

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«Сибирский государственный университет путей сообщения»

На правах рукописи



ШКОЛИНА ДАРЬЯ ИВАНОВНА

**МОНИТОРИНГ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ В ВАГОНРЕМОНТНОМ КОМПЛЕКСЕ**

Специальность 05.02.22 – «Организация производства (транспорт)»

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, доцент
Бехер Сергей Алексеевич

Новосибирск – 2022 г.

Оглавление

Введение.....	4
1 Анализ современных методов организации, управления и мониторинга производственных процессов	10
1.1 Современные концепции организации производства и управления производственными процессами	10
1.2 Оценка методов мониторинга производственных процессов на предприятиях железнодорожного транспорта	21
1.3 Оценка достоверности результатов неразрушающего контроля	28
1.4 Выводы к первой главе	38
2 Разработка методов мониторинга на основе статистического анализа результатов деятельности подразделений	40
2.1 Анализ информационной поддержки технологических процессов в подразделениях неразрушающего контроля	40
2.2 Статистический анализ и экспертные оценки результатов работы структурных подразделений	44
2.3 Математическое моделирование случайных потоков результатов неразрушающего контроля.....	55
2.4 Выводы ко второй главе	68
3 Имитационное моделирование распределенных по предприятию производственных процессов	70
3.1 Анализ подразделений неразрушающего контроля	70
3.2 Имитационная модель подразделения неразрушающего контроля	81
3.3 Выводы к третьей главе.....	93
4 Совершенствование элементов системы управления процессами неразрушающего контроля вагоноремонтной компании.....	94

4.1 Риск-ориентированный подход к управлению техническими средствами подразделения неразрушающего контроля	94
4.2 Совершенствование методов управления персоналом с помощью информационной среды предприятия.....	101
4.3 Выводы к четвертой главе.....	108
Заключение	110
Список литературы	113
Приложение А Патент на изобретение № 2733592	128
Приложение Б Акт внедрения вагонного ремонтного депо Инская АО «ВРК-1»	129
Приложение В Акт внедрения Новосибирского представительства АО «ВРК-1»	130
Приложение Г Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2020615524	131

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Безопасность эксплуатации объектов железнодорожного транспорта в большой степени зависит от организации производственных процессов неразрушающего контроля (НК) на предприятиях вагоноремонтного комплекса. Достоверность НК может быть обеспечена только в результате согласованного взаимодействия всех компонентов процесса – персонала, технических средств и вспомогательного оборудования, а также производственной среды, технической и технологической документации.

Решение задачи непрерывного мониторинга и определения способов оптимизации производственного процесса НК может быть получено посредством разработки критериев устойчивости процессов НК, основанных на методах математической статистики и имитационного моделирования. Это особенно актуально в масштабах крупных компаний, объединяющих несколько десятков структурных подразделений, и требует автоматизированного сбора информации и цифровизации методов управления процессами.

Степень разработанности темы исследования. Основы организации производства и внедрение информационных систем и комплексов на предприятиях железнодорожной отрасли описаны в научных трудах Сергеева К.А., Сириной Н.Ф., Лапшина В.Ф., Верескуна В.Д., Шантаренко С.Г., Капустьяна М.Ф., Лакина И.К., Буйносова А.П., Манакова А.Л., Смирнова В.А., Дементьева А.П. и др. В опубликованных работах подробно рассмотрены научные и технические проблемы информатизации, управления и автоматизации производственных процессов. Современные информационно-управляющие комплексы направлены на получение информации об объекте, при этом не в полной мере решены задачи принятия эффективных управленческих решений в автоматизированном режиме, а особенно в подразделениях, в которых основной результат является отложенным и проявляется в процессе эксплуатации в виде приращения надежности подвижного состава.

Управление трудовыми ресурсами, включая управление квалификацией, и анализ влияния человеческого фактора на производственные процессы на железнодорожном транспорте представлены в работах Давыдова А.В., Дымкина Г.Я., Муравьева В.В., Воробьева В.С., Аксенова В.А. и др. Исследования в области организации производственных процессов НК и анализа его результативности проводятся в научных школах, возглавляемых Бадаляном В.Г., Бойчуком А.С., Марковым А.А. Вместе с тем, отдельные вопросы оценки достоверности результатов НК проработаны недостаточно, в частности, отсутствуют способы выбора и обоснования статистических критериев достоверности результатов, оптимизации всех компонентов производственных процессов, в условиях, когда их входы и выходы описываются случайными величинами.

Цель работы – цифровизация методов мониторинга и планирования технологических процессов НК вагоноремонтных предприятий, направленная на повышение безопасности движения грузовых вагонов.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

- 1) экспериментально и теоретически установить закономерности статистических распределений результатов деятельности структурных подразделений компании;
- 2) разработать методы и критерии мониторинга соответствия процессов НК установленным нормативным требованиям на основе теории проверки статистических гипотез;
- 3) разработать имитационную модель подразделения НК на принципах реорганизации для совершенствования технологических процессов в условиях неопределенности входных параметров;
- 4) сформировать комплекс методических и практических мероприятий для автоматизированного управления процессами НК в системе непрерывного мониторинга.

Объект исследования – предприятия вагоноремонтного комплекса.

Предмет исследования – производственный процесс НК как составляющая часть производственного цикла предприятия вагоноремонтного комплекса.

Идея работы заключается в разработке методов комплексного непрерывного мониторинга и автоматизированного управления на основе статистического анализа результатов и имитационного моделирования для оптимизации численности и квалификации производственного персонала подразделения НК предприятия.

Научная новизна заключается в том, что:

1) установлены закономерности распределения результатов НК, которые являются основой критериев обнаружения отклонений от типового технологического процесса;

2) разработан способ восстановления потоков событий результатов НК для сравнительного анализа в условиях случайного ежесменного объема контроля;

3) построена имитационная модель и предложена целевая функция, позволяющая определить критерий совершенствования организационной структуры подразделения НК и технологических процессов вагоноремонтного предприятия;

4) разработан способ управления производственной средой подразделения НК для непрерывного соответствия обязательным требованиям нормативных документов.

Теоретическая значимость заключается в том, что установленные закономерности распределения результатов производственных процессов с двумя возможными исходами являются основой для создания критериев оценки их соответствия установленным требованиям. Разработанный алгоритм восстановления потока результатов расширяет возможности статистических методов обработки для оценки производственных процессов со случайным объемом контроля. Предложенная целевая функция может использоваться для исследования степени оптимизации подразделений предприятий, реализующих распределенные по разным основным производственным участкам процессы.

Практическая значимость работы состоит в предложенном и обоснованном способе управления производственным процессом НК на основе анализа результатов производственных процессов НК для обнаружения отклонений от типового производственного процесса, закрепленный документально в патенте RU 2733592 С1 от 05.10 2020 г. (Приложение А). Способ реализован в алгоритмах программного обеспечения автоматизированного рабочего места мастера неразрушающего контроля в 42-х предприятиях АО «Вагонная ремонтная компания – 1», о чем имеется акт внедрения вагонного ремонтного депо Инская от 08.02.2022 г (Приложение Б).

Представленные в работе алгоритмы оценки результативности работы персонала и способ управления производственным процессом для проведения дистанционного мониторинга и регулирования НК при изготовлении, ремонте и техническом обслуживании вагонов, их узлов и деталей оформлены в виде заявки на патент № 2021117258 от 11.06.2021 г. Предложенные решения используются в разработанном в СГУПСе мобильном приложении для оптимизации плана технических занятий специалистов 39 вагонных ремонтных депо, что подтверждается актом внедрения Новосибирского представительства АО «Вагонная ремонтная компания-1» от 17.02.2022 г. (Приложение В). Программное обеспечение зарегистрировано в государственном реестре программ для ЭВМ № 2020615524 от 25.05.2020 г. (Приложение Г).

Методология и методы исследования. Исследования процесса формирования потоков случайных событий как результатов производственного процесса проводились методами математического и имитационного моделирования. Верификация результатов производственных процессов выполнялась экспериментальными методами: визуально-измерительным, ультразвуковым, магнитопорошковым и разрушающим – макрофрактографией. Для статистической обработки результатов использовались методы математической статистики: корреляционный и регрессионный анализ, теория проверки гипотез.

Положения, выносимые на защиту.

1. Разработанные критерии соответствия технологических процессов нормативным требованиям позволяют проводить их автоматизированный мониторинг. Критерии основаны на анализе статистических закономерностей количества забракованных деталей и распределения количества дефектов по зонам контроля.

2. Предложенный способ сравнительной оценки позволяет установить соответствие технологических процессов с разным объемом контроля. Способ основан на восстановлении последовательности результатов НК с использованием генератора случайных чисел.

3. Разработанная имитационная модель технологического процесса НК служит практической основой оптимизации организационных структур подразделения НК. Целевая функция оптимизации равна отношению среднего коэффициента занятости к коэффициенту задержки деталей.

4. Разработанный способ управления сопутствующими и обеспечивающими процессами позволяет уменьшить влияние человеческого фактора и повысить степень цифровизации. Оценка рисков и планирование по результатам мониторинга производственного обучения персонала на основе блочно-модульной системы.

Диссертация соответствует пунктам паспорта научной специальности «05.02.22 Организация производства (транспорт)»:

п. 10. Разработка методов и средств мониторинга производственных и сопутствующих процессов.

п. 11. Разработка методов и средств планирования и управления производственными процессами и их результатами.

Достоверность полученных результатов подтверждается корректным использованием нормативных документов. В экспериментальных расчетах, выполненных автором, установлена сходимость результатов математического и имитационного моделирования с экспериментальными данными и результатами, опубликованными в научных работах других авторов. Положения диссертации основываются на общепризнанных положениях теории вероятности и

математической статистики. Объем экспериментальных результатов является статистически значимым, все оценки выполнены с доверительной вероятностью не менее 95 %. Фактические материалы по производственным процессам НК в вагоноремонтном комплексе собраны и обобщены, а экспериментальные расчеты выполнены автором в ходе проведения исследований в период обучения в аспирантуре.

Апробация результатов. Основные результаты диссертационной работы обсуждались на XI Международной научно-технической конференции «Политранспортные системы» (г. Новосибирск, 12–13 ноября 2020 г.), IV Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в промышленности и на транспорте» (г. Омск, 29-30 октября, 2020 г.), XII Международной научно-практической конференции «Транспортная инфраструктура Сибирского региона» (г. Иркутск, 6-8 октября 2021 г.), Международной конференции «Железнодорожный транспорт и технологии (RTT-2021)» (г. Екатеринбург, 24-25 ноября 2021 г.).

Личный вклад автора. Автором выполнена обработка, анализ и интерпретация экспериментальных данных, подготовлены основные публикации и заявки на регистрацию объектов интеллектуальной собственности, сформулированы цель и задачи исследования, основные защищаемые положения и пункты научной новизны.

Публикации по теме диссертации. По результатам диссертационной работы опубликованы **12** работ, в том числе **три статьи** в изданиях, включенных в перечень ВАК, **три** статьи индексированы в международной реферативной базе Scopus, **один** патент РФ на изобретение, **одна** программа для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 131 странице, содержит 79 рисунков, включает пять таблиц и четыре приложения, состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, который содержит 116 источников, в том числе 26 источников на английском языке.

1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОРГАНИЗАЦИИ, УПРАВЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Основные концепции, которые образуют фундамент современной теории и практики организации производства, развивались на протяжении нескольких последних десятков лет. Родоначальниками научных основ управления производством считаются Г. Форд, Ф. Тейлор, Г. Гантт, Х. Эмерсон, Ф. Гилберт, С. Томпсон, Г. Мюнстерберг. Из российских ученых и практиков в становлении этой науки значительный вклад внесли Д.К. Советкин, А.К. Гастев, П.М. Керженцев и Л.В. Канторович. Работы этих ученых определили пути развития научных основ организации производства во всех отраслях промышленности, включая железнодорожный транспорт.

В настоящее время в научно-исследовательских работах решаются научные и технические задачи, направленные на оптимизацию производственных процессов на основе внедрения информационных баз данных. Исследования в области НК связаны с повышением достоверности результатов контроля. Для этого используются статистические методы анализа, математическое и имитационное моделирование.

1.1 Современные концепции организации производства и управления производственными процессами

Способом достижения поставленных целей для управления и организации производства является описание производственных процессов как основных процессов, так и вспомогательных, а также их последующая оптимизация [1]. В настоящий момент активно применяются и внедряются методы и инструменты повышения качества продукции и оказываемых услуг, оптимизации производственных процессов.

Под производственным процессом понимается совокупность действий (работников, оборудования и вспомогательных материалов), в результате которых сырье и полуфабрикаты превращаются в готовое изделие или услугу с заданными

свойствами и в установленном количестве [2]. Частью производственного процесса является технологический процесс, включающий в себя последовательность операций, приводящих к изменению внешнего вида изделия или его физико-механических свойств [3-4]. Производственные процессы подразделяют на основные, вспомогательные и обслуживающие.

НК относится к основным производственным процессам, в процессе которого проводится оценка надежности параметров и свойств объектов без нарушения пригодности к дальнейшей эксплуатации. К вспомогательным процессам относится сертификация персонала, подготовка и настройка основного и вспомогательного оборудования, дефектоскопических материалов. Эти процессы призваны обеспечивать бесперебойное протекание основного процесса. Обслуживающие процессы связаны с процедурами транспортировки объектов контроля на позицию НК, получения оборудования и материалов со склада, проведение поверки и/или калибровки средств контроля.

Методом анализа эффективности текущих производственных процессов и оценки результативности внедрения новых методов является моделирование. Под моделированием понимается способ исследования реальной системы на численной, математической или аналитической модели, с помощью которой выявляются особенности системы и проблемы, возникающие в реальных производственных процессах [5]. Наиболее ответственным этапом моделирования является определение входных параметров, так как от них напрямую зависит достоверность получаемых результатов (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Модель управления процессом [6]

Распространенным и достаточно эффективным методом исследования и прогнозирования поведения сложных процессов и явлений является математическое моделирование. Получаемые на его основе математические модели направлены на сокращение затрат на разработку системы взаимосвязанных процессов и гарантию надежности системы в широком спектре условий. Применение моделирования особенно важно для оценки надежности, безопасности и оптимизации [7]. Под оптимизацией понимается совокупность математических методов, применение которых направлено на нахождение наилучшего значения заданной целевой функции [8]. Целевая функция – это одно из центральных понятий. Под целевой функцией понимается функция $f(x)$, которая отражает зависимость степени достижения планируемого результата от искомых переменных (минимизация или максимизация поставленной задачи):

$$f(x_1, \dots, x_i) \rightarrow \max (\min). \quad (1.1)$$

Оптимизация производственных процессов возможна и в рамках методологии теории массового обслуживания, на основе которой проводится анализ многократно повторяющихся событий на производстве. Предметом теории массового обслуживания является определение связей между элементами системы для последующего улучшения.

В работах [9-10] описана модель вагоноремонтного предприятия, построенная на основе теории массового обслуживания (рисунок 1.2).

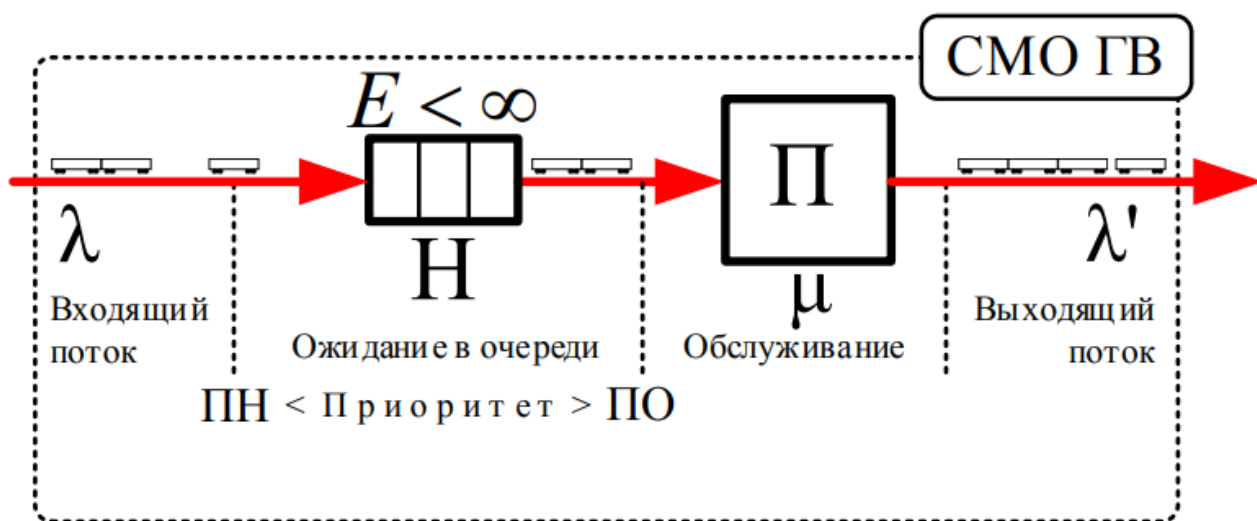


Рисунок 1.2 – Схема математической модели системы массового обслуживания грузовых вагонов [10]

В системе выделены следующие элементы: входящий поток грузовых вагонов с интенсивностью λ , накопитель H , в качестве которого выступают железнодорожные пути, и блок обслуживания Π – вагонсборочный участок, в котором выполняются все операции с интенсивностью μ . В работе [10] описан процесс ремонта грузовых вагонов от момента подачи до момента уборки вагона. Технологические операции задаются порядком накопления и обслуживания, которые могут быть приоритетными и бесприоритетными (по мере поступления вагонов). Предложенная коллективом авторов модель позволяет создать теоретическую базу для описания функционирования как отдельных участков, так и всего вагонного ремонтного предприятия.

