

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 – 2020

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	15
1.3 Техническое оснащение предприятий по ремонту локомотивов	19
1.3.1 Средства механизации и автоматизации технологических процессов на предприятиях по ремонту локомотивов	20
1.3.2 Поточные линии ремонта локомотивов.....	28
1.4 Формы организации производства на предприятиях по ремонту локомотивов.....	30
1.5 Постановка цели и задач диссертационной работы	35
2 ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПРИЧИН ОКАЗЫВАЮЩИХ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА	36
2.1 Причины сверхнормативных простоев локомотивов на ремонтных предприятиях	37
2.2 Математическая модель исследуемого процесса	39
2.3 Выбор форм вероятностного распределения потока заявок и продолжительности ремонта и технического обслуживания локомотивов	45
2.4 Вероятность смены ремонтируемым локомотивом технологического участка.....	56
2.5 Вероятность возникновения нештатных ситуаций при ремонте локомотива.....	57
2.6 Адаптивность производственной структуры к изменениям технологического состояния локомотива.....	58
2.7 Выводы по второй главе.....	61
3 РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЛОГИСТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....	62
3.1 Общие принципы построения имитационных моделей.....	62

3.2	Программирование имитационной модели.....	65
3.3	Результаты расчета имитационной модели.....	72
3.4	Подтверждение адекватности имитационной модели	80
3.5	Выводы по третьей главе.....	81
4	РАЗРАБОТКА ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПОВЫШАЮЩИХ ГИБКОСТЬ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	82
4.1	Гибкая форма организации локомотиворемонтного производства.....	83
4.1.1	Имитационное моделирование гибкой формы организации ремонта локомотивов.....	88
4.1.2	Оценка гибкой формы организации производства.....	91
4.2	Повышения гибкости методов планирования и управления производственным процессом локомотиворемонтных предприятий	97
4.2.1	Система поддержки принятия решений при подготовке локомотиворемонтного производства	97
4.2.2	Определение запаса запасных частей при большой вариации объемов ремонта.....	101
4.3	Повышение гибкости и автоматизации технологических процессов производства.....	103
4.3.1	Разработка системы технического зрения.....	104
4.3.2	Автоматизированные комплексы для обслуживания и ремонта подвижного состава	114
4.4	Выводы по четверной главе	119
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	121
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	123
	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. Показатели эффективности железнодорожного транспорта в значительной степени устанавливаются надежностью, конструктивными параметрами и эффективностью использования локомотивов. Расходы на эксплуатацию, а также на содержание локомотивного парка составляют существенную часть суммарных расходов отрасли, из них ориентировочно 20% требуется 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.

Для существенного повышения грузо- и пассажирооборота железных дорог, предусмотренной транспортной стратегией РФ до 2030 года, за счет строительства новых и реконструкции существующих магистральных линий, обновления парка подвижного состава и повышение показателей его применения необходимо создание современной и эффективной производственной базы, обеспечивающей качественный ремонт локомотивов при минимальных затратах времени и ресурсов. Изменения должны содержаться не только во внедрение новых технологий ремонта, но и в модернизации технологической инфраструктуры, в сочетании с оптимизацией производственных процессов для снижения их себестоимости.

Степень разработанности. Изучение вопросов эффективного функционирования и совершенствования производственных процессов технического обслуживания и ремонта локомотивов, увеличение качества производственной деятельности локомотиворемонтных предприятий проводились научными коллективами ВНИИЖТ, ВНИКТИ, ВЭлНИИ, НИИТКД, МИИТ, РГУПС, УрГУПС, ДВГУПС, ИрГУПС, СамГУПС, ПГУПС, ОмГУПС. Существенную роль в решение данных 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. Просвиров, 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. Стараниями научных школ отраслевых вузов, научно-исследовательских и проектных институтов создана научно-методическая база в области оптимального проектирования, эксплуатации и ремонта подвижного состава. Наименее исследованным, 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 необходимо 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 траекторным 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 тракционным 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 сверхцикло-

вых 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 21 работа, 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 138 страниц основного текста, 53 рисунка и 14 таблиц.

1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ БАЗЫ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Тяговый подвижной состав наряду с инфраструктурой железной дороги является центральным элементом перевозочного процесса. Результаты работы которого в целом зависят от эксплуатационных параметров и показателей. Основная функция предприятий по ремонту локомотивов – обеспечение процесса перевозок исправным подвижным составом, который должен соответствовать требованиям безопасности движения, сохранности грузов и пассажиров при оптимизированном 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, обеспечение их безотказной работы, что является весьма сложной и ответственной задачей. Несмотря на усилия, предпринимаемые локомотивостроительными компаниями по повышению надежности и безотказности подвижного состава, главная роль в этом деле принадлежит локомотиворемонтным предприятиям.

На систему технического обслуживания и ремонта локомотивов большое влияние оказывают организация эксплуатации и их технология ремонта. Производства более совершенных локомотивов новых серий, увеличение участков обращения, использование передовых технологических процессов и аналогичных материалов, распространение прогрессивных методов труда — все это ведет к

трансформации 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»

Современная концепция обслуживания и ремонта локомотивов предполагает полное сервисное обслуживание заводами-изготовителями. Вся ответственность за техническое состояние тягового подвижного состава лежит на сервисных компаниях.

В подобной ситуации важным является постоянное совершенствование управления производственными процессами и повышение уровня надежности тягового подвижного состава при помощи современных научно обоснованных методов и средств [77].

На данном этапе остается высоким процент отказов и unplanned ремонтов на сети ОАО «РЖД», что говорит о недостаточном уровне надежности локомотивов, как новых серий, так и локомотивов старого поколения. На рисунке 1.1 представлены показатели надежности локомотивов в 2017 г. Сохраняется тенденция ухудшения показателей технического состояния тягового подвижного состава.

На сегодняшний день всеми параметрам надежности, соответствуют только электровозы серии ЭП2К, 2(3)ЭС5К и ЭП1. Не обеспечена положительная динамика по снижению unplanned ремонтов и случаев отказов локомотивов производства ЗАО «Трансмашхолдинг» по сериям 2(3)ЭС4К, 2ТЭ116УД и ЭП1М.

Наибольший рост отказов приходится на электровозы серий 2ЭС10 и 2ЭС6 производства АО «Группа Синара». При этом 2ЭС6 является достаточно массовым электровозом на сети Западно-Сибирской, Свердловской и Южно-Уральской

железнодорожной и является основной моделью заменяющей старые серии электровозов постоянного тока на данных полигонах.

Простой по причине не исправности данной серии локомотивов ежедневно составляет около 50 единиц в летний период и 90 в зимний, из 643 электровозов общей численности. Основные узлы выходящие из строя является: тяговый электрический двигатель и повышенный износ бандажей колесных пар. Особенно нужно отметить массовый отказ тяговых двигателей электровозов 2ЭС6 в зимний период, по причине пробоя изоляции, а также снижения уровня мощности тягового двигателя из-за повышенной влажности в тяговом двигателе.



Рисунок 1.1 – Среднесуточное пересодержание локомотивов, ед/сут

В дополнении можно отметить, что оказываемые услуги сервисными компаниями по ремонту и обслуживанию локомотивов оставляют желать лучшего, по всей территории сети ОАО «РЖД». Управление дороги изымает из эксплуатации более 1000 локомотивов в сутки, по причине длительного сверхнормативного простоя на плановых видах ремонта, заходы на межпоездной ремонт и ожидание свободных ремонтных позиций [12].

Существует ряд проблем в сервисных компаниях, но в целом можно отметить, что их работа находится на удовлетворительном уровне, но в единичных случаях проявляется неисполнения программы ремонта. В частности, по Дальневосточной дирекции при ремонте тепловозов, эксплуатирующихся на плечах Бай-

кало-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). Суммарная продолжительность простоя электровозов и тепловозов на неплановом ремонте составляет 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 %.

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

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). Пониженный уровень технической надежности и неисполнение технологии ремонта заводами и депо призывают ОАО «РЖД» сохранять на производстве дольше норматива предположительно 1400 локомотивов.

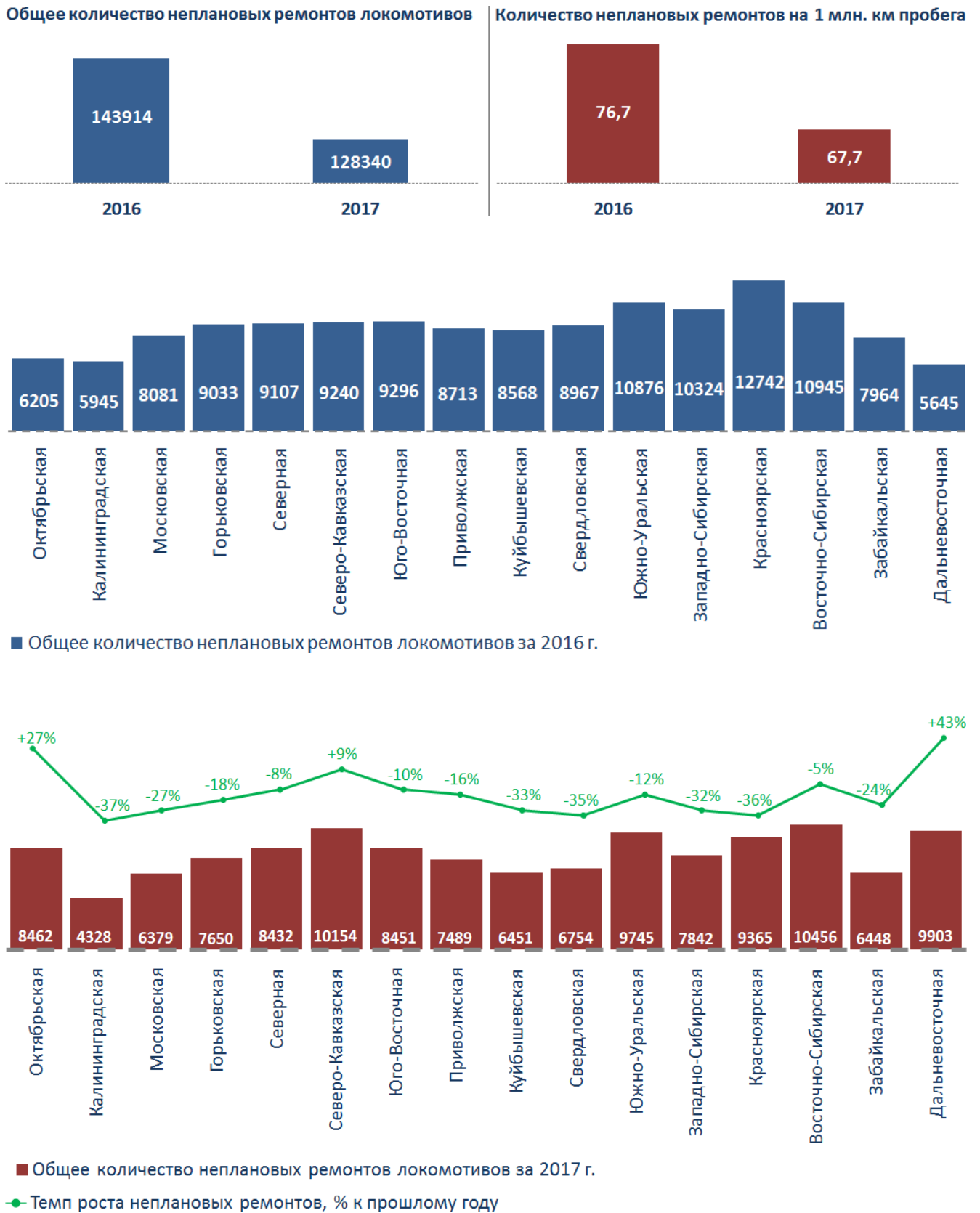


Рисунок 1.2 – Показатели unplanned ремонтов локомотивов на сети
 ОАО «РЖД»



Рисунок 1.3 – Факторы, повышающие техническую надежность локомотивов

Данное обстоятельство вынуждает 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].

Локомотиворемонтное производство ОАО «РЖД» содержит в себе 111 сервисных локомотивных депо, 46 депо по ремонту и ТО мотор-вагонного подвижного состава, 10 заводов по капитальному и среднему ремонту ОАО «Желдорремаш». К категории основных (базовых) депо относятся 55 локомотиворемонтных предприятий, в которых находится производство в объеме ТР- 3 и средних СР ремонтов локомотивов, в прочих производятся текущие ремонты и ТО. При ремонте локомотивов задействовано более 45 тысяч слесарей по ремонту тягового подвижного состава.

1.2 Используемые и перспективные системы управления техническим состоянием локомотивов

Система технического обслуживания и ремонта устанавливает ряд мероприятий по поддержанию локомотивов в работоспособном и исправном состоянии, восстановлению ресурса различных деталей и узлов при использовании по

назначению, транспортировке, ожидании и хранении обеспечивающий возможность увеличения технико-экономических показателей его эксплуатационной работы. Т.е. назначает виды технического обслуживания и ремонта, их содержание, метод и способ назначения. На рисунке 1.4 представлены системы ТО и ремонта используемые на сети железных дорог разных стран.

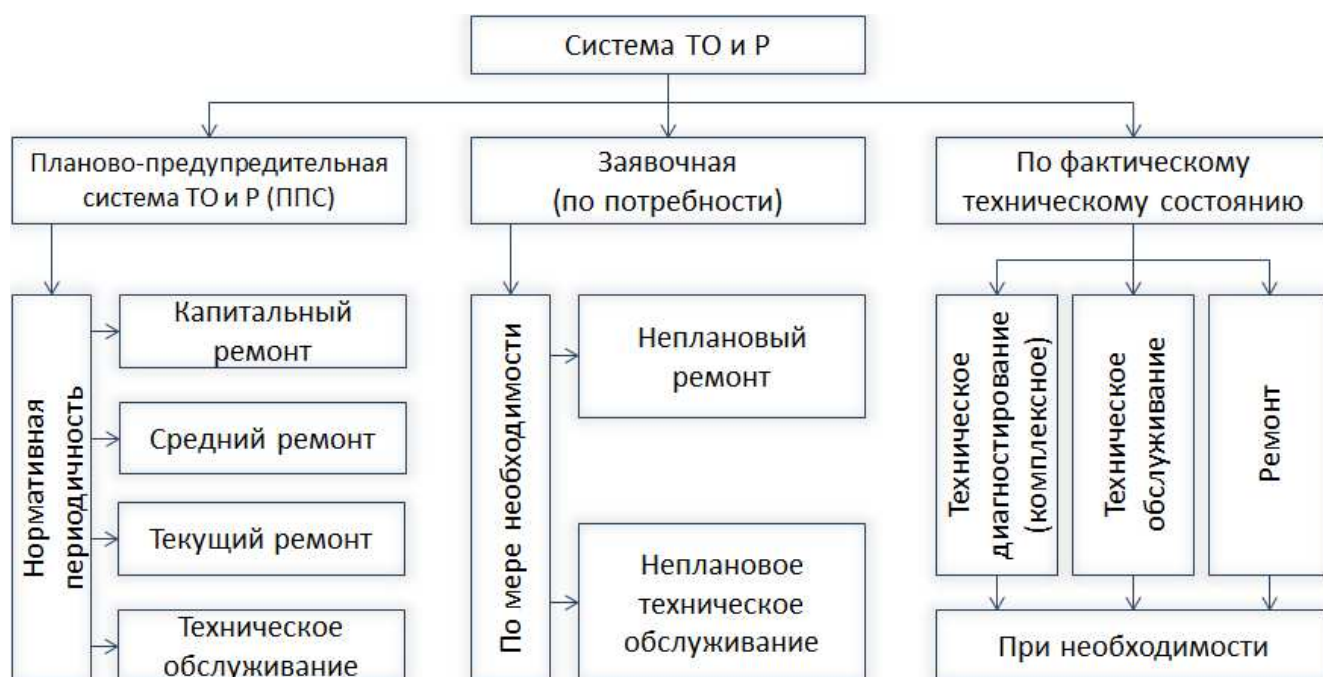


Рисунок 1.4 – Классификация системы ТО и ремонта подвижного состава

В настоящий момент на железных дорогах Российской Федерации и большинства стран установлена планово-предупредительная система (ППС) ремонта подвижного состава по пробегу, предполагает несколько видов технического обслуживания и ремонтов. Классификация планово-предупредительной системы ремонта показана 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].

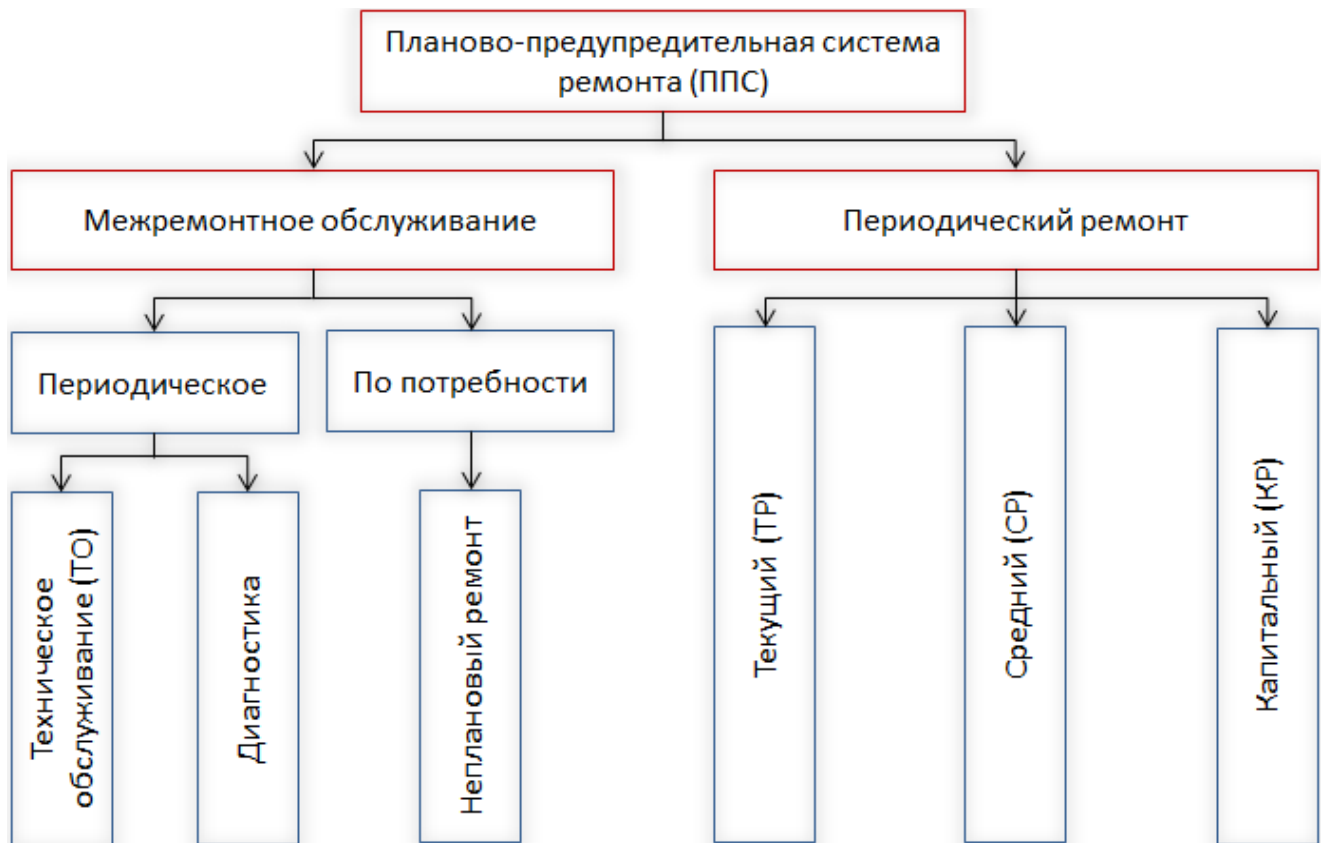


Рисунок 1.5 – Схема планово-предупредительной системы ТО и Р

Отдельные виды технического обслуживания предназначены для подготовки локомотивов к различным видам хранения, подготовке к транспортированию или к использованию после производства, капитального ремонта, а также перебазированию – ТО-5а, ТО-5б, ТО-5в.

Подготовка производства для проведения среднего или капитального ремонта требует значительных средств для приобретения технологического оборудования, строительства и подготовки производственной инфраструктуры, наличия инженерно-технического и высококвалифицированный рабочих, упорядоченного производственного процесса в области документооборота. В следствии чего, проведение подобных видов ремонта возможно только на базе наиболее крупных ремонтных депо и на ремонтных заводах.

ППС предоставляет отличные условия для планирования процесса выполнения готовности локомотивов к исполнению работ; рациональной и последова-

тельной подготовки инженерно-технического персонала, инструментов обслуживания и оборудования.

Однако система имеет недостатки, связанный с тем, что техническое обслуживание и ремонт выполняется без учета технического состояния узлов и агрегатов, что допускает техническое обслуживание и ремонт абсолютно исправных деталей и узлов локомотива и, следовательно, приводит к увеличению расходов на содержание системы [103].

При ППС финансово-экономические показатели формировались в зависимости от количества и объёма выполненных работ: чем больше количества ремонтов, тем больше прибыль. При сервисной системе финансово-экономические показатели формируются от коэффициента технической готовности и фактического пробега, а также времени нахождения локомотива в обращении. Следовательно, у сервисных компаний появляется стимул к увеличению производительности, эффективности управления техническим состоянием тягового подвижного состава, сохранению на заданном уровне коэффициента технической готовности (КТГ), а также развитие системы ТО и Р для снижения издержек на ремонт каждого локомотива [1, 51].

На данный момент, за счёт распространения диагностических систем появляется перспектива перейти на ремонта локомотивов с учётом их фактического технического состояния, что допускает существенное снижение затрат обслуживания локомотивного парка. Однако, пока еще не удалось никому полностью перейти на ремонт локомотивов по фактическому техническому состоянию [6].

В сложившихся условиях целесообразно внедрить в организацию планово-предупредительного ремонта принцип обслуживания по фактическому техническому состоянию локомотива. В таком случае техническое обслуживание и ремонт назначается по наработке тягового подвижного состава и с помощью средств технического диагностирования определяется состояние узлов и агрегатов и назначается фронт технических операций [8, 8].

Концепция такому решению может служить рост конструкционной надежности и контролепригодности оборудования тягового подвижного состава, а глав-

ным образом, резкое увеличение современных средств контроля и прогнозирования технического состояния соответствующих узлов или деталей на этапе эксплуатации. Ремонт по техническому состоянию, в конечном счете, благоприятно скажется на суммарной трудоемкости и снизит издержки, а также уменьшит количество возможных отказов, которые появляются после вмешательства в сборочные узлы при плановом демонтаже и ревизии абсолютно исправного 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, вынужденной 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 меха-

низмов. 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

Главной особенностью различных средств технического и технологического оснащения локомотиворемонтных предприятий является их специфичность, обусловленная нетривиальностью, нестандартностью объектов восстановительных операций и самого технологического процесса. Характерным для крупных видов ремонта локомотива являются технология очистки, разборки и сборки узлов и аг-

регатив, диагностирования и испытаний оборудования, неразрушающего контроля и восстановления ресурса изношенных деталей. Для технического обслуживания и текущего ремонта – методы осмотра, ревизии и контроля восстановительных работ, сопряженных с наладкой, заменой различных износившихся деталей, контроля гаечных элементов, различной слесарной и токарной обработки, экипировки локомотива, обточка колесной пары, смены масла в различных трущихся деталях [21].

