки адекватности принятой модели (8) между относительной погрешностью δ и истинными размерами макета тележки L следует рассчитать показатели коэффициентов корреляции R и детерминации R^2 .

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=0}^n (\delta_i - \bar{\delta}) \cdot (\delta_i - \hat{\delta})}{\sqrt{\sum_{i=0}^n (\delta_i - \bar{\delta})^2 \cdot \sum_{i=0}^n (\delta_i - \hat{\delta})^2}} = \frac{cov(\bar{\delta}, \hat{\delta})}{\sqrt{S_x \cdot S_y}}; \quad (4.44)$$

где S_x – дисперсия разброса $\bar{\delta}$,

S_y – дисперсия разброса $\hat{\delta}$.

А так же произвести расчет средней ошибки аппроксимации \bar{A} , для вычисления среднего отклонения расчетных значений от фактических.

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left| \frac{\delta_{ij} - \hat{\delta}_{ij}}{\delta_{ij}} \right| \cdot 100\% . \quad (4.45)$$

Статистические показатели оценки точности по результатам обработки всей совокупности данных приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Статистические показатели оценки точности результатов сканирования макета тележки подвижного состава

№ п/п	Название параметра	Значение параметра
1	Коэффициент корреляции R	0,9888
2	Коэффициент детерминации R ²	0,9777
3	Средняя ошибка аппроксимации \bar{A} , %	4,9917

В результате расчета погрешности результатов трехмерного сканирования макета тележки подвижного состава, можно с уверенностью сказать, что все ошибки и отклонения результатов от истинных значений лежат в пределах нормы. Значение средней ошибки аппроксимации до 5% свидетельствует об адекватности предложенной математической модели. Коэффициент корреляции говорит о прямой сильной связи фактора и результата, можно утверждать с вероятностью до 98%, что значение параметров 3-D сканирования будут лежать в допустимых доверительных интервалах.

4.3.2 Автоматизированные комплексы для обслуживания и ремонта подвижного состава

Автоматизированный комплекс дробеструйной очистки кузовов подвижного состава. На рисунке 4.16 изображен автоматизированный комплекс дробеструйной очистки кузовов подвижного состава железных дорог, состоящий из закрытой металлической камеры 1, ложных тележек 2 на который устанавливается кузов 3 или иной узел/деталь подвижного состава. Перемещение дробеструйного пистолета 4 обеспечивает механический робот мостовой конструкции 5. Перемещение цифровой системы технического зрения 6, в которую входит цифровая ви-

деокамера 7 и лазерный модуль 8, обеспечивается манипулятором 9. Монорельсовое основание 13 передвигает систему технического зрения вдоль всего объекта очистки, а реечное основание 14 перемещает систему в вертикальной плоскости. Струя дробы, направляемая на очищаемый участок поверхности, формируется дробеструйным аппаратом 10. Пульт управления 11 находится в комнате оператора 12, который запускает установку и возможные ручные и полуавтоматические режимы работы всего комплекса.

Подлежащие очистке кузов подвижного состава железных дорог 3, устанавливаются в закрытую металлическую камеру 1 при помощи ложных тележек 2. После установки объекта очистки оператор запускает комплекс дробеструйной очистки, при помощи пульта управления 11, который находится в комнате оператора 11, и камера 1 изолируется. Включается система технического зрения 6 объекта очистки, лазерный модуль 8 проецирует на кузов световой импульс (лазерную линию), а цифровая видеокамера 7 фиксирует расположение лазера на поверхности объекта. Монорельсовое основание 13 передвигает систему технического зрения вдоль всего объекта очистки, а реечное основание 14 перемещает систему в вертикальной плоскости и в зависимости от того, как полоса продвигается по поверхности кузова, лазер появляется в различных местах поля зрения цифровой видеокамеры, тем самым создавая трехмерную модель двигателя при помощи специальной программы на микро-ЭВМ.

После распознавания объекта очистки микро-ЭВМ прокладывает маршрут для дробеструйного пистолета 9 вдоль поверхности объекта, после чего задает управляющие сигналы для робота 5. Робот 5 доставляет дробеструйный пистолет на очищаемый участок поверхности, в каждую точку рабочего пространства камеры вдоль поверхности кузова 3. В этот момент времени дробеструйный аппарат 10 формирует струю дробы, которая попадая на поверхность узла или детали, очищает его от продуктов коррозии, а также от остатков старого покрытия. Использованная дробь может поступать в приемные бункера дробеструйных аппаратов для повторного использования. После завершения программы очистки робот мостового типа останавливается и прекращается подача дробы.