Вопросы управления технологическими процессами ремонтов подвижного состава отражены в работах Шантаренко С.Г., Капустьяна М.Ф. [11-12]. В работе [11] описана методика управления процессами ремонта локомотивов с использованием методов сетевого планирования, а также приведены результаты внедрения, которые дают возможность повысить качество технологических операций и оптимизировать временные затраты.

Вопросы подготовки и управления технологическими процессами ремонта и технического обслуживания подвижного состава рассматриваются в работах Смирнова В.А. [13-20]. Автором анализируются параметры производственных процессов, предлагаются показатели и критерии оценки, которые являются основой для оптимизации производства.

В работе [13] предлагается алгоритм динамического моделирования технологических процессов, который основывается на использовании модульного принципа паттерновых сетей – характерных образов технологических операций с описанием связей, условий, параметров и результатов работ. Автором предлагаются модели, которые учитывают основные и вспомогательные процессы производства, а также операции контроля качества, управления и материального обеспечения. Разработанные модели направлены на оптимизацию технологического процесса ремонта подвижного состава за счет исключения источников непроизводительных затрат, повышения производительности труда и

сокращения времени ремонта подвижного состава, в том числе сокращения технических и технологических задержек.

Совершенствование процессов и внедрение новых методов и методик организации технологического процесса находится в рамках современных концепций непрерывного улучшения. Использование имитационных моделей предоставляет возможность моделировать реальные системы для оценки работоспособности в штатном режиме работы и в условиях ограниченности ресурсов, например, при сбоях в работе оборудования или выпуске дефектной продукции [21]. Подробный анализ производственных процессов дает возможность воспроизводить сложные процессы с применением разных условий и определять оптимальные направления для улучшений [22-23]. Исследование в этом случае представляет собой итерационный процесс. На первом этапе создаются и анализируются модели текущего производственного цикла. Обнаруженные недостатки и ограничения учитываются при создании новой модели. Этот алгоритм повторяется до получения оптимального результата.

Выбор и обоснование инструментов для описания процессов является необходимым этапом анализа производства. В современной методологии организации наиболее часто упоминаются такие инструменты, как объектно-ориентированные методы на основе унифицированного языка моделирования UML (Unified Modeling Language), система условных обозначений и их описание BPMN (Business Process Model and Notation) и методологии семейства структурных моделей IDEF (Integrated Definition).

В работе [24] представлено исследование моделирования процессов для оценки возможности их автоматизации. Методология исследования включает в себя разработку каталога и описания технологических операций (рисунок 1.3) [24]. При анализе выделяются три составляющие производственной системы: окружающая среда, исследование и база знаний. Окружающая среда представляет собой описание производственной среды предприятия. Вторая составляющая – это мероприятия, направленные на разработку каталога производственных процессов. В базе знаний накапливаются научные положения, на основе которых

проводится исследование. С использованием предложенной методологии построены структурированные модели производственных процессов, которые являются фундаментом для управления процессами производства, в том числе в автоматизированном режиме.



Рисунок 1.3 – Методология исследования [24]

На основе предложенной методологии [24] проведен анализ, построены модели производственных процессов и определены внутренние и внешние связи и воздействующие факторы, что является важным при организации производства и принятия управленческих решений.

При изучении производственных и технологических процессов широкую популярность набирает методология цифрового двойника или цифрового близнеца. Цифровой близнец – это информационная конструкция, которая состоит из физического актива, его идентичного цифрового представления и соединения данных между ними [25]. Для описания цифровой модели используется унифицированный язык моделирования UML [26], который используется для описания основных компонентов и взаимосвязи элементов системы (структурные диаграммы) и функционирования системы, в том числе ее взаимодействие с другими системами (поведенческие диаграммы).

Цифровой близнец позволяет создавать связь между физическим объектом и моделью и накапливать знания о нем. Эта технология находит применение для улучшения процессов моделирования, обеспечения прослеживаемости на протяжении всего жизненного цикла. Методология цифрового двойника является важным инструментом в цифровой трансформации производства и внедрения новейших разработок в концепции Индустрии 4.0 [27], которая предполагает внедрение киберфизических систем в производственные процессы.

Под киберфизической системой понимается понятие, включающее в себя концепцию объединения технологии производства и информационной системы и подразумевающее массовое внедрение вычислительных ресурсов в физический производственный процесс. В таких системах вычислительные компоненты распределены по всей физической системе, которая является её носителем и связана её составляющими. Киберфизические системы являются компонентом, определяющим термин «Индустрия 4.0».

Четвёртая промышленная революция (Индустрия 4.0) – массовое внедрение киберфизических систем в производство и обслуживание человеческих потребностей. Индустрия 4.0 предполагает новый подход к производству, который основан на массовом внедрении информационных технологий в промышленность, автоматизации процессов и распространении искусственного интеллекта (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – Составляющие Индустрии 4.0

В основе концепции Индустрии 4.0 лежат облачные сервисы, методы сбора, хранения и обработки больших массивов данных, которые обеспечивают функционирование автоматического технологического оборудования – киберфизических систем, управление которыми осуществляется удаленно с использованием вычислительной техники [28-29] (рисунок 1.5).

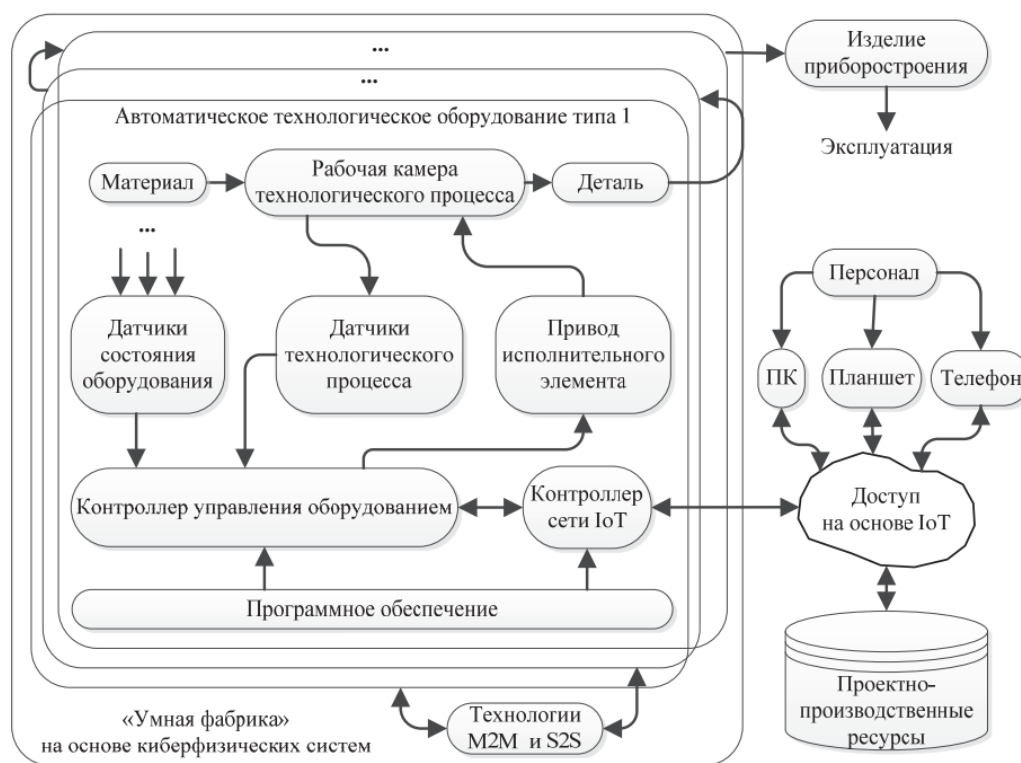


Рисунок 1.5 – Схема взаимодействия персонала и киберфизических систем [28]

В статье [30] рассмотрена на цифровая трансформация производства как способ организации процессов, основанный на создании цифровых платформ для повышения мобильности производства на основе анализа имеющихся данных, разработке адекватных цифровых моделей производственных процессов и изделий, а также внедрение цифровых технологий в жизненный цикл продукции – от идеи до утилизации. В работе описывается опыт российских и зарубежных компаний в области цифровой трансформации: ПАО «СИБУР Холдинг», Siemens AG и ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат». Например, в ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат» используется программный продукт «Teamcenter», который управляет информацией об изделии в режиме реального времени.

Уникальным примером цифровой трансформации является горно-геологическая информационная система, созданная в ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат». Система на основе 3D-модели карьера используется для моделирования плана его разработки. Технология открывает возможность для добычи полезных ископаемых с минимальными издержками и максимальной эффективностью. На основе анализа предприятий установлено, что все они находятся на разных этапах цифровой трансформации производства (рисунок 1.6).

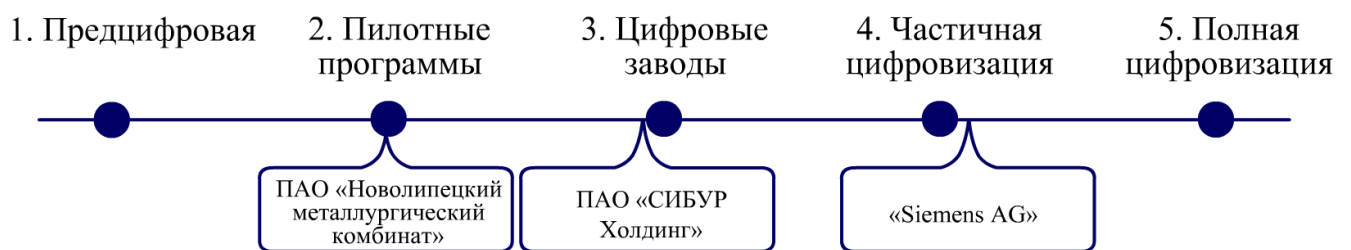


Рисунок 1.6 – Этапы цифровой трансформации производства [30]

ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат» внедряет пилотные проекты на отдельных этапах производства. В ПАО «СИБУР Холдинг» действуют 15 проектов по внедрению новых технологий в производственные процессы, на одном из заводов проводится трансформация по значительному объему процессов. Siemens AG активно внедряет собственные разработки для улучшения производства.

Управление качеством является неотъемлемым элементом управления производственными процессами и включает в себя процедуру оценки и анализа показателей качества. В работе [31] описана модель (рисунок 1.7) оценки технологичности предприятия при управлении качеством, которая строится по трем основным направлениям: технологичность, объекты управления и функции управления качеством:

$$T_{\text{СМК}} = f(k, n, l), \quad (1.2)$$

где k – критерий технологичности; n – объект менеджмента качества; l – функции менеджмента качества.

Модель оценки уровня технологичности компании в управлении качеством [Model for assessing the level of manufacturability of a company in quality management]					Таблица 4
Компьютеризация (k)	Объекты управления качеством (n)			Функции СМК (l)	Результативность СМК (R)
	Продукция (n_1)	Производство (n_2)	Управление (n_3)		
Роботизация (k_2)	k_2	n_1	l_2	k_2	Оценка (l_2)
Автоматизация (k_1)	k_1	n_1	l_1	k_1	Мониторинг (l_1)
Регламентация (k_0)	k_0	n_1	l_0	k_0	Фиксация (l_0)

Рисунок 1.7 – Модель оценки уровня технологичности компании в управлении качеством [31]

Благодаря предложенной модели, у организации имеется возможность проведения оценки и определения направления развития или выбор оптимального варианта для управления качеством производственных процессов. Обеспечение высокого уровня технологичности позволяет формировать достоверную информацию о производственной системе, на основе которой принимаются управленческие решения для уменьшения влияния технических и экономических рисков.

Внедрение процессного подхода и применение основных положений системы менеджмента качества [32] в совокупности с информационными технологиями создают эффективный инструмент управления производственными процессами [33]. Автором предлагается использовать циклы PDCA и НОРД совместной с IT-технологиями и обработкой «больших данных» (Big Data) (рис. 1.8).

Система предусматривает наличие критериев для мониторинга функционирования системы, а использование современных информационных технологий дает возможность принимать оперативные управленческие решения и осуществлять непрерывное совершенствование производственного процесса. В качестве первичного источника информации выступает автоматизированная система управления эксплуатацией и ремонтом парка пассажирских вагонов, которая содержит информацию о выполненном техническом обслуживании и ремонте, датах и причинах возникновения неисправностей [34].

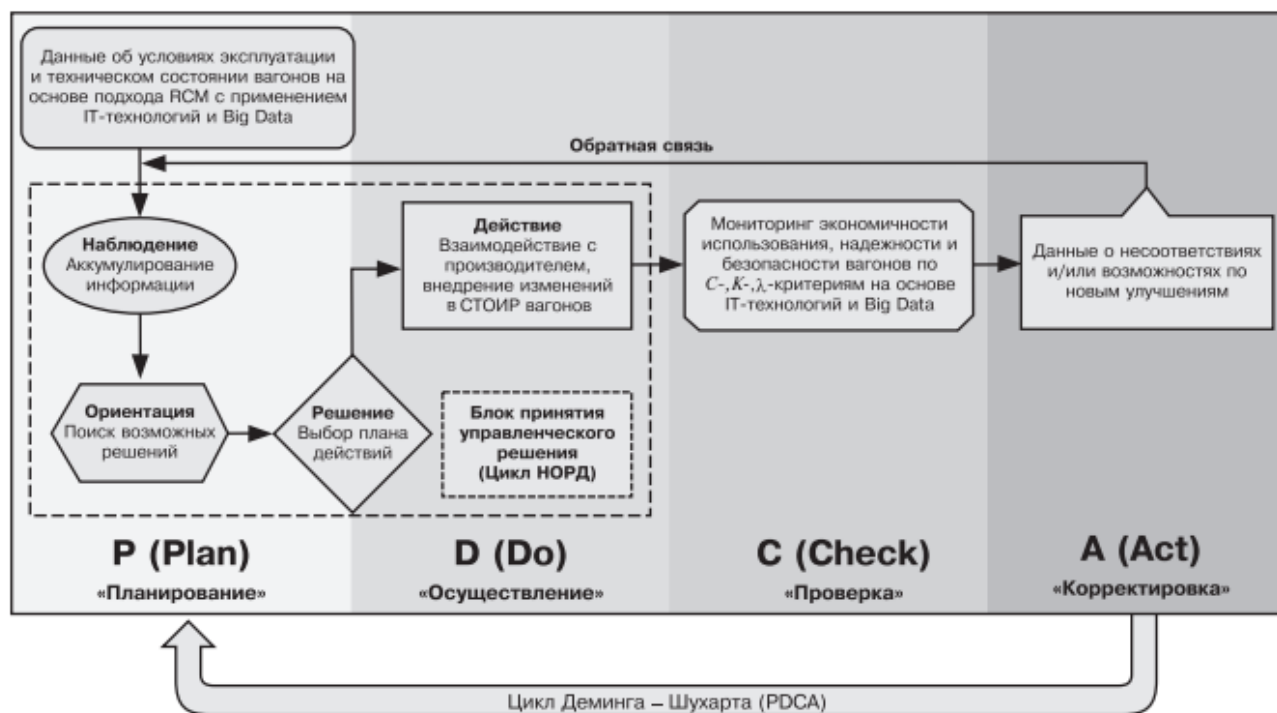


Рисунок 1.8 – Схема процесса рационализации системы технического обслуживания и ремонта пассажирских вагонов [33]

Методом управления производственными процессами является концепция бережливого производства, ориентированная на оптимизацию работы оборудования и повышение качества продукции. В основе методик управления лежит количественный и качественный анализ данных производственных предприятий, результаты которого определяют пути и механизмы совершенствования производства. В результате исследования установлена закономерность между производственным ритмом и темпом внедрения бережливого производства: чем выше скорость производственной линии, тем быстрее внедрение концепции [35].

Внедрение средств компьютерного моделирования в процесс производства на предприятии ООО «Ростовский литейный завод» описано в статье [36]. В работе предложена система оценки результатов моделирования, которая включает определение параметров, дающих представление о причинах и вероятности образования дефектов в процессе усадки отливок из высокопрочного чугуна. В работе предложено уравнение оценки вероятности образования усадочных дефектов по площади и степени поражения объема отливки:

$$Shr = Shr_{max}^{(n-mShr(v))}, \quad (1.3)$$

где Shr – вероятность образования дефекта, отн. ед.; Shr_{max} – максимальное локальное значение поля усадки, отн. ед.; $Shr(v)$ – относительный объем отливки, пораженный усадкой, отн. ед.; n, m – коэффициенты пропорциональности.

Описанная методика предполагает организацию и ведение базы данных для комплексного анализа и оптимизации процесса производства. Использование предложенного подхода для 10 наименований изделий дало возможность увеличить на 6,9 % годную продукцию и уменьшить уровень брака на выходе производственного процесса на 5,1%.