Неудовлетворительного качества плановых осмотров и текущего ремонта является причиной частого захода локомотивов на неплановый ремонт. За счет широкой механизации производственных процессов можно повысить качество ремонта локомотивов и достичь высоких показателей производительности труда и сокращение времени обслуживания, т.е. провести комплексную оптимизацию [66].

Структурная схема технологического процесса ремонта или технического обслуживания без снятия деталей или узлов с подвижного состава представлена на рисунке 1.6. Технологический процесс для крупного вида ремонта ТПС можно представить в виде структурной схемы (рисунок 1.7).

В цехах с технологией разборки и сборки локомотивов, ремонта механической части, ремонта электрических машин сконцентрирован основной объем технологических операций с большой трудоемкостью и временем затраченных на операции. Технологические операции, такие, как сборочно-разборочные, монтажно-демонтажные операции, наплавка и механообработка, промежуточный контроль отдельных узлов и испытания локомотивов в сборе после ремонта преобладают большим количеством технологических операций.

Разнообразие технологических операций и широкий спектр, как деталей и узлов, существенно отличающихся по конструкции, так и самих локомотивов, приводит к сложности комплексной механизации предприятий по ремонту локомотивов. Классификацию нестандартного механизированного оборудования, применяемого при ремонте локомотивов можно увидеть на рисунке 1.6.



Рисунок 1.6 – Классификация механизированного оборудования для ремонта ТПС

Наиболее распространенные признаки, оказывающие влияние на эффективность операций и производительность легли в основу классификации. Наиболее важным из этих признаков являются: специфика технологического процесса, тип привода, приспособления для захвата и удержания объекта обработки, степень и уровень механизации и автоматизации, а также специфика конструкции оборудования.

Степень механизации и автоматизации технологических цехов и участков зависит от масштаба производства. Для производства с малым объемом ремонта и широким перечнем объектов ремонта распространено применение постового метода ремонта совместно с использованием средств малой механизации широкого спектра использования, универсальной оснастки и приспособлений, механизированного инструмента, не требующих существенных инвестиционных затрат [71].

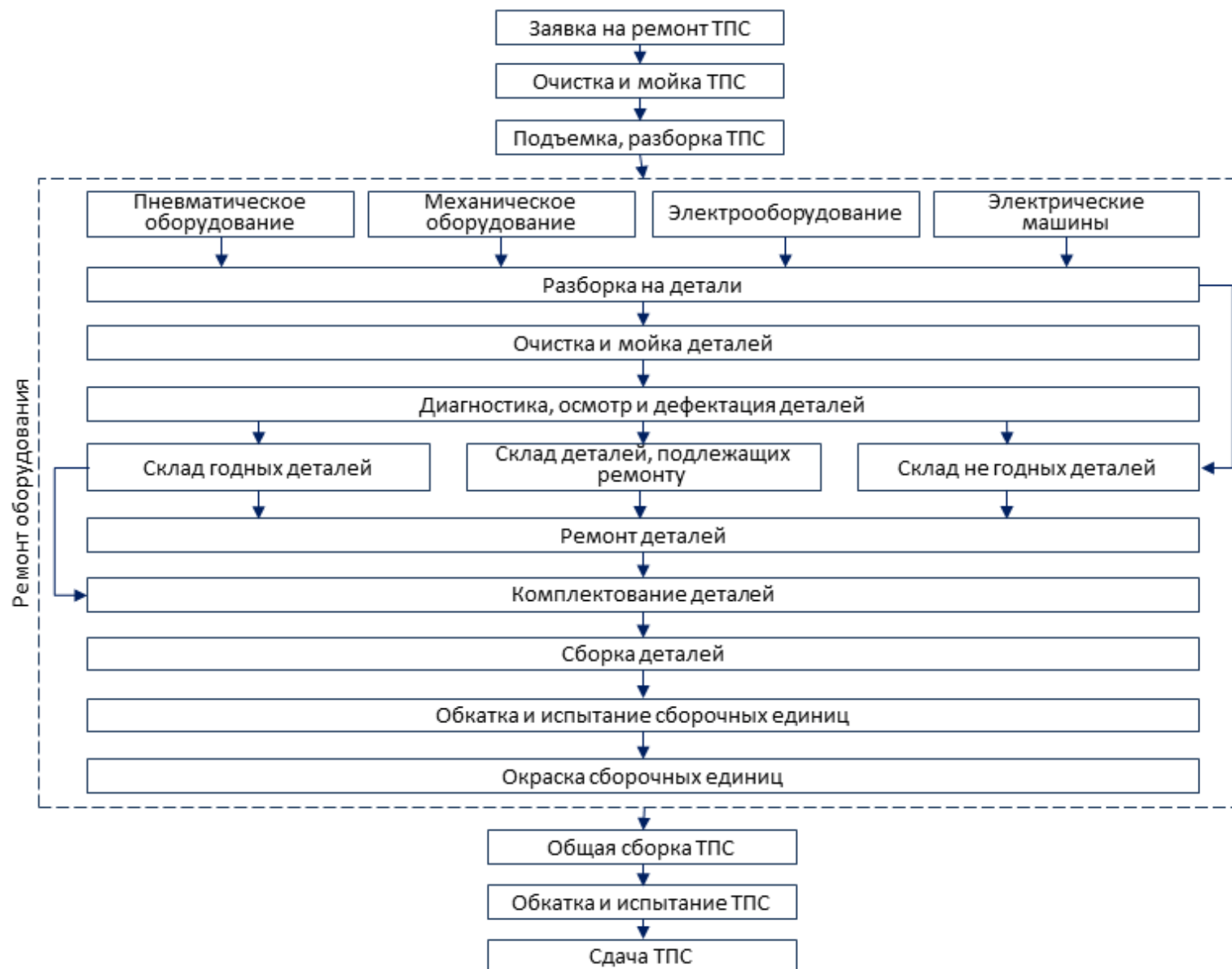


Рисунок 1.7 – Структурная схема технологического процесса ремонта ТПС



Рисунок 1.8 – Структурная схема технологического процесса технического обслуживания ТПС

Поточные линии, в крупных специализированных предприятиях ремонта локомотивов образуются путем объединения различных механизированных участков с специальными транспортными устройствами. Поточные линии очистки, сборки и разборки, ремонта колесных пар, кузова, тележек, тяговых электродвигателей, вспомогательных электрических машин, автосцепок получили большую популярность (рисунок 1.9).

В продаже представлено достаточно много механизированное технологического оборудования для выполнения наиболее трудоемких операций: очистка, механическая обработка, сварочные работы, шлифование поверхностей; сборки и разборки; неразрушающего контроля и испытаний; пропитки, сушки изоляции, нанесения лакокрасочных материалов и дробеструйной обработки.

На территории России представлены следующими производителями подобного механизированного оборудования: машиностроительные заводы – стандартное оборудование (таночное, сварочное, наплавочное, прессовое); заводы капитального ремонта (например, ОАО «Желдорреммаш») – нестандартное оборудование для ремонта, различные средства механизации технологических операций; научно-исследовательские и опытно-конструкторские организации, а также отраслевые университеты; малые научно-производственные предприятия РФ; частные компании – CAM INNOVATION, Siemens, ElmotecStatomat и т.д.

Для операций ремонта электрических машин (продорожки фазок коллектора, разборки и сборки якоря, слесарной обработки железа остова и установке обмоток якоря, снятию и установке полюсной системы остова), на которые приходится 50% всех трудозатрат электромашинного цеха, по большей части отсутствует типовое оборудование механизации. И только в половине случаев предложения на рынке могут компенсировать потребности в механизированном оборудовании для капитального ремонта тяговых двигателей [68].

Зарубежные компании не могут полностью убрать недостаток современного оборудования в этом направлении, т.к. представлены в основном стандартные позиции с аналогичным применением, но цены существенно превышают отечественные.



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 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 четверти наиболее трудоемких технологических операций производятся по средствам стандартного оборудования (чаще всего слесарного инструмента), без какой-либо степени механизации, и чаще всего 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 определяется низким уровнем автоматизации, с большой долей участия работника. 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].

Нынешняя фаза развития средств механизации и автоматизации ремонта локомотивов железных дорог определяется сменой от механизации отдельных технологических процессов и операций к комплексной механизации и автоматизации производства. С помощью средств механизации, можно гарантировать сокращение большей части рабочих и оказать существенное влияние на КТГ локомотива, качества и себестоимости технического обслуживания и ремонта.

Распространение роботизированного технологического оборудования на основе систем программного управления является следующим этапом модерниза-

ции механизированных комплексов ремонта локомотивов, что окажет влияние на технологические процессы и сократит территорию цехов и участков за счет концентрации процессов в одном составе позиции (в отличие от классических методов по принципу поточных линий); максимальную производительность технологических комплексов и качество операций; приспособляемость технологических установок к ремонту локомотивов различных серий, обладающими принципиальными конструктивными отличиями; снижение времени проведения операций; сокращение энергозатрат на сохранение комфортной среды рабочей зоны в следствии отсутствия диспетчера (оператора), либо его ограниченного пребывания (сохранение благоприятной температуры, качества воздуха, уровня освещенности).

Использование роботизированных комплексов вырабатывает в будущем вероятность применения принципиально новых решений технологического процесса, которые не связаны с ограничениями при прямом участии персонала, а опыт зарубежных стран показывает, что эксплуатация промышленного роботизированного оборудования подразумевает рост производительность труда в среднем в два раза.

Единственным затруднением повсеместного внедрения промышленных роботов в производство является их сравнительно высокая стоимость. В тоже время, скорое расширение масштаба производства работотизированного оборудования (благодаря интенсивному распространению в сельском хозяйстве, сфере обслуживания, добывающей и перерабатывающей промышленности) в скором времени гарантирует их большую популярность для использования на локомотиворемонтных предприятиях.

1.3.2 Поточные линии ремонта локомотивов

На предприятиях по ремонту локомотивов повсеместное внедрение поточные механизированные линии разборки и сборки подвижного состава, очистки, ремонта тележек, ремонта кузова, автосцепных устройств, тяговых электрических

двигателей, вспомогательных электрических машин, колесных пар, роликовых подшипников, деталей тормозной рычажной передачи и другие.

Классификация механизированных и автоматизированных поточных линий ремонта подвижного состава представлена на рисунке 1.10. В концепцию классификации приняты широко распространенные признаки, оказывающее влияние на производительность и организационно-технологическую способность линий, отражающие специфику (основные аспекты) ремонтного производства.



Рисунок 1.10 – Поточных линий локомотиворемонтного производства

Признаки положенные в классификацию –это характер, специализация и ориентированность технологичности поточных линий, вместимости объектов обработки, объема и охвата механизации операций, степень автоматизации технологических операций, специфика и принцип технологического процесса, тип ремон-

тируемого объекта, устойчивости сохранения ритма, способ и средства поддержки ритма, транспортировка объектов ремонта, продолжительность операций и время межоперационной переадаптации.

Черта применимости различных видов поточных линий при ремонте локомотивов устанавливается совокупностью параметров, которые определяют массогабаритные характеристики транспортируемых деталей и узлов, архитектурные, проектировочные и чертежные планы участков и цехов, интенсивность грузовых потоков [90]. Для достижения экономического эффекта, при увеличении количества механизированных и автоматизированных участков восстановительных операций, происходит объединение всех систем в единый комплекс ремонта локомотива [72].

1.4 Формы организации производства на предприятиях по ремонту локомотивов

Формой организации производства называют систему перемещения предметов труда, рабочего персонала и объектов обработки на предприятии относительно технологических позиций и участков производства. Формы организации обуславливаются характером типа производства. Разделяют формы организации сборочного и обрабатывающего производства. Формы организации ремонтного производства идентичны формам организации сборочного производства [98].

По функциональному принципу и характеру привязки к объекту ремонта все способы организации производства возможно разделить на две группы – неподвижные (нестационарные) и мобильные (стационарные). Нестационарные отличаются тем, что происходит перемещение средств ремонта и персонала непосредственно к объекту ремонта, при этом объект ремонта неподвижный. Примером стационарной формы организации производства является постовой метод, получивший широкое распространение для сборочных и ремонтных цехов мелкосерийного и штучного производства. Для стационарные, напротив, типично передвижение объектов восстановительных операций сравнительно технологических

позиций [19]. Классификация форм организации локомотиворемонтного производства представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Характеристики форм организации локомотиворемонтного производства

Сравнительные характеристики	Формы организации локомотиворемонтного производства		
	Постовая	предметно-замкнутый цикл	поточная
Выполнение производственного процесса	На одной специализированной позиции	В ряде групп специализированных позиций	В комплексе узкоспециализированных 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	Низкие	Средние	Наиболее высокие

Типичные формы организации производства включают: цеховое, постовое, поточное производство и производство по предметно-замкнутому циклу (рисунок 1.11).

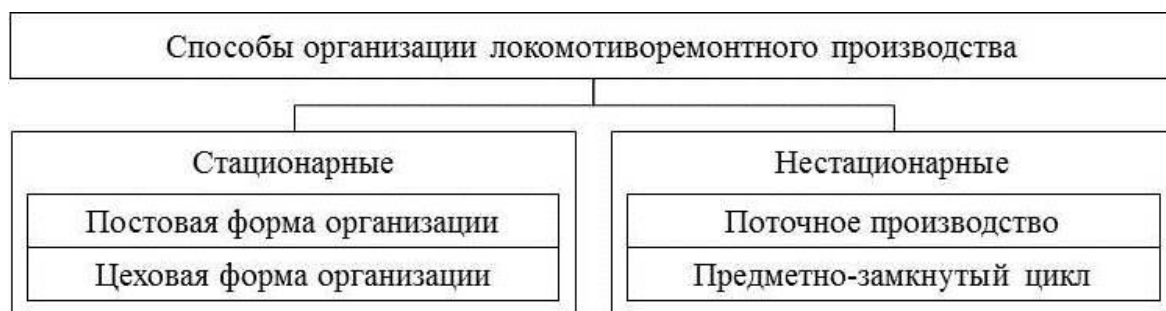


Рисунок 1.11 – Способы организации локомотиворемонтного производства

Одной из разновидностей стационарного способа организации локомотиворемонтного производства, является постовая форма, которая прикрепляет ремонтируемый объект к определенному месту до конца всего технологического процесса. материальных потоков сдерживается передвижением между местом хранения материалов и комплектующих, персоналом и примыкающими цехам и участкам.

Концепция постовой формы организации производства приобрела большую популярность для цехов со сборочным характером операций локомотиворемонтных предприятий, участков и цехов с малой серией ремонта и единичного производства для крупноразмерных объектов или единиц с несущественным списком технологических операций ремонта.

Ориентацию на технологию обработки деталей и узлов имеет цеховое производство, где рабочие места находятся без взаимосвязи с материальным потоком. Данные условия типичны для участков производства, предназначенных для проведения операций фрезерного или токарного типа технологических мероприятий.

Промежуточной формой между формой ориентированной технологию и на объект ремонта является организация производства по предметно-замкнутому циклу (рисунок 1.12). За счет наличия от четырех до шести рабочих мест, которые несут разную технологическую функцию, и располагают их циклично и независимо от участка или цеха, организуя при этом замкнутый технологический цикл.

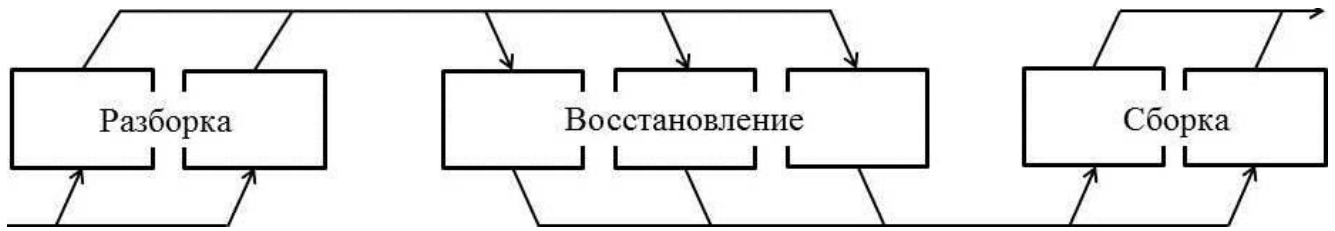


Рисунок 1.12 – Предметно-замкнутый цикл производства

Поточное производство (рисунок 1.13) представляет закрепление технологического цикла «к месту и времени». Что подразумевает, что рабочие места располагаются чётко пропорционально с последовательности операций, через которые двигается объект восстановительных операций (например, по кругу, по прямой линии или U-образно). Подобный метод с привязкой к объекту восстановительных операций и строение технологического процесса не исключает факт существования объектов аналогичных или в большей степени схожих с внушительной численностью восстановительных операций, что имеет место быть обстановке производства с большим объемом восстановительных операций, например, ремонтных заводов или базовых депо [98, 78].

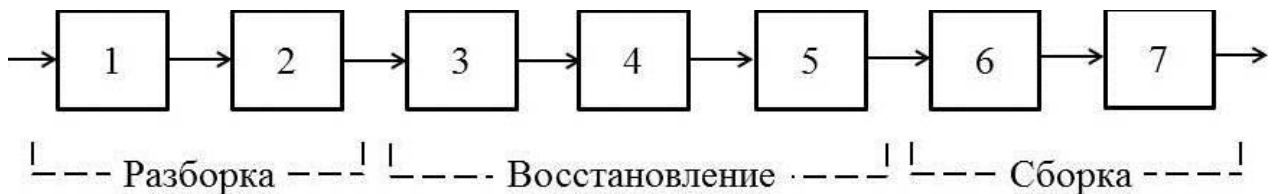
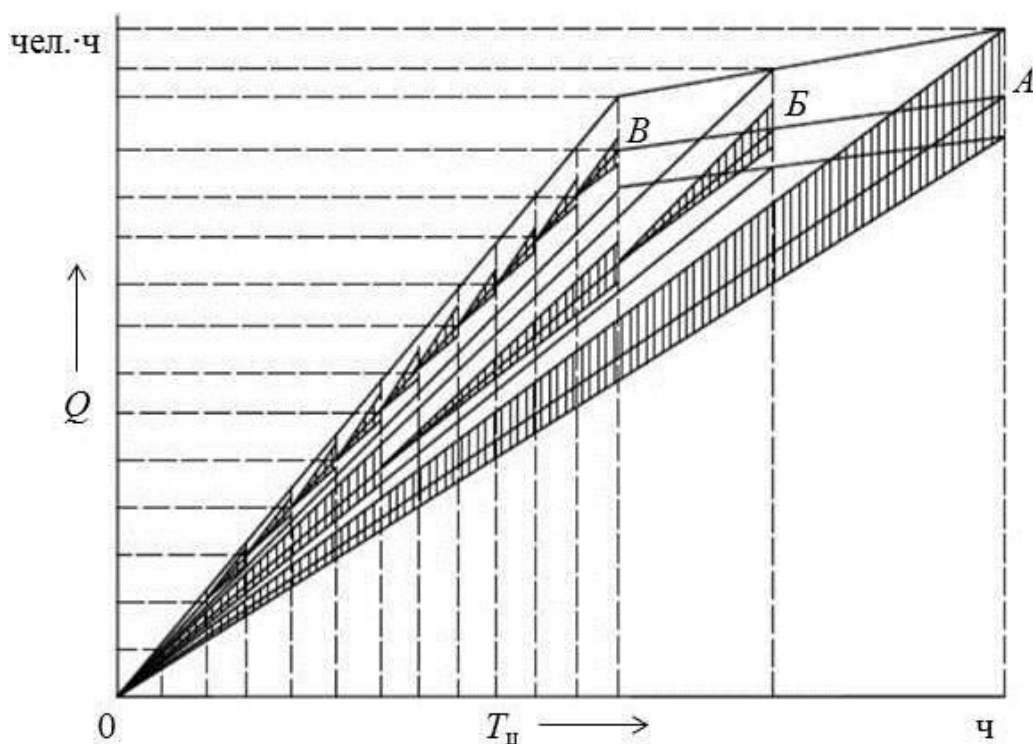


Рисунок 1.13 – Организация производства поточного метода.

Данная форма может использоваться в массовом и серийном производстве при регулярной цикличности производственного процесса, односерийном плане ремонта, существенном размере выпуска и его неразрывности во времени. Эта форма используется 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

Разбитые позиции восстановления, разборки и сборки (точка Б) создают экономический эффект использования трудовых ресурсов. В точке А организована одна позиция, что уменьшает экономический эффект за счет многочисленных манипуляций и переходов рабочего персонала.

За счет увеличения количества позиций (точка В) можно достичь более эффективного применения рабочего времени при ремонте локомотивов и обеспечить повышение производительность труда, уменьшив при этом длительность производственного цикла [98].

Ни одной из приведенных форм организации производства ремонта локомотивов не может быть отдано однозначное предпочтение, а резерв повышения эффективности существующих форм организации практически уже исчерпан. Эффективным методом разрешения сложившихся проблем является формирование так называемых объединенных (интегрированных) форм организации производ-

ства, совмещающих большую производительность поточных линий с приспособляемостью (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 нарушений 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: неудовлетворительное качество ремонта (совершенствование технологического процесса, наказание виновных, обучение), неудовлетворительные запасные части (смена типа комплектующих, смена поставщика, наказание поставщиков); несоблюдение правил эксплуатации (изменение условий эксплуатации, обучение, отнесение затрат на виновную сторону); нарушение технологического процесса ремонта (смена технологических карт); конструкционный отказ (изменение конструкции, отнесение затрат на завод-изготовитель); деградационный отказ (изменении сроков планово-предупредительных ремонтов) [81].

Количество сверхцикловых работ и unplanned ремонтов сокращает время пребывания локомотива в работоспособном состоянии, тем самым локомотив не выполняет свои эксплуатационных функции. Отношение полезной (коммерческой) продолжительности эксплуатации локомотива к суммарному реально оценивает, как эффективность применения локомотива, так и его надёжность.

Для предприятий по ремонту локомотивов в качестве решающего параметра, целостно определяющего непродуктивный простой тягового подвижного состава, установлен коэффициент технической готовности (КТГ).

КТГ напрямую зависит от надежности локомотивов. Обычно в РЖД при анализе технической надёжности тягового подвижного состава берётся параметр «Количество отказов на 1 млн. км пробега» или «Количество unplanned приходов локомотива на предприятие». Исследования показали, что использование этих показателей не хватает для предприятий по ремонту локомотивов [80].

КТГ просчитывается по формуле:

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

где $T_{\text{рсп}}$ – общая продолжительность нахождения локомотива в исправном состоянии;

$T_{\text{тр}}$ – общая продолжительность нахождения локомотива n-ой серии в неисправном состоянии в связи с гарантийным ремонтом;

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

$T_{\text{ан}}$ – суммарная продолжительность ожидания обслуживания локомотива n-ой серии, а также другие управленческие затраты, которые зависят только от действий исполнителя.

В качестве показателя, учитывающие потери от низкой надежности локомотивов, взяты: сверхцикловые операции, осуществляемые на предприятии в добавок к операциям, рассчитанным планово-предупредительной системой ремонта (ППР); число и время затраченное на неплановый ремонт.

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 возникает длительные простои на плановых ремонтах больше необходимого нормированного срока (сверхцикловые 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 приносят значимости.

В организации производства выделяют два вида технологических затрат: затраты, обязательные для функционирования системы; затраты, не представляющие необходимость для функционирования системы. Последние и оказываются в зоне внимания представленного ключевого параметра эффективности.