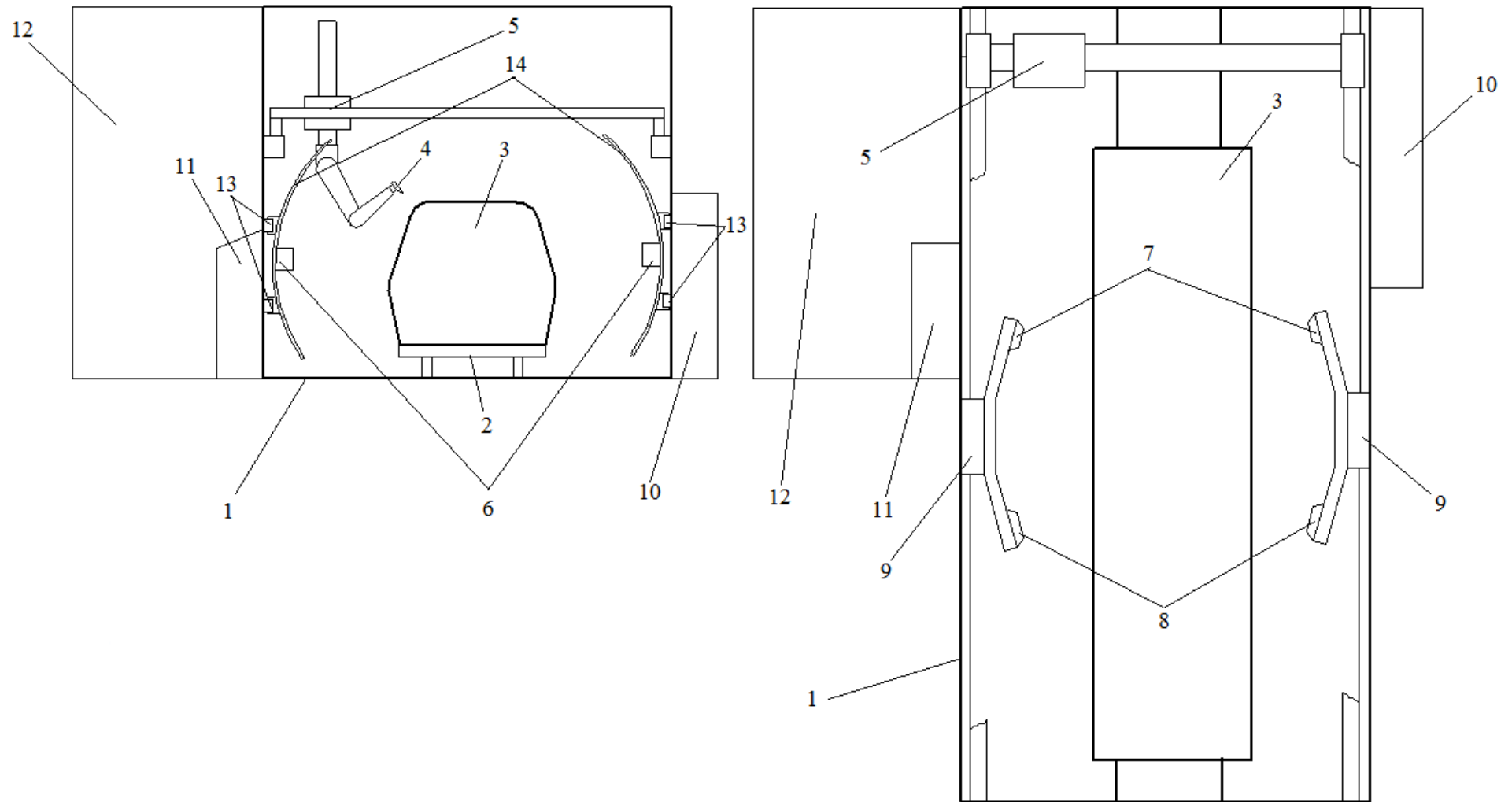


Рисунок 4.16 – Автоматизированный комплекс дробеструйной очистки кузовов подвижного состава железных дорог

Далее идет формирование отчета при помощи микро-ЭВМ, в котором отражается количество использованного материала, время очистки, описание трехмерной поверхности и сохранение его в базу данных для дальнейшего управления роботом 5 не используя систему технического зрения 6. Управление исполнительными механизмами комплекса также можно производить в ручном режиме.

Технический результат достигается тем, что комплекс позволяет производить высокую степень очистки механических деталей и узлов сложной конфигурации в автоматическом режиме. Система технического зрения позволяет различать объекты очистки, что делает дробеструйную установку универсальной.

Автоматизированный комплекс очистки деталей и узлов подвижного состава. На рисунке 4.17 изображен автоматизированный комплекс очистки тягового электрического двигателя, состоящий из моечной камеры 1, подставки 2 на которую устанавливается тяговый электрический двигатель 3 или иной узел/деталь тягового и моторвагонного подвижного состава, поворотного стола 4 вращение которого обеспечивает асинхронный двигатель 5 с редуктором 6. Пневматические цилиндры 7 опускают защитный люк 8, изолируя зону очистки [70]. Перемещение моеющего пистолета 9 обеспечивается механическим манипулятором 10. Цифровая видеокамера 11, лазерный модуль 12 и микро-ЭВМ 13 обеспечивают управление манипулятора 10 и асинхронного двигателя 5. Струя воды под высоким давлением, формируемая аппаратом 14, поступает в пистолет 9 через шланг 15. Пружинная катушка 16 регулирует длину шланга 15. Кожух 17 обеспечивает защиту манипулятора 10 от образующихся в процессе очистки узла брызг воды и грязи. Воздухораспылители 23 производят сушку тягового двигателя после очистки. Для управления механизмами подачи сжатого воздуха служит блок пневматических распределителей 18, находящийся в шкафу управления 19. Пульт управления 20 запускает установку и возможны ручные и полуавтоматические режимы работы всей моечной машины.

На рисунке 4.17 изображена функциональная схема автоматизированного комплекса очистки тягового электрического двигателя. Система технического зрения 21 собирает информация о конфигурации объекта очистки, при помощи

лазерного модуля 12 и цифровой видеокамеры 11. Микро-ЭВМ 13 осуществляет анализ визуальной информации объекта очистки и передает сигналы управления на исполнительные механизмы 22 комплекса (асинхронный двигатель 5, механический манипулятор 10, воздухораспределитель 18, аппарат высокого давления 14), которые производят обработку тягового электрического двигателя.

Подлежащий очистке тяговый электрический двигатель 3 устанавливается на мочную камеру 1 на подставку 2 поворотного стола 4. Подставку 2 можно менять в зависимости от типа двигателя. После установки узла оператор запускает мочный комплекс, при помощи пульта управления 20, защитный люк 8 опускается и изолирует зону очистки. Включается система технического зрения 21 объекта очистки, лазерный модуль 12 проецирует на тяговый электрический двигатель световой импульс (лазерную линию), а цифровая видеокамера 11 фиксирует расположение лазера на поверхности объекта.

После распознавания объекта очистки микро-ЭВМ 13 прокладывает маршрут обмывочного устройства 9 вдоль поверхности объекта, после чего задает управляющие сигналы для механического манипулятора 10. Механический манипулятор 10 доставляет обмывочное устройство 9 в каждую точку рабочего пространства мочной камеры вдоль поверхности тягового двигателя 3. В этот момент времени вода под высоким давлением, формируемая аппаратом 14, через шланг 15 поступает в обмывочное устройство 9, при этом струя воды, попадая на поверхность узла или детали, очищает его от загрязнений. Загрязненная вода по рукаву соединяет мочную машину со станцией очистки воды (не показана). После завершения программы мойки манипулятор останавливается и прекращается подача воды. Далее идет выполнение программы сушки прибора, в ходе которой происходит вращение поворотного стола 4. На поверхность прибора подается сжатый воздух из воздухораспылителя 23. По окончании программы сушки прибора останавливается вращение поворотного стола 4, подача сжатого воздуха прекращается. Люк 8 поднимается, открывая доступ к очищенному тяговому электрическому двигателю 3. В ручной режим работы комплекса управление манипулятором, программой сушки можно производить при помощи пульта управления 20.