1.2 Оценка методов мониторинга производственных процессов на предприятиях железнодорожного транспорта

В последние годы разработка и внедрение информационно-управляющих комплексов на предприятиях железнодорожного транспорта носит массовый характер. В работах [37-38] описана система автоматизированного управления технологическими процессами обслуживания и ремонта локомотивов АСУ «Сетевой график» для группы компаний «ЛокоТех». До внедрения системы сбор информации о локомотивах производился вручную, заводились бумажные журналы, в которые заносились все записи о техническом состоянии машин. Применение АСУ «Сетевой график» направлено на автоматизацию управления задачами мониторинга, планирования сроков и объемов технического обслуживания и ремонтов локомотивов, подготовки производства и управление процессом ремонта и ведения всей необходимой документации.

Автоматизированная система управления технологическими процессами технического обслуживания и ремонта локомотивов является базой для построения технологии, которая в автоматическом режиме оповещает об имеющихся проблемах и оказывает поддержку в принятии решений об объемах необходимого ремонта.

В статье [39] рассмотрены подходы компании «Локомотивные технологии» к повышению качества оказания услуг при техническом обслуживании и ремонте локомотивов посредством внедрения технологии «Встроенное качество» – совокупность мероприятий, направленных на предотвращение появления несоответствий в производственном процессе. В режиме опытной эксплуатации функционирует Единая информационно-управляющая система мониторинга технического состояния локомотивов (ЕСМТ), в которой используется технология «Встроенное качество». Данная система является частью Автоматизированной системы управления надежностью локомотивов. В основу ЕСМТ положены международные и национальные стандарты в области управления качеством и сервисного обслуживания, а также принципы бережливого производства, включая математические методы. В системе реализован ряд процессов по повышению качества оказываемых услуг: управление инцидентами, управление проблемами и уровнем сервиса.

Управление инцидентами – процедура быстрого устранения неполадок и восстановления процесса обслуживания, например, каждый ремонт и/или обслуживание локомотива рассматривается как отдельный управляемый инцидент. Снижение количества неполадок, а также проведение всестороннего анализа имеющейся информации, обнаружение и устранение проблемных мест в технологическом процессе обслуживания локомотивов реализуется на основе принципа управления проблемами. При управлении уровнем сервиса проводится мониторинг, контролируется качество и уровень сервиса, а также формируются отчетные документы.

Оснащение локомотивов бортовыми микропроцессорными системами управления, предоставляющими возможность накапливать данные, является одним из этапов внедрения ЕСМТ и позволяет определять предотказное состояние оборудования на основе обработанной статистической информации и определения закона анализируемых параметров для защиты локомотивов от опасных режимов эксплуатации. В ЕСМТ предусмотрена возможность создания листов регистрации инцидента, в котором отображается вся информация о

причинах и процессе устранения. Вся информация передается в единую базу данных и обрабатывается методами математической статистики и теории вероятности. Для этого в ЕСМТ предусмотрен специальный модуль. Модуль в режиме on-line определяет достоверность информации и закон распределения параметров, подвергаемых анализу [40].

Применение технологии цифрового двойника для управления сервисным обслуживанием локомотивов описано в работах [41-42] (рисунок 1.9).



Рисунок 1.9 – Алгоритм использования технологии «цифровой двойник» [41]

Сущность технологии заключается в возможности накопления статистической информации о времени, необходимом на каждом этапе производственного процесса ремонта. После определения технического состояния локомотива и составления индивидуального графика ремонта в программной среде «MS Excel» проводится моделирование процесса технического обслуживания и ремонта. Программа случайным образом моделирует процесс ремонта или технического обслуживания заданное количество раз, методами математической статистики рассчитывается вероятность выполнения ремонта в установленное время по известным законам распределения случайных величин. Результатом моделирования является ожидаемое время проведения ремонта.

Разработанные коллективом исследователей под руководством Лакина И.К. теоретические основы создания и внедрения в опытную эксплуатацию информационно-управляющих систем являются базой для разработки аналогичных комплексов в других областях железнодорожного транспорта.

Одной из ведущих отраслей железнодорожного транспорта является вагонное хозяйство, задача которого заключается в поддержании работоспособного состояния грузовых и пассажирских вагонов, а также оптимизации межремонтных периодов, повышении качества ремонтных работ, совершенствовании существующих подходов и внедрении новых форм и методов организации производственного процесса. Основная деятельность вагоноремонтных предприятий связана с организацией и проведением различных видов ремонта и технического обслуживания вагонов, их узлов и деталей [43].

Для уменьшения влияния человеческого фактора при проведении всех видов ремонтов и/или технического обслуживания вагонов, когда действия работников могут привести подвижной состав в неработоспособное или предаварийное состояние, разработан и внедрен комплекс мероприятий по поддержанию трудовой дисциплины в подразделениях вагонных ремонтных депо.

Комплекс мероприятий включает в себя периодическую проверку знаний и контроль диспетчерской службой при выполнении осмотра технического состояния подвижного состава. В качестве дополнительных мер контроля качества работ авторами научных работ предлагается использовать систему дистанционного контроля выполняемых работ и фиксации результатов работы персонала (рисунок 1.10) [44].

Камера видеонаблюдения устанавливается на одежде работника. При выполнении технологических операций изображения с места осуществления профессиональной деятельности передаются диспетчеру и/или машинисту для хранения на средствах регистрации. Диспетчер в режиме реального времени имеет возможность контролировать выполнение и качество операций. Система регистрирует технологические операции при ремонте подвижного состава, данные передаются в диспетчерскую службу для принятия оперативных

управленческих решений и дистанционного контроля качества выполняемых операций [45].

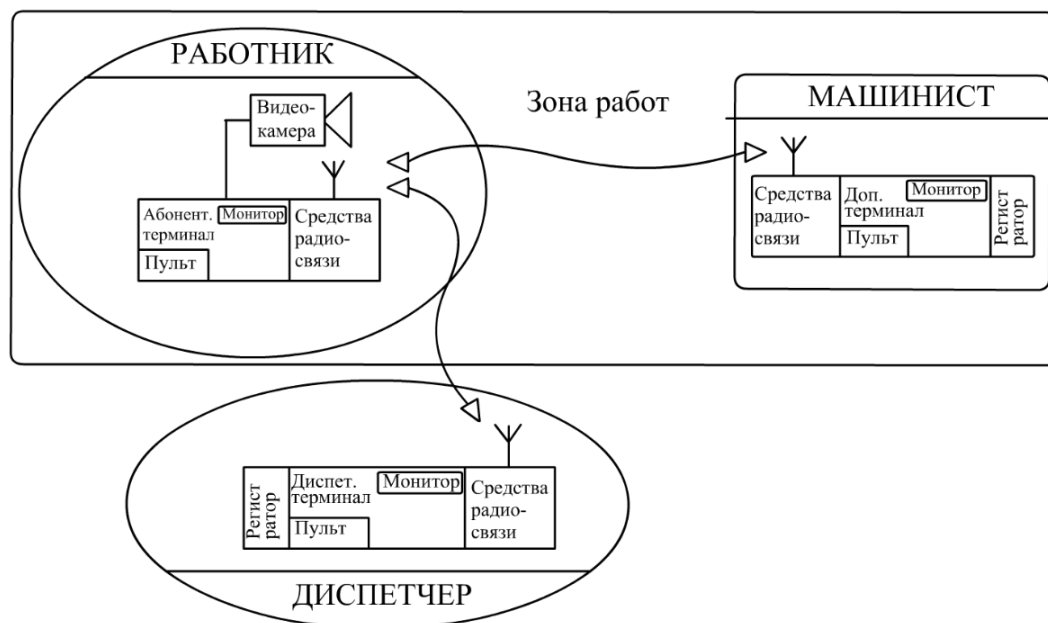


Рисунок 1.10 – Схема взаимодействия в системе контроля [44]

Производственный процесс ремонта включает в себя прием, очистку и мойку вагона, деталей и узлов, проведение контроля деталей методами НК, восстановление и сборку узлов, выходной контроль вагона. В условиях модернизации и реформирования железнодорожного транспорта приобретает актуальность вопрос, касающийся разработки и внедрения новой нормативно-технической и технологической документации, механизации и автоматизации технологических процессов, включая использование новых технологий и средств НК [46].

Для повышения эффективности на значительном количестве вагоноремонтных предприятиях проведена реконструкция, обновлено технологическое оборудование, внедряются системы информатизации и автоматизации для повышения эффективности производственных процессов за счет современных технологий оптимизации и управления работой [47]. Однако все существующие системы, действующие на предприятиях, выполняют функцию получения информации об объекте управления, в то время как функция принятия

и реализация управленческих решений и мероприятий не была реализована в полной мере ни в одной из имеющихся систем [42].

Применение информационных систем и автоматизация технологического проектирования существенно сокращают сроки внедрения в производственный процесс новых средств и методик по повышению качества ремонта и технического обслуживания объектов железнодорожной инфраструктуры. Коллективом авторов под руководством Сергеева К.А. предложены теоретические основы автоматизированного проектирования технологических процессов, которые построены на базе аксиоматического метода: с использованием новых цифровых технологий [48-52]. В системе автоматизированного проектирования технологических процессов лежит совокупность баз данных, включающих в себя конструкторские документы, нормативную и техническую документацию, описание типовых технологических процессов и имеющиеся ресурсы производства. В результате работы системы по запросу технолога подбирается необходимая информация [49].

При управлении техническим обслуживанием и ремонтом элементов подвижного состава используются системы поддержки принятия управленческих решений. Активно применяются цифровые модели по управлению жизненным циклом подвижного состава, поиску наилучшего управленческого решения, а также оценке способности к адаптации существующей системы управления к цифровизации [53].

Анализ сложных производственных систем в условиях неопределенности возможен на основе имитационных моделей, которые используются для оценки влияния начальных условий и определения наилучшего управленческого решения. Имитационная модель технического обслуживания и ремонта создается на цифровом описании подвижного состава, завода-изготовителя, который формирует программу ремонта и обслуживания, и менеджера инфраструктуры, который предоставляет услуги по планированию маршрута. Данные, полученные на выходе модели, позволяют проводить анализ поведения системы в заданных условиях жизненного цикла [54].

Постоянное усложнение и совершенствование технических систем, используемых для проведения контроля и технической диагностики, определяют пути развития методического и технического обеспечения процессов. Повышение эффективности управления и обеспечения надежности достигается путем развития и внедрения интеллектуальных систем поддержки принятия решений [55]. Основной задачей, требующей внимания, является прогнозирование технического состояния объектов контроля в условиях недостатка информации и невозможности проведения экспериментальных исследований для получения статистической информации.

Современные цифровые технологии при организации НК используются для получения, систематизации и обработки информации о процессах, происходящих в объектах контроля, как на этапе ремонта, так и на этапе эксплуатации объектов. НК может быть представлен как совокупность операций, направленных на получение достоверной информации о состоянии с последующей обработкой и анализом, результаты которого являются основой для принятия обоснованных управленческих решений [56].

В работах [57-59] представлено разработанное коллективом СГУПСа программное обеспечение, используемое для управления и повышения эффективности структурных подразделений НК в вагоноремонтной компании (рисунок 1.11).

Использование программного обеспечения направлено на уменьшение временных затрат на документирование основной информации о производственном процессе НК, а также на повышение доли электронного документооборота и обеспечения единообразия и сопоставимости результатов работы нескольких структурных подразделений одной вагоноремонтной компании. В текущем состоянии программное обеспечение накапливает, идентифицирует и систематизирует информацию о специалистах, средствах контроля и результатах НК деталей и узлов грузовых вагонов, а также в автоматизированном режиме формирует ежемесячные, квартальные и годовые отчеты в соответствии с установленными формами. Формирование документов о

результатах деятельности в автоматизированном режиме позволят освободить специалистов структурных подразделений и технического отдела от плановых отчетов. Преимущество сетевой базы данных заключается в получении сопоставимой информации по каждому подразделению.

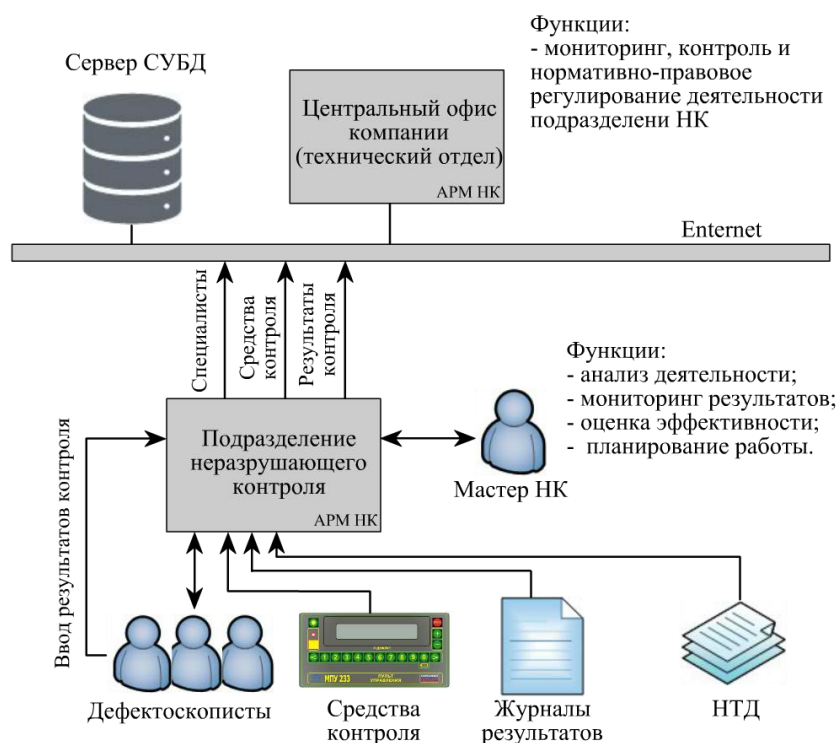


Рисунок 1.11 – Схема взаимодействия объектов системы НК вагонных ремонтных предприятий [57]

1.3 Оценка достоверности результатов неразрушающего контроля

К источникам неопределенностей при проведении НК относятся оборудование, персонал и влияние на него внешних организационных факторов и времени выполнения контроля [60]. В опубликованных исследованиях не анализировался человеческий фактор из-за трудностей оценки и моделирования [61-62].

Проблема оценки достоверности результатов НК в настоящее время не потеряла своей актуальности. В различных отраслях разрабатываются теории о принадлежности параметров дефектов к статистическим законам распределения, на основе которых проводится оценка вероятности выявления дефектов и разрушения объекта контроля.

В сфере промышленной безопасности опасных производственных объектов Бадалян В.Г. предложено проводить оценку достоверности результатов контроля на основе распределения вероятности обнаружения дефектов по геометрическим размерам с использованием специализированных инструментов анализа – PoD - кривых (Probability of Detection) [63-65].

Для проведения анализа использовались результаты ультразвукового контроля сварных соединений методами и средствами, с помощью которых получена количественная информация о результатах контроля [63]. Исследование несплошностей проводилось на образцах с естественными трещинами, которые были получены из реальных объектов, и на объектах с искусственными плоскостными дефектами. При контроле использовался ФАР-дефектоскоп и прибор с SAFT-обработкой «АВГУР». Полученные с помощью приборов данные о размерах дефектов сравнивались с результатами металлографических исследований, выступающих в качестве опорного метода, и известными размерами искусственных дефектов. Сравнение результатов контроля проводилось при доверительной вероятности 95 %.

На рисунке 1.12 приведены PoD - кривые, построенные по результатам контроля продольных плоскостных дефектов в аустенитных сварных соединениях трубопровода.

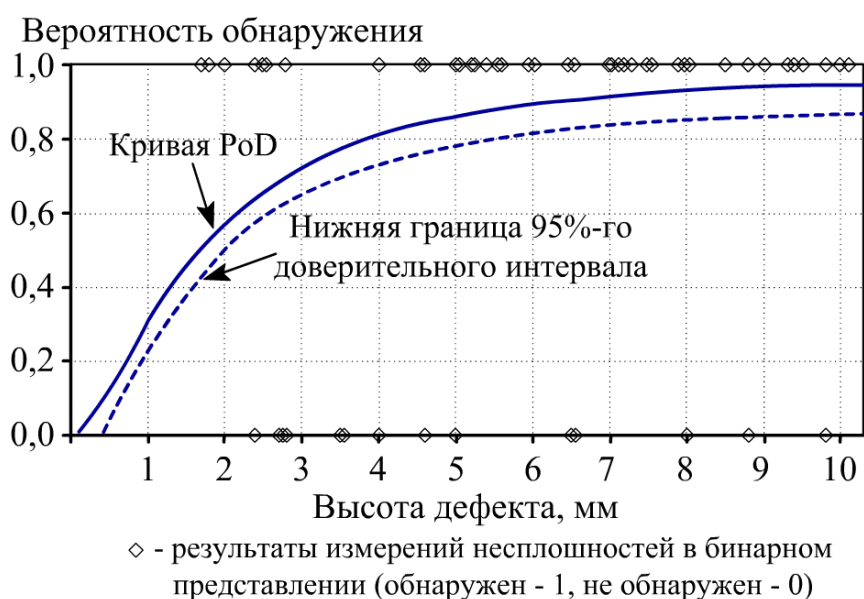


Рисунок 1.12 – Зависимость вероятности обнаружения продольных плоскостных дефектов от их высоты [63]

Измерения геометрических параметров проводились на 61 дефекте (56 трещин, 5 несплавлений) глубиной от 1,7 до 11,1 мм. После выполнения ультразвукового контроля сварные соединения подвергались металлографическим исследованиям для определения реальных размеров дефектов, что позволило повысить надежность оценки вероятности обнаружения дефектов.