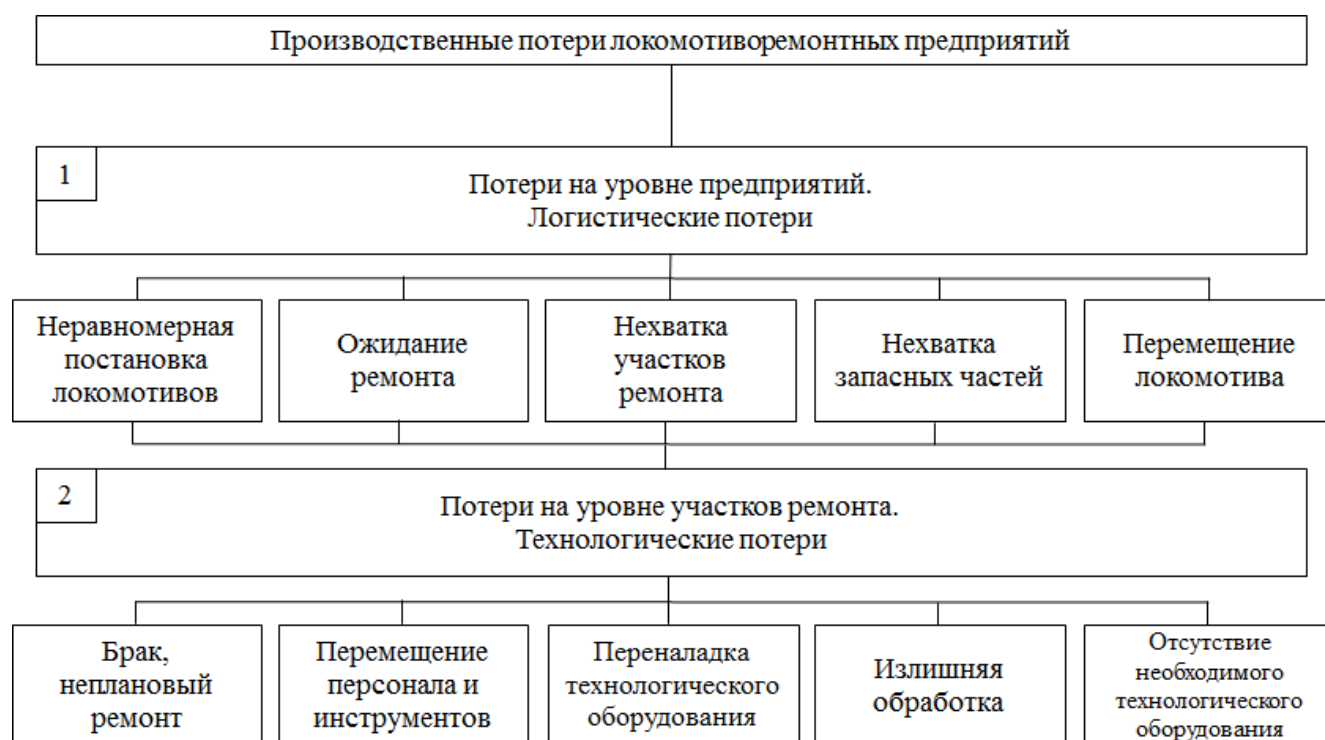


Рисунок 2.1 – Классификация видов причин простоев локомотивов на предприятиях

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 системы технического обслуживания и ремонта насчитывают 34,5% (с учётом ТО-2); на ТО-2 потери КТГ, из всех видов техниче-

ского обслуживания, достигаются более большие (9,5%); неплановые виды ремонта (НР) параллельно с ожиданием НР и ожиданием передислокации локомотива составляют 27,2% в потерях КТГ (из-за с низкой надежности единиц ремонта) [80].

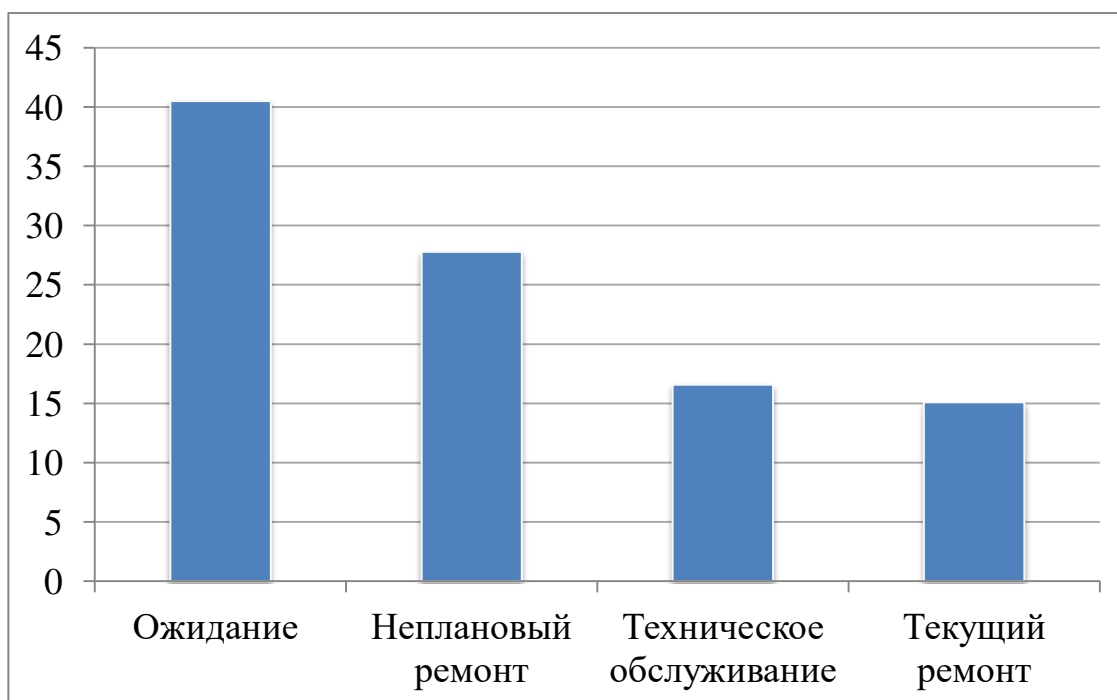


Рисунок 2.2 – Причины снижения КТГ, %

Суммарные потери КТГ, связанные с организацией ремонта, насчитывают 73,9 %. Соответственно, возрастание эффективности эксплуатации локомотивов значительно подчиняются от взятой системы организации.

2.2 Математическая модель исследуемого процесса

Концептуальная модель – это описательная модель, отражающая понятие автора о природе исследуемого явления или процесса. Структуру концептуальной модели разделяют на три стадии: определение 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 восстановления на производстве локомотив может размещаться на последующих позициях: S_0 – ожидание ремонта (пребывание 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.

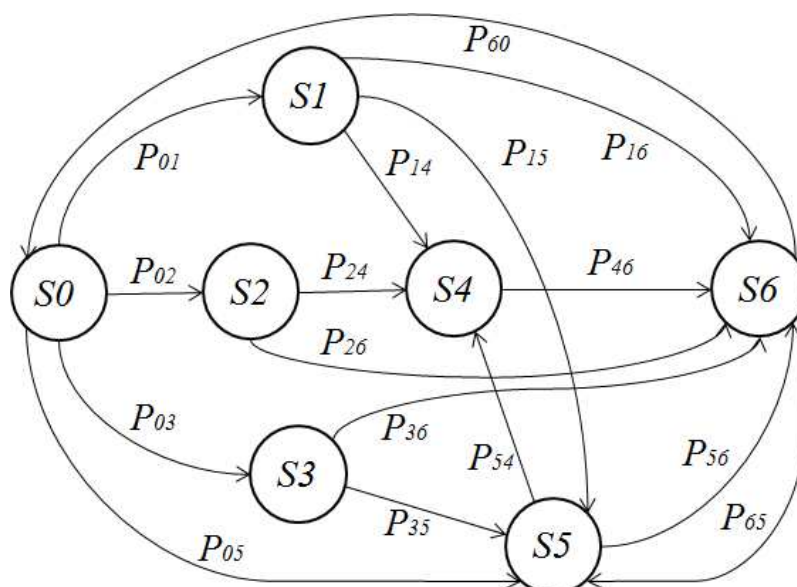


Рисунок 2.3 – Граф технологический состояний ремонтируемого локомотива

Перехода локомотива на предприятии из текущего состояния восстановительной операции S_i в другое S_j (т.е. смена ремонтируемой единицей из одной технологической позиции на другую) устанавливается вероятностью P_{ij} . Следовательно, зависимость (взаимосвязи) технологических переходов объекта ремонта в депо можно будет рассматривать в виде булевой матрицы бинарных отношений.

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

где n – число вершин графа и соответственно технологических участков, $n = 8$;

$P_{ij} = [0, 1]$ – вероятность перехода, взаимосвязь между i -й на j -й позицией:

$P = 1$, если действие выполняется неизбежно, $P = 0$ если связь отрицается.

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

Аналогичную матрицу, но только уже для материальных потоков единиц ремонтируемого подвижного состава возможно рассмотреть 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 $h_{ij}^R = (r_i, r_j)$ – плотность (интенсивность) движения единиц между позициями ремонта r_i и r_j , ед./час: $h_{ij}^R \neq 0$, в том случае, когда материальная связь и обмен единицами ремонта между элементами технологической системы существует; $h_{ij}^R = 0$ в прочем обстоятельстве.

При постовой структуре преобладающее распределение материального потока производится через вход и выход технологической системы, содержащей прямые связи с каждой технологической позицией:

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

Только при условии $h_{ij}^R = 0, i = j$, данное выражение может быть использовано. Поток локомотива и материалов внутри технологической позиции не рассматривается; численность отремонтированных и пребывающих в процессе ремонта объектов на момент времени T равно числу пришедших в технологическую систему:

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

где $H(T)$ – совокупное количество пришедших локомотивов за время T .

При поточной форме организации производства допустимо охарактеризовать базирование значащих элементов матрицы $h_{ij}^R \neq 0$ вдоль главной диагонали:

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

Сетевую структуру материальных потоков может определять цеховое производство и производство по предметно-замкнутому циклу, но при этом различные элементы матрицы рассредоточены по плоскости выше или выше и ниже главной диагонали.

Технологическая подготовка и перенастройка 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 ($t = 0$, в том случае, если перенастройка и подготовка не требуется).

Создание движения заявок на обслуживание, по типу потока заявок на ремонт с плотностью захода на восстановительные операции, 1/день (час).

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

Среднесуточный план ремонта:

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

При следующем этапе формирования имитационной модели производится реализация алгоритма моделирования (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 [96].

Закономерность – это регулярность и однотипность, происходящее в каком либо процессе или явлении. При анализе процессов и явлений используют статистические методы, которые позволяют выявлять устойчивые тенденции и строить на этой основе теории, предназначенные для их объяснения [69].

Необходимость выбора законов распределения потока заявок, и продолжительности переходного этапа в большинстве ситуациях определяется тем, что крайний позволяет составлять немаловажную часть рабочего периода системы, а закон распределения входного потока заявок позволяет проявить значительное воздействие на статистические характеристики выходных параметров системы массового обслуживания. Поскольку, не рассматривается период нестационарности и факторов воздействия вида закона распределения потока заявок, очень трудно повысить эффективность рабочих характеристик системы в общем и 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 чрезвычайно сложных и ответственных задач [89].

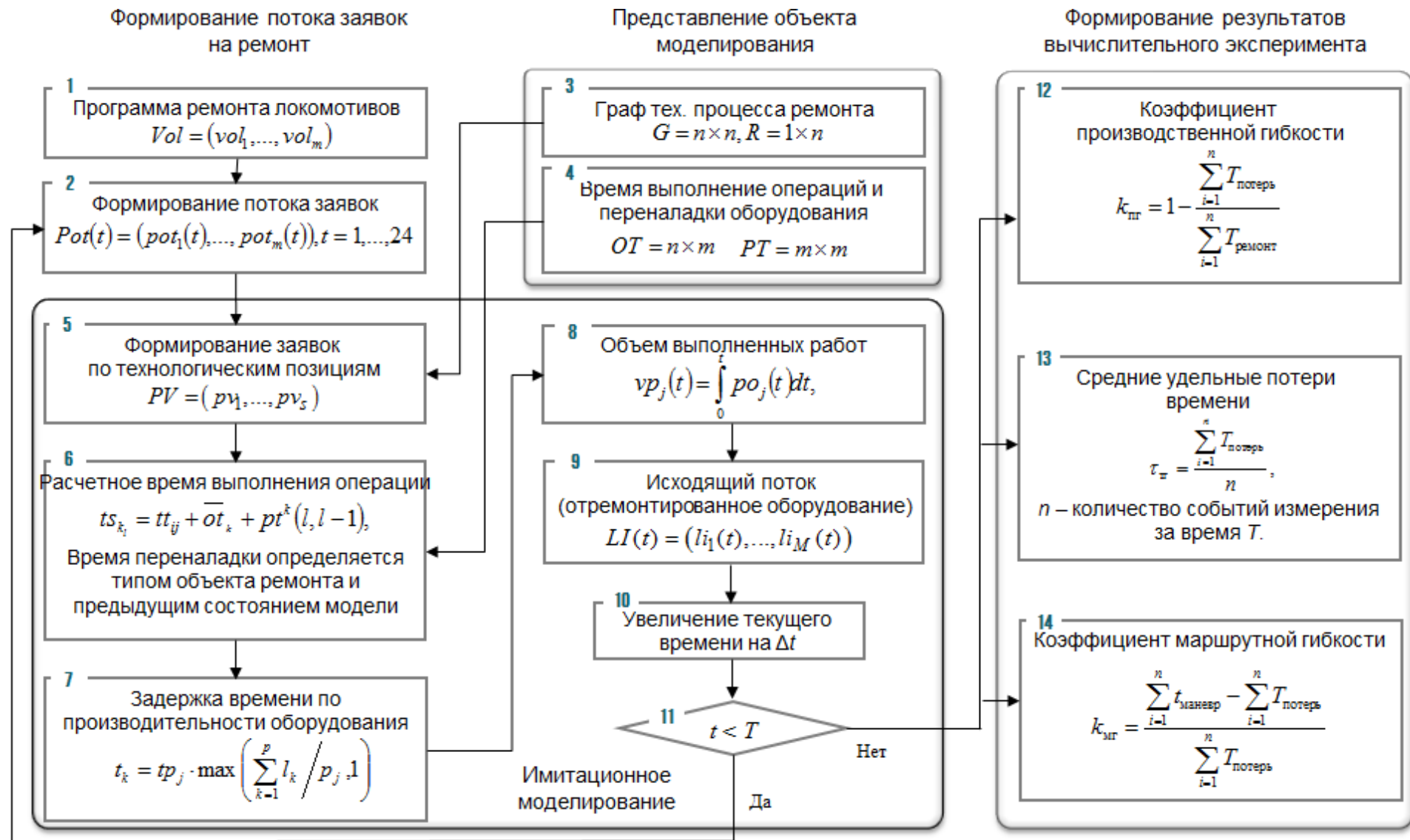


Рисунок 2.4 – Алгоритм имитационного моделирования

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. В результате анализа были получены выборки значений продолжительности 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 в таблице 2.1, 2.2.

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

№ п/п	Параметр	$t_{пр}^{ТО-2}$	$t_{пр}^{ТО-4}$	$t_{пр}^{ТР-1}$	$t_{пр}^{ТР-2}$	$t_{пр}^{ТР-3}$	$t_{пр}^{НР}$
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

Рассчитывать время поступления на техническое обслуживание ТО-4 $t_{\text{пр}}^{\text{ТО-4}}$ не было необходимым, т.к. операции данного вида обслуживания локомотивов производятся после выполнения операций вида технического ремонта ТР-1. В случае, если появляется необходимость проведения обточки колесной пары (ТО-4), то данная операция уже будет относиться к неплановому виду ремонта (НР).

Из-за отсутствия стохастических характеристик время поступления заявки на текущий ремонт ТР-3 не было рассчитано. 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^{TO-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, значения медианы и математического ожидания не одинаковы, а значения асимметрии и эксцесса не равны нулю. Это делает вывод о том, что относит распределение полученных данных к нормальному закону распределения недопустимо.

При помощи графических методов была проведена оценка параметров распределения. Гистограммы, для определения законов распределения простейших ло-

комотивов на технологическом участке $t_{\text{пр}}^i$, 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]:

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

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

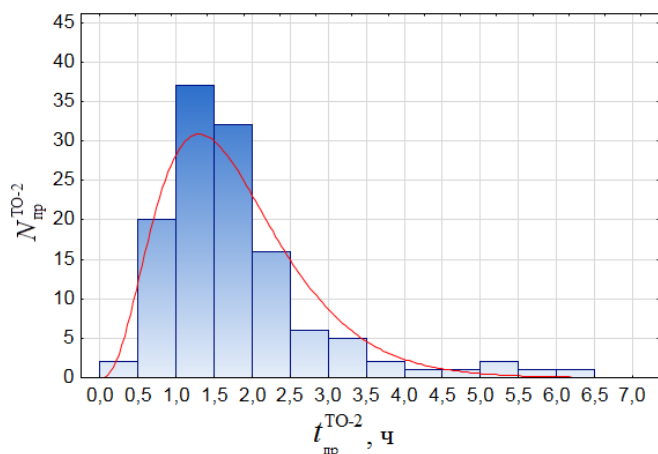
α – фактор формы вероятностного распределения; β – параметр масштаба распределения;

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

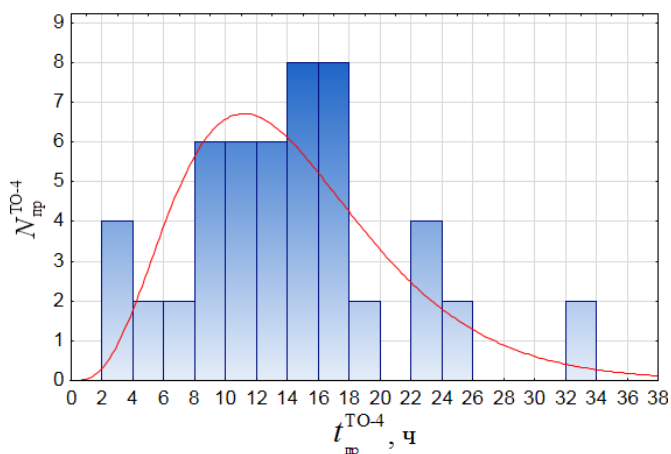
Значение параметров закона гамма-распределения для i -го вида ремонта приведены в таблице 2.3.

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

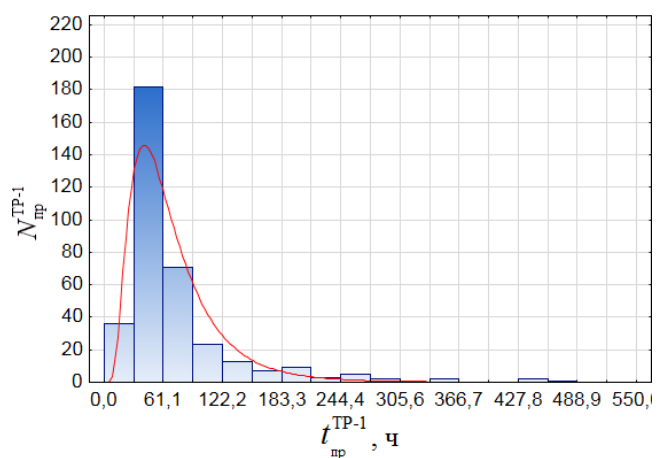
№ п/п	Параметр	$t_{\text{пр}}^{\text{ТО-2}}$	$t_{\text{пр}}^{\text{ТО-4}}$	$t_{\text{пр}}^{\text{ТР-2}}$	$t_{\text{пр}}^{\text{ТР-3}}$
1	Минимальное значение распределения, $t_{\text{мин}}^i$	0,43	1,59	10,6	3
2	Фактор формы вероятностного распределения, α	3,64	4,43	9,25	6,85
3	Коэффициент масштаба распределения,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



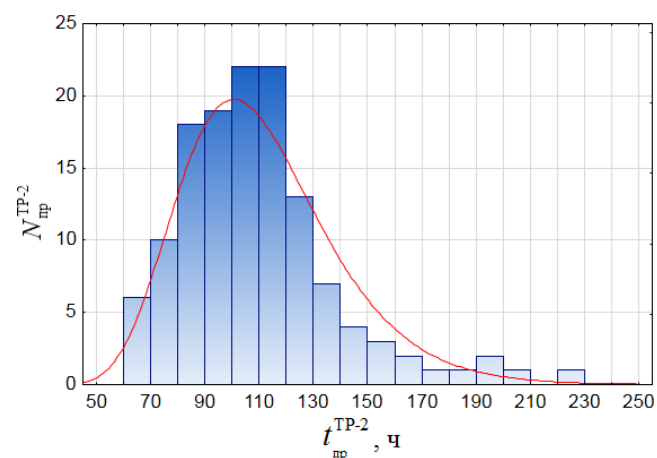
а



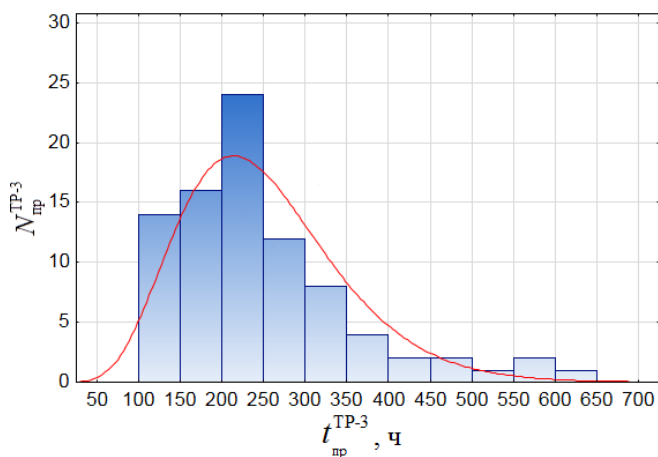
б



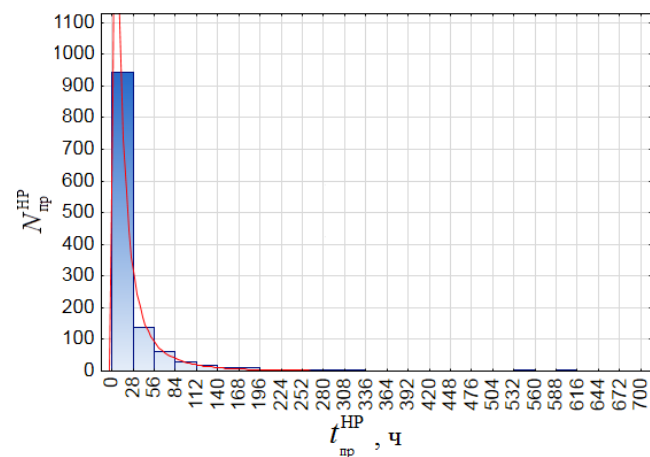
в



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

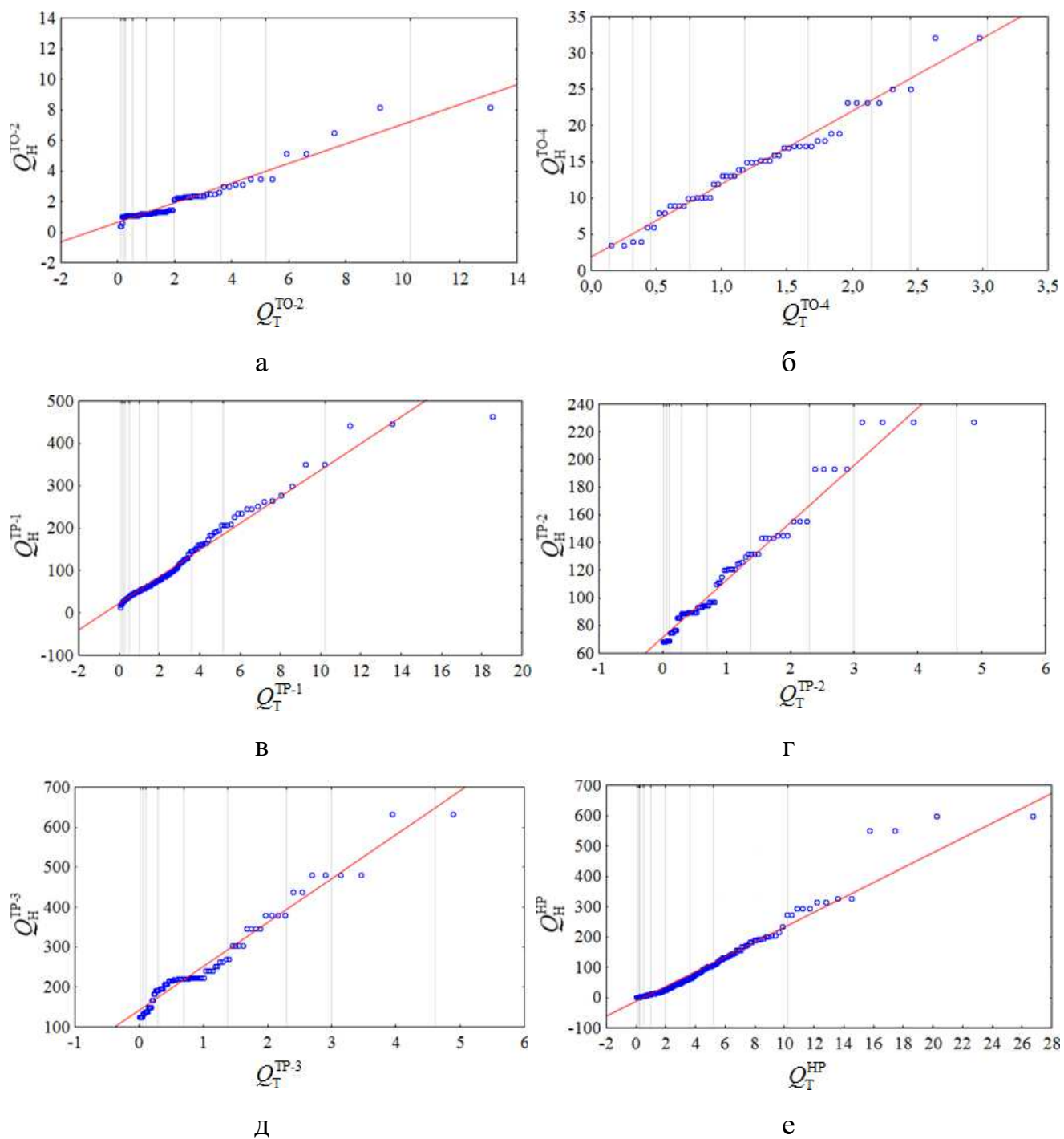


Рисунок 2.6 – График квантиль-квантиль переменной $t_{пр}^i$:

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.