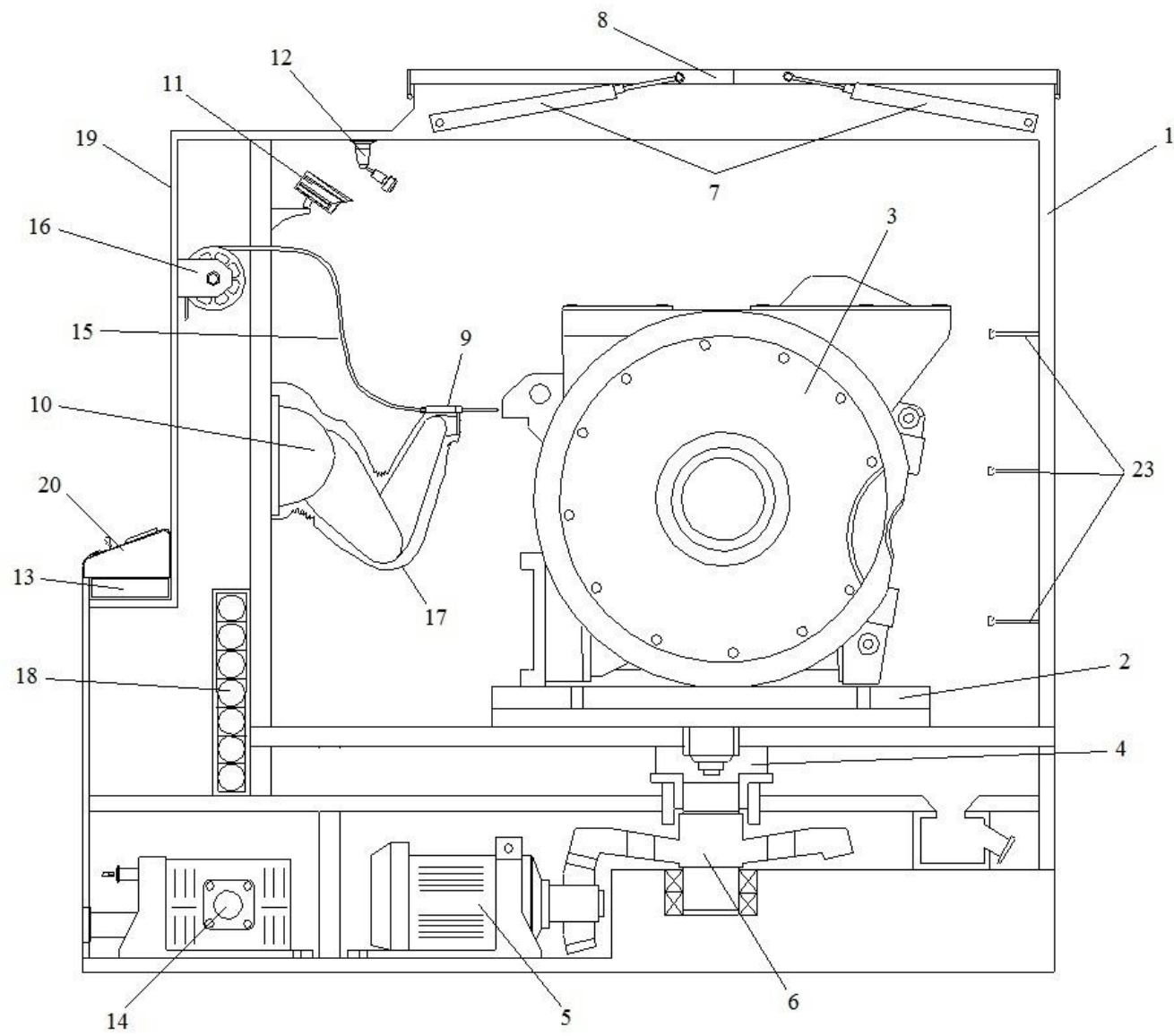


Рисунок 4.17 – Автоматизированный комплекс очистки деталей и узлов

Технический результат заявленной полезной модели связан с тем, что она позволяет производить высокую степень очистки механических деталей и узлов сложной конфигурации в автоматическом режиме без использования моющих средств. Система технического зрения позволяет различать объекты очистки, что делает моечную машину универсальной.

4.4 Выводы по четверной главе

1. Предложена гибкая форма организации производства, для вновь проектируемых локомотиворемонтных предприятий, на основе адаптивной (перенастраиваемой) поточной линии.

2. Разработаны критерии для расчета основных параметров формы организации производства локомотиворемонтных предприятий, с перенастраиваемым маршрутом ремонта.

3. Рассчитаны производственные показатели предлагаемой формы организации предприятий по ремонту локомотивов: коэффициент загрузки стойловых участков, коэффициент загрузки маневровых локомотивов, среднее количество локомотивов ожидающих обслуживания по каждому виду ремонта.

Рассчитаны логистические потери предлагаемой формы организации ремонта локомотивов: продолжительность постановки локомотивов в цех; продолжительность перемещения локомотивов; продолжительность ожидания ремонта.

4. Определено, что применение предлагаемой формы организации производства сокращает: потери времени локомотива во время ремонт; среднее время ожидания ремонта.

Значение коэффициентов загрузки при плановых видах ремонта, где раньше наблюдалась недозагрузка, увеличится, наряду с уменьшением времени ожидания ремонта, что говорит увеличении использования мощностей депо. На участках ТО-4, ТР-3 и на стойловых участках, предназначенных для выкатки тележки локомотива, где значения коэффициентов загрузки были критическими, при новой форме организации производства – уменьшились.

5. Разработана система технического зрения, позволяющая автоматизировать трудоёмкие технологические процессы внешней и дробеструйной очистке деталей и узлов локомотива.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований получены новые научно обоснованные технические и технологические решения, направленные на повышение эффективности функционирования предприятий и совершенствование производственных процессов локомотиворемонтных предприятий. Основные научные и практические результаты диссертационной работы состоят в следующем.

1. Выполнена статистическая обработка показателей производства ремонта локомотивов на предприятии с целью определения законов и параметров распределения их вероятности. Заходы локомотивов: на ТР-1, ТР-2 и ТР-3 подчиняются закону Пуассона; на НР – закон Рэлея, продолжительность нахождения локомотивов на технологическом участке: ТО-2, ТО-4, ТР-2 и ТР-3 подчиняются гамма-распределению: ТР-1 и НР – логнормальное распределение.

2. Разработаны показатели качества организации производственных систем, определяющие адаптивность производственного процесса к появлению сверхцикловых работ при ремонте локомотивов и возможных нарушениях технологической структуры..

3. Разработана имитационная модель производственной структуры локомотиворемонтного предприятия. По результатам рассчитана продолжительность ожидания ремонта $t_{очередь}^{cp}$, среднее значение которой 1,96 ч. Логистические потери локомотива на предприятии $T_{потерь}^{cp}$, среднее значение которых составило: ТО-2 – 2,066 ч; ТР-1 – 1,827 ч; ТР-2 – 1,981 ч; ТР-3 – 2,083 ч; ТО-4 – 8,496 ч; НР – 6,886 ч.

4. Предложена гибкая форма организации производственного процесса предприятий по ремонту локомотивов. По результатам расчета выявлено, что применение подобных технологий сокращает количества сверхцикловых работ в 2 раза, логистические потери при перемещении локомотивов $T_{потерь}^{cp}$ сокращаются в среднем на 64,36 %; продолжительность ожидания ремонта $t_{очередь}^{cp}$ сокращается на 52,07 %. Увеличится коэффициент технологической готовности $k_{тг}$ для обслуживаемого парка локомотивов. Увеличатся коэффициенты технологической загрузки участков $k_{з.сп}^{my}$, что говорит об увеличении использования мощностей локомотиворемонтных предприятий. Пропускная способность ремонтного производства повысится на 30 %.

5. Разработана программная система планирования и управления постановкой локомотивов на ремонт учитывающая занятость производственных участков, наличие запасных частей и прогнозируя объем будущих выполняемых ремонтных работ для каждого локомотива.