Результаты исследований показали, что погрешность обнаружения дефектов высотой более 8 мм не превышает 5 %. Однако при уменьшении высоты дефектов вероятность обнаружения падает и наблюдается рост вероятности обнаружения ложных дефектов [65].

Методами математической статистики определены законы распределения размеров дефектов, на основе которых рассчитывалась вероятность разрушения объекта контроля и определялись максимально допустимые размеры дефектов. В работе представлено распределение количества дефектов в сварных соединениях от их высоты, которое описывается распределением Вейбулла. В представленных работах не обоснован выбор статистических критериев достоверности результатов.

Разработке и применению математического анализа зависимости вероятности обнаружения дефектов от их геометрических параметров посвящены работы Бойчука С.А., Чертищева В.Ю., Генералова А.С. и Степанова А.В. [66-68]. Авторами предложена методология численной оценки вероятности обнаружения дефектов ультразвуковым методом в полимерных композитных материалах на основе регрессионного анализа данных и определения границ доверительного интервала, полученных по результатам контроля образцов с искусственными дефектами несколькими независимыми специалистами по ультразвуковому контролю.

Для оценки вероятности обнаружения дефектов изготовлены образцы с искусственными дефектами – 75 эксплуатационных и 96 производственных дефектов. Контроль проводился пятью независимыми специалистами с помощью дефектоскопа Omniscan PA128-16, фазированных решеток Olympus NDT 5L-64-

NW1 и 5CC10.2-16-R1 с рабочей частотой 5 МГц. Полученный набор статистической информации обрабатывался на основе разработанного математического алгоритма. Установлено, что вероятность обнаружения производственных дефектов выше вероятности обнаружения эксплуатационных дефектов.

Разработанный алгоритм обработки результатов позволил использовать полученную информацию о дефектах в полном объеме по сравнению с существующим в настоящее время подходом «обнаружил-пропустил». Наиболее важным результатом построения PoD-кривых является определение размера дефекта, вероятность обнаружения которого составляет 90 % при уровне достоверности $\alpha = 0,95$, такой размер обозначается как $a_{90/95}$ (рисунок 1.13).

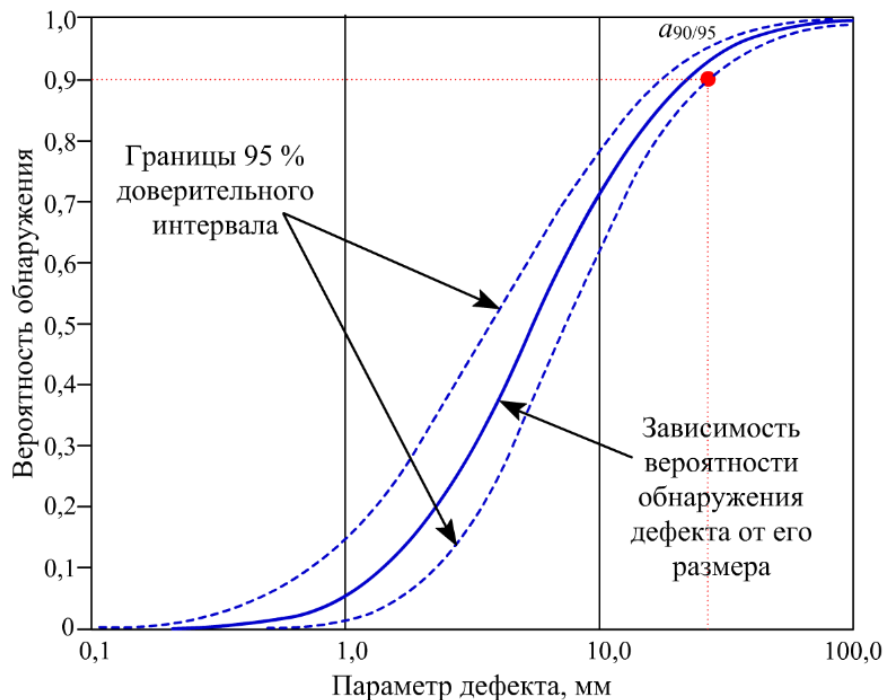


Рисунок 1.13 – Пояснение обозначения параметра $a_{90/95}$ на зависимость вероятности обнаружения дефекта от его геометрических размеров [66]

Методика построения PoD-кривых на основе имитационного моделирования с учетом неопределенностей, связанных с влиянием человеческого фактора на результаты НК представлена в работах [69-70]. Неопределенности оценивались путем экспериментального наблюдения за процессом контроля, методами математической статистики оценивалась принадлежность установленных характеристик к теоретическому закону

распределения, который является входным параметром для имитационного моделирования вихретокового контроля.

Анализ результатов контроля на образцах из бета-титана проводился семью специалистами на 70 образцах. В эксперименте использовались 60 образцов с искусственными дефектами от 1,0 до 7,0 мм и 10 образцов, не имеющих дефектов. При анализе результатов учитывался уровень сертификации, опыт работы и знание теоретических основ НК, которое оценивалось по результатам ежегодного тестирования. Оценка неопределенностей проводилась на основе построения кривых PoD и определения статистических параметров контроля.

По результатам оценки характеристик специалистов с помощью специализированного программного обеспечения моделировался процесс вихретокового НК. Полученная модель применялась для воспроизведения PoD-кривых, полученных в результате эксперимента. Установлены оптимальные размеры дефектов, которые выявляются с вероятностью 50 %, 90 % и 95 % с уровнем достоверности 95 %. Минимальная длина дефекта, которая была обнаружена путем моделирования больше, чем длина, выявляемая специалистами.

На предприятиях железнодорожного транспорта вопросы оценки достоверности результатов НК вызывают не меньший интерес ввиду того, что обеспечение безопасности при эксплуатации зависит от многих факторов: состояния рельсового пути, деталей и узлов подвижного состава, системы организации и проведения ремонтов и НК.

Проблемы оценки достоверности контроля рельсового пути, в том числе в автоматизированном режиме, описаны в работах Маркова А.А. [71-73]. Автором предлагается проводить оценку результатов контроля на основе совместного анализа видеорегистрации, магнитного и ультразвукового методов. Применение предложенной методики обеспечивает максимальную вероятность обнаружения дефектов в сечении рельса, а внедрение системы автоматизации в процесс выделения сигналов от конструктивных элементов пути и расшифровки результатов контроля повышает эффективность и скорость обработки

полученных данных, а также исключает влияние человеческого фактора на принятие решения о годности и/или негодности объекта контроля.

В работе [72] проводился анализ результатов магнитного контроля рельсового пути. Выборка содержала информацию о более 3 000 болтовых и стыках, которые выполнены электроконтактной сваркой, 500 данных об алюминотермитных и изолирующих стыках и не менее 100 данных о контроле стрелочных переводов.

Достоверность распознавания изолирующих стыков составляет 88 %, болтовых стыков превышает 94 %, достоверность определения стрелочных переводов – более 97 %. Исследование показало, что наиболее трудоемким является процесс выделения сигналов от сварных стыков в автоматическом режиме, ввиду малой амплитуды и разнообразия форм сигналов. Для повышения достоверности выделения сигналов от сварных стыков в работе предлагается применять критерий регулярности, обусловленный тем, что рельсовые плети изготавливаются из рельсов длиной 25 м. На основе данного признака удалось повысить вероятность более чем на 30 %.

Вопросами оценки достоверности обнаружения дефектов в ответственных деталях и узлах подвижного состава и эффективности системы НК на предприятиях железнодорожного транспорта занимаются в СГУПСе на протяжении нескольких лет. Подробные исследования приведены в работах Бехера С.А., Боброва А.Л. [74-76]. Создана программная и методическая основа для проведения анализа результатов контроля, однако остается открытым вопрос о создании и внедрении системы обоснованных критериев оценки состояния и функционирования подразделений НК, в том числе в автоматизированном режиме на основе имеющейся программной базы.

В работе Бехера С.А. [76] описан метод оценки достоверности результатов НК на основе математической статистики и оценки вероятности появления ошибок первого и второго рода. Анализ достоверности основывается на оценке вероятности браковки изделия при отсутствии дефекта (перебраковка) и вероятности пропуска дефекта при его наличии (недобраковка).

Вероятность перебраковки объекта контроля связана с неопределенностью параметров контроля, с увеличением значения p вероятность забраковать годное изделие уменьшается (рисунок 1.14). Вероятность недобраковки связана с параметрами имеющихся дефектов, с увеличением p вероятность не забраковать дефектное изделие уменьшается.

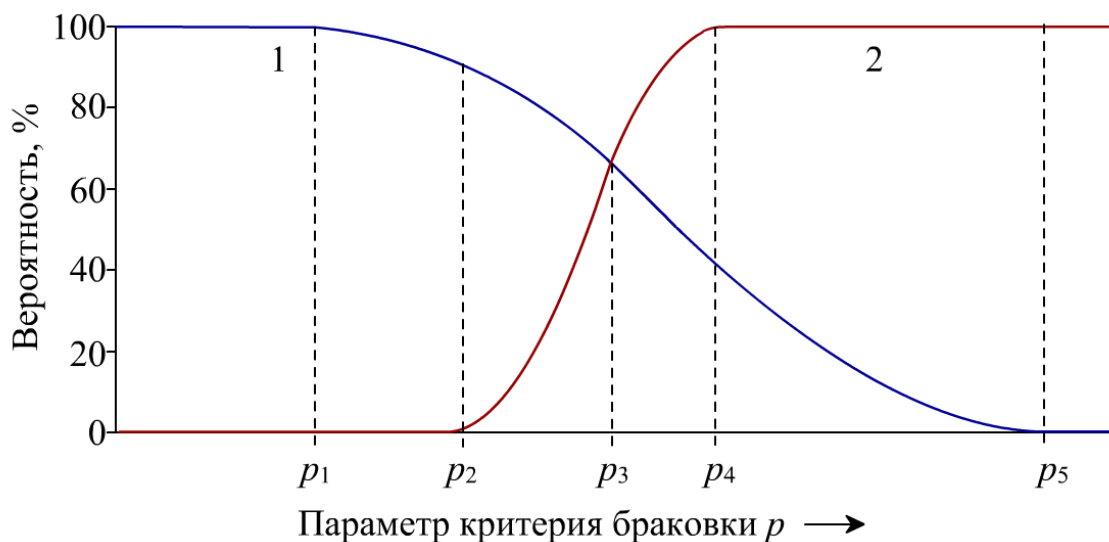


Рисунок 1.14 – Зависимость вероятностей перебраковки (1) и недобраковки (2) от параметра браковки p [76]

Значение параметра p_1 показывает, что 100 % бездефектных объектов контроля будут забракованы, при p_2 – забраковано 100 % объектов контроля с дефектами, параметр p_3 указывает на равную вероятность как перебраковки, так и недобраковки, p_4 характеризует состояние, при котором 100 % деталей с дефектами окажутся пропущены, а при p_5 будет отсутствовать перебраковка объектов контроля.

При разработке и внедрении методики НК в соответствии с условиями технической задачи определяются допустимые границы для вероятности ошибки первого и второго рода, определяется главный параметр контроля и находится значение параметра критерия браковки p .

Достоверность результатов определяется надежностью системы НК «дефектоскопист – средство контроля – условия контроля». К субъективным факторам, влияющим на процесс контроля, относятся стаж работы, компетентность и квалификация специалиста. Неправильно организованные

процедура НК и обработка результатов, а также влияние человеческого фактора приводит не только к недобраковке, но и к перебраковке.

Проведение НК связано с повторяемостью операций, что может привести к утомляемости дефектоскопистов и ошибкам. Следовательно, достоверность результатов контроля в значительной степени зависит от «человеческого фактора» [77]. Для проведения контроля в крупных отраслях промышленности, в том числе и железнодорожного транспорта, нашел широкое применение комплекс методов и приборов для ручного контроля. В аппаратуре не всегда предусмотрена возможность автоматического распознавания сигналов и выдачи информации о проверке, поэтому результаты воспринимаются с помощью органов чувств специалиста: органами зрения на экране дефектоскопа или органами слуха по звуковому сигналу. Альтернативой традиционного способа проведения контроля выступают комплексы НК и технической диагностики, в автоматизированном режиме проводящие контроль объектов, способные определять геометрические параметры и координаты дефектов, а также регистрацию в автоматическом режиме [78-79]. Применение автоматизированных комплексов повышает достоверность контроля за счет уменьшения влияния человеческого фактора.

Анализ влияния работников на производственные процессы и состояние технических средств в области железнодорожного транспорта представлен в работах [80-84]. Для оценки этого влияния предлагается использовать постоянный статистический анализ данных и внедрение процессного подхода для уменьшения экономических и материальных потерь.

В работе [84] приведена классификация факторов, которые могут оказать негативное влияние на состояние технических систем. В качестве основных выделены поведенческие факторы, связанные с личными качествами работников, медицинские и факторы, характеризующие восприятие окружающей среды, эксплуатационные и факторы, которые связаны с конструктивными особенностями оборудования, а также факторы, связанные с процессом сбора и интерпретацией данных.

В работах Аксенова В.А., Завьялова А.М. представлен анализ влияния человеческого фактора на возникновение отказов в работе технических средств на железной дороге [85-86]. Авторы предложили оценивать влияние человеческого фактора с использованием экспертного метода и последующей обработкой результатов на основе построения диаграммы Парето для определения малочисленных, но существенно важных причин возникновения инцидентов. Исследование влияния персонала осуществляется на основе комплексной автоматизированной системы учета, контроля отказов в работе технических средств и анализа их надежности (КАСАНТ) и комплексной автоматизированной системы учета, расследования и анализа случаев технологических нарушений (КАСАТ).

Для проведения экспертной оценки на первом этапе формируется группа экспертов из числа сотрудников соответствующих структурных подразделений. На втором этапе проводится опрос работников отделов и подразделений, непосредственно причастных к инциденту, на основе опросов выявляются причины и возможные действия, которые привели к несчастному случаю. Третий этап включает в себя анализ обеспеченности материально-техническими, трудовыми и временными ресурсами, а также наличия нормативной документации, регламентирующей порядок выполнения основных технологических процессов. Затем проводится классификация причин ошибочных действий исполнителя и руководителя работ. Полученная информация ранжируется в порядке уменьшения влияния и строится диаграмма Парето для определения наиболее важных факторов появления несоответствия (определяются 20 % причин, которые вносят 80 % вклад в изменение характеристик производственного процесса). На последнем этапе формируются мероприятия по управлению влиянием человеческого фактора на производственный процесс, включающие повышение качества образования, совершенствование системы стимулирования работников и увеличение роли культуры производства. После внедрения предложенных мер проводится повторный анализ для оценки эффективности мероприятий.

Применение методов НК основано на понимании основных принципов и знании физики процессов. Отсутствие обучения и требуемого уровня знаний может привести к неправильной интерпретации результатов контроля [87-88]. Общепризнанными в мировой и отечественной практике инструментами обеспечения достоверности и управления надежностью системы НК является поверка (калибровка) средств контроля, аттестация методик контроля, для персонала предусмотрены мероприятия, связанные с сертификацией, периодическим повышением квалификации и дополнительным профессиональным образованием в области НК [89-90].

При сертификации специалистов в области НК проводится квалификационный экзамен, включающий в себя общий, специальный и практический экзамены. Общий экзамен содержит вопросы по физическим основам метода и методики проведения контроля. Специальный экзамен направлен на проверку знаний объектов контроля по производственным секторам, стандартам, правил и критериев приемки изделия. Практический экзамен включает в себя оценку практических навыков, демонстрацию технологии контроля и способности ее выполнения, а также разработку технологических карт [91-92].

На предприятиях железнодорожного транспорта, включая вагоноремонтный комплекс, в течение последних лет наблюдается процесс актуализации нормативно-технической документации в области НК. В связи с этим вопрос поддержания и повышения компетенции и требуемого уровня знаний работников является важной задачей. Для ее решения активно применяются программные комплексы, использование которых дает возможность в режиме реального времени планировать и проводить технические занятия без отрыва от производственного процесса, определять уровень знаний и проводить оценку подготовленности работников к изменениям требований к производственным процессам [93].

Для организации и проведения централизованного обучения со специалистами вагоноремонтных предприятий разработан программный

комплекс. Процесс обучения подразумевает самостоятельное изучение учебных пособий, сформированных на основе действующей нормативной документации и содержащий физические основы методов НК и особенности технологий контроля, учебное и контрольное тестирования, которые призваны определить степень освоения материалов путем мониторинга и анализа статистической информации о результатах обучения специалистов [94-96].