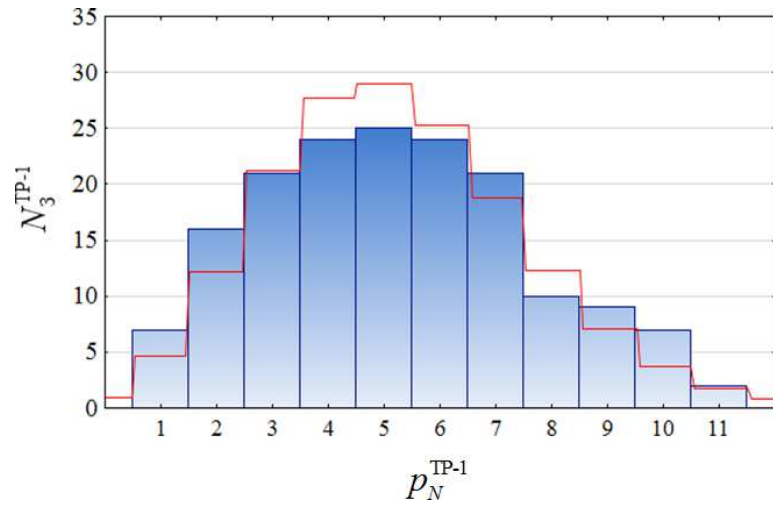
Таблица 2.4 – Значения параметров логнормального закона распределения переменной $t_{\text{пр}}^i$.

№ 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

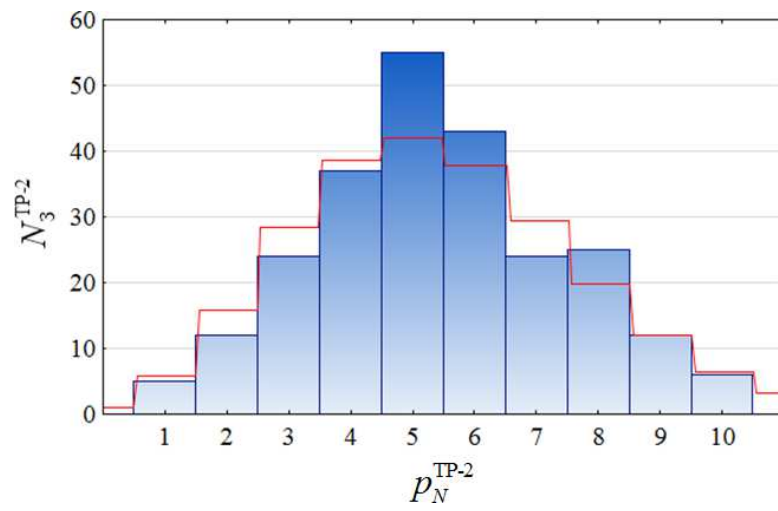
Для дискретных значений поступления заявки на ремонт $t_3^{\text{ТО-2}}$, $t_3^{\text{ТР-1}}$ и $t_3^{\text{ТР-2}}$ выборка значений рассматривается, как вероятность поступления в ремонт N объектов на i -ый вид ремонта за время Δt (рисунок 2.7).

В условиях событий выполняющихся с некоторой фиксированной интенсивностью и независимо друг от друга, применяют закону Пуассона. В качестве значений формирования потока заявок на ремонт [100]:

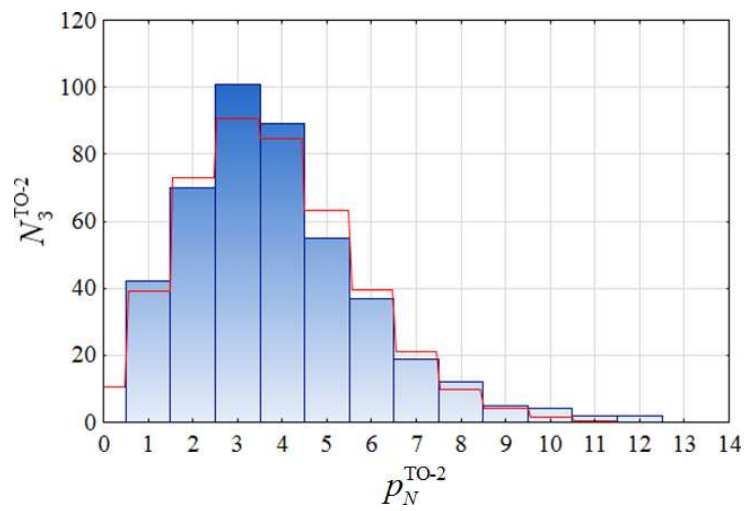
$$p_N^i = \frac{(\bar{p}t_i \cdot \Delta t)^N}{N!} \cdot e^{-\bar{p}t_i \cdot \Delta t}. \quad (2.12)$$



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 $\overline{pt}_i \cdot \Delta t$ вероятностного распределения поступления заявок:

- для ТО-2 – 3,73 ТПС/день;
- для ТР-1 – 5,22 ТПС/день;
- для 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].

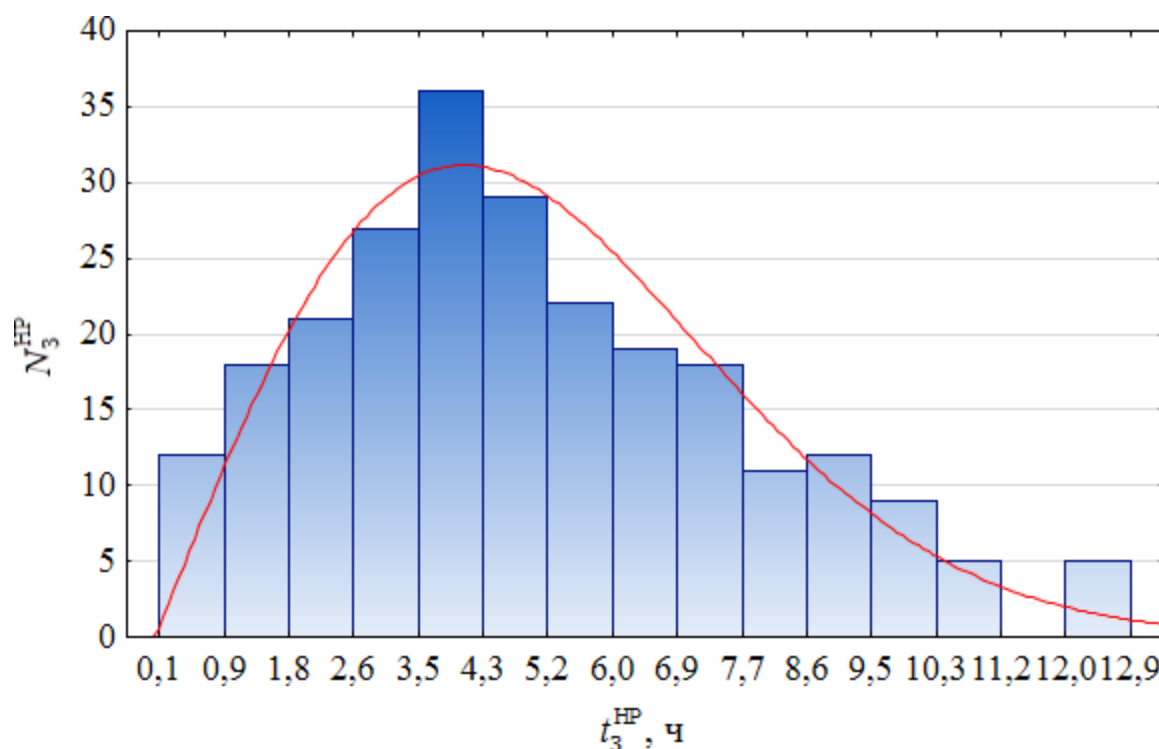


Рисунок 2.8 – Гистограмма распределения значений поступления заявок на НР

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).

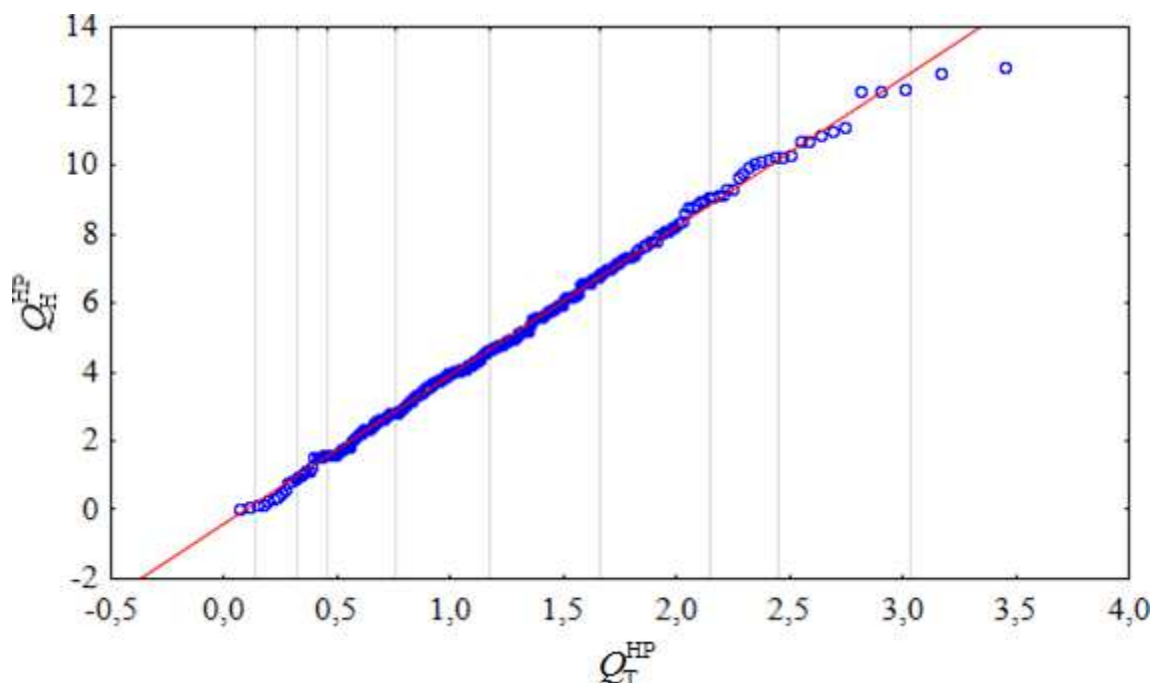


Рисунок 2.9 – График квантиль-квантиль переменной t_3^{HP} при распределении Рэ-
лея

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

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

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

$P_k^{\text{э}}$ – 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].

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

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 ТР-1 $t_{\text{пр}}^{\text{ТР-1}}$, ч	логнормальный	7,4	4	0,12
2	Простой локомотива на ТР-2 $t_{\text{пр}}^{\text{ТР-2}}$, ч	гамма-распределение	8,55	7	0,29
3	Простой локомотива на ТР-3 $t_{\text{пр}}^{\text{ТР-3}}$, ч	гамма-распределение	4,69	4	0,19
4	Простой локомотива на НР $t_{\text{пр}}^{\text{НР}}$, ч	логнормальный	11,8	7	0,11
5	Простой локомотива на ТО-2 $t_{\text{пр}}^{\text{ТО-2}}$, ч	гамма-распределение	6,74	4	0,15
6	Простой локомотива на ТО-4 $t_{\text{пр}}^{\text{ТО-4}}$, ч	гамма-распределение	4,7	4	0,32

Окончание таблицы 2.5.

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

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

С целью уменьшения логистических потерь следует продумать планирование ремонтов, внутрипроизводственное планирование и диспетчеризацию (управление размещением локомотива в депо).

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

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

Наблюдая место и причину возникновения появления простоя локомотива на предприятии, есть возможность манипулировать сверхнормативным простоем локомотивов [81]. Необходимо исследовать техническое состояние локомотивов во время их нахождения на предприятии.

2.5 Вероятность появления нестандартных ситуаций при ремонте локомотива

К нестандартным 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 нестандартных 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 появления 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 современных условиях совершенствования технологий необходимость адаптации к изменяющимся ситуациям хозяйственной деятельности выносится на первый план и намеривает сменить прошлую релятивное постоянство 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;
- времена восстановления работоспособности локомотива;
- позиция ремонта.

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

т.е. переход из одного работоспособного функционального пребывания в иное, при меньших расходах и издержек для реализации последующей работы или нового процесса.

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

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

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 будет автоматической и предъявляет требования к внесению коррекций в систему и структуру предприятий, 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 передвижения объекта ремонта относительно технологических позиций, 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 Общая концепция разработки имитационных моделей

Главной 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 довольно не простая задача [32, 33]. В подобных случаях используется кибернетический метод изучения случайных процессов и модель выглядит в виде «черного ящика» [38] (рисунок 3.1). При этом $\vec{X} = \{x_i\}$ – вектор значений параметров, проявляющий воздействие на протекание процесса, $\vec{U} = \{u_l\}$ – вектор изначальных условий использования устройства (системы), $\vec{\Pi} = \{\rho_k\}$ – вектор внутренних показателей исследуемого процесса, $\vec{S} = \{s_m\}$ – вектор статистических данных о состоянии процесса и $\vec{Y} = \{y_j\}$ – вектор откликов модели.

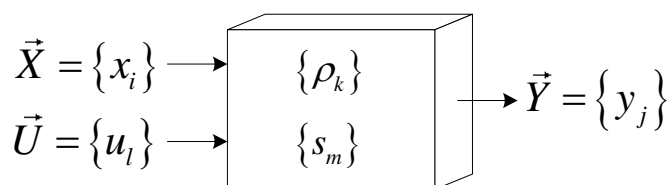


Рисунок 3.1 – Конфигурация рассматриваемого процесса

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

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

На этапе моделирования заносится 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. Большая доля случаев, по использованию \vec{Y}_n , $n = \overline{1, N}$, осуществляется оценка математического ожидания и дисперсии компонент вектора отзывов по формулам:

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

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

Показатель имитационного эксперимента (\bar{Y} и \bar{D}) анализируется и трактуется в виде заключения и предположения.

Этап реализации ИМ предполагает из себя хронологическое (последовательное) проведение порядка мероприятий, содержащий определенный ряд этапов [34, 35]:

- 1) формирование математической модели – компиляция подробной обрисовки объекта анализа, его верификация – подбор стандартных (типовых) математических схем взаимодействия определяющих компонентов объекта анализа;
- 2) создание моделирующего алгоритма – досконально рационального описания моделирования;
- 3) кодировка и проверка модели по определенному (специальному или универсальному) языку программирования последнего поколения;
- 4) доказательство адекватности имитационной модели.

Для разрешения поставленных вопросов могут быть применены различные методы и среды реализации аналитических и имитационных моделей сложных систем: Arena, Analyst, Ex-tend, GPSS, MATLAB, MvStudium, iThink Process Model и прочее. Среди разработки компонентных моделей разной сложности систем и процессов можно отметить особое место многоподходной среде моделирования – AnyLogic [117, 118]. Различные ресурсы и средства конкретизации и детализации,

а также анализа результатов, находящихся в AnyLogic разрешают проектировать модели разнообразными методами исследования: агентное моделирование (АМ), дискретно-событийные (ДС), динамические (СД) (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – Методы моделирования систем

Указанный метод предлагает имитировать фактически абсолютно любой конкретный и реальный процесс без проведения реальных экспериментов и самостоятельных сложных вычислений [50].

Все реализованные в продаже программы для имитационного моделирования созданы для обеспечения определённого метода. Дискретно-событийное имитирование поддерживается многочисленными программами. Данное обстоятельство объясняется тем, что ДС как дисциплина определена не так строго, как СД, существует масса “диалектов”, созданных под конкретные приложения. Для системной динамики есть всего четыре инструмента. Среди динамических систем преобладает MATLAB Simulink. Среди агентного имитационного моделирования еще относительно недавно не было ни одного инструмента на рынке, только библиотеки на Java или C++, спроектированные в разных научных учреждениях для личных исследований [7].

В большинстве случаев АМ даёт возможность довольно проще создавать в макетах многие процессы действительности, чем в сравнении СД или ДС-имитация. Однако, это не означает, что АМ – исключительная компенсация клас-

сических способов. Для широкого количества программ СД и ДС способствует эффективно выстраивать достаточно точные модели и добиваться достоверных результатов. Агентное моделирование, из-за трудности строения, могут быть менее эффективными, т.к. подобные модели сложнее создавать.

3.2 Программирование имитационной модели

Для реализации модели был использован компьютерный пакет AnyLogic. В качестве метода имитационного моделирования был использован агентный. Рациональность функционирования депо конструировалась с помощью прикладных библиотек программы: «Библиотека моделирования процессов» и «Железнодорожная библиотека» [124, 125]. На этапе создания имитационной модели были приняты во внимание разнообразные экстренные и нештатные случаи (неплановые ремонты, не запланированные перемещения локомотива по территории предприятия, сверхцикловые операции 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.

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

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 и ТР-2 интегрированы в последующем в один поток, т.к. на предприятии данные технологические операции производятся в одних цехах.

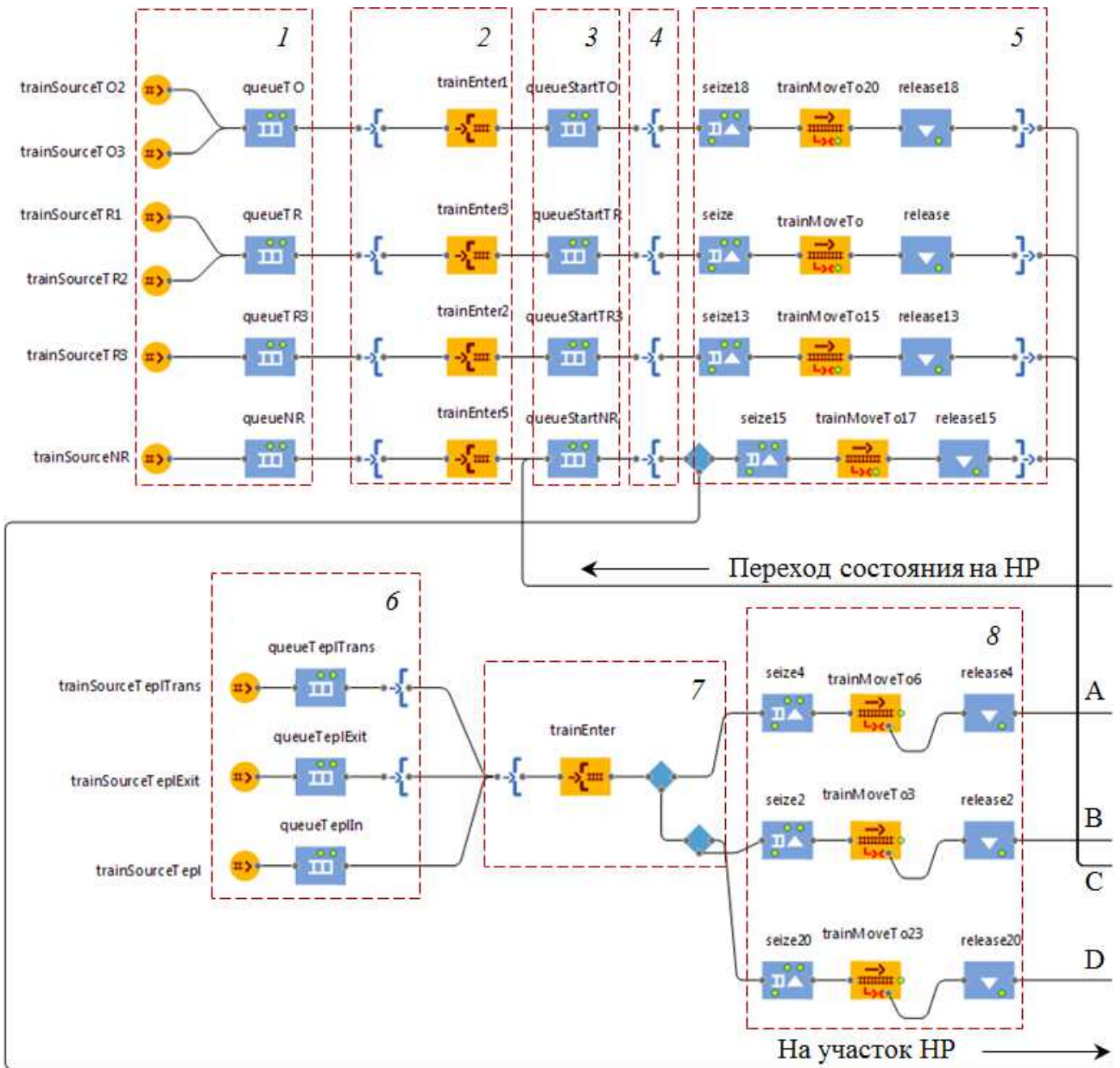


Рисунок 3.3 – Логическая схема имитационной модели (часть 1)