В качестве рекомендаций и перспективы дальнейшей разработки темы диссертации предлагается проведение исследований различных вариантов исполнения гибких форм организации производства при ремонте локомотивов, разработка автоматизированных систем управление гибком производственным процессом ремонта локомотивов, с использованием новых информационных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аболмасов, А. А. КРІ в условиях реформирования локомотивного комплекса [Текст] / А.А. Аболмасов // Труды XIV научно-практической конференции «Наука МИИТа - транспорту». – М.: МИИТ, 2013. С. V-2.
2. Аболмасов, А. А. Управление техническим состоянием тягового подвижного состава в условиях сервисного обслуживания : диссертация кандидата технических наук: Московский гос. ун-т путей сообщения Императора Николая II. - Москва, 2017. - 180 с
3. Авдеев, В.А. Периферийные устройства: интерфейсы, схемотехника, программирование [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва: ДМК Пресс, 2009. — 848 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/1087>. — Загл. с экрана.
4. Авербах, С. А. Автоматизированное оптимальное технологическое проектирование механических цехов/ С. А. Авербах, Г.П. Тетерин// Станки и инструмент, №8, 1984. – С.3-6.
5. 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.
6. Бабков, Ю. В. Принципы усовершенствования системы технического обслуживания и ремонта тепловозов 2ТЭ25А [Текст] / Ю.В. Бабков, В.Л. Пермипов, Н. Е. Белова / Локомотив, 2013. - № 9. - С. 34-36.
7. Борщев, А. В. Практическое агентное моделирование и его место в арсенале аналитика / Exponenta PRO, №3-4 (7-8) 2004, с. 38-47.
8. Бугаев, В. П. Совершенствование организации ремонта вагонов. Системный подход / В.П. Бугаев. – М.: Транспорт, 1982. – 152 с.

9. Бугаев, В. П. Экономико-математическое моделирование производственной структуры вагоноремонтных предприятий / В.П. Бугаев. Гомель, 1975. – 65 с.
10. 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.
11. Валинский, О. С. Повысить эффективность работы локомотивного комплекса / О. С. Валинский // Локомотив. 2016. №9. С. 2 – 5.
12. Валинский, О. С. Повышая эффективность управления локомотивным комплексом / О. С. Валинский // Локомотив. 2017. №1. С. 3 – 6.
13. Волчкевич, Л.И. Автоматизация производственных процессов: Учебное пособие [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : Машиностроение, 2007. — 380 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/726>. — Загл. с экрана.
14. Выжигин, А.Ю. Гибкие производственные системы [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.Ю. Выжигин. — Электрон. дан. — Москва : Машиностроение, 2012. — 288 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/63217>. — Загл. с экрана.
15. Габрусъ, А.А. Кооперация и интеграция, как значимый фактор модернизации машиностроения [Электронный ресурс] // Научные записки ОрелГИЭТ. — Электрон. дан. — 2012. — № 2. — С. 331-336. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/journal/issue/301387>. — Загл. с экрана.
16. Гапанович, В.А. Инновационное обновление подвижного состава Российских железных дорог // Транспорт Российской Федерации, №6, 2009. с. 44 – 48.

17. Гапеев, С.Н. Оценка результативности смк производителей железнодорожной техники / Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. 2015. № 2 (30). С. 35-39.
18. Герасимов, В.С. Технология вагоностроения и ремонта вагонов / В.С. Герасимов. М.: Транспорт, 1988. 381 с.
19. Гизатулин, Э. З. Организация поточного производства при капитальных ремонтах тепловозов [Текст] / Э.З. Гизатулин, Е.Г. Стеценко. – М.: Транспорт, 1982. – 121 с.
20. Головаш, А. Н. Проблемы перехода на ремонт подвижного состава по техническому состоянию и пути их решения / А. Н. Головаш // Транспортная инфраструктура сибирского региона. Иркутский государственный университет путей сообщения. Том 1. Иркутск, 2014. С. 10 – 14.
21. Горохов, В. А. Технология, оснащенность и организация ремонтно-восстановительного производства: учебник / В. А. Горохов, В. П. Иванов, А. Г. Схиртладзе, В. П. Борискоин // под ред. проф., д.т.н. В. П. Иванова. – Старый Оскол: ТНТ, 2015. – 552 с.
22. Гранагуров, В. М. Экономический риск: сущность, методы измерения, пути снижения / В. М. Гранагуров. – М.: Дело и Сервис, 1999. – 112 с.
23. Гржибовский А. М. Типы данных, проверка распределения и описательная статистика // Экология человека. 2008. № 3. С. 52–60. ISSN 1728-0869.
24. Доманов, К. И. Проблемы сервисного обслуживания электровозов серии 2ЭС6 и мероприятия направленные на повышение технологии их ремонта / Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава : м-лы IV Всеросс. научн.-техн. конф. с международн. участием. – Омск, 2017. С. 97–103.
25. Данковцев, В. Т. Техническое обслуживание и ремонт локомотивов: учебник для вузов ж.-д. транспорта / Под ред. В. А. Четвергов, В. И. Киселева. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. – 558 с.

26. Дмитриева, Т. В. Особенности моделирования процесса функционирования резервирующих систем // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2011. №3 (11).
27. Договор № 285 от 30.04.2014 на сервисное обслуживание локомотивов между ОАО «Российские железные дороги» и ООО «ТМХ-Сервис».
28. Дуплякин, В. М. Выбор закона распределения входного потока заявок при моделировании систем массового обслуживания торгового предприятия [Текст]/ В. М. Дуплякин, Ю. В. Княжева // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. Самара, 2012. № 6 (37). С. 102 – 110. ISSN 1998-6629.
29. Заляжных, В.А. Экспертные системы комплексной оценки безопасности автоматизированных информационных и коммуникационных систем [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / В.А. Заляжных, А.В. Гирик. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2014. — 136 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/71193>. — Загл. с экрана.
30. Имаи, Н. Путь к успеху японских компаний / Н. Имаи. Пер. с англ. — М.: Альпина Паблицер, 2009. — 280 с.
31. Интеллектуальные роботы: учебное пособие для вузов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / И.А. Каляев [и др.]. — Электрон. дан. — Москва : Машиностроение, 2007. — 360 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/769>. — Загл. с экрана.
32. Элмаграби, С. Исследование операций: В 2-х томах. Пер. с англ./ Под ред. Дж. Моудера, С. Элмаграби. — М.: Мир, 1981. — 677 с.
33. Квейд, Э. Анализ сложных систем: Пер. с англ./ Э. Квейд. — М.: Сов. радио, 1969. — 519 с.
34. Кельтон, В. Имитационное моделирование / В. Кельтон, А. Лоу. — С.Пб.: Питер; Киев: Издательская группа ВНУ, 2004. — 847 с.
35. Кетков, Ю.Л. Matlab 6.x.: программирование численных методов / Ю.Л. Кетков, А.Ю. Кетков, М.М. Шульц. — СПб.: БХВ-Петербург, 2004. — 672 с.