1.4 Выводы к первой главе

Современные тенденции совершенствования основных и вспомогательных производственных процессов направлены на повышение качества продукции и услуг и снижение расходов всех видов. Основными инструментами описания и исследования процессов являются объектно-ориентированное и структурное моделирование, которые позволяют анализировать взаимодействие объектов и всех элементов системы. В настоящее время разрабатываются модели производственных систем и внедряются цифровые «близнецы», накапливающие значительные объемы данных, которые используются в качестве исходной информации, поступающей на вход модели, что повышает детализацию и, следовательно, достоверность результатов моделирования.

Вопрос разработки и применения комплексов, позволяющих автоматизировать технологические процессы, остается актуальным и в настоящее время. Это обусловлено необходимостью сокращения сроков внедрения новых средств, методик и технологий для улучшения производственных процессов, повышения качества работ, услуг и изделий. Современные информационно-управляющие комплексы направлены на получение информации об объекте, при этом функция автоматизированного принятия решений до сих пор не реализована в полной мере ни в одной из имеющихся систем. Для подразделений НК, которые являются в каком-то смысле «подрядчиками» ремонтных структурных подразделений вагоноремонтных предприятий, сложность решения задачи управления производственным процессом связана со статистически

определенными входами процессов, когда входящий поток деталей является случайным потоком, зависящим от большого количества факторов.

Для определения достоверности НК в современных работах используется совокупность нескольких методов, которая обеспечивает максимальную вероятность обнаружения дефектов, в том числе использование методов имитационного и математического моделирования, и определения основных статистических параметров контроля. Отдельные вопросы оценки надежности и достоверности результатов НК проработаны недостаточно, отсутствуют методики и критерии, основанные на математической статистике, применение которых направлено на определение вероятностей обнаружения дефектов. Это в большей степени относится к производственным процессам НК, результат которых проявляется через значительный интервал времени уже в процессе эксплуатации и заключается в виде повышения надежности подвижного состава и снижения вероятности отказа технических средств.

Для обеспечения безопасности железнодорожного транспорта необходимо реализовать концепцию непрерывного совершенствования технологических процессов в подразделениях НК, рассматривая их в контексте всего предприятия, с использованием эффективных автоматизированных методов мониторинга и планирования, основанных на современных информационных технологиях.

В свою очередь, для достижения поставленной цели требуется: определить закономерности распределения результатов работы подразделений НК в установившемся технологическом процессе, разработать методы мониторинга производственных процессов НК, разработать модель и выполнить имитационное моделирование подразделения НК, сформировать комплекс практических мероприятий для автоматизированного управления процессами контроля и обеспечения непрерывного соответствия требованиям нормативных документов.

2 РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

2.1 Анализ информационной поддержки технологических процессов в подразделениях неразрушающего контроля

Надежность, достоверность и эффективность подразделения НК на предприятиях железнодорожной отрасли в целом и вагоноремонтном комплексе в частности определяется квалификацией и психофизическим состоянием специалистов, средств и объекта контроля, влиянием внешних условий [97].

Внедрение комплексного подхода к управлению производственным процессом НК деталей и узлов подвижного состава позволяет повысить достоверность результатов. При проведении НК ответственных узлов и деталей подвижного состава имеется значительное количество внешних влияющих факторов, например, квалификация и опыт дефектоскописта, тип и техническое состояние применяемого оборудования и вспомогательных материалов. В этих условиях могут возникать необнаруживаемые систематические нарушения технологического процесса. Каждая составляющая участвует в нескольких технологических процессах подразделения. Например, для персонала применимы мероприятия, которые связаны с техническими занятиями без отрыва от производства, сертификацией на один или несколько уровней [98], повышением квалификации и аттестацией на предприятии. Структурные подразделения обладают сложными внутренними связями между составляющими производственного процесса: «дефектоскопист – оборудование – внешние условия контроля – нормативная и техническая документация».

Целью применения методов контроля является повышение надежности деталей и составных частей вагонов после ремонта. Результаты контроля являются индикаторами функционирования подразделения и носят случайный характер, поэтому без применения методов математической статистики их идентификация и анализ невозможны. Развитие методов и средств

документирования результатов НК узлов и деталей подвижного состава дает возможность управления процессами ремонта на основе анализа данных о его результатах. Необходимым является создание единых форм представления результатов контроля ответственных элементов подвижного состава для дальнейшей автоматизации системы мониторинга производственных процессов вагоноремонтных предприятий.

При решении проблем управления предприятиями вагоноремонтного комплекса достаточно широко применяются программные средства управления основной информацией о функционировании подразделения. Однако для их эффективного дальнейшего совершенствования необходимы методы, критерии и алгоритмы определения состояния системы и прогнозирования ее развития, в том числе в автоматизированном режиме.

В Сибирском государственном университете путей сообщения разработано автоматизированное рабочее место мастера НК (АРМ НК) для обеспечения постоянного соответствия нормативной, технической и отраслевой документации, предъявляющей требования к подразделениям НК и технологическим процессам контроля. Программа позволяет систематизировать информацию по специалистам, основным и вспомогательным средствам контроля, результатам НК узлов и деталей грузовых вагонов, а также обеспечивает возможность в автоматизированном режиме формировать отчетные документы для анализа и оценки предприятий. Программный комплекс предоставляет пользователям возможность взаимодействия с информационной системой и друг с другом (рисунок 2.1). Использование сети Интернет открывает доступ работникам вагонной ремонтной компании к базе данных через мобильные устройства и персональные компьютеры в соответствии с установленной политикой безопасности вагоноремонтной компании.

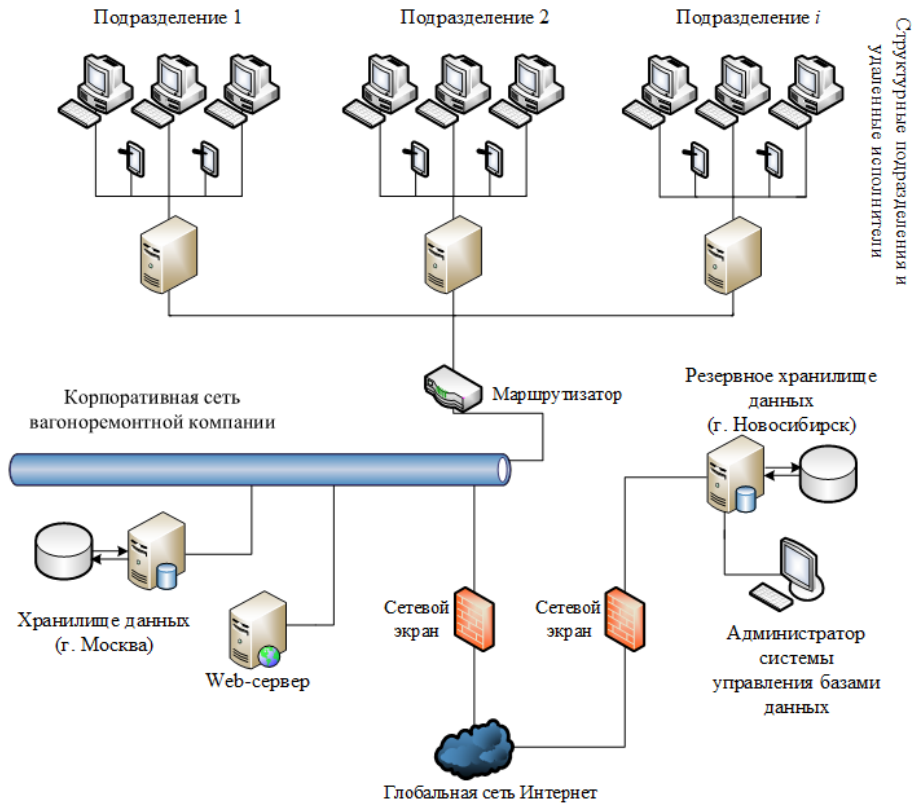


Рисунок 2.1 – Схема управления подразделениями НК вагоноремонтной компании

Форма учета результатов контроля содержит поля для ввода информации о дате проведения контроля и специалисте, общем количестве деталей, проконтролированных за смену n , количестве забракованных деталей при дефектации до проведения НК по предельным отклонениям размеров n_s и, непосредственно, в процессе НК, как в процессе визуального осмотра (ВО) n_{d1} , так и непосредственно методами НК n_{d2} (рисунок 2.2).

Дата проведения контроля	Вид (метод)	Зона контроля (деталь)	Тип дефектоскопа	Количество деталей, шт.				Фамилия И.О. дефектоскописта
				всего проверенных, n	забракованных			
					при дефектации, n_s	при ВО при НК, n_{d1}	средствами НК, n_{d2}	
...								
21.01.2020	МПК	вся поверхность	МД-12ПШ (зав. № 016)	29	0	3	2	Дефектоскопист А
22.01.2020	МПК	вся поверхность	МД-12ПШ (зав. № 016)	22	0	1	1	Дефектоскопист Б
23.01.2020	МПК	вся поверхность	МД-12ПШ (зав. № 016)	42	0	0	16	Дефектоскопист Б
24.01.2020	МПК	вся поверхность	МД-12ПШ (зав. № 016)	18	0	4	2	Дефектоскопист А
25.01.2020	МПК	вся поверхность	МД-12ПШ (зав. № 016)	37	0	5	4	Дефектоскопист А
26.01.2020	МПК	вся поверхность	МД-12ПШ (зав. № 016)	30	1	0	6	Дефектоскопист Б
...								
31.12.2020	МПК	вся поверхность	МД-12ПШ (зав. № 016)	20	0	0	4	Дефектоскопист Б

Рисунок 2.2 – Фрагмент формы учета результатов контроля в АРМ НК

Накопление и систематизация данных является первоначальным этапом создания обоснованных статистических критериев, позволяющих проводить оценку параметров производственных процессов НК. Разработка и внедрение индикаторов оценки состояния процессов позволяет идентифицировать подразделения и специалистов структурных подразделений, в которых наблюдаются существенные отклонения от принятой технологии контроля. Это позволит специалистам технического отдела применять обоснованный и эффективный инструмент для выявления отклонений от технологического процесса и систематизировать предприятия по общности параметров контроля.

Комплексным показателем качества проведенного ремонта подвижного состава на вагоноремонтном предприятии является показатель безотказной работы вагонов, который равен отношению количества направленных в текущий отцепочный ремонт единиц подвижного состава к общему числу отремонтированных на предприятии единиц. Для вагоноремонтных депо, функционирующих в настоящий момент, данный показатель варьируется в широком диапазоне от 1,5 до 63 % [99], причем для первых десяти лучших предприятий доля отцепленных в гарантийный период вагонов не превышает 7 %, а для худшей десятки превышает 20 %.

Сложившаяся система НК ответственных узлов и деталей при плановых видах ремонта призвана непрерывно обеспечивать безопасную эксплуатацию железнодорожного транспорта. Несмотря на это, с 2017 по 2020 годы наблюдается увеличение поступления грузовых вагонов в текущий отцепочный ремонт по причине обнаружения неисправностей деталей. С 2019 по 2020 год количество отцепок вагонов от поезда в пути следования в текущий ремонт по причине обнаружения неисправностей автосцепного устройства увеличилось на 10 %, по неисправностям колесных пар – на 7 %.

Работа подразделения НК вагоноремонтной компании характеризуется средней частотой браковки [100-101]. В отдельном i -ом предприятии частота браковки w_i является показателем его работы [102]. В рамках принимаемой нулевой гипотезы все подразделения соблюдают технологию при выполнении

НК, а дефектность однотипных деталей вагонов за продолжительный промежуток времени принадлежит одному закону распределения. В случае если в i -ом структурном подразделении наблюдается превышение частотой w_i среднего значения \bar{w} по вагоноремонтной компании, то это существенно повышает вероятность обнаружить нарушения технологического процесса, приводящего к браковке годных деталей [103-105]. Если частота браковки w_i меньше средней \bar{w} , то это является показателем, который позволяет выявлять предприятия, имеющие высокую вероятность недобракровки.

2.2 Статистический анализ и экспертные оценки результатов работы структурных подразделений

Для проведения анализа подразделений использовалась статистическая информация, передаваемая из 37 депо в базу АРМ НК о результатах магнитопорошкового контроля неномерных деталей автосцепного устройства: клина тягового хомута и маятниковой подвески (рисунок 2.3). Детали контролируются одним специалистом на одной позиции, контроль выполняется в приложенном магнитном поле с использованием магнитной суспензии и шеечных или эксцентричных намагничивающих устройств, например, МД-12ПШ или МД-12ПЭ.



Рисунок 2.3 – Внешний вид деталей: клин тягового хомута (а) и маятниковая подвеска (б)

В рамках рассматриваемой модели вероятность браковки p является постоянной величиной для деталей одного типа. Количество дефектных деталей $n_{\delta i}$ из общего количества проконтролированных N_i описывается биномиальным законом распределения. Количество деталей, поступающих на позицию контроля

N_i и забракованных по результатам НК $n_{\delta i}$, в каждом структурном подразделении различно и зависит от объема ремонта, поэтому для оценки результатов контроля целесообразно использовать относительную величину – частоту браковки w_i :

$$w_i = \frac{n_{\delta i}}{N_i} \cdot 100\%. \quad (2.1)$$

Проверка принадлежности распределений к биномиальному распределению здесь и далее проводилась по критерию Пирсона (χ^2 -квадрат) с уровнем значимости 0,05. Из 834 работников предприятий у 72 % распределение ежесменных результатов принадлежат биномиальному закону (рисунок 2.4, а), а у 28 % специалистов – не принадлежит (рисунок 2.4, б). Отклонение от теоретического распределения связано как с нарушениями технологии, так и с нестационарностью потока деталей, при котором вероятность появления дефектной детали изменяется с течением времени. Значение χ^2 -квадрат может быть использовано в качестве критерия соответствия технологического процесса при планировании внешнего или внутреннего аудита предприятия.

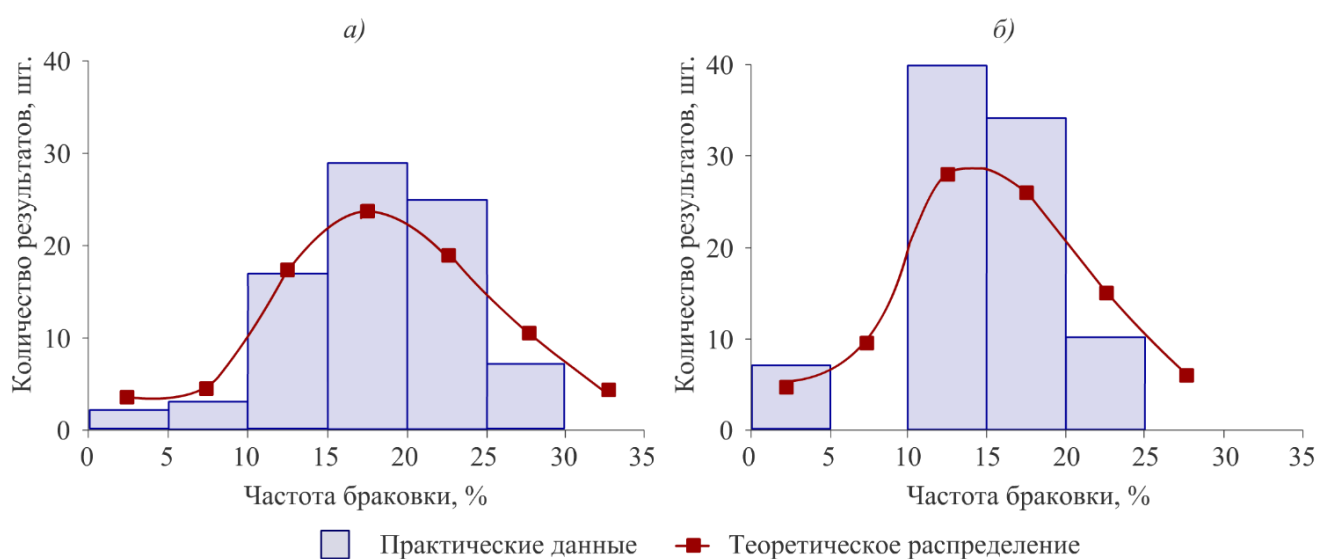


Рисунок 2.4 – Распределение ежесменных результатов контроля по частотам браковки, аппроксимированных биномиальным законом распределения

Из базы данных отобрана статистически значимая информация за 12 месяцев. В структурных подразделениях компании в среднем контролируется около 160 тысяч клиньев тягового хомута (рисунок 2.5). Анализировались только статистически значимые данные, в которых каждым специалистом проконтролировано не менее 1 тысячи деталей. На основе выборки построено

распределение относительного количества дефектоскопистов по частоте браковки (рисунок 2.5, а), которое описывается экспоненциальным законом. Коэффициент корреляции экспериментальных и теоретических данных $R = 0,98$. Среднее значение частоты браковки составляет 4,2 %. Верхняя и нижняя границы доверительного интервала ± 3 -среднеквадратических отклонения (СКО) средней частоты браковки клиньев тягового хомута составляют 6,6 и 1,8 % соответственно. Средние показатели частоты браковки в структурных подразделениях в порядке убывания представлены на рисунке 2.5, б.