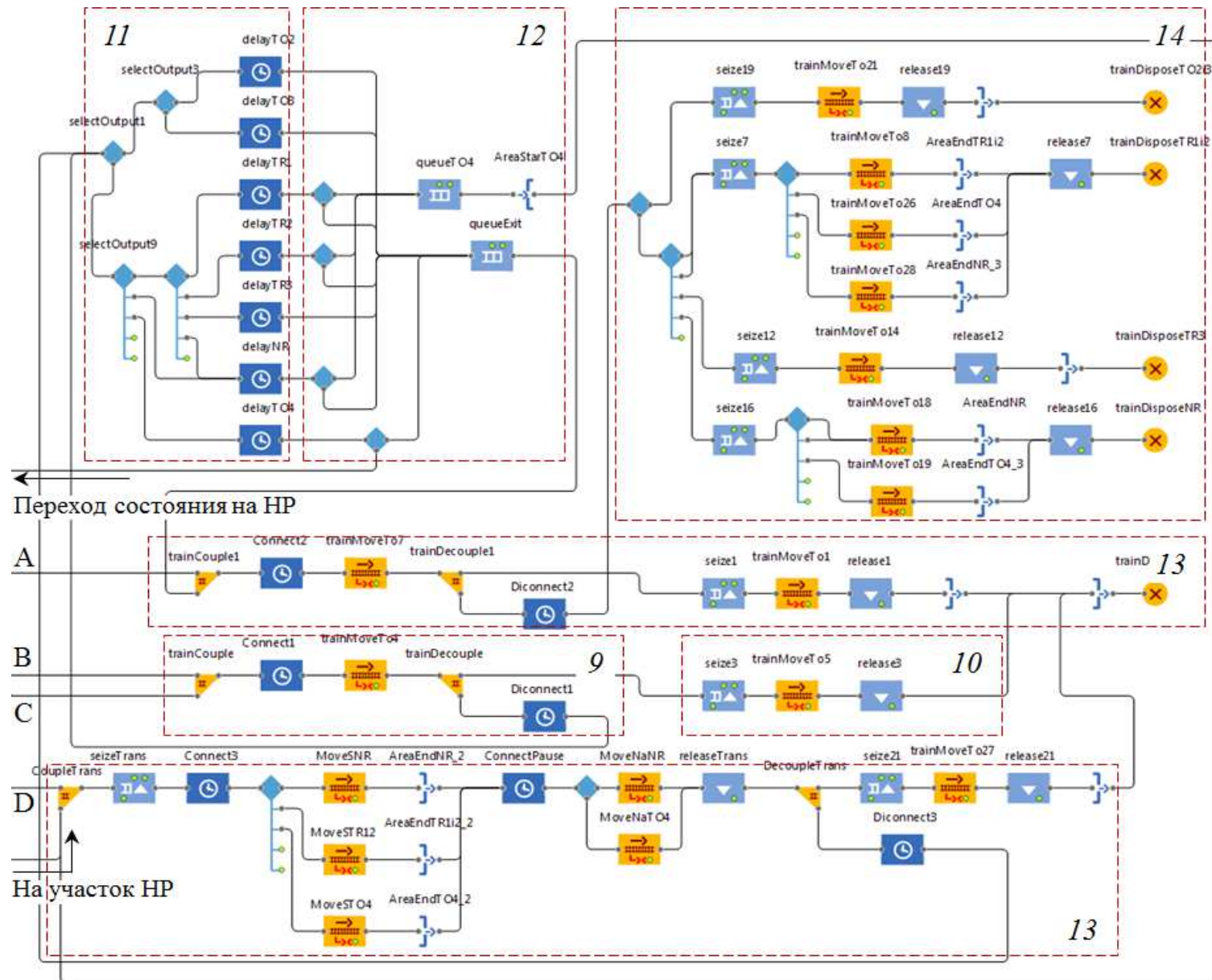


Рисунок 3.4 – Логическая схема имитационной модели (часть 2)

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, $\overline{(pot_{TO-4} \cdot \Delta t)}$	25,42
3	Среднее количество электровозов, требующий НР, в течение месяца, $\overline{(pot_{НР} \cdot \Delta t)}$	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

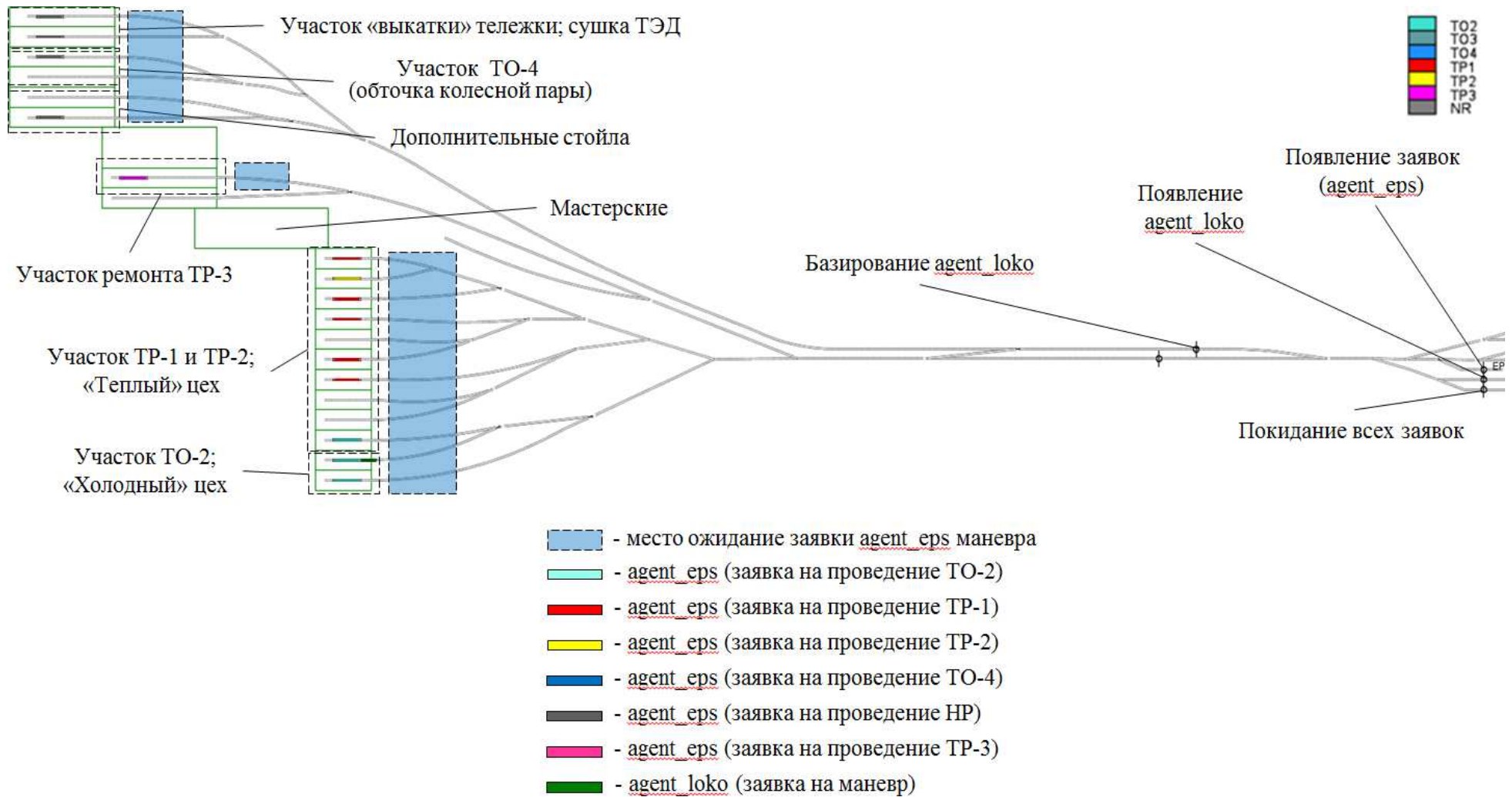


Рисунок 3.5 – Графическая схема имитационной модели

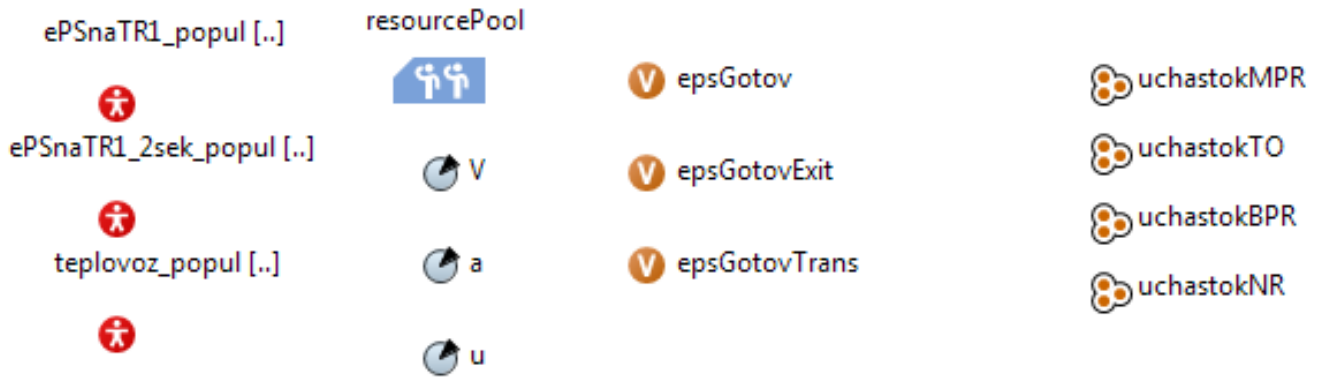


Рисунок 3.6 – Компоненты (популяции агентов, переменные, ресурсы и коллекции) `agent_main`.

Когда заявка покидает блоки, то каждому `agent_eps` присваивается свой параметр (рисунок 3.7). Параметр сохраняется в течение всего моделирования и несет внутри агента значение, которое 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.

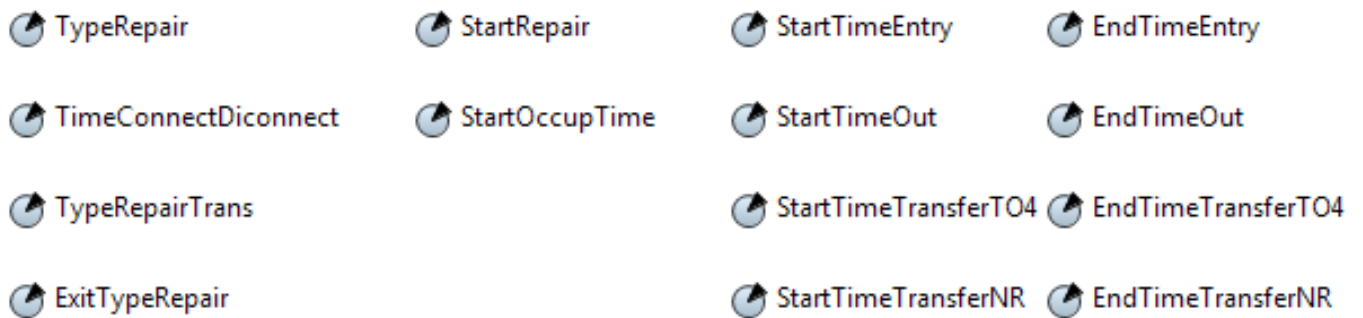


Рисунок 3.7 – Параметры `agent_eps`

Для вывода графическую часть модели, предназначена группа блоков 2. Если все стойловые участки заняты, необходимые для данного вида ремонта, то формируется очередь - блоками 3. Занятость стойловых участков наблюдают блоки 4, в которых значение количества стойловых участков производства задается равным количеству стойловых участков в цехах производства.

Блоки группы 5 моделируют перемещение ремонтируемой единицы к производственным цехам соответствующему виду текущего ремонта или технического обслуживания. При выходе из блоков группы 5, agent_eps вызывает агента маневрового локомотива (agent_loko). На предприятии маневровый локомотив выполняет функцию транспортировки и устанавливает ремонтируемый локомотив в цех. Параметры agent_loko представлены на рисунке 3.8.

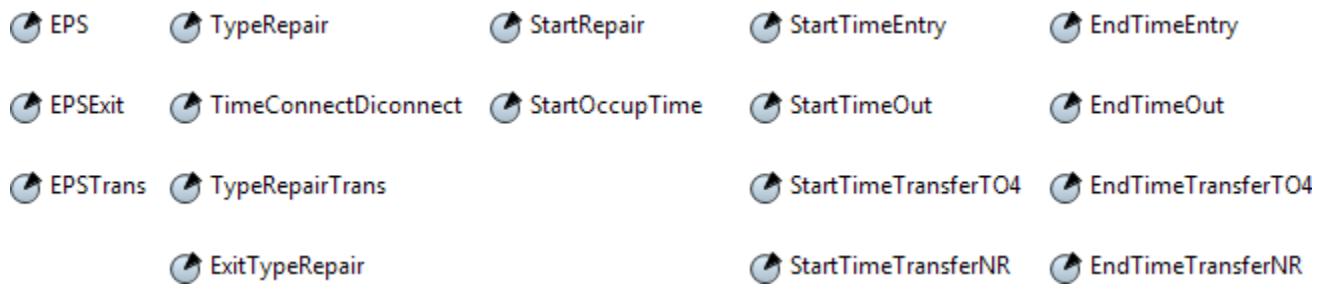


Рисунок 3.8 – Параметры agent_loko

Формирование заявки agent_loko происходит при помощи блоков 6. Определение ожидающего захода в цех электровоза, т.е. электровозу требующему совершить маневр происходит при помощи блоков 7. Блок 8 моделирует перемещение к необходимому ремонтируемому электровозу маневрового локомотива.

Моделирование перемещения ремонтируемой единицы в цех реализовано в блоке 9, в том числе учитывается не только перемещение, но и время затраченное на сцепку и отцепку подвижного состава. Далее маневровый локомотив перемещается на точку базирования и ожидает следующую операцию, если операцию перемещения в цех ждет на очереди другой ремонтируемый электровоз, перемещение к нему происходит без возвращения к точке базирования маневрового локомотива (блок 10).

Далее агент ремонтируемого электровоза поступает к блокам 11, где происходит задержка агента в системе (моделируется время выполнения технологических операций на участке ремонта) в соответствии с Руководством [63].

Зачастую, на предприятиях по ремонту локомотива, ремонтируемой единице необходимо изменить технологическую позицию, причиной тому может слу-

жить возникновение неплановых видов восстановительных операций (переход на неплановый ремонт, необходимость обточки колесных пар и т.д.). С определенной вероятностью P_{ij} в таком, как представлено на рисунке 2.3 возникнет необходимость такого перехода и agent_ers занимает очередь, как только необходимая ремонтная позиция станет свободной, вызывает agent_loko для перемещения, при помощи блоков 13.

Если перемещение на другую позицию не требуется и заявка целиком завершила обслуживание, то agent_ers вызывает agent_loko, для перемещения из цеха, так же блок 15 моделирует отцепку, а затем перемещение agent_loko в место локации и удаление из системы. Отремонтированный электровоз моделирует прохождение ТО-1, проводимой локомотивной бригадой и покидает модель при помощи блоков 16.

3.3 Результаты расчета имитационной модели

Степень использования технологических участков предприятия по времени, обуславливаться 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 – численность технологических позиций на участке (число стойловых участков цеха);

T_i – продолжительность пребывания ремонтируемого локомотива на технологической позиции;

T_o – общая продолжительность моделируемого временного интервала.

На рисунок 3.10 можно наблюдать, как менялось значение коэффициента загрузки k_3^{my} в течении времени, для каждого технологического участка. В начале моделирования видно время становления (запуска) модели t_{cm} , после чего происходит переход на постоянный (рабочий) режим. Показатели времени становления

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.

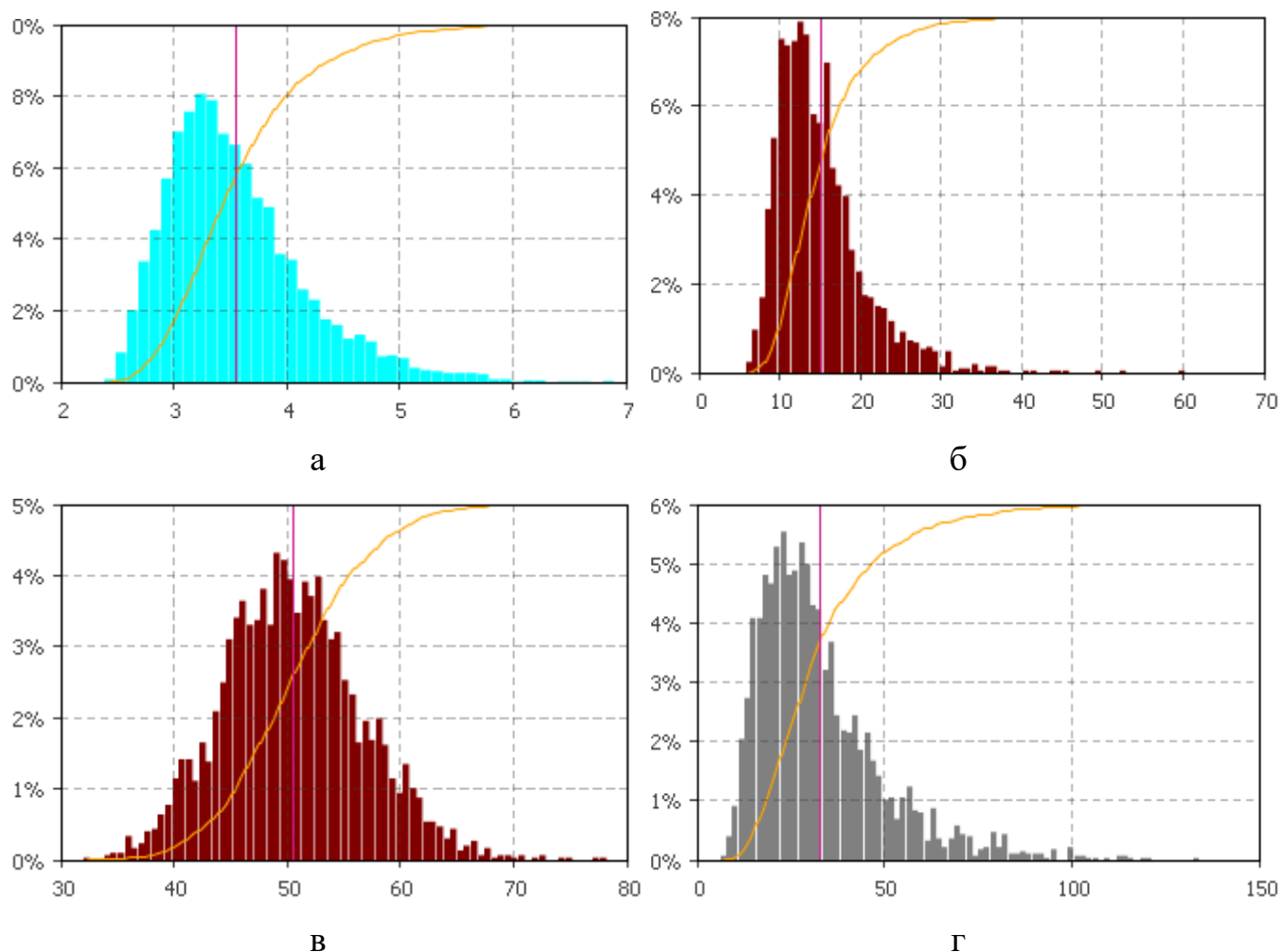


Рисунок 3.9 – Распределение времени продолжительности обслуживания и ремонтов в депо:

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

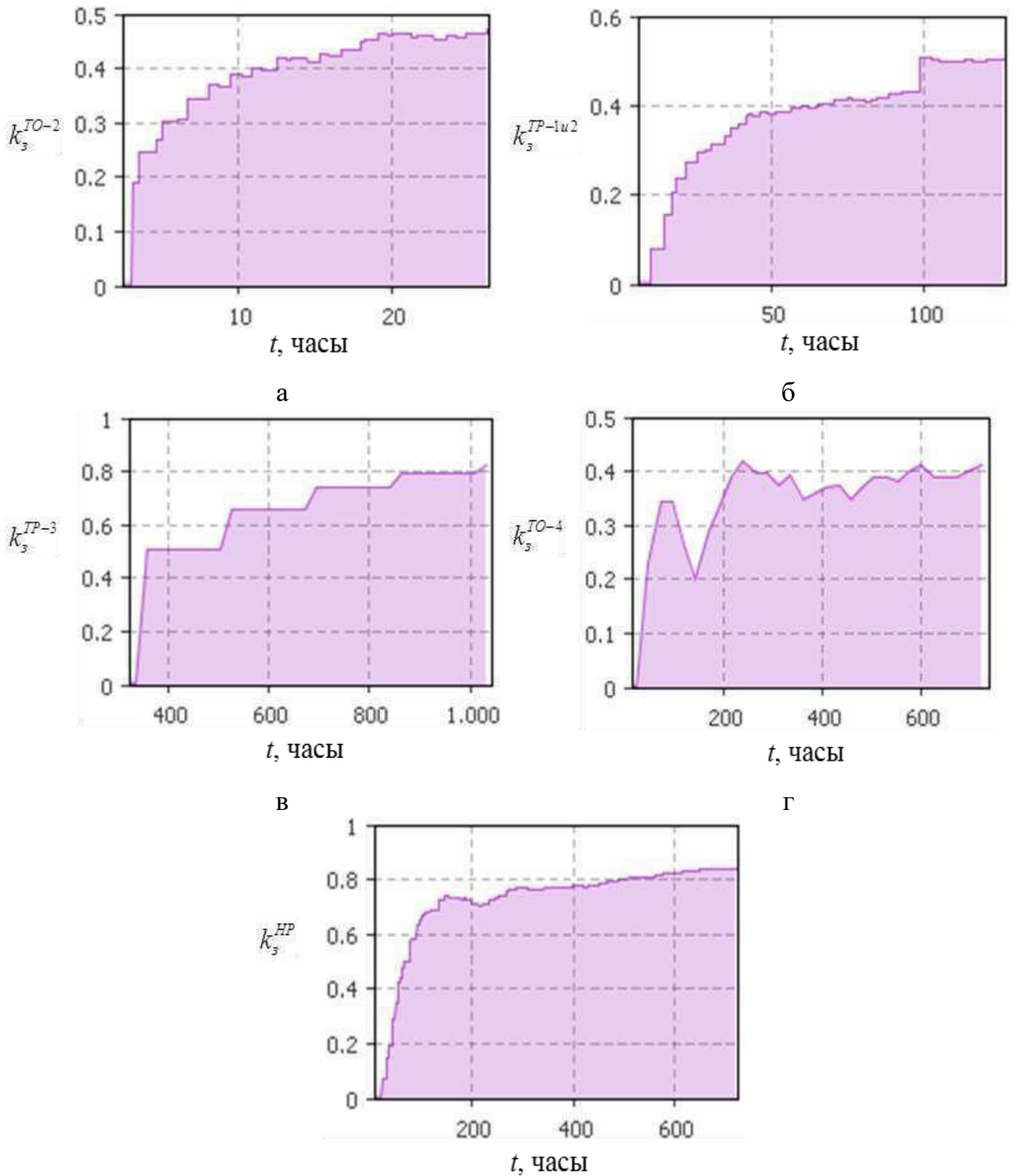


Рисунок 3.10 – Изменение среднего значения коэффициента загрузки технологи-

ческого участка k_s^{mu} :

а – для позиций ТО-2; б – для позиций ТР-1 и ТР-2; в – для позиций ТР-3;

г – для позиций ТО-4; д – для позиций 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.

Статистические показатели распределения продолжительности ожидания на восстановительные операции показана на рисунке 3.11.