36. Кобзарь, А. И. Прикладная математическая статистика. Для научных работников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с. – ISBN 5-9221-0707-0.
37. Козлов, В.Г. Теория массового обслуживания [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.Г. Козлов. — Электрон. дан. — Москва : ТУСУР, 2012. — 57 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/10921>. — Загл. с экрана.
38. Колобов, А.А. Менеджмент высоких технологий [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.А. Колобов, И.Н. Омельченко, А.И. Орлов. — Электрон. дан. — Москва : , 2016. — 920 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/100638>. — Загл. с экрана.
39. Красковская, С. Н. Текущий ремонт и техническое обслуживание электровозов постоянного тока / С. Н. Красковская, Э. Э. Ридель, Р. Г. Черепашенец.—М.: Транспорт, 1989.— 408 с.
40. Крупнов Ю.П. Применение дивергентных схем для задачи Баклея-Леверетта // Доклады БГУИР. 2013. №4 (74).
41. Крюгер, П. К. Тепловозное хозяйство // М.: Транспорт, 1972. С. 127.
42. Лакин, И. И. Мониторинг технического состояния локомотивов по данным бортовых аппаратно-программных комплексов: диссертация кандидата технических наук: Московский гос. ун-т путей сообщения. - Москва, 2016. - 195 с.
43. Левин, Д.Ю. История техники. История развития системы управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте [Электронный ресурс] : учебное пособие / Д.Ю. Левин. — Электрон. дан. — Москва : УМЦ ЖДТ, 2014. — 467 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/55390>. — Загл. с экрана.
44. Лищинский, Л.Ю. Структурный и параметрический синтез гибких производственных систем. М.: Машиностроение, 1990. - 312 с.; -(Гибкие производственные системы).

45. Логашев, В.Г. Технологические основы гибких автоматических производств / В.Г. Логашев. Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение. 1985 – 176 с.
46. Логашев В.Г. Технологические основы гибких автоматических производств / В.Г. Логашев. Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение. 1985 -176 с.
47. ЛокоТех. Цифровая трансформация локомотивного сервиса / Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. 2018. № 4 (44). С. 37.
48. Лосев, В.С. Производственный потенциал: оценка, управление / В.С. Лосев. Хабаровск: РИОТИП, 1998. – 240 с.
49. Любченко, А. А. Система автоматизации проектирования регламента технического обслуживания промышленных средств технологической радиосвязи.: Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.13.12 / Любченко Александр Александрович. – Омск, 2012. – 150 с.
50. Маликов, Р. Ф. Практикум по имитационному моделированию сложных систем в среде AnyLogic 6 [Текст]: учеб. пособие / Р. Ф. Маликов. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2013. – 296с.
51. Михальчук, МЛ. Актуальность развития локомотиворемонтного комплекса при переходе на полное сервисное обслуживание [Текст] / МЛ. Михальчук. // Материалы первой международной научно-практической конференции «Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов». М.: ООО «ТМХ-Сервис», 2014. С. 11-18.
52. Мямлин, В. В. Анализ основных параметров асинхронного гибкого потока ремонта вагонов и методы их расчета // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. 2009. №26.

53. Мямлин, В.В. Структуры гибких вагоноремонтных участков и их влияние на количество возможных вариантов пути перемещения вагонов между позициями потока // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2013. № 4 (52). С. 77–86. ISSN 0201-727X

54. Мямлин, В. В. Компоновка позиций гибкого вагоноремонтного потока и способ перемещения вагонов между ними при помощи транспортного агрегата / В. В. Мямлин, С. В. Мямлин, Р. Р. Азимов, А. М. Михальчук // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. Днепропетровск, 2012. С. 205 – 213.

55. Мямлин, В. В. Моделирование работы потока для ремонта вагонов как мультифазной поликанальной многопредметной системы массового обслуживания / В. В. Мямлин, С. В. Мямлин // Вісник дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка в. лазаряна. Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна. Днепропетровск, 2011. С. 47-57.

56. Мямлин, В. В. Использование теории кусочнолинейных агрегатов для формализации работы ремонтных модулей поточной вагоноремонтной линии с гибкой транспортной системой [Текст] // Вісник Дніропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. - 2008. - Вып. 24. - Д.: Изд-во ДНУЗТ. 2008. - С. 44-48.

57. Мямлин, В. В. Повышение эффективности поточного метода ремонта вагонов путём использования специальных архитектурно-технологических решений, обеспечивающих гибкую связь между позициями [Текст] // Проблемы и перспективы развития вагоностроения: Материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. (Брянск. 09-10.10.2008). - Брянск. 2008. - С. 76-78.

58. Мямлин, В. В. Совершенствование поточного метода ремонта вагонов за счёт гибкости транспортной системы между технологическими модулями [Текст] // Залізн. трансп. України. - 2008. - № 4. - С. 15-17.

59. Мямлин, В. В. Схема кусочно-линейного агрегата как математическая модель функционирования технологических модулей асинхронного гибкого потока ремонта вагонов [Текст] // Вістник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. - 2008. - Вып. 25. - Д.: Изд-во ДНУЗТ. 2008. - С. 18-22.
60. Находкин, В. М. Ремонт электроподвижного состава / Находкин В. М., Яковлев Д. В., Черепашенец Р. Г.: Учебник для техникумов железнодорожного транспорта / Под ред. В. М. Находкина. М. / Транспорт, 1989. 295 с.
61. Нигматулин, М. Р. Мониторинг ситуации в промышленности на основании индексов ИПЕМ: III квартал 2014 год // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. 2014. № 4 (28). С. 26-32.
62. Нигматулин М.Р. Мониторинг ситуации в промышленности на основании индексов ИПЕМ: I квартал 2015 года // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. 2015. № 2 (30). С. 12-18.
63. О системе технического обслуживания и ремонта локомотивов ОАО «РЖД»: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 17 января 2005 г. № 3р. М., 2005. 15 с.
64. ОАО "РЖД": Роль компании в развитии железнодорожного машиностроения / Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. 2018. № 3 (43). С. 86-88.
65. Панов, К.В. Перспективы повышения уровня автоматизации технологических комплексов на предприятиях по ремонту подвижного состава / Панов К.В. // Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте: материалы научной конференции, посвященной Дню российской науки. Министерство транспорта Российской Федерации; Федеральное агентство железнодорожного транспорта. - Омский государственный университет путей сообщения. - 2016. - С. 252-257.
66. Панов, К. В. Анализ неисправностей тяговых электродвигателей электровагонов 2ЭС6 / К. В. Панов // Транспорт-2015: труды международной научно-практической конференции. Ростовский государственный университет путей сообщения. 2015. С. 237 – 239.

67. Панов, К. В. Механизация ремонта подвижного состава - современное состояние и перспективы развития / К. В. Панов, В. А. Смирнов // Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте: Материалы научно-практической конференции. Омский государственный университет путей сообщения. Омск. 2014. С 345 – 350.

68. Панов, К. В. Современное состояние и перспективы развития средств механизации электромашинного производства / К. В. Панов, В. А. Смирнов // Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов: Материалы второй Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Омский государственный университет путей сообщения. Омск. 2014. С 43-49.

69. Пантелеев, Е.Р. Методы научных исследований в программной инженерии [Электронный ресурс] : учебное пособие / Е.Р. Пантелеев. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 136 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/110936>. — Загл. с экрана.

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

71. Перельман, Д. Я. Комплексная механизация и автоматизация ремонта подвижного состава / Д. Я. Перельман, Я. А. Норкин, И. Ф. Скиба, С. А. Арустамян // – М.: Транспорт, 1969. – 312 с.

72. Перельман, Д. Я. Комплексная механизация и автоматизация ремонта подвижного состава: изд. 2-е, перераб. и доп. / Д. Я. Перельман, Я. А. Норкин, И. Ф. Скиба, С. А. Арустамян // М. Транспорт, 1977. – 280 с.