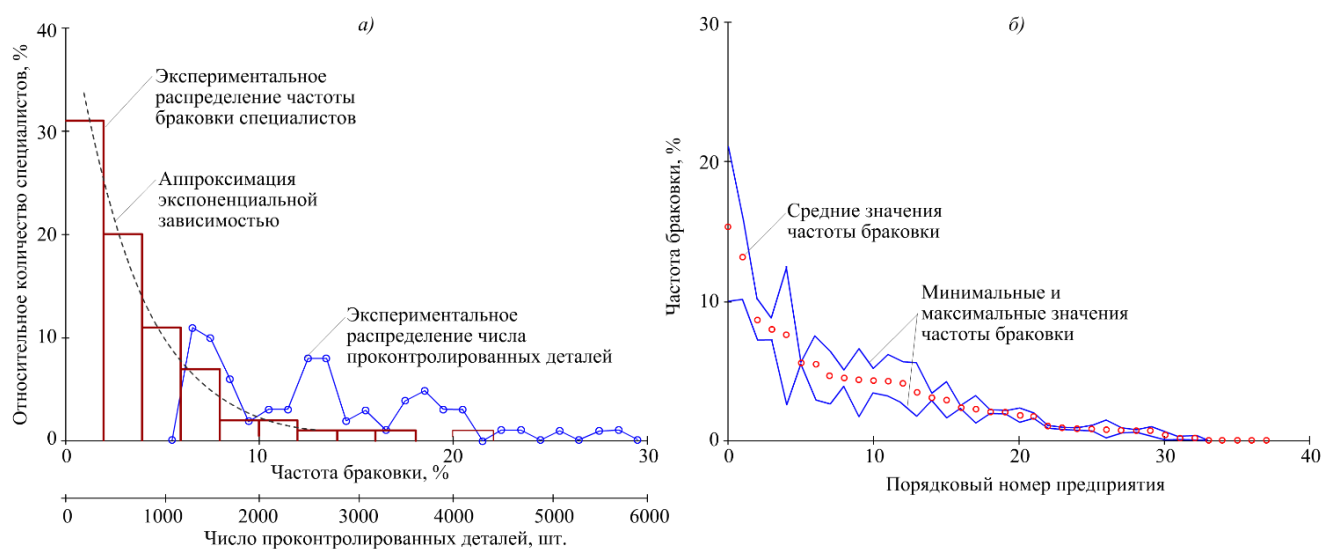


Рисунок 2.5 – Распределение специалистов по частоте браковки (а) и распределение частоты браковки по предприятиям (б)

Распределение специалистов предприятий вагоноремонтной компании по частоте браковки (рисунок 2.5, а) не принадлежит биномиальному распределению с уровнем значимости $q = 5\%$. Это свидетельствует о нарушении гипотезы о равной вероятности браковки в структурных подразделениях. Для оценки результатов контроля специалистов отобрана статистика специалистов на предприятии с низким уровнем $w_1 = 0,9\%$ и высоким уровнем браковки $w_2 = 9,1\%$ (рисунок 2.6). Количество результатов в каждой выборке соизмеримо и составляет от 1 800 до 2 100 деталей за 12 месяцев.

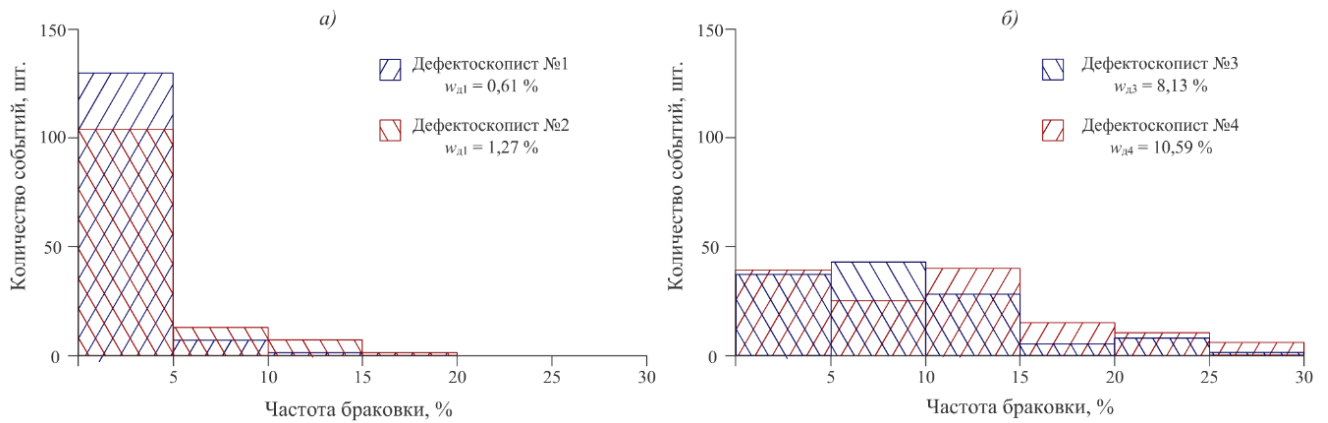


Рисунок 2.6 – Распределение результатов контроля по частотам браковки для дефектоскопистов на предприятиях с низкой частотой браковки $w_1 = 0,9 \%$ (а) и с высокой средней частотой браковки $w_2 = 9,1 \%$ (б)

Уровень браковки отдельных специалистов одного предприятия отличаться в $(1,3 - 2,1)$ раза, на предприятии с высоким уровнем браковки отличается также и формы распределений (рисунок 2.6, б). Результаты магнитопорошкового контроля на предприятиях с высоким уровнем браковки в большей степени принадлежат биномиальному распределению. Отклонение от биномиального распределения связаны как с оцениваемыми параметрами: квалификацией, уровнем подготовки персонала и индивидуальными показателями вероятности перебраковки и пропуска дефектов, так и с влиянием мешающих факторов таких, как различное количество деталей за смену.

Для определения причин отклонения от биномиального распределения проанализированы временных зависимостей результатов контроля (рисунок 2.7). В примере на рисунке 2.7, а и б причина отклонения от биномиального распределения обнаруживается при анализе зависимости количества забракованных за смену деталей. У специалистов с низким уровнем браковки наблюдаются статистически маловероятные события: значительное количество смен, в которые не было ни одной забракованной детали.

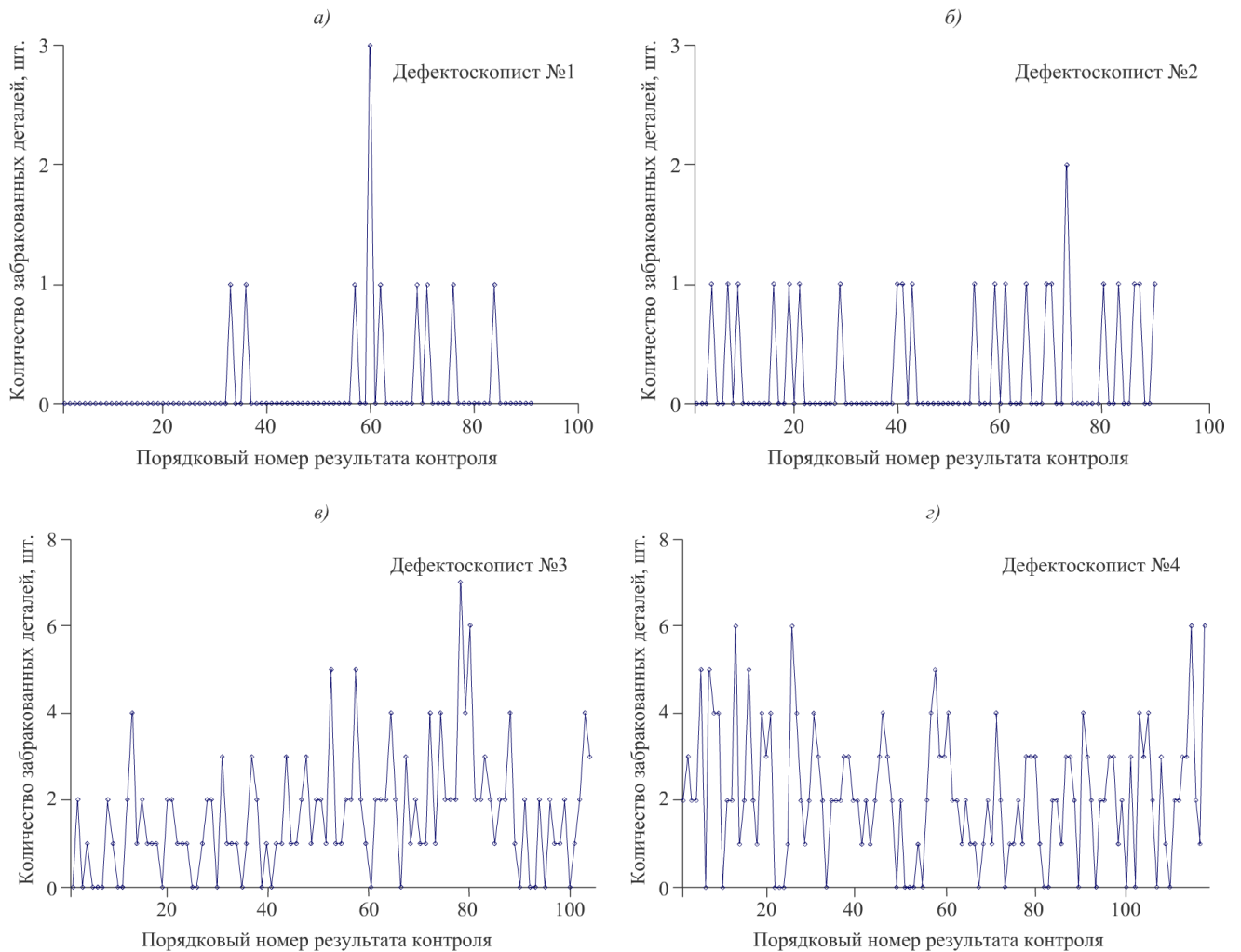


Рисунок 2.7 – Распределение забракованных деталей по сменам для специалистов с низкой частотой браковки (а, б) и с высокой частотой браковки (в, г)

На предприятиях вагоноремонтного комплекса за один год контролируется в среднем около 250 тысяч маятниковых подвесок. Для анализа отобраны статистически значимые результаты, в которых одним дефектоскопистом проконтролировано не менее 700 деталей. На основе данных за 2021 год построены график распределения дефектоскопистов по частоте браковки и график частоты браковки для 37 структурных подразделений (рисунок 2.8 а, б). Относительное количество забракованных маятниковых подвесок варьируется в широком диапазоне от 0 до 16 % при среднем значении частоты браковки по специалистам 5,1 %. Около 16 % дефектоскопистов имеют превышение доли забракованных деталей более чем в 2 раза, уровень браковки достигает 16 %. Для биномиального распределения результатов НК вероятность такого события не превышает 5 %.

Средняя частота браковки по всем структурным подразделениям компании (рисунок 2.8, б) составляет 4,4 %, верхняя и нижняя границы доверительного интервала ± 3 СКО средней частоты браковки маятниковой подвески составляют 7,8 и 0,9 % соответственно.

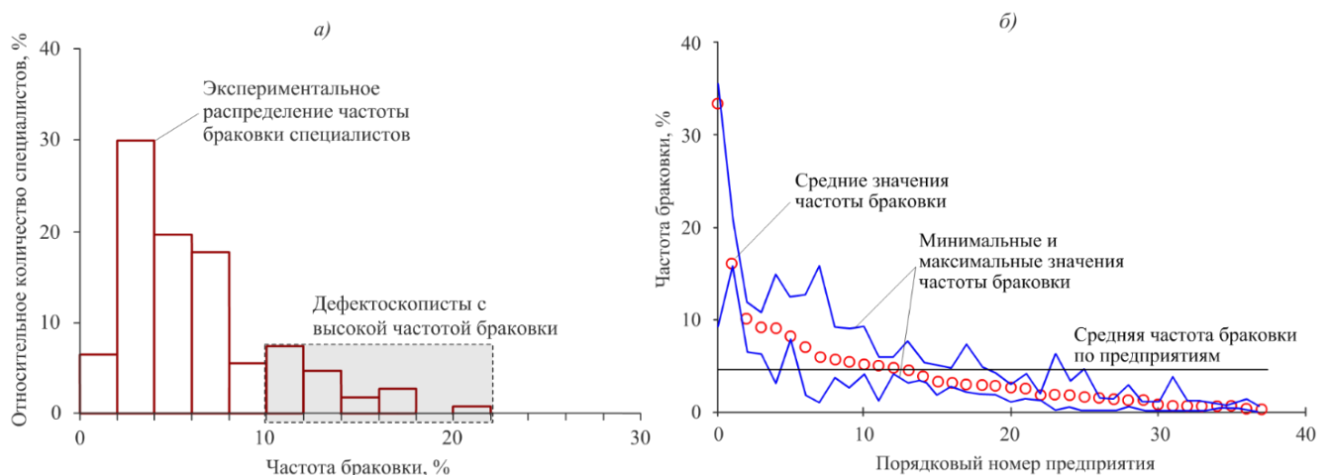


Рисунок 2.8 – Распределение специалистов по частоте браковки (а) и распределение частоты браковки по предприятиям (б)

Достоверная оценка средней частоты браковки может быть получена только в результате экспертного контроля. На четырех предприятиях проведена инспекционная проверка результатов работы 15 специалистов. Влияние человеческого фактора на достоверность результатов контроля подтверждается наличием зависимости частоты браковки деталей от стажа работы дефектоскопистов (рисунок 2.9). Средняя частота браковки в 2020 году составила 6,3 %. У двух дефектоскопистов со стажем работы менее 4 лет, работающих на предприятии № 4, частота браковки в 2 раза превышает среднее значение. В рассматриваемой модели вероятность такого события не превышает 1 %. При стаже менее 4 лет достаточно высокая вероятность появления завышенного уровня браковки, связанного с неправильной интерпретацией магнитных индикаций в местах изменения размеров детали.

Особенностью магнитопорошкового контроля является браковка по наличию индикаторного рисунка, идентифицируемого визуально. В процессе контроля и при расшифровке результатов дефектоскопист должен уметь

различать осаждения магнитного порошка или суспензии на дефекте от ложных индикаций.

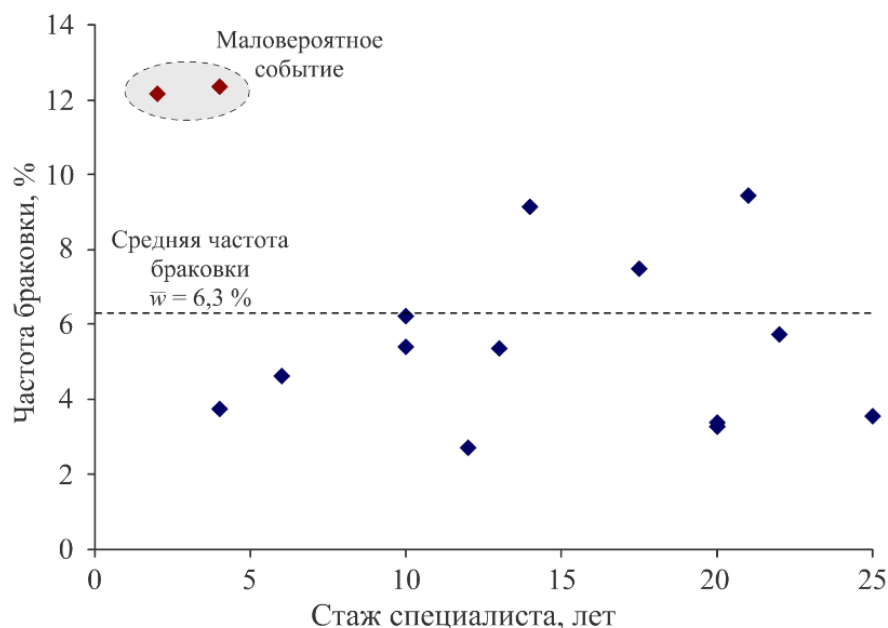


Рисунок 2.9 – Зависимость частоты браковки маятниковых подвесок от стажа работы

О высоком влиянии человеческого фактора на результаты контроля свидетельствует также разброс частоты браковки в широком диапазоне значений от 0,1 до 35% (рисунок 2.5, б, рисунок 2.8, б). Даже на одном предприятии наблюдается существенный (более чем в 2 раза) разброс между максимальными и минимальными частотами браковки отдельных специалистов. При этом выход средней частоты браковки за доверительные границы является индикатором несоответствий технологий контроля.

Для верификации полученных экспериментальных распределений в течение 11 дней проводился инспекционный контроль четырех предприятий. Структурные подразделения, отобранные для проверки, в течение указанного срока фиксировали результаты магнитопорошкового контроля и направляли фотографии обнаруженной индикации на подтверждение независимым сертифицированным специалистам (рисунок 2.10). Все специалисты, проводившие оценку, имели III (высший) уровень квалификации по магнитопорошковому методу контроля деталей и узлов подвижного состава.

Подтверждение наличия дефекта проводилось после зачистки поверхности

и повторного магнитопорошкового контроля маятниковых подвесок независимым специалистом, имеющим III уровень квалификации по магнитопорошковому методу. В процессе подтверждающего контроля обнаружены трещиновидные дефекты в зоне галтельного перехода от стержня к нижней головке и в зоне галтельного перехода от стержня к верхней головке.