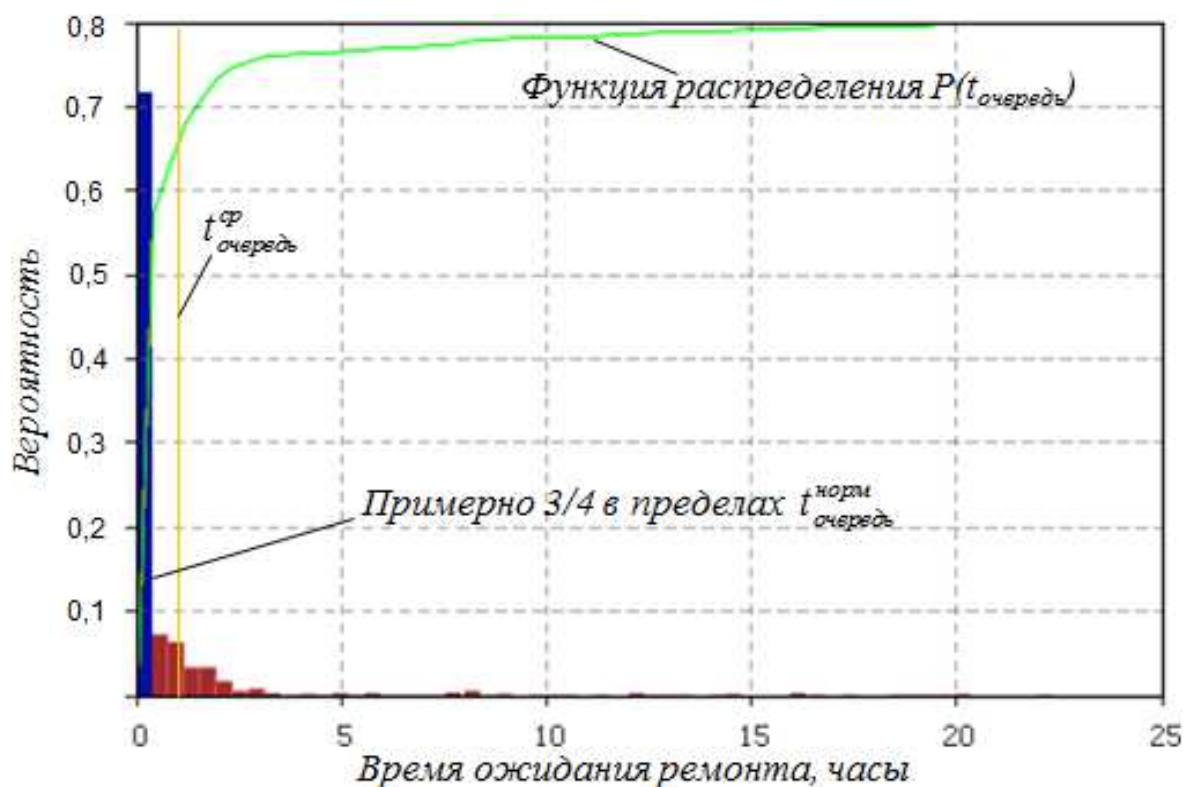


Рисунок 3.11 – Гистограмма распределения времени ожидания обслуживания или ремонта $t_{очередь}$

Норма простоя локомотива в ожидании ремонта $t_{очередь}^{норм}$ на предприятии принята 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, $\bar{X}_{очередь}$	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 (поставнока 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 $T_{потерь}$ ТО-2, ТР-1, ТР-2 и ТР-3 получилась скошенная асимметрия распределения в положительную сторону с обрывом слева, которая близка к биномиальному закону. Экспоненциальный закон распределения наблюдается для ТО-4 и неплановых ремонтов.

Смещения и резкие обрывы на гистограммах говорят, о минимальных значениях потери времени $T_{потерь}^{мин}$ поступившем на ремонт подвижному составу, сократить, которые невозможно из-за структуры депо (минимальное значение времени для преодоление тракционных путей депо, время преодоление пути маневровым локомотивом, время сцепки и отцепки и т.д.). В таблице 3.4. представлены показатели гистограммы распределения потерь времени $T_{потерь}$ локомотива на ремонтном предприятии.

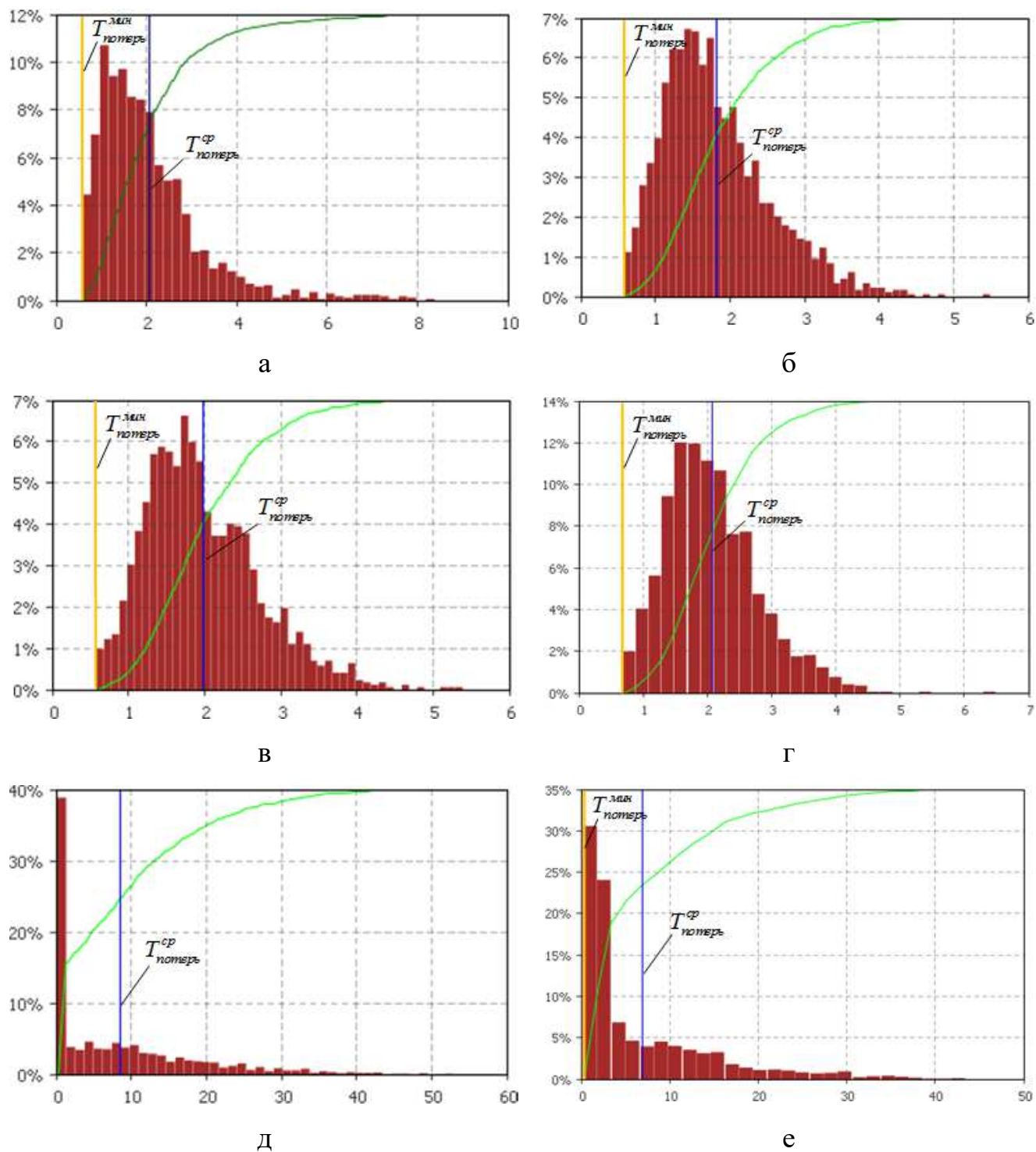


Рисунок 3.12 – Распределение вероятностей временных потерь $T_{потерь}$ ремонта локомотивов в депо по видам ремонта:

а – ТО-2; б – ТР-1; в – ТР-2; г – ТР-3; д – ТО-4; е – 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 ремонтируемых единиц, так и маневровых, что влечет за собой низкую пропускную способность локомотиворемонтного производства, в следствии возрастают ожидания ремонта, загруженности участков и времени восстановительных операций.

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

Низкая адаптивность к изменению условий ремонта локомотивов на предприятии (изменение структуры производства, программы ремонта и т.д.) традиционных методов и способов ремонта приводит к затратам ремонтного комплекса. 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, 44, 95].

Использование интегрированной системы ремонта ставит под сомнение реализацию традиционных методов ремонта локомотивов. В работе выявлено, что имеются несколько существенных факторов, сказывающихся отрицательно на продуктивную организацию классических 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. Подобные условия мешают грамотному планированию и управлению ремонтом локомотивов на предприятии [23].

Форма организации производства и его средства производства, а также структура, система управления и логистика определяет уровень адаптивности производства.

При изменении условий ремонта локомотива например, изменение требований технологии ремонта, смена серии подвижного состава, рост программы ремонта и т.д., приводит к изменениям структуры и реорганизации производственного процесса. Следовательно, адаптация предприятия под подобные изменения не является автоматической и приводит к затратам [108, 27].

4.1 Гибкая форма организации локомотиворемонтного производства

Поточная линия с гибким маневрированием рассматривается, как технологическая линия с многим вариантом маршрута, допускающий восстанавливать тяговый подвижной состав с разными объемами ремонта (рисунок 4.1) [92, 93, 57]. В таком случае, траектория движения ремонтируемой единицы формируется из технического состояния и характера ремонтных технологических операций.

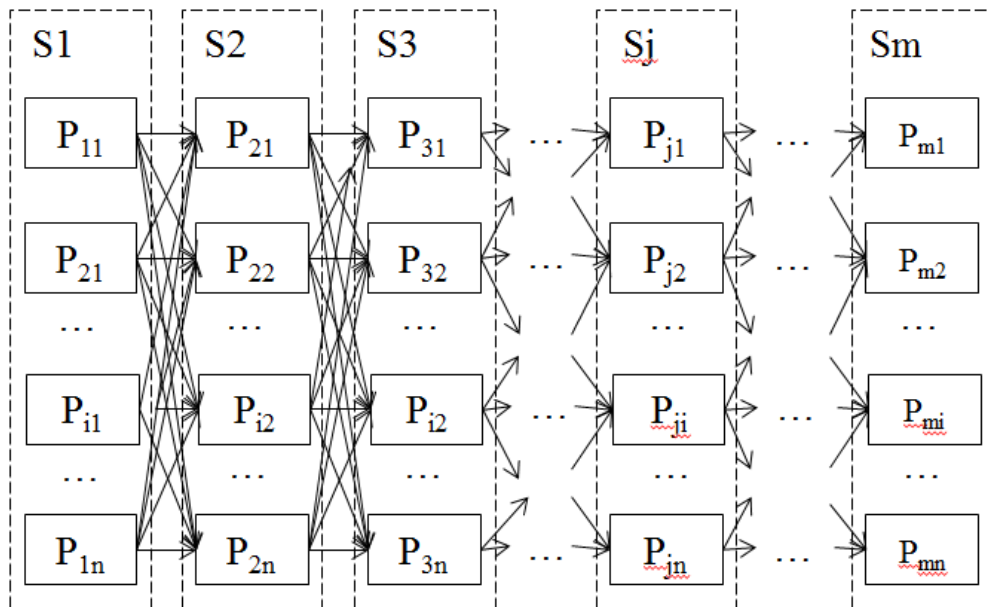


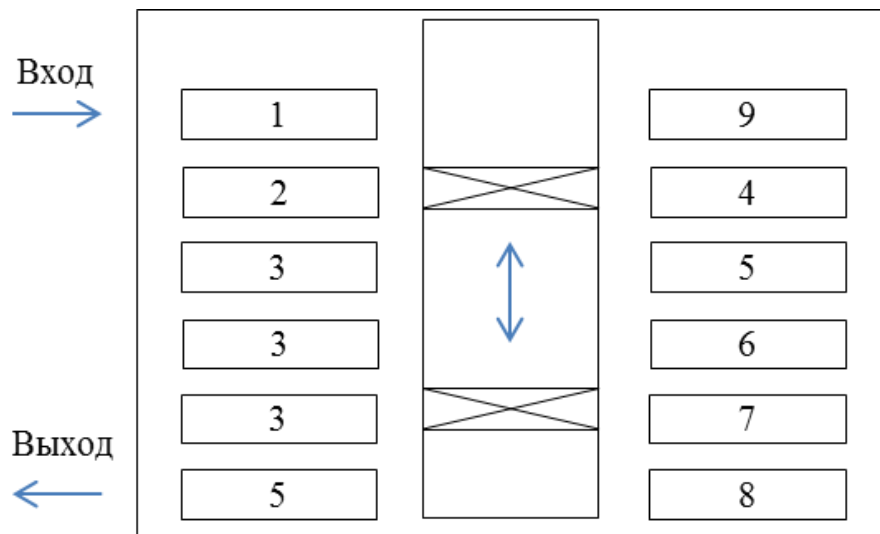
Рисунок 4.1 – Структурная схема гибкой организации производства

Для локомотиворемонтного депо, осуществляющий все виды текущего и среднего ремонта, возможна следующая модель технологического комплекса гибкого маневрирования (рисунок 4.2).

В организации технологического комплекса предполагается присутствие девяти видов соответствующих ремонтных позиций, каждая из которых оснащается специальным комплектом оборудования малой механизации, технологического, подъёмного и транспортных приспособлений. Транспортировка ремонтируемой единицы среди позиций выполняется при поддержке двух трансбордеров (второй трансбордер обеспечивает резерв, на случай выхода из строя первого). Технологический маршрут формируется в соответствии виду ремонта (ТО-2, ТР-

1, ТР-2, ТР-3 и т.д.) и результатам диагностического контроля локомотива при заходе на участки ремонта. Таким образом, для ТР-1 с необходимостью обточки колесной пары ТО-4: 1–2–3–4–5.

Благодаря наличию трансбордеров снижается время транспортировки локомотивов, в отличие от классических способов (стрелочная улица, поворотный круг), а за счет технологической специализации участков и цехов повышается производительность работ и снижается продолжительность операций.



1 – очистка единицы ремонта; 2 – диагностика технического состояния; 3 – обслуживание и ремонт; 4 – обточка колесных пар; 5 – экипировка; 6 – подъем кузова; 7 – испытания; 8 – наладочные работы; 9 – цех покраски и внешней обработки.

Рисунок 4.2 – Гибкая форма организации поточного ремонта локомотивов

Подобный метод ремонта произвести переход от односерийной типотизации (один тип серии ТПС) к ремонту с большим количеством серий (несколько серий локомотива и различные виды восстановительных операций), в связи с чем расширяется номенклатура серий ремонтируемых локомотивов. [58].

При учете, что появляется потенциал обслуживать и ремонтировать несколько типов подвижного состава, то совокупную программу ремонтируемых локомотивов можно рассчитать по формуле [52]:

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

где N_i – программа ремонта для i -го типа ТПС;

n – количество типов обслуживаемого ТПС.

Время простоя i -го типа локомотива рассчитывается по формуле:

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

где t_{ij} – время ожидания ремонта i -ой серии локомотива на j -й позиции, ч:

m – суммарное количество позиций ремонта.

Количество стойловых участков в структуре производства рассчитывается по формуле:

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

где F_n – годовой фонд работы одной смены, ч:

$m_{см}$ – количество смен рабочих.

Общее число ремонтных модулей определяется по формуле:

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

Численность модулей для ожидания определяется по формуле:

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

где k_o – коэффициент, учитывающий количество модулей для ожидания.

Общая численность модулей ремонта определяется по формуле:

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

Все модули ремонта будут располагаться в два пролета с двух сторон от проезда трансбордеров и определить их количество можно по формуле:

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

где H_m – число технологических участков, размещенных с одной стороны от транспортного пролета:

N_l – число технологических участков, размещенных с противоположенной стороны от транспортного пролета.

Размер участков ремонта может отличаться друг от друга, то соответственно по обе стороны будет разное количество технологических модулей.

Под число локомотивов, располагающихся одновременно на участках ремонта, будет подразумеваться программа ремонта. Количество ремонтных участков должно быть больше и равно фронту ремонта, $N_p < R$.

Общее число всех ремонтируемых локомотивов, располагающихся на обслуживании предприятия, рассчитывается по формуле:

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

где N_o – количество единиц на технологическом участке в ожидании ремонта.

$$N_o \leq \Omega.$$

Средний такт ремонта определяется:

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

Средний ритм определяется:

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

Количество трансбордерных тележек определяется согласно формуле:

$$n_{TB} = \frac{N_{tr} t_{об} k_n}{60 F_d m_{cm} k_n} \quad (4.11)$$

где N_{tr} – общее необходимое количество передвижений ремонтируемой единицы:

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

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

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 дискретность перемещений;

k_n – коэффициент применения 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 затраченное на ремонт и обслуживание трансбордера.

Время трансбордера в рабочем состоянии рассчитывается как:

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

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

$t_{выгр}$ – время передвижения локомотива;

t_{tb} – средняя продолжительность трансбордера в рабочем состоянии, мин:

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

где $l_{цех}$ – максимальная длина обращения трансбордера за один рабочий цикл, м:

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

где b – максимальное количество технологических участков, размещенных с одной из сторон транспортного прохода:

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

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

v – среднее значение скорости передвижения трансбордера.

Количество транспортных модулей не должно быть меньше двух, $n_{mp} \geq 2$.

Количество вероятных вариаций маршрутов ремонтируемого локомотива через ремонтные модули системы с гибким маневрированием ремонта рассчитывается по формуле [52]:

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

Описанные параметры гибкого потока ремонта не учитывает стохастический характер локомотиворемонтного производства и может быть употреблен только для начальных проработок на ступени реализации проектного решения. Последующее создание (на этапе технического проекта) обязаны реализовываться с учётом обязательного применения 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, 58].

Поточная линия с гибким маневрированием представляет собой следующий, более эффективный этап в совершенствовании и развитии локомотиворемонтного 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 таким 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.

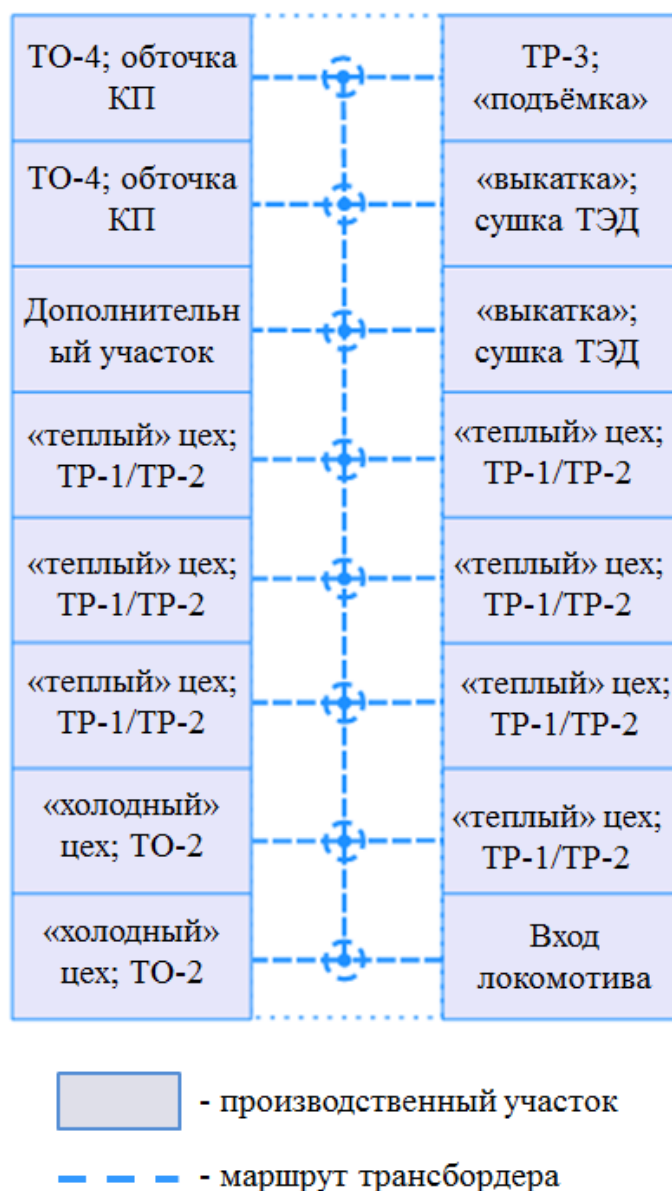


Рисунок 4.3 – Графическая схема имитационной модели гибкой формы организации локомотиворемонтного предприятия

Схема расположения и последовательности блоков в 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.

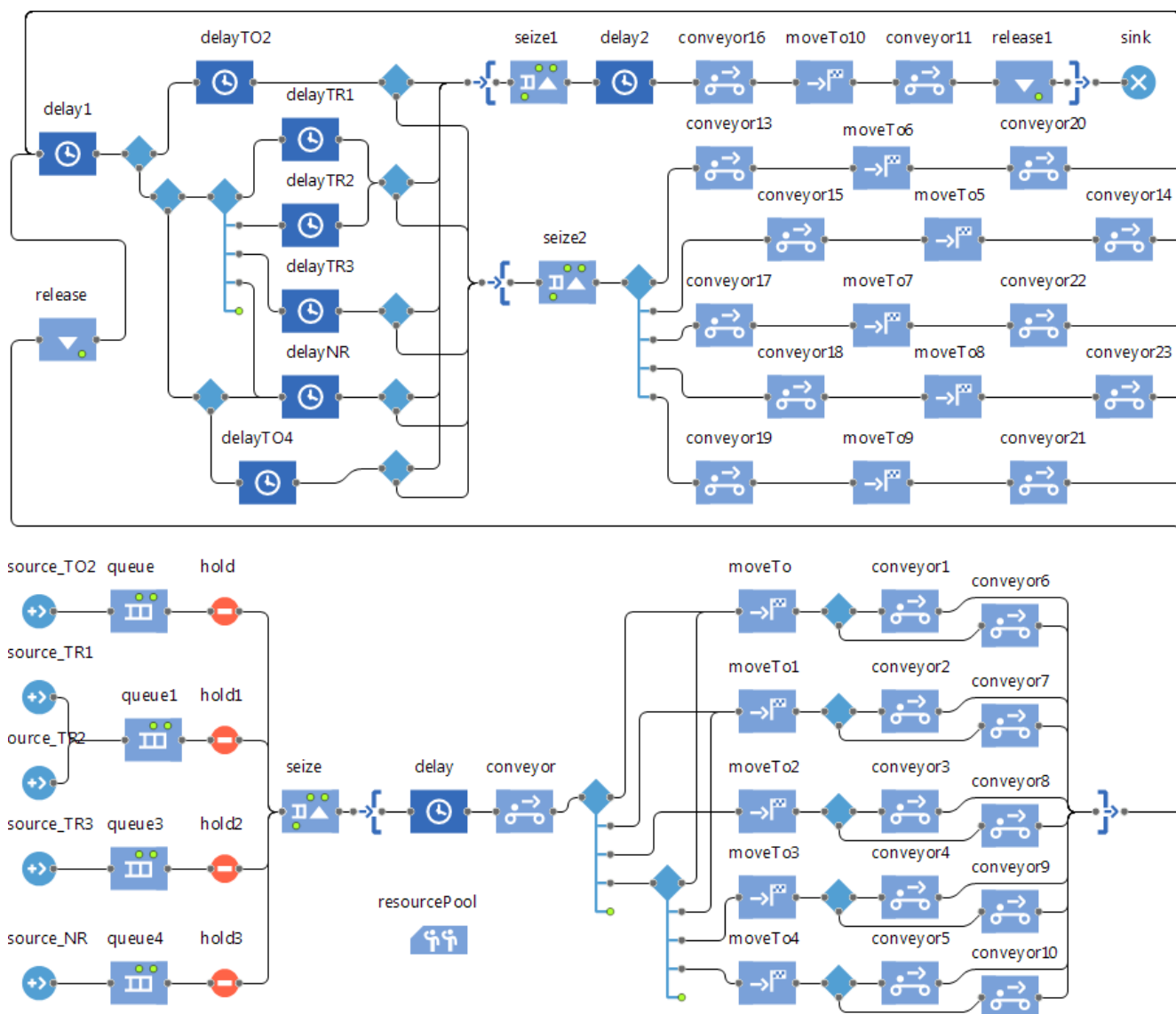


Рисунок 4.4 – Логическая схема имитационной модели гибкой формы организации локомотиворемонтного предприятия

Для каждого вида ремонта или технического обслуживания существует своя заявка. Заявки ТР-1 и ТР-2 группируются в последующем в один поток, так, как в депо технологические операции конкретного вида ремонта реализуются 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.