73. Повышение конкурентоспособности промышленных предприятий в современных условиях социально-экономического развития [Электронный ресурс] / Е.В. Мельникова [и др.]. // Грани познания. — Электрон. дан. — 2016. — № 2. — С. 175-181. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/journal/issue/300986>. — Загл. с экрана.

74. Подвигалкин, В.Я. Робот в технологическом модуле [Электронный ресурс] : монография / В.Я. Подвигалкин. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 140 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/106878>. — Загл. с экрана.
75. Полетаев, В. П. Управление периодичностью обслуживания технических систем при оптимизации коэффициента технического использования / Полетаев В.П., Богданов Д.А. // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2007. Т. 1. С. 237-239.
76. Поликарпов, А. А. Транспортное машиностроение России в 2015 году / Поликарпов А.А., Скок И.А. // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. 2016. № 1 (33). С. 28-33.
77. Попов, Ю.И. Организация технического обслуживания и ремонта локомотивов в новых условиях / Ю.И. Попов, Н.Л. Михальчук // Локомотив. 2016. №3. С. 2 – 4.
78. Проектирование промышленных предприятий: Принципы. Методы. Практика [Текст] / Клаус-Герольд Грундиг. Пер. с нем. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. – 340 с.
79. Проектирование технологических процессов машиностроительных производств [Электронный ресурс] : учебник / В.А. Тимирязев [и др.]. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2014. — 384 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/50682>. — Загл. с экрана.
80. Пустовой, И.В. Повышение эффективности системы сервисного обслуживания локомотивов за счёт внедрения информационных технологий. — Вестник транспорта Поволжья. 2016. № 6 (60). С. 36-40.
81. Пустовой, И. В. Инкапсуляция статистических методов управления в информационную систему сервисного обслуживания и ремонта локомотивов / И. В. Пустовой // Известия Транссиба. 2016. № 3 (27). С. 132-142.

82. Пустовой, И. В. Разработка информационно-динамической модели управления сервисным техническим обслуживанием и ремонтом локомотивов: диссертация кандидата технических наук: Уральский. гос. ун-т путей сообщения. - Екатеринбург, 2018. - 181 с.
83. Пуховский Е.С. Технологические основы гибкого автоматизированного производства / Е.С. Пуховский // Учеб. пособие. — К.: Вища шк. Головное изд-во, 1989. — 240 с.
84. Роботы мостовой конструкции BLASTMAN [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.blastman.ru/products-and-industries/products/robots/gantry-type-robots-ru/> свободный – (05.03.2018).
85. Рыжиков, Ю.И. Имитационное моделирование. Авторская имитация систем и сетей с очередями [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю.И. Рыжиков. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 112 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/113404>. — Загл. с экрана.
86. Рынок железнодорожного подвижного состава и операторских услуг / Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. 2018. № 3 (43). С. 49.
87. Сидорова, Е.А. Применение корреляционно-регрессионного анализа для оценки энергетической эффективности вспомогательного оборудования пассажирских электровозов постоянного тока серии ЭП2К / Сидорова Е.А., Истомин С.Г., Гателюк О.В. // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2018. № 3. С. 59–68. ISSN 0201-727X.
88. Система материально-технического обеспечения ОАО «РЖД». Нормирование запасов материально-технических ресурсов. СТО РЖД 1.21.015-2009. – М., 2009. – 29с.
89. Смирнов, В. А. Повышение технологической гибкости ремонтного производства/ В. А. Смирнов, К. В. Панов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2014. № 1–2. С. 47–50. ISSN 2071-3827.

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

91. Смирнов, В.А. Автоматизированный комплекс дробеструйной очистки вагонов подвижного состава / Смирнов В.А., Панов К.В. // Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава: материалы IV Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. - Омский государственный университет путей сообщения. – Омск, 2017. С. 42-47.

92. Смирнов, В.А. Оптимизация технологических систем предприятий по ремонту подвижного состава / Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2014. Т. 2. С. 573-578.

93. Смирнов, В.А. Перспективные формы организации локомотиворемонтного производства / Смирнов В.А., Панов К.В. // Труды Международной научно-практической конференции «Транспорт-2014». 2014. С. 121-123.

94. Смирнов, А.М. Организационно-технологическое проектирование участков и цехов [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.М. Смирнов, Е.Н. Сосенушкин. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 228 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/93717>. — Загл. с экрана.

95. Смирнов, В. А. Повышение технологической гибкости ремонтного производства / В. А. Смирнов, К. В. Панов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. Издательство: Сибирский государственный университет водного транспорта. Новосибирск. 2014. С. 47-50.

96. Смирнов, В. А. Повышение технологической гибкости ремонтного производства [Электронный ресурс] / В.А. Смирнов, К.В. Панов. // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — Электрон. дан. — 2014. — № 1-2. — С. 47-50. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/journal/issue/291089>. — Загл. с экрана.

97. Смирнов, В. А. Целевые показатели оценки качества технологических решений предприятий по ремонту подвижного состава // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2013. – № 1. – С. 32-38. ISSN 2071-3827.
98. Собенин, Л. А. Организация, планирование и управление локомотиворемонтным производством [Электронный ресурс] : учебное пособие / Л.А. Собенин, А.А. Зайцев, Б.А. Чмыхов ; под ред. Собенина Л.А.. — Электрон. дан. — Москва : УМЦ ЖДТ, 2006. — 439 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/59208>. — Загл. с экрана.
99. Супчинский, О. П. Повышение эффективности управления техническим состоянием магистральных локомотивов: диссертация кандидата технических наук: Омский гос. ун-т путей сообщения. - Омск, 2019. - 173 с.
100. Таташев, А.Г. Дискретная многоканальная система массового обслуживания с отказами и групповым поступлением заявок / А.Г. Таташев, М. Ахильгова, С.А. Щербуняев // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 7. С. 23–26. ISSN 2072-8735.
101. Твердохлеб, П. Е. 3D лазерные информационные технологии / П. Е. Твердохлеб, В. П. Коронкевич, Э. Г. Косцов // Новосибирск: Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т автоматизации и электротехники, 2003.
102. Борзенк, Е.И Теория вероятностей и основы математической статистики [Текст] : учебное пособие / Е. И. Борзенко, И. В. Еремин // Томск : ТГУ, 2014.
103. Мотовилова К. В. Технология производства и ремонта вагонов [Электронный ресурс] : учебник / Электрон. дан. — Москва : УМЦ ЖДТ, 2003. — 382 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/59907>. — Загл. с экрана.

104. Турсунов, Х. М. Управление эксплуатационной надежностью электровозов серии "O`zbekiston": диссертация кандидата технических наук. Петербургский государственный университет путей сообщения. С.-Петербург. 2012.

105. Указание Министерства путей сообщения Российской Федерации от 30.09.1999 № А-2185у «Об организации работ для перехода на ремонт по техническому состоянию локомотивов и мотор-вагонного подвижного состава».