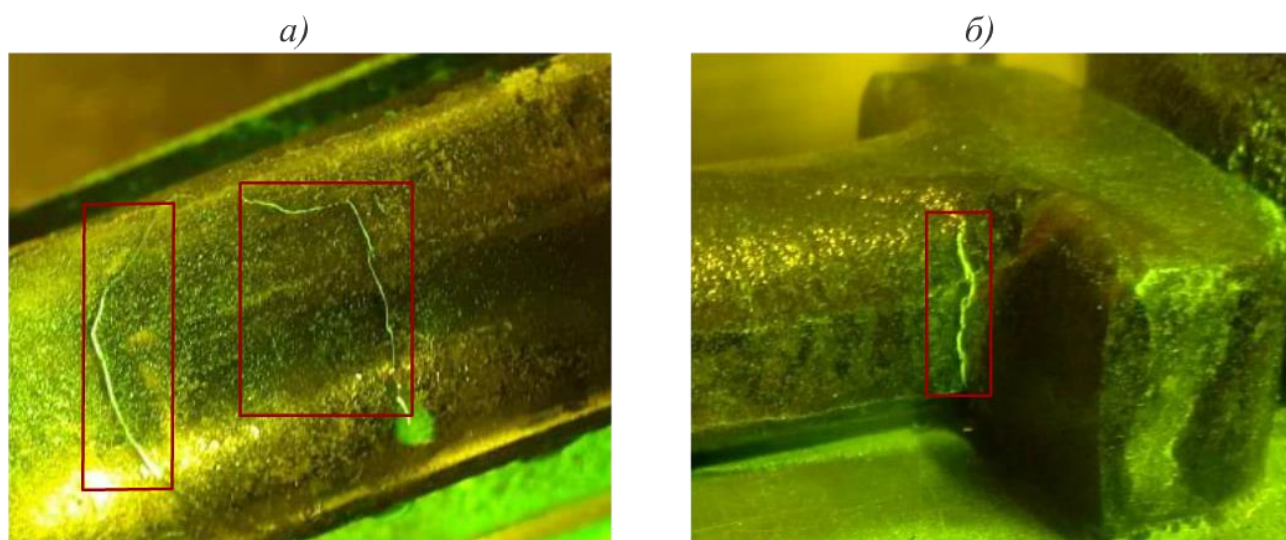


Рисунок 2.10 – Дефекты клина тягового хомута (а) и маятниковой подвески (б)

За период проведения проверки проконтролировано 317 клиньев тягового хомута и 431 маятниковая подвеска, забраковано 29 и 25 деталей соответственно. Подтвержденный экспертами средний уровень браковки для клиньев тягового хомута составил $\bar{w} = 9,1 \%$, для маятниковых подвесок – $\bar{w} = 5,8 \%$.

Оценка результатов по разнице средней частоты браковки деталей от экспертно-подтвержденного значения с учетом доверительного интервала (± 3 СКО) для клина тягового хомута:

$$5,2 \leq w_{\text{кл}} \leq 13,0, \quad (2.2)$$

для маятниковой подвески:

$$3,1 \leq w_{\text{мп}} \leq 8,9. \quad (2.3)$$

С целью верификации результатов магнитопорошкового контроля и определения реальной доли деталей с трещинами забракованные детали подвергались фрактографии [106]. Детали надпиливались с противоположной стороны от дефекта и доламывались ударным воздействием. Геометрические размеры обнаруженных дефектов приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Геометрические размеры дефектов маятниковой подвески

№ маятниковой подвески	Расположение дефекта	Длина дефекта, мм	Глубина дефекта, мм
№ 1	Дефект со стороны верхней головки	8,0	1,0
№ 2	Дефект со стороны нижней головки	21,0	6,0
№ 3	Дефект со стороны нижней головки	20,0	4,0
№ 4	Дефект со стороны нижней головки	15,0	2,0

На поверхностях разрушения имеется несколько характерных областей, отличающихся по цвету и структуре материала (рисунок 2.11). На поверхности излома наблюдается блестящая зона – зона долома. Очаги зарождения трещин в виде эксплуатационных или металлургических дефектов при макрофрактографии не обнаружены. Вблизи поверхности детали располагаются зоны размером от 1,0 до 6,0 мм темного цвета, характерного для окисленной поверхности трещины. На поверхности излома в зоне усталостного развития четко идентифицируются усталостные бороздки – следы ступенчатого роста трещины.

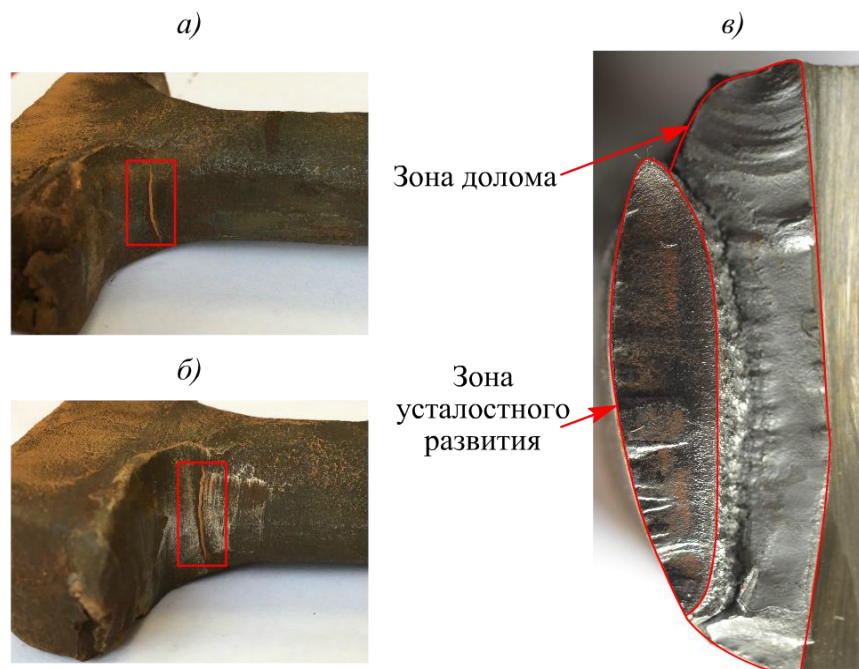


Рисунок 2.11 – Исследуемый образец маятниковой подвески с обнаруженным дефектом: магнитная индикация до зачистки (а), магнитная индикация после зачистки (б), излом детали со стороны стержня (в)

Для подтверждения закономерностей распределения усталостных дефектов по зонам контроля маятниковой подвески и оценки возможности их

использования для мониторинга процесса НК выполнен расчет механических напряжений в детали. Разработана конечно-элементная модель с физико-механическими характеристиками конструкционной легированной стали 38ХС, определенными по [107] (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Физико-механические характеристики стали 38ХС

Характеристика	Значение	Характеристика	Значение
Предел прочности при растяжении, σ_B	960 МПа	Плотность, ρ	7640 кг/см ³
Предел текучести условный, $\sigma_{0,2}$	730 МПа	Коэффициент линейного расширения, α	12·10 ⁻⁶ 1/°С
Модуль нормальной упругости, E	211 МПа	Удельная теплоемкость, C	466 Дж/кг·°С

Для снижения требований к вычислительным мощностям моделировалась одна четвертая часть детали с зеркальным закреплением сечений (рисунок 2.12). Плоский торец верхней головки закреплялся зеркальными граничными условиями, позволяющими закрепленной грани перемещаться в плоскости, но ограничивающими перемещение в перпендикулярном направлении. На верхнюю головку маятниковой подвески прикладывалась продольная распределенная сила $F = 10$ кН.

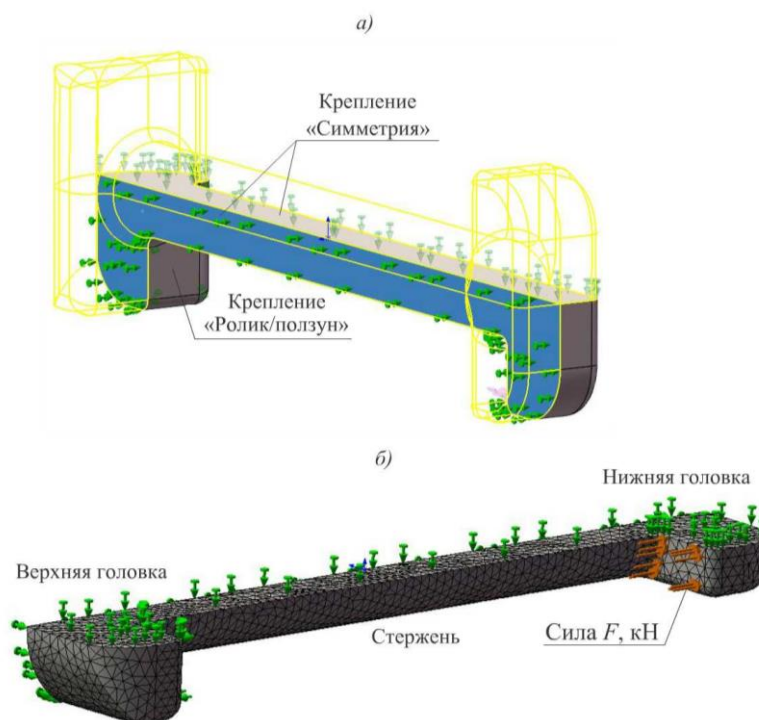


Рисунок 2.12 – Моделирование напряженно-деформированного состояния маятниковой подвески методом конечных элементов: схема закрепления модели (а) и сетка конечных элементов (б)

Устойчивость полученного решения проверена при уменьшении средних размеров конечных элементов от 3 до 1 мм, получившееся расхождение результатов расчета напряжений в элементах детали не превышает 5 %.

Наибольшие значения напряжений возникают в зонах галтельных переходов от стержня к головке маятниковой подвески с радиусом скругления 3,0 мм: для нижней головки максимальное значение составило 71 МПа, для верхней – 47 МПа (рисунок 2.13).

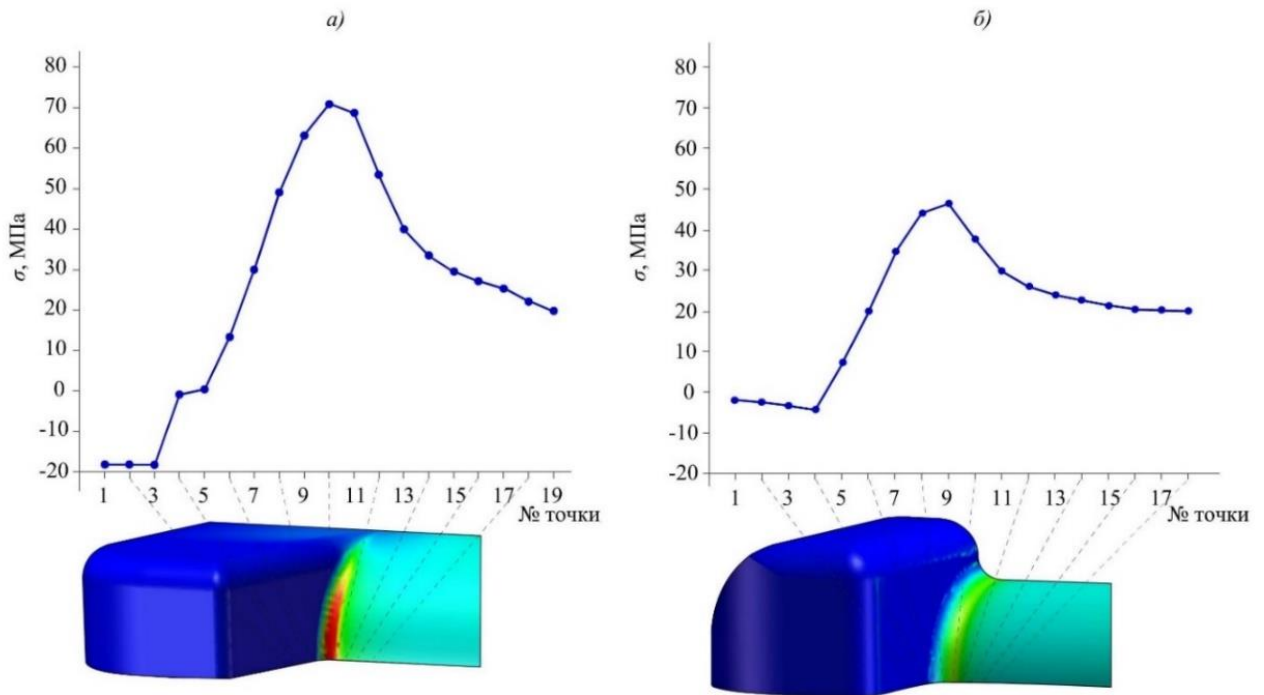


Рисунок 2.13 – Распределение напряжений в нижней головке (а) и верхней головке (б) маятниковой подвески

Рассчитанные в 1,5 раза более высокие значения напряжений в зонах галтельных переходов от головок к стержню объясняют и подтверждают результаты проведенного инспекционного контроля. В 64 % забракованных маятниковых подвесках дефекты располагаются в зоне галтельного перехода от нижней головки к стержню, 36 % – от верхней головки к стержню (рисунок 2.14).

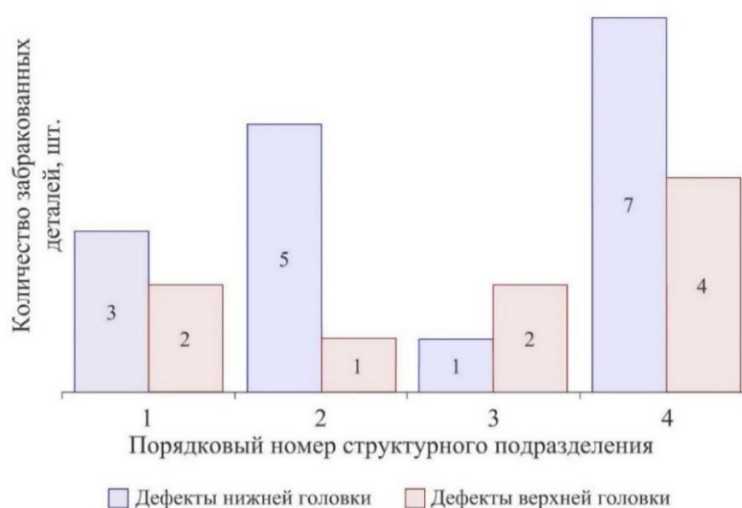


Рисунок 2.14 – Распределение дефектов в галтельных переходах нижней и верхней головок по структурным подразделениям

Полученные в результате инспекционного контроля и расчета напряженно-деформированного состояния закономерности позволяют сформулировать критерий оценки результатов браковки деталей по зонам контроля. Отношение количества дефектов в зоне галтельного перехода от нижней головки к стержню n_1 и количества дефектов в зоне галтельного перехода от верхней головки к стержню n_2 при нормальном протекании технологического процесса с учетом доверительных границ ε при $q = 5\%$ должно составлять:

$$0,3 \leq \frac{n_1}{n_2} \leq 3,4. \quad (2.4)$$

Доверительные границы определяются по формуле:

$$\varepsilon = t_{ст} \cdot S, \quad (2.5)$$

где $t_{ст}$ – коэффициент Стьюдента ($t_{ст} = 3,18$), S – среднеквадратическое отклонение.

2.3 Математическое моделирование случайных потоков результатов неразрушающего контроля

Формирование и развитие усталостных дефектов носит случайный характер. За достаточно продолжительный интервал времени на ремонтные предприятия равновероятно поступает подвижной состав с различными сроками службы и пробега, разных заводов-изготовителей и различного конструктивного

исполнения. В рамках этой модели вероятность появления детали с дефектом является постоянной величиной $p = const$. Для описания события – результата контроля используется дискретная случайная величина y . При наличии дефекта случайная величина y принимает значение $y = 1$, для бездефектных деталей $y = 0$. В такой постановке, поток событий $\{y_1, y_2, \dots, y_N\}$ описывает результаты контроля за одну смену на конкретной позиции НК. Количество деталей с дефектами n из общего количества проконтролированных N , очевидно, описывается биномиальным распределением [108] с параметром p :

$$P(n) = C_N^n \cdot p^n \cdot (1 - p)^{N-n}, \quad (2.6)$$

где $P(n)$ – вероятность наступления события с браком, p – вероятность появления детали с дефектом на позиции контроля, C_N^n – биномиальный коэффициент.

Математическое ожидание $M(n)$ и дисперсия $D(n)$ количества дефектных деталей n определяются известными формулам:

$$M(n) = N \cdot p, \quad (2.7)$$

$$D(n) = N \cdot p \cdot (1 - p). \quad (2.8)$$

Модель построена в программном обеспечении *Mathcad*. Вероятность появления дефектной детали на позиции НК носит случайный характер и является постоянной величиной для всех предприятий. Встроенный генератор случайных чисел формирует одномерный массив x_i из M случайных величин, равномерно распределенных в интервале от 0 до 1 с шагом дискретизации 10^{-15} . Размер массива M варьировался в широком диапазоне от тысячи до ста тысяч. Массив y_i результатов контроля определялся на основе массива x_i последовательным сравнением его элементов с установленной вероятностью появления бракованной детали $p = (0,05 \dots 0,20)$. Состояние деталей определяется в цикле:

$$y_i = \begin{cases} 1, & x_i \leq p \\ 0, & x_i > p \end{cases} \quad (2.9)$$

где i – номер результата контроля, $i = 1 \dots M$.