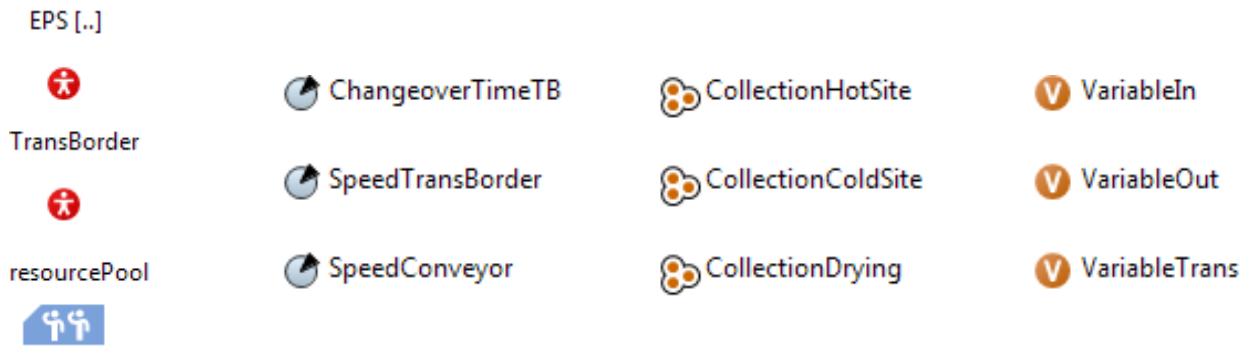


Рисунок 4.5 Компоненты agent_main имитационной модели гибкой формы организации производства

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_3^{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_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_{cm} , час	15	92	250	50	50
2	Среднего значения коэффициента загрузки участка $k_{3,cp}^{my}$	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 рассчитывается по формуле 3.5. Статистика распределения времени ожидания в очереди на ремонт с помощью гистограммы показана на рисунке 4.6.

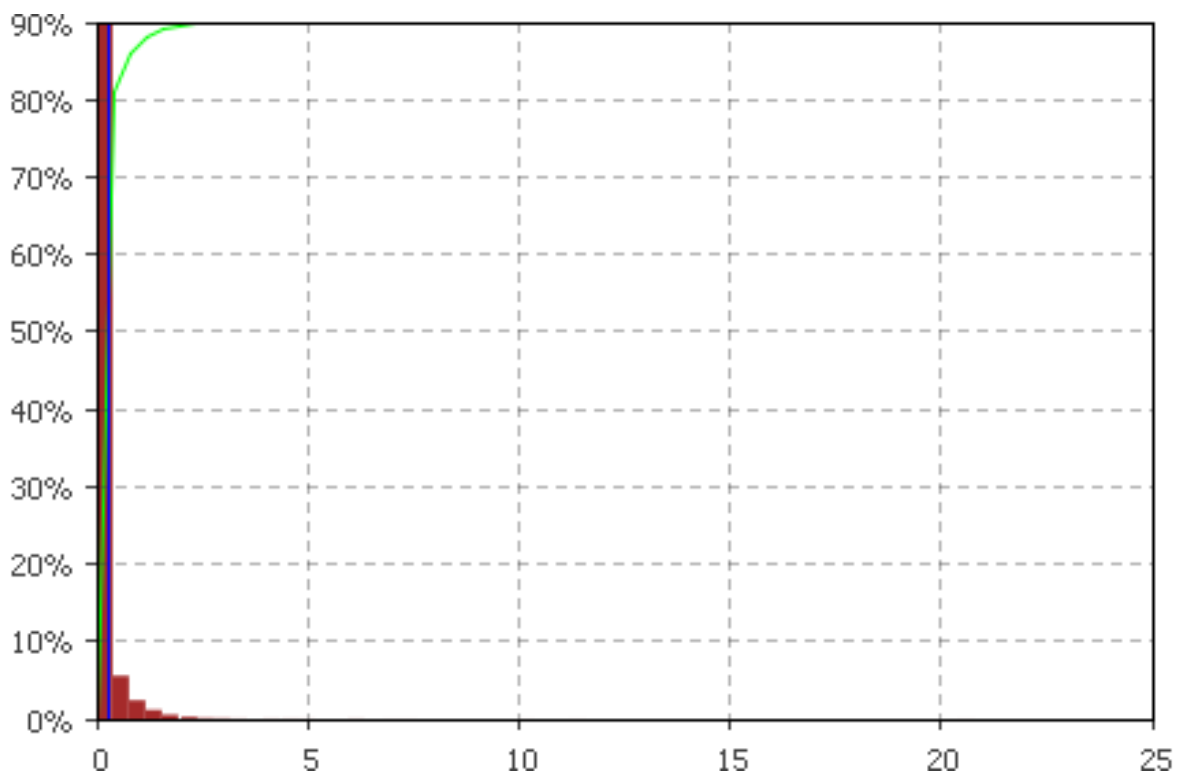


Рисунок 4.6 – Распределение вероятности $t_{очередь}$ при гибком производстве

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.

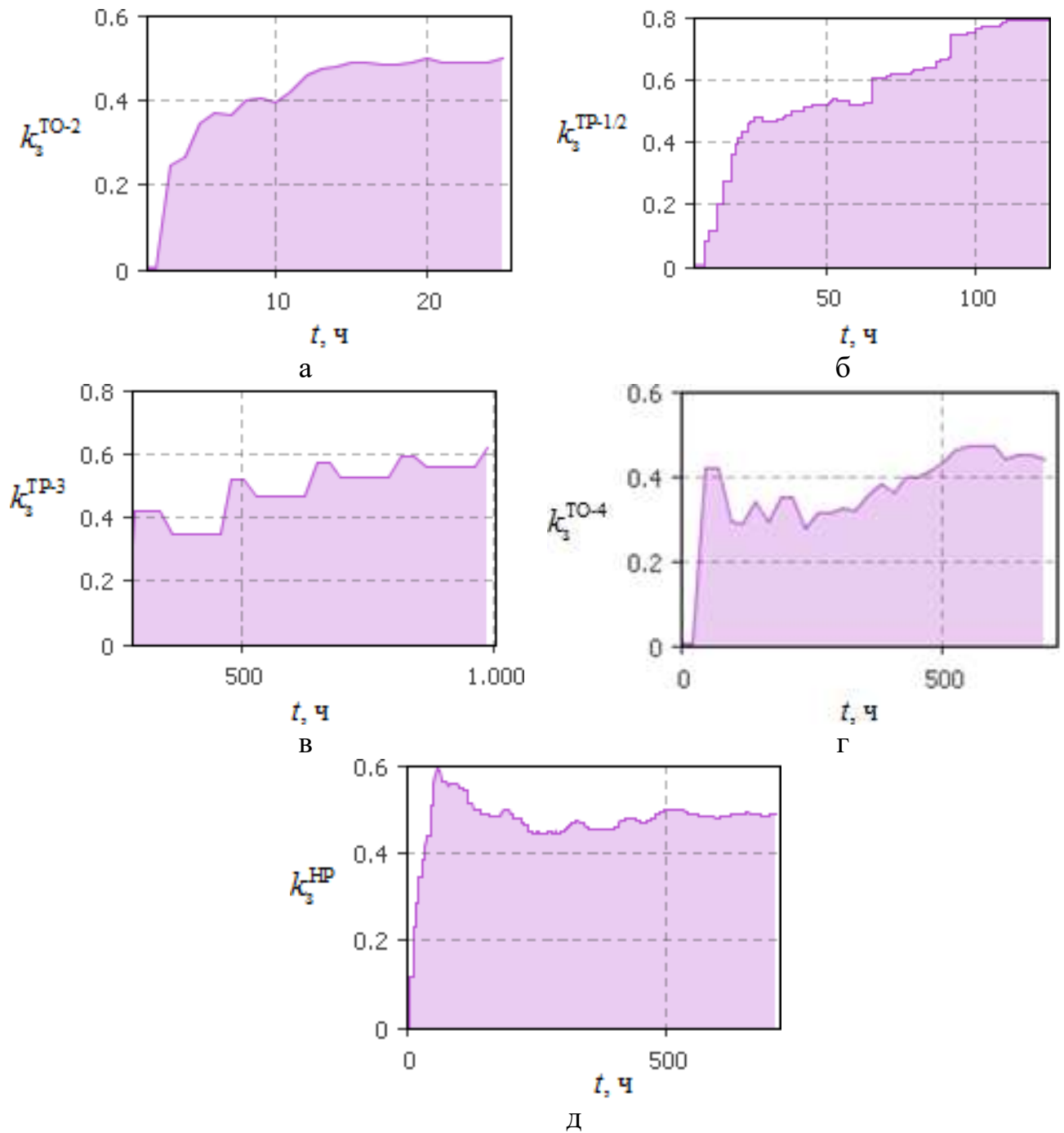


Рисунок 4.7 – Значение среднего значения коэффициента загрузки технологического участка k_s^{mv} с течением времени:

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

Это позволяет сделать вывод, 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, $\bar{X}_{очередь}$	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.

В таблице 4.3. показаны показатели измерений распределения вероятности потерь времени $T_{потерь}$ локомотива во время нахождения на участках ремонта.

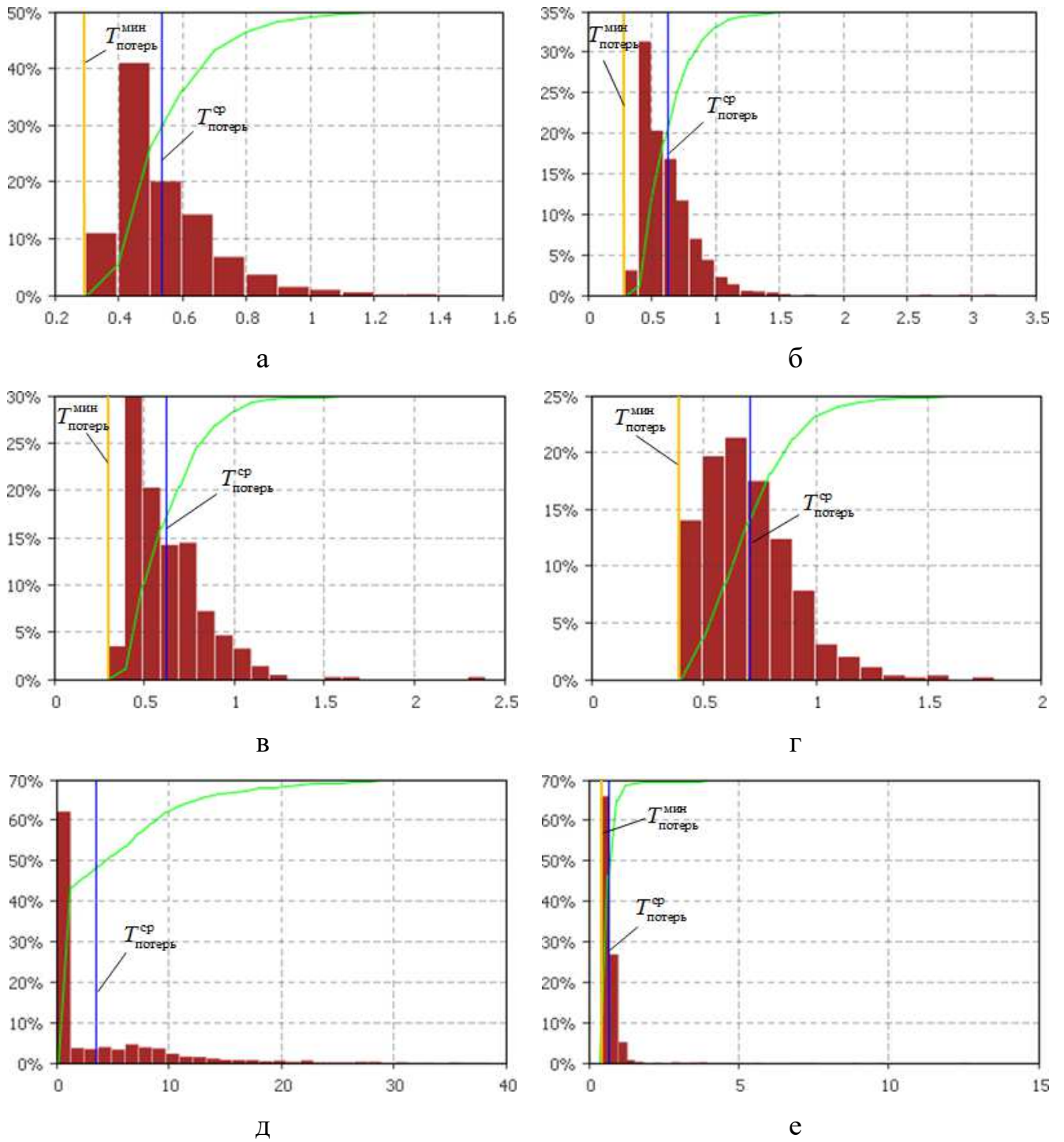


Рисунок 4.8 – Распределение вероятностей временных потерь $T_{\text{потерь}}$ ремонта локомотивов в депо:

а – участок ТО-2; б – участок ТР-1; в – участок ТР-2; г – участок ТР-3; д – участок ТО-4; е – участок 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 $T_{потерь}^{ср}$, 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: трудовые ресурсы, инфраструктуру депо (канавы, пути), запасные части (товарно-материальные ценности и материалы повторного использования), оборудование (станки, краны и т.д.).

Прогнозное планирование строится на моделировании обслуживаемых локомотивов: зная средний пробег в сутки локомотивов, пробеги между ремонтом и средний простой каждого локомотива на каждом виде ремонтов можно спрогнозировать на определенный период времени количество ожидаемых ремонтов.

Созданные методы прогнозного планирования обладают не высокой конвергентностью: прогнозирование на один год вперед выдает абсолютно не точные значения, локомотивы не заходят на ремонт в вычисленное время. Это объясняется огромным разнообразием использования локомотивов в эксплуатации в том числе количество НР.

Разработанные методы в диссертациях [81, 2, 42] показывают высокое качество прогнозного и оперативного планирования, при помощи информационных технологий. Регулярный пересчет, 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 (объем 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.

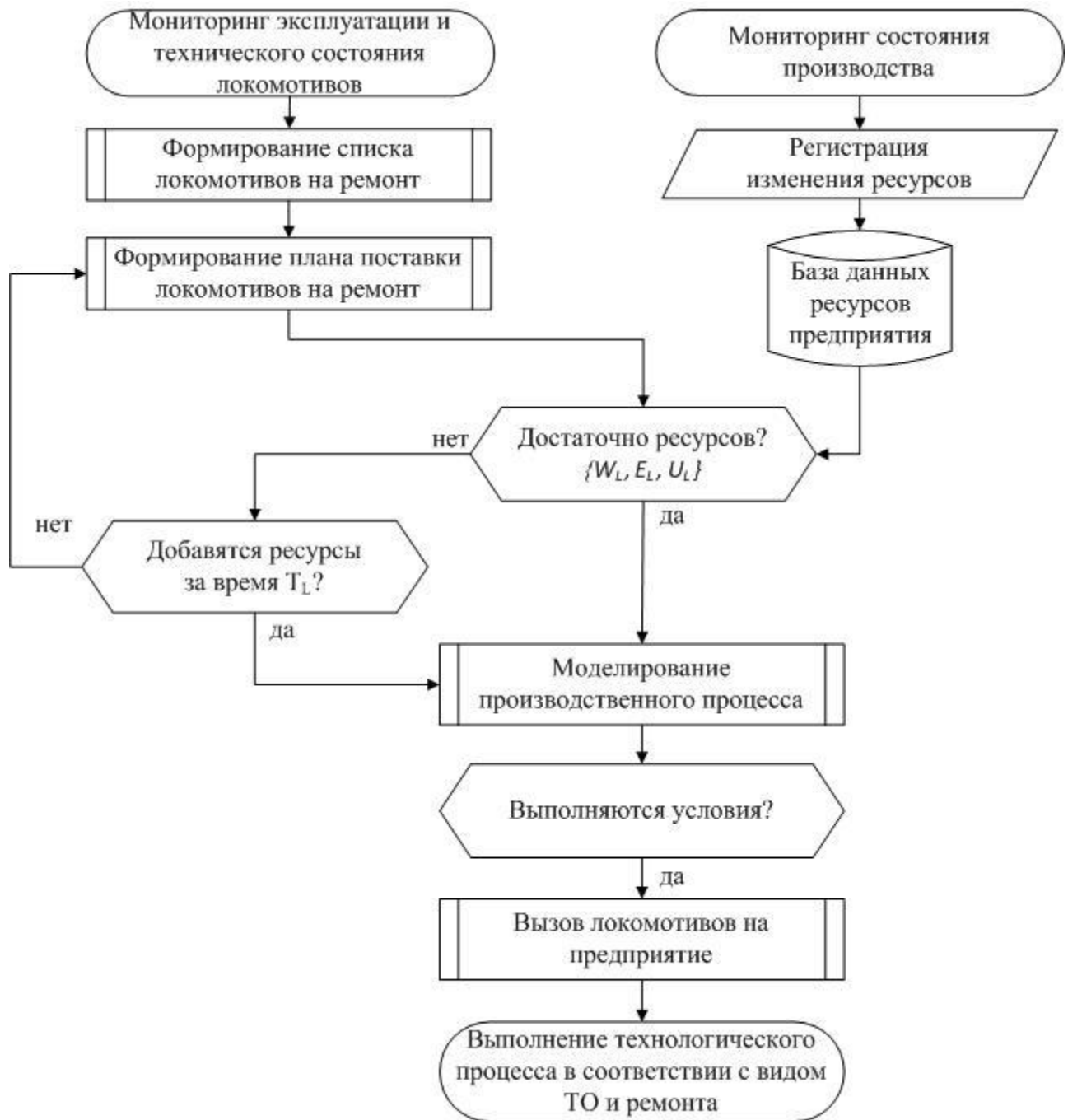


Рисунок 4.9 – Алгоритм оперативного планирования прихода локомотивов на ремонт приспособляющегося под состояние производственного процесса.

В начальном этапе осуществляется оценка (мониторинг) эксплуатации и технического состояния локомотивов: предотказное состояние Q , пробег S .

В дальнейшем образовывается перечень локомотивов, которым непременно нужно осуществление проведения ТОиР. Рассчитывается дата захода локомотива на предприятие:

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

Осуществляется формирование обязательного числа ресурсов для проведения работ i -того локомотива:

1) потребные технологические участки:

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

2) вероятное количество запасных частей:

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

3) потребный комплект оборудования:

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

Снижение количества технологических участков производства W_R , или изменение количества запасных частей E_R и оборудования U_R фиксируется в производственном процессе и добавляется в базу данных ресурсов предприятия.

После выполнении условий (4.24) выполняется имитационное моделирование производственного процесса предприятия, с учетом появления непланового ремонта и размера 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 решаться оптимизационная задача, целевая функция нахождения максимума коэффициента технической готовности $K_{ТГ}$:

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

с некоторой системой ограничений:

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

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 нужными ресурсами, которые отличаются непостоянностью потребности в товарно-материальных ценностях и запасных частях, что связано с неопределенностью характера и объема возникших неисправностей на локомотиве при заходе его на предприятие, требующих сверхцикловых работ. Сверхцикловые работы допускают вероятность, что в определенный момент может не оказаться в наличии запасных частей для определенной операции. Также необходимо 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 $F_{\text{см}}$ – ресурс деталей или узлов;

$F_{\text{зап}}$ – страховой резерв узлов и деталей для неплановых ремонтах и смены деталей и узлов, которые не подлежат дальнейшему восстановлению.

Страховой запас в основном необходим для замены элементов вышедших из строя во время неплановых ремонтов, а также узлов и деталей, которые могут быть отремонтированы, по причине не возможности восстановления или для ремонта, которым необходимы определенные факторы или особые условия и продолжительность больше нормативного.

Определить необходимое число запасных деталей и узлов можно по формуле [99, 113].

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

где n_a – количество схожих элементов на ремонтной единице;

t_y^{cp} – среднее время простоя узла на ремонте;

σ_a – среднеквадратичное отклонение продолжительности простоя узла в депо;

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

$T_{\text{рч}}$ – расчетный период.

Число снятых узлов или деталей определяется из выражения

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

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

Коэффициент сменяемости [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 – число снятых j -ых агрегатов локомотива за рассматриваемый период;

На локомотиворемонтных предприятиях ни один вид ТОиР локомотива и для увеличения эффективности обращения агрегатов и для уменьшения количества перепростоев на видах ремонта с недостаточным временем для восстановления

деталей или узлов, демонтируемые агрегаты для ремонта с локомотива, пребывающие на длительном простое, могут монтировать на локомотив, находящийся, например на ТР-1 и ТР-2. В этом случае количество запасных деталей рассчитывается по формуле:

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

При проектировании программного обеспечения необходимо предусмотреть в алгоритме продукта подобный адаптивный подход планирования ремонта и постановки локомотивов на предприятие, что позволит снизить сверхнормативные простои.

4.3 Повышение гибкости и автоматизации технологических процессов предприятий по ремонту локомотивов

В современной рыночной структуре существования локомотиворемонтной отрасли огромное внимание уделяется вопросам сокращения себестоимости услуг, за счет быстрой переналадки и адаптации производства, в слестствии сокращение простоя ремонтируемого подвижного состава на предприятии, от чего напрямую зависит прибыль ремонтных компаний.

Простым и эффективным способом решения поставленной задачи является автоматизация технологических процессов производства и ремонта подвижного состава. Современное технологическое оборудование должно проектироваться на основе промышленных роботов с программным и интеллектуальным управлением.

Подобное технологическое оборудование может обеспечить 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), что особенно эффективно при модульной системе технологических участков. В дополнении адаптивность тех-

нологического оборудования к ремонту локомотивов разных серий, отличающихся существенно по конструкции; высокую производительность оборудования и качество операций; уменьшение времени простоя; сокращение затрат электрической энергии на поддержку микроклимата рабочей зоны в виду ограниченного нахождения или полного отсутствия оператора (поддержание комфортной температуры, уровня освещенности, качества воздуха).

В наибольшей степени технически-сложной задачей является роботизация технологических процессов сборочного производства, как в виду существенным разнообразием технологических действий, так и потребности работы исполнительных механизмов в системе пространственных координат. Решение в типичных задачах предполагает применение манипуляторов с тремя и более степенями свободы с соответствующей высокоинтеллектуальной системой программного управления [70, 107].