106. Усманов, Ю.А. Организация, планирование и управление ремонтом подвижного состава [Электронный ресурс] : учебник / Ю.А. Усманов, В.А. Четвергов, А.Ю. Панычев, Н.Б. Куршакова. — Электрон. дан. — Москва : УМЦ ЖДТ, 2017. — 277 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/99654>. — Загл. с экрана.

107. Хокс Б. Автоматизированное проектирование и производство: Пер. с англ. / Б.Хокс. — М.: Мир, 1991. — 296 с.

108. Цифровизация ремонта локомотивов: на пороге практических результатов / Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. 2018. № 4 (44). С. 38-39.

109. Чекменев, В.А. Многокритериальная оптимизация приоритетных систем обслуживания, функционирующих в условиях конкуренции входящих потоков [Электронный ресурс] / В.А. Чекменев, Т.Д. Чекменева. // Вестник Кемеровского государственного университета. — Электрон. дан. — 2014. — № 1(т.1). — С. 55-59. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/journal/issue/290485>. — Загл. с экрана.

110. Шандыбина, Г.Д. Информационные лазерные технологии [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г.Д. Шандыбина, В.А. Парфенов. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2008. — 107 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/40837>. — Загл. с экрана.

111. Шантаренко, С. Г. Инновационные технологии для ремонта тягового подвижного состава [текст]/ Шантаренко С.Г., Капустьян М.Ф., Харламов В.В., Шахов И.Г.//Транспорт Российской Федерации: научный журнал. - №3 (28). — Омск, 2010. — С. 4 – 9.

112. Шантаренко, С. Г. Новые технологии ремонта для электровозов/ С. Г. Шантаренко // Локомотив. -М.: Издательство "Железнодорожное дело", 2005, №9.-С.34 – 36.
113. Шантаренко, С. Г. Определение норм запасных частей и материалов при ремонте локомотивов новых серий с учетом случайно возникающих отказов в эксплуатации / С. Г. Шантаренко, М. Ф. Капустьян, О. П. Супчинский // Известия Транссиба. 2017. №3 (31).
114. Шкарупа, А.А. Мониторинг ситуации в промышленности: III КВАРТАЛ 2018 года / Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. 2018. № 4 (44). С. 28-36.
115. Эйрис, Р. Перспективы развития робототехники [текст]/ Эйрис Р., Миллер С. – М.: Мир, 1986. – 328 с.
116. Яновский, Г.Г Оценка квантиля функции распределения времени задержки заявок в однолинейных системах массового обслуживания / Яновский Г.Г., Соколов А.Н // Инфокоммуникационные технологии. 2008. Т. 6. Вып. 3. С. 27–30. ISSN 2073-3909.
117. AnyLogic Руководство пользователя [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http:// www.xjtek.com/ products / anylogic5 / usersmanual. pdf](http://www.xjtek.com/products/anylogic5/usersmanual.pdf), свободный.
118. AnyLogic. Учебное пособие по системной динамике [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http:// www.xjtek.com](http://www.xjtek.com) , свободный.
119. Valdez-Flores C. Model of passenger rolling stock maintenance / C. Valdez-Flores, R.M. Feldman // Naval Research Logistics. 1989. P. 419-446.
120. Bannikov D. Model of the maintenance and repair system in service maintenance management / D. Bannikov, N. Sirina. A. Smolyaninov // 10th International Scientific and Technical Conference "Polytransport Systems". – 2018. – Vol. 13 Issue 3.
121. He D. A Lightweight Intelligent Manufacturing System Based on Cloud Computing for Plate Production / D. He, A. Luo, J. Deng, W. Tan // Computer Integrated Manufacturing Systems, CIMS. – 2018. – P. 1155-1161.

122. Cho D.I. Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation / D.I. Cho, M. Parlar // European Journal of Operational Research. 1991. P. 51, 1-23.
123. Osaki T. Identification of Cascading Failure Initiated by Hidden Multiple-Branch Contingency / Osaki T., Nakagawa // IEEE Transactions on Reliability. – 1976. – Vol. 25/ – P. 284-287.
124. The Process Modeling Library AnyLogic. URL: <https://www.anylogic.com/resources/libraries/process-modeling-library/> (дата обращения: 31.10.2018).
125. The Rail Library AnyLogic. URL: <https://www.anylogic.com/resources/libraries/rail-library/> (дата обращения: 31.10.2018).
126. Jemec V. The principles and practices of reliability, maintainability, and product liability pertaining to electrical and electronic equipment / V. Jemec, J. Grum // 10th International Conference of the Slovenian Society for Non-Destructive Testing: Application of Contemporary Non-Destructive Testing in Engineering I. – 2009. – P. 91-107.
127. W.J. Pierskalla, J.A. Voelker, Naval Research Logistics Quarterly, 23, 353-388 (1976).
128. Datsun Y. Determination of the degree of influence of repair processes on serviceability of units of the traction rolling stock // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – P. 56-51.
129. Sherif, Y.S Optimal Maintenance Models for Systems Subject to Failure-A Review / Sherif, Y.S., Smith, M.L.// Naval Research Logistics Quarterly. – Vol. 28. – No. 1. – P. 47–74,
130. Jardine A.K.S. Maintenance Management Decision-Making / A.K.S Jardine // Engineering Journal. – Canada, 1981. – P. 37–41.

Акты внедрения результатов диссертационной работы

Западно-Сибирское управление сервиса ООО «СТМ-Сервис»
Сервисное локомотивное депо «Московка»

АКТ

от «__» _____ 2019 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

г. Омск

Начальник сервисного
локомотивного депо Московка
ООО «СТМ-Сервис»

Об использовании
результатов научных
исследований и разработок
в производстве



С. В. Чальцев

_____ 2019 г.

Основание: Разработки Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС), выполненные под руководством заведующего кафедрой «Подвижной состав электрических железных дорог», д.т.н., профессора, Черемисина В. Т. и при личном участии преподавателя Панова К. В.

Методика оценки производственных и технологических параметров работы сервисного локомотивного депо в составе:

- программный продукт на персональный компьютер, для расчета производственных потерь ремонта локомотивов на предприятии;
- программный продукт на персональный компьютер, для расчета технологических параметров функционирования предприятия;
- перечень обработанных статистических показателей технологического процесса сервисного локомотивного депо, в виде исходных данных к программным продуктам;
- перечень расчетных показателей производственных потерь возникающих при ремонте локомотивов в депо.

1. Разработка ОмГУПСа, характеризуемые основными особенностями (признаками):

Методика оценки производственных и технологических параметров работы сервисного локомотивного депо, позволяет проводить расчет показателей цехов и участков предприятия и определять временные потери при ремонте локомотивов, принята к использованию и внедрена, в организационно-технологические процессы Сервисного локомотивного депо Московка Западно-Сибирского управления сервиса ООО «СТМ-Сервис».

2

2. Техничко-экономическая эффективность:


Разработанные и внедренные ОмГУПСом под руководством д.т.н. В. Т. Черемисина и при личном участии преподавателя К. В. Панова.

Методика оценки параметров работы сервисного локомотивного депо, позволяет выявлять производственные потери работы предприятия, с целью дальнейшей оптимизации технологического и производственно-логистического процесса.