Подобные системы используются в мировой практике в единичных случаях по причине сложности и высокой стоимости оборудования с высокими профессиональными требованиями к обслуживающему персоналу в вопросах программирования. Непригодности многих типовых промышленных решений системы интеллектуального управления к «жестким» условиям ремонтного производства (например, тактильных и сенсорных датчиков и т.д.) также препятствует распространению робототизированных систем [96].

Необходимо решить задачу регулирования, легкого и простого выполнения быстрого перепрограммирования оборудования за счет прямого обучения, когда перемещением исполнительного механизма (манипулятора) контролируют ручными способами с помощью специального пульта управления и выполнение операции запоминается устройством, или методами моделирования на компьютере.

4.3.1 Разработка системы технического зрения

Альтернативным вариантом управления роботами-манипуляторами сборочного производства является использование систем следящего управления, исполь-

зующих в качестве данных о пространственном расположении объекта обработки различного типа сенсоры (рисунок 4.10).

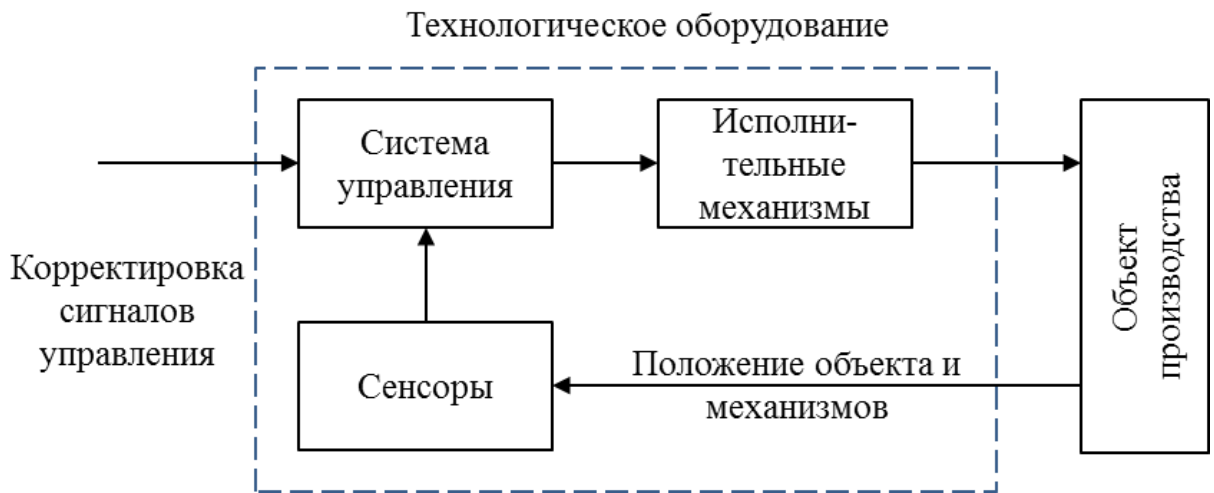


Рисунок 4.10 – Структурная схема роботизированного комплекса со следящей обратной связью

Положение объекта технологической обработки и геометрическое расположение манипуляторов воспринимается информацией передающихся с сенсорных устройств, которые, после предварительной обработки, передают в систему управления для формирования воздействий на исполнительные механизмы.

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]. Датчики, по принципу действия, разделяются на группы:

- тактильные, работающие на касание с объектом;
- бесконтактные видеодатчики;
- звуковые и ультразвуковые датчики;
- прочие типы бесконтактных датчиков – тепловые, магнитные и т.п.

Классификация типов датчиков для роботизированных систем представлена на рисунке 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 применения нескольких серий видеодатчиков и тактильных сенсоров в системах следящей обратной связи роботов, продемонстрировали их ограниченную надежность у активным влияниям внешней среды ремонтного производства локомотив. В частности, их неустойчивую работу в ситуациях повышенной влажности, загрязненности и запыленности, недопустимость установки измерительных приборов и датчиков относительно рядом от исполнительных механизмов моечных машин, установок дробеструйной очистки и т.д.

Второй вариацией, в сравнении с системами со следящей обратной связью, является получение пространственного положения поверхности объекта до старта технологической операции. Посредством его лазерного триангуляционного сканирования. В подобном случае регулирование исполнительными механизмами реализуется по предварительно сформированному, «жесткому» маршруту, повторяющей очертание обрабатываемого узла, что является вполне реальным для целого ряда задач автоматизации таких операций, как дробемётная зачистка кузовов подвижного состава, колесных пар и рам тележек, мойка узлов и агрегатов, нанесение лакокрасочных покрытий и т.д. [6, 7].

Технологический процесс обработки изделия производится в два этапа. На первом, формируется пространственная модель объекта по результатам предварительного сканирования. Затем производится непосредственно технологическое воздействие на объект обработки, например покрытие лакокрасочными материалами, дробеструйная или внешняя очистка по программе, сформированной в результате получения пространственных координат геометрической формы объекта. Чувствительные элементы (датчики) уже могут не использоваться и при необходимости удаляются из рабочей зоны [91].

Лазерный триангуляционный метод измерения в последние годы получил достаточно широкое распространение, как один из наиболее точных и моментальных методов снятия трехмерных моделей реальных объектов в цифровом формате [101, 110]. Способ основывается на установлении местоположения координат

изображения падающего лазерного луча на фоточувствительной платформе видеоприемника.

Принцип действия лазерного триангуляционного датчика показан на рисунок 4.12. Под определенным углом α источник лазерного излучения 1 освещает объект лазерным лучом. Цифровая видеокамера 2 регистрирует изображение объекта с лазерным лучом на его поверхности. Вычисляются трехмерные координаты точек поверхности, путем определения положения лазерного луча на изображении, на которых присутствует лазерная линия. Сканирование всего объекта возможно только путем смещения лазерной линии вдоль всей поверхности объекта 3.

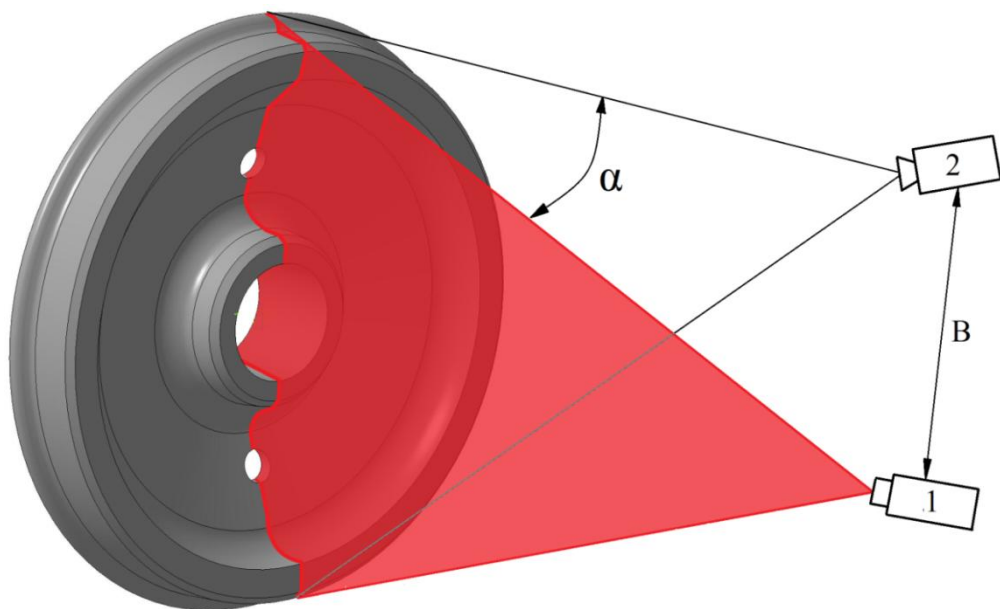


Рисунок 4.12 – Метод лазерного сканирования.

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.

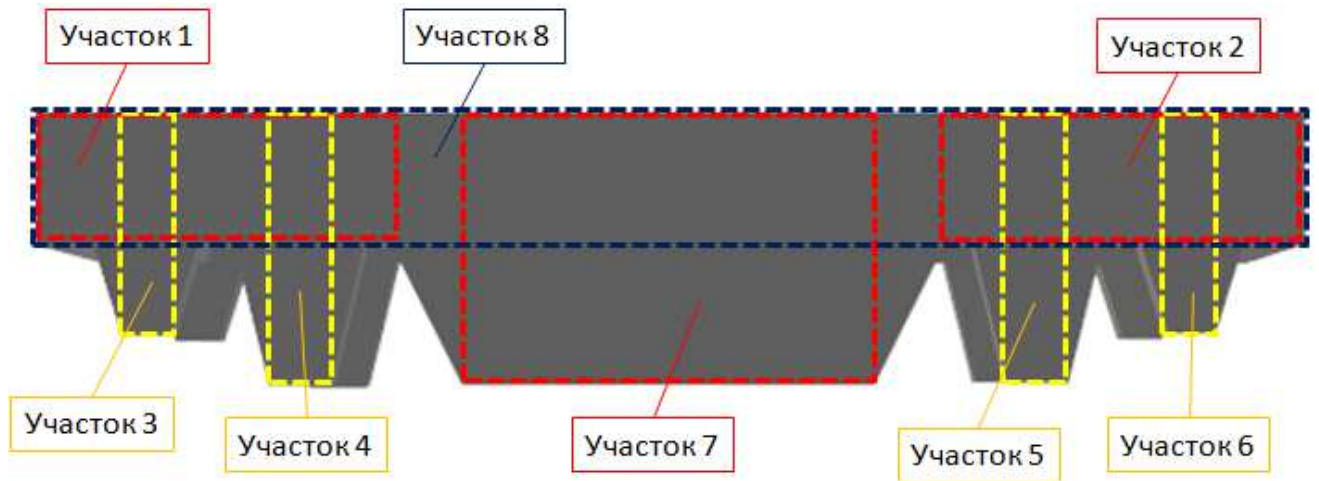


Рисунок 4.14 – Участки измерения макета тележки подвижного состава по оси x

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. В таблице 4.4 приведены результаты оценки точности сканирования в сравнении с истинными значениями макета тележки L .

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:

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

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

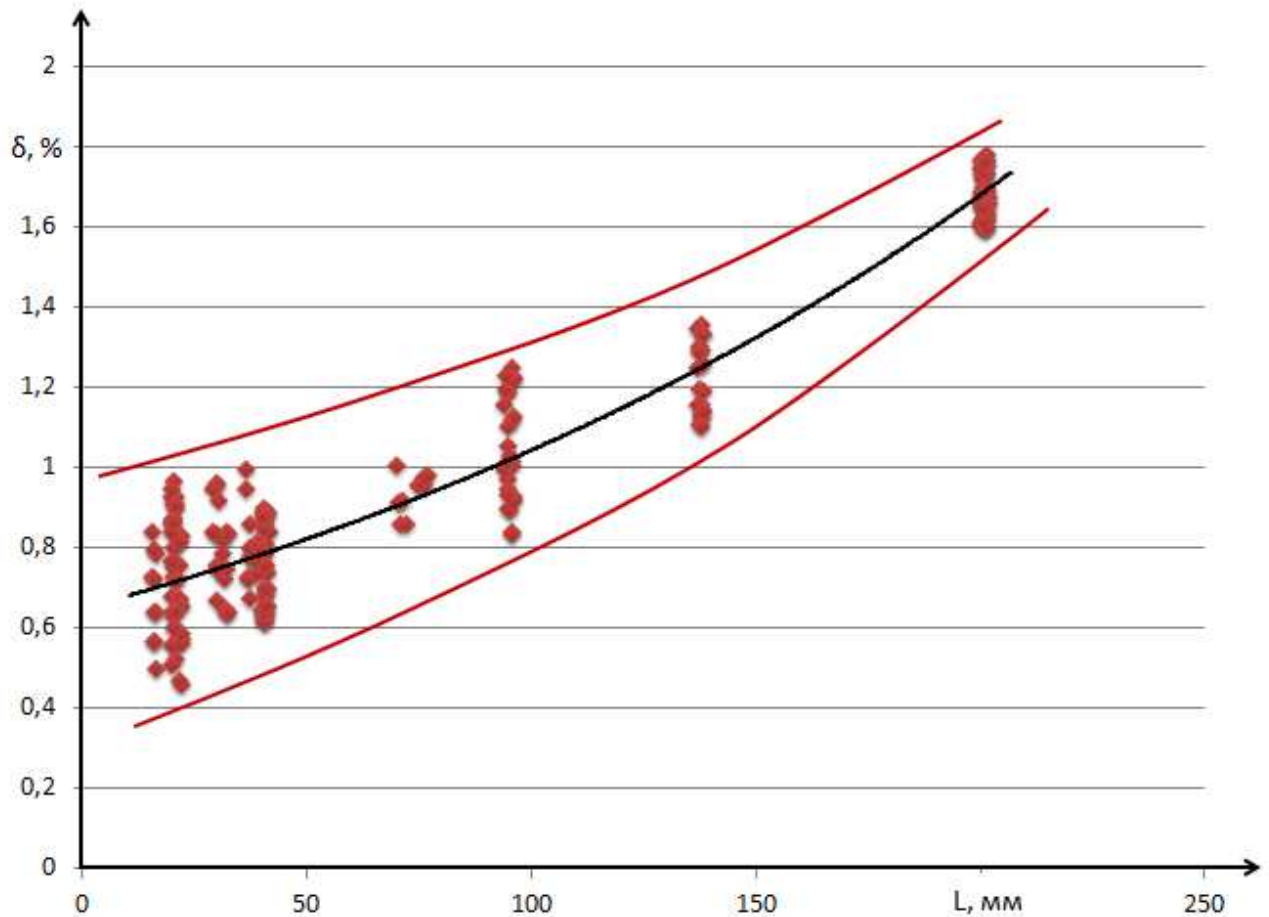


Рисунок 4.15 – График зависимости относительной погрешности δ от истинных размеров макета тележки L .

Итак, искомое уравнение регрессии имеет вид:

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

При оценке адекватности принятой модели (4.43) следует рассчитать показатели коэффициентов корреляции R и детерминации R^2 между относительной погрешностью δ и истинными размерами макета тележки.

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

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 исследования приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Параметры оценивающие 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

Все ошибки и отклонения по результатам расчета погрешности трехмерного сканирования макета тележки подвижного состава лежат в пределах нормы. Значение средней ошибки аппроксимации до 5% свидетельствует об правильной рассчитанной математической модели. Коэффициент корреляции говорит, что 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 видеокамера 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 дроби, 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, устанавливают 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 дроби, которая попадая на поверхность узла или детали, очищает его от продуктов коррозии, а также от остатков старого покрытия. Исползованная дробь может поступать в приемные бункера дробеструйных аппаратов для повторного использования. После завершения программы очистки робот мостового типа останавливается и прекращается подача дроби.

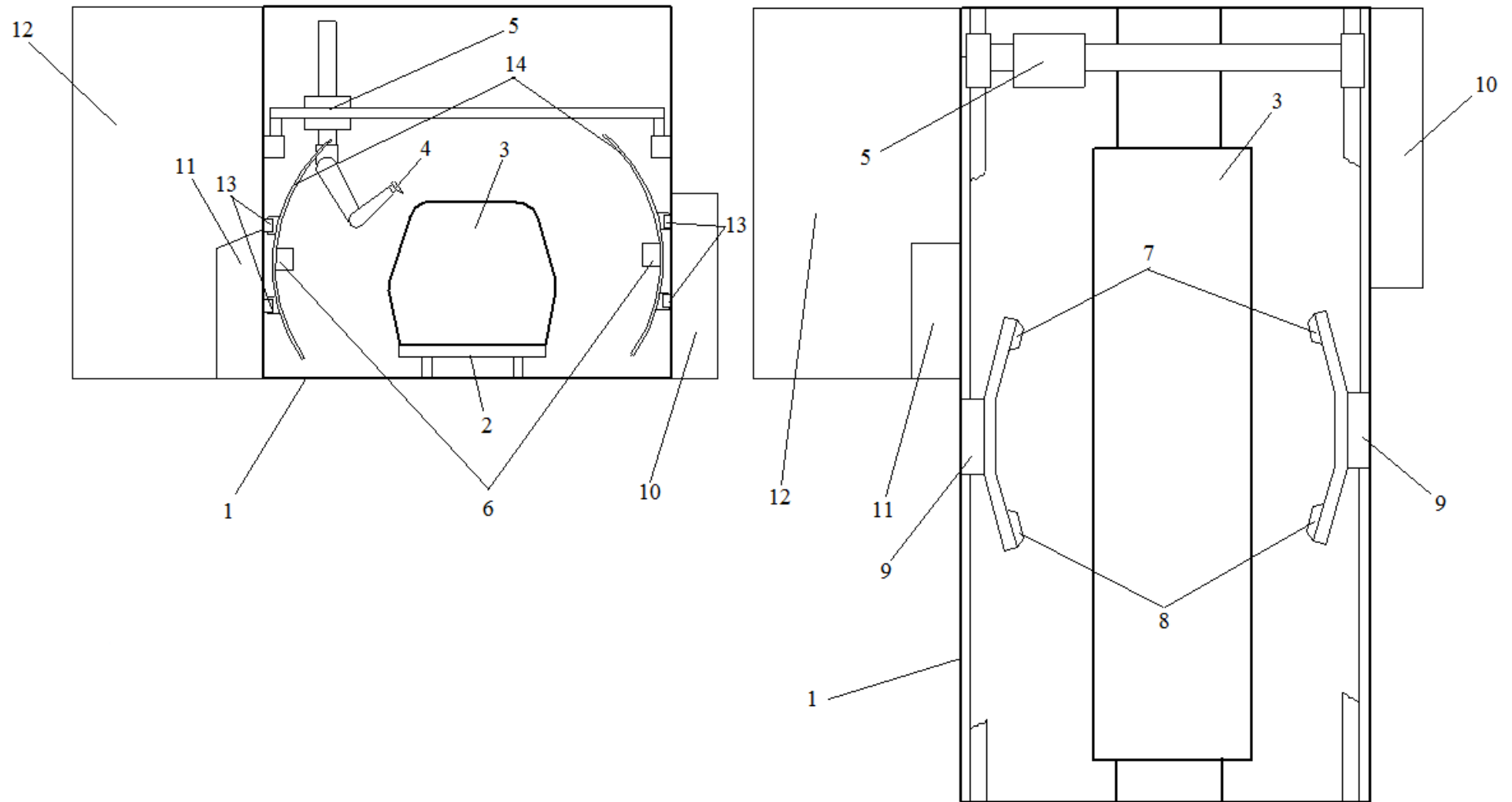


Рисунок 4.16 – Автоматизированный комплекс дробеструйной очистки кузовов подвижного состава железных дорог

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 двигателя подвижного состава.

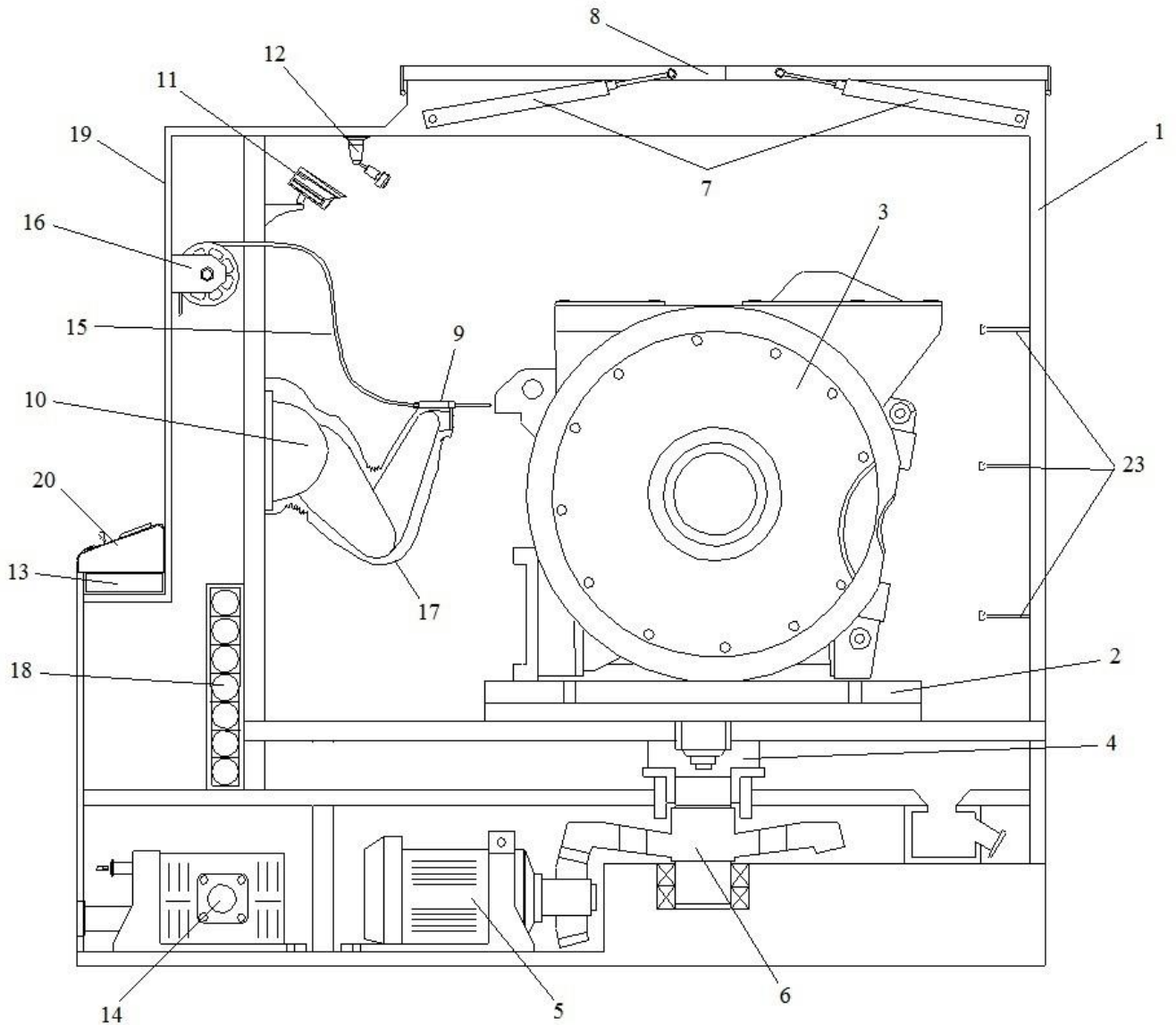


Рисунок 4.17 – Комплекс автоматизированной очистки деталей и узлов

Тяговый электрический двигатель 3 устанавливают в моечную камеру 1 на подставку 2 поворотного стола 4. Подставку 2 можно менять в зависимости от типа двигателя. После установки узла оператор запускает моечный комплекс, при помощи пульта управления 20, защитный люк 8 опускается и изолирует зону очистки. Включается система технического зрения 21 объекта очистки, лазерный мо-

дуль 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 моечной 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 моечную 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.

Разработанная система 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 за-

грузки участков $k_{з.ср}^{my}$, 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. Головащ, А. Н. Проблемы перехода на ремонт подвижного состава по техническому состоянию и пути их решения / А. Н. Головащ // 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. Душлякин, В. М. Выбор закона распределения входного потока заявок при моделировании систем массового обслуживания торгового предприятия [Текст] / В. М. Душлякин, 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 Паблишер, 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 BHV, 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. Черепашенко.—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 е.; -(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] // Вісник Дніропетр. 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. № Зр. 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 электровозов 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 электромашиного 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-Com: 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. отделение, Ин-т автоматизации и электрометрии, 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. Паньчев, 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. Сугчинский // 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 Internation-

al 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:

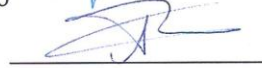
Разработка рекомендуется к внедрению на предприятиях по ремонту подвижного состава.

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.

**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 обем 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