3. Предложения о дальнейшем использовании и другие замечания:

Использовать разработанную технологию для оценки производственных и технологических параметров сервисного локомотивного депо.

Главный инженер СЛД Московка



А. Л. Батеньков

Главный технолог СЛД Московка



В. В. Подвальнов



**ОАО «Научно-исследовательский институт технологий, контроля и
диагностики железнодорожного транспорта»
(ОАО «НИИТКД»)**

АКТ

**Об использовании результатов научных исследований
и разработок в производстве**

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор
ОАО «НИИТКД», к.т.н.



А. П. Семенов

« ____ » _____ 2019 г.

Основание: Разработка Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС), выполненная под руководством заведующего кафедрой «Подвижной состав электрических железных дорог», д.т.н., профессора, Черемисина В. Т. и при личном участии преподавателя Панова К. В.:

«Проектное решение автоматизированного комплекса дробеструйной очистки деталей и узлов подвижного состава с системой технического зрения».

1. Разработка ОмГУПС, характеризуется следующими основными особенностями (признаками):

1.1. Комплекс дробеструйной очистки оснащен системой технического зрения, обеспечивающей следящую обратную связь;

1.2. В качестве системы технического зрения предлагается сканирующая система, состоящая из видеокамеры, лазерного модуля и микроЭВМ, работающая по принципу активной триангуляции.

2. Техничко-экономическая эффективность:

Предлагаемая разработка позволяет производить дробеструйную очистку деталей и узлов подвижного состава сложной конфигурации в автоматическом

режиме без необходимости предварительного «обучения» системы. Технические решения установки использованы при конструировании оборудования для ремонта подвижного состава.

3. Предложения по дальнейшему использованию и другие замечания:

Разработка рекомендуется к внедрению на предприятиях по ремонту подвижного состава.

Главный инженер



С. В. Елисеев

Начальник технико-технологического
отдела, к.т.н.



П. С. Корнеев

**Патент на полезную модель № 169641:
«Автоматизированный комплекс очистки деталей и узлов
подвижного состава»**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 169641

**Автоматизированный комплекс очистки деталей и узлов
подвижного состава**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования "Омский
государственный университет путей сообщения" (RU)*

Авторы: *Смирнов Виктор Александрович (RU),
Панов Кирилл Вячеславович (RU)*

Заявка № 2016115036

Приоритет полезной модели 18 апреля 2016 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 28 марта 2017 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 18 апреля 2026 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **169 641** ⁽¹³⁾ **U1**(51) МПК
B60S 3/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**(12) ФОРМУЛА ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

(21)(22) Заявка: 2016115036, 18.04.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
18.04.2016

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 18.04.2016

(45) Опубликовано: 28.03.2017 Бюл. № 10

Адрес для переписки:

644046, г. Омск, пр-кт Маркса, 35, ФГБОУ ВО
"Омский государственный университет путей
сообщения"

(72) Автор(ы):

Смирнов Виктор Александрович (RU),
Панов Кирилл Вячеславович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Омский государственный
университет путей сообщения" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2348553 C1, 10.03.2009. JP
9024802 A, 28.01.1997. US 5833762 A1,
10.11.1998.

(54) Автоматизированный комплекс очистки деталей и узлов подвижного состава

(57) Формула полезной модели

1. Автоматизированный комплекс очистки деталей и узлов подвижного состава, содержащий моечную камеру, внутри которой расположен поворотный стол, приводимый во вращение электрическим двигателем с редуктором, агрегат высокого давления, служащий для обмыва деталей и узлов подвижного состава, систему сбора и повторного использования отработанной жидкости, воздухораспылитель для сушки изделия после очистки, систему управления исполнительными механизмами, отличающийся тем, что комплекс дополнен многозвенным адаптивным манипулятором, который перемещает обмывочное устройство по определенной траектории в зависимости от конфигурации поверхности очищаемого изделия.

2. Автоматизированный комплекс по п.1, отличающийся тем, что управление движением манипулятора осуществляется на основе данных о пространственных координатах очищаемой поверхности изделия, формируемых при помощи системы технического зрения, состоящей из цифровой видеокамеры, лазерного модуля и микро-ЭВМ, по методу активной триангуляции.

RU 169641 U1

RU 169641 U1

**Патент на полезную модель № 107076:
«Автоматизированный комплекс дробеструйной очистки кузовов
подвижного состава железных дорог»**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 170076

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС
ДРОБЕСТРУЙНОЙ ОЧИСТКИ КУЗОВОВ ПОДВИЖНОГО
СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Омский государственный университет путей сообщения" (RU)*

Авторы: *Смирнов Виктор Александрович (RU),
Панов Кирилл Вячеславович (RU)*

Заявка № 2016125051

Приоритет полезной модели 22 июня 2016 г.

Дата государственной регистрации в
Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 13 апреля 2017 г.

Срок действия исключительного права
на полезную модель истекает 22 июня 2026 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **170 076** (13) **U1**(51) МПК
B60S 3/04 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**(12) ФОРМУЛА ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

(21)(22) Заявка: 2016125051, 22.06.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
22.06.2016

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 22.06.2016

(45) Опубликовано: 13.04.2017 Бюл. № 11

Адрес для переписки:

644046, г. Омск, пр-кт Маркса, 35, ФГБОУ ВО
"Омский государственный университет путей
сообщения"

(72) Автор(ы):

Смирнов Виктор Александрович (RU),
Панов Кирилл Вячеславович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Омский государственный
университет путей сообщения" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2264312 C1, 20.11.2005. RU
139971 U1, 27.04.2014. WO 2016093770 A1,
16.06.2016. US 4135533 A1, 23.01.1979.**(54) АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДРОБЕСТРУЙНОЙ ОЧИСТКИ КУЗОВОВ
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ****(57) Формула полезной модели**

1. Автоматизированный комплекс дробеструйной очистки кузовов подвижного состава железных дорог, содержащий дробеструйную камеру, внутри которой расположен робот мостовой конструкции, который перемещает сопло дробеструйного аппарата в продольном, вертикальном и горизонтальном направлениях в зависимости от конфигурации очищаемой поверхности по заданной траектории, формируемой системой числового программного управления в соответствии с заранее записанной программой, отличающийся тем, что комплекс дополнен системой предварительного трехмерного сканирования, которая автоматически формирует программу дробеструйной обработки в зависимости от формы геометрической поверхности очищаемого изделия.

2. Автоматизированный комплекс по п.1, отличающийся тем, что система предварительного трехмерного сканирования выполнена в виде двух сканирующих модулей, расположенных по обеим сторонам дробеструйной камеры на подвижном монорельсовом основании, каждый из которых содержит цифровую видеокамеру, лазерный модуль и микро-ЭВМ, и работает по принципу активной триангуляции с формированием цифровой трехмерной модели очищаемого кузова.

RU 170076 U1

**Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2019616586: «Планирование ремонта локомотивов»**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2019616586

Планирование ремонта локомотивов

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный университет путей сообщения» (RU)*

Автор: *Панов Кирилл Вячеславович (RU)*

Заявка № **2019615155**

Дата поступления **07 мая 2019 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **24 мая 2019 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