Суммированием находится количество дефектных деталей n_j в каждом j -ом результате контроля и анализируется полученная выборка (рисунок 2.15):

$$n_j = \sum_{i=1}^{N_j} y_{i+M_j}, \quad (2.10)$$

$$N_0 = 0, \quad (2.11)$$

$$M_j = \sum_{i=0}^{j-1} N_i. \quad (2.12)$$

где j – номер смены.

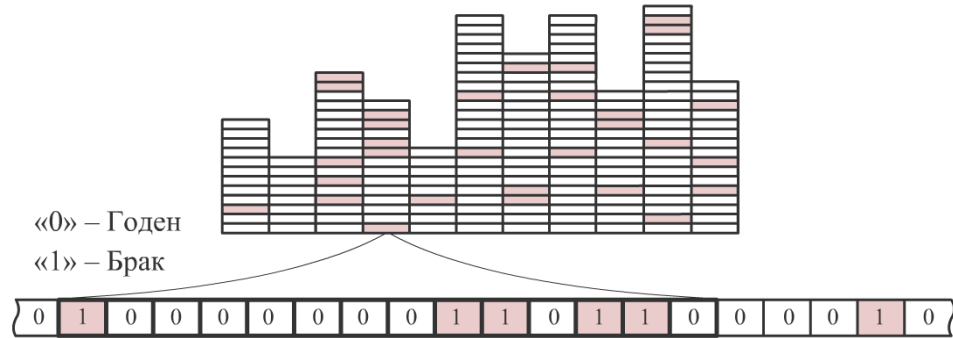


Рисунок 2.15 – Иллюстрация моделирования потока случайных событий

Поток объема проконтролированных за смену деталей N_j формировался двумя способами: принимался равным константе $N_j = N$ или воспроизводился генератором случайных чисел, принадлежащих нормальному распределению. Математическое ожидание $M(N_j)$ и среднеквадратическое отклонение $S(N_j)$ определялись по реальным данным, полученным на основе анализа результатов контроля неномерных деталей грузовых вагонов таких, как маятниковая подвеска и клин тягового хомута.

Результаты моделирования проверялись на принадлежность теоретическому закону распределения – биномиальному по критерию согласия Пирсона (критерий χ^2), который используется для проверки гипотезы о соответствии эмпирического распределения произвольному теоретическому распределению, параметры которого определяются по имеющейся выборке. С этой целью рассчитывался критерий:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(m_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i}, \quad (2.13)$$

где k – число интервалов разбиения, m_i – эмпирические частоты, n – объем выборки, p_i – вероятность появления случайной величины.

Рассчитанное значение критерия сопоставлялось с критическим $\chi^2(q, k)$, которое определено для уровня значимости q и числа степеней свободы k . Если

наблюдаемое значение критерия (2.13) меньше критического, то нулевая гипотеза о соответствии эмпирических данных выбранному распределению принималась. В противном случае нулевая гипотеза отвергалась.

Блок-схема алгоритма моделирования процесса формирования результатов ежесменного контроля представлена на рисунке 2.16.

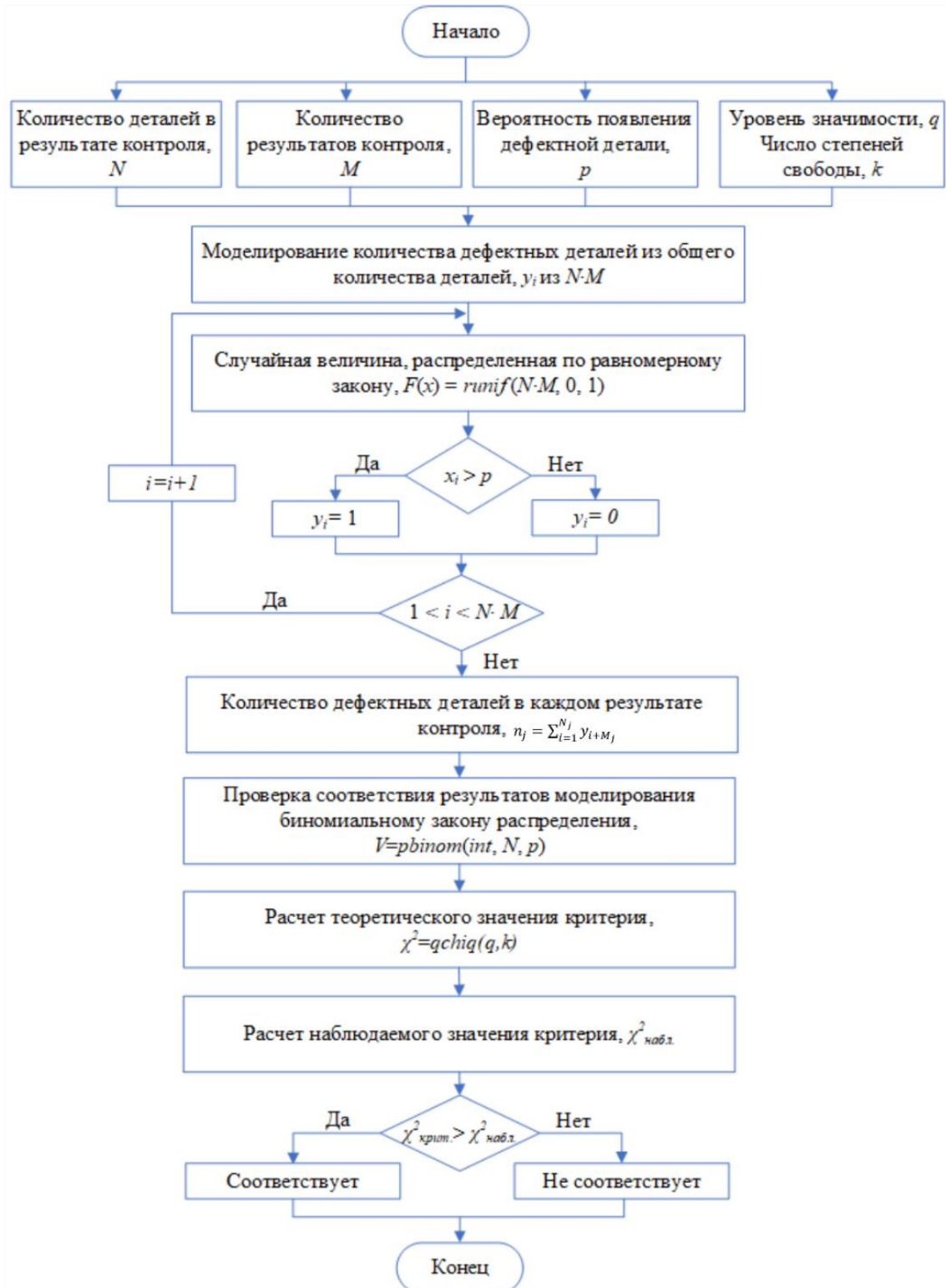


Рисунок 2.16 – Блок-схема моделирования процесса появления дефектной детали

Алгоритм моделирования случайных событий – появление дефектных деталей на позиции НК был опробован при вероятности $p = 0,10$, постоянном объеме выборки $N = 50$ и количестве результатов $M = 10\,000$. Полученный поток результатов описывается биномиальным распределением, соответствие которому подтверждается критерием согласия Пирсона (рисунок 2.17). Корреляционной связи между значениями χ^2 и количеством результатов не обнаружено.

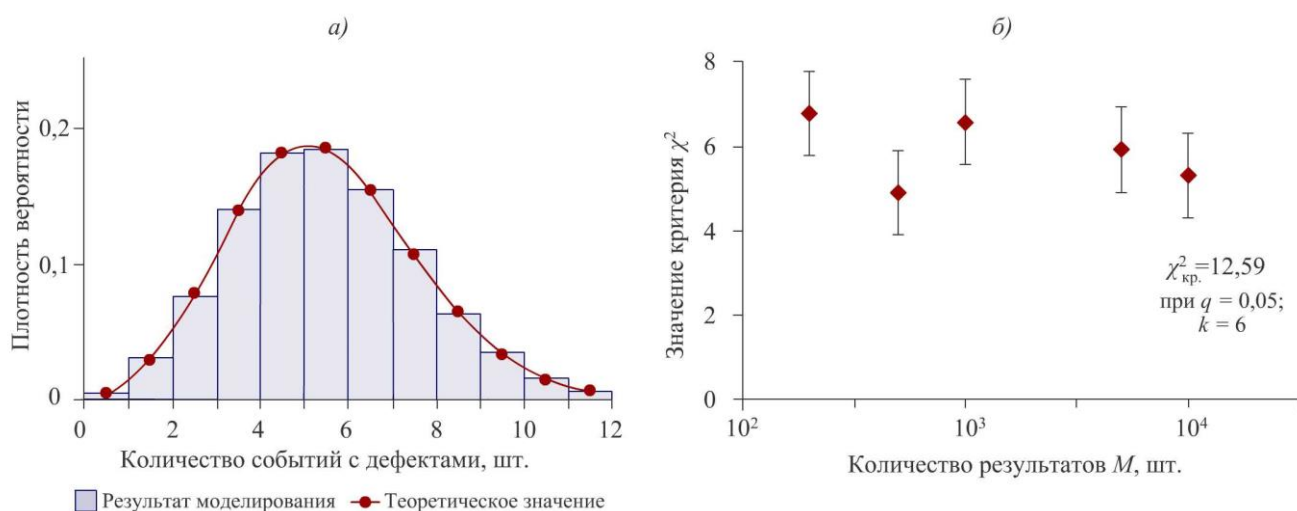


Рисунок 2.17 – Распределение плотности вероятности по количеству событий с дефектами (а) и значение критерия согласия для логарифма значений количества результатов моделирования (б)

Количество контролируемых за смену деталей является случайной величиной и зависит от объема ремонта. При переходе от постоянного объема ежесменного контроля к случайному с нормальным распределением результаты значительно искажаются (рисунок 2.18). Изменение среднего квадратического отклонения $S(N_j)$ с 1 до 10 искажает как распределение количества забракованных за смену деталей, так и распределение частоты браковки. При отношении среднего квадратического отклонения к среднему значению, равном 0,4, оба распределения уже не принадлежат биномиальному по критерию χ^2 с уровнем значимости $q = 5\%$. Искажения являются закономерными – распределение частоты браковки смещается в область меньших значений, а число забракованных деталей за одну смену – в область больших по сравнению с исходным биномиальным распределением (см. рисунок 2.18).

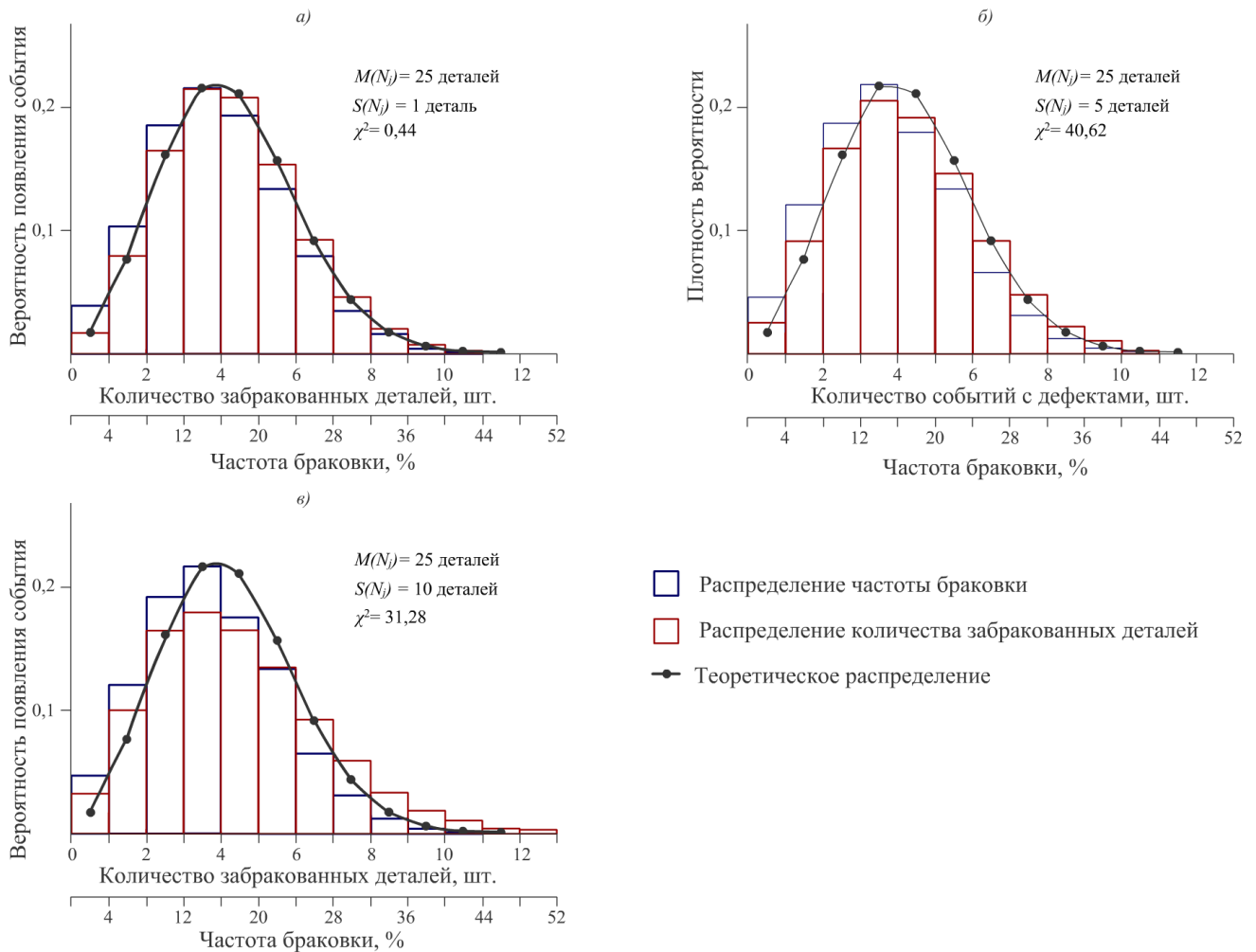


Рисунок 2.18 – Распределение плотности вероятности случайных событий при изменении СКО

Поток результатов контроля со случайным ежесменным объемом может быть восстановлен до исходного потока с помощью генератора случайных чисел. Для восстановления первоначального потока событий «годен/брак» использовался генератор с равномерным законом распределения. Из базы последовательно получают количество проконтролированных за j -ую смену деталей N_j и количество забракованных деталей n_j , используя эту информацию, формируют случайную последовательность с равномерным законом распределения вероятности появления дефекта. Восстановленная последовательность разбивается на интервалы одной длины и формируется новый поток результатов с постоянным объемом выборки, по которому строится распределение количества забракованных деталей. Для повышения статистической значимости результатов, алгоритм восстановления применяется несколько раз с последующим усреднением полученных плотностей вероятности.

Способ восстановления потока случайных событий представляет собой процесс размещения в элементах массива информации о дефектных и бездефектных деталях ($y = 0$ и $y = 1$) и разбиения их на интервалы постоянной длины $N = const$ (рисунок 2.19).

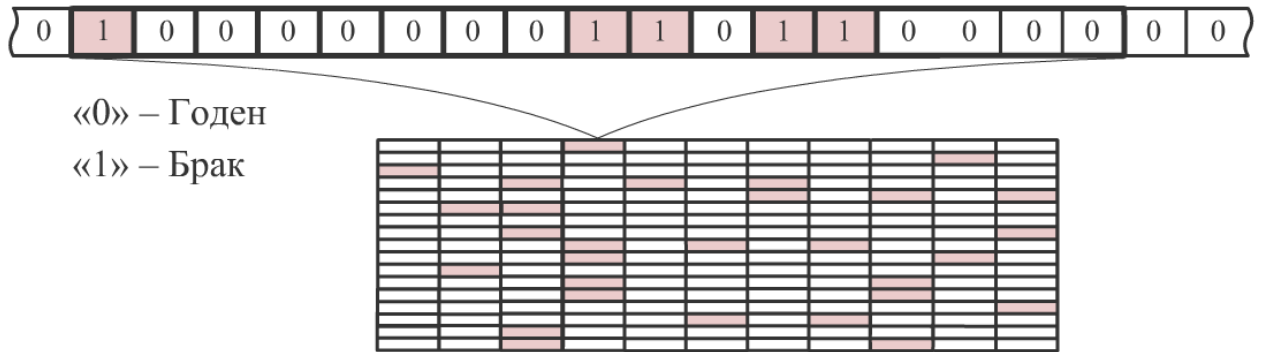


Рисунок 2.19 – Иллюстрация алгоритма восстановления потока случайных событий

Входными данными для разработанного алгоритма является массив результатов моделирования случайной величины, распределенной по нормальному закону с параметрами $M(N_j)$ и $S(N_j)$, частота браковки, определяемая отношением количества дефектных деталей к общему количеству в каждой строке массива. Результатом реализации алгоритма является массив, содержащий равномерно распределенные значения «0» и «1» с рассчитанным уровнем браковки (рисунок 2.20).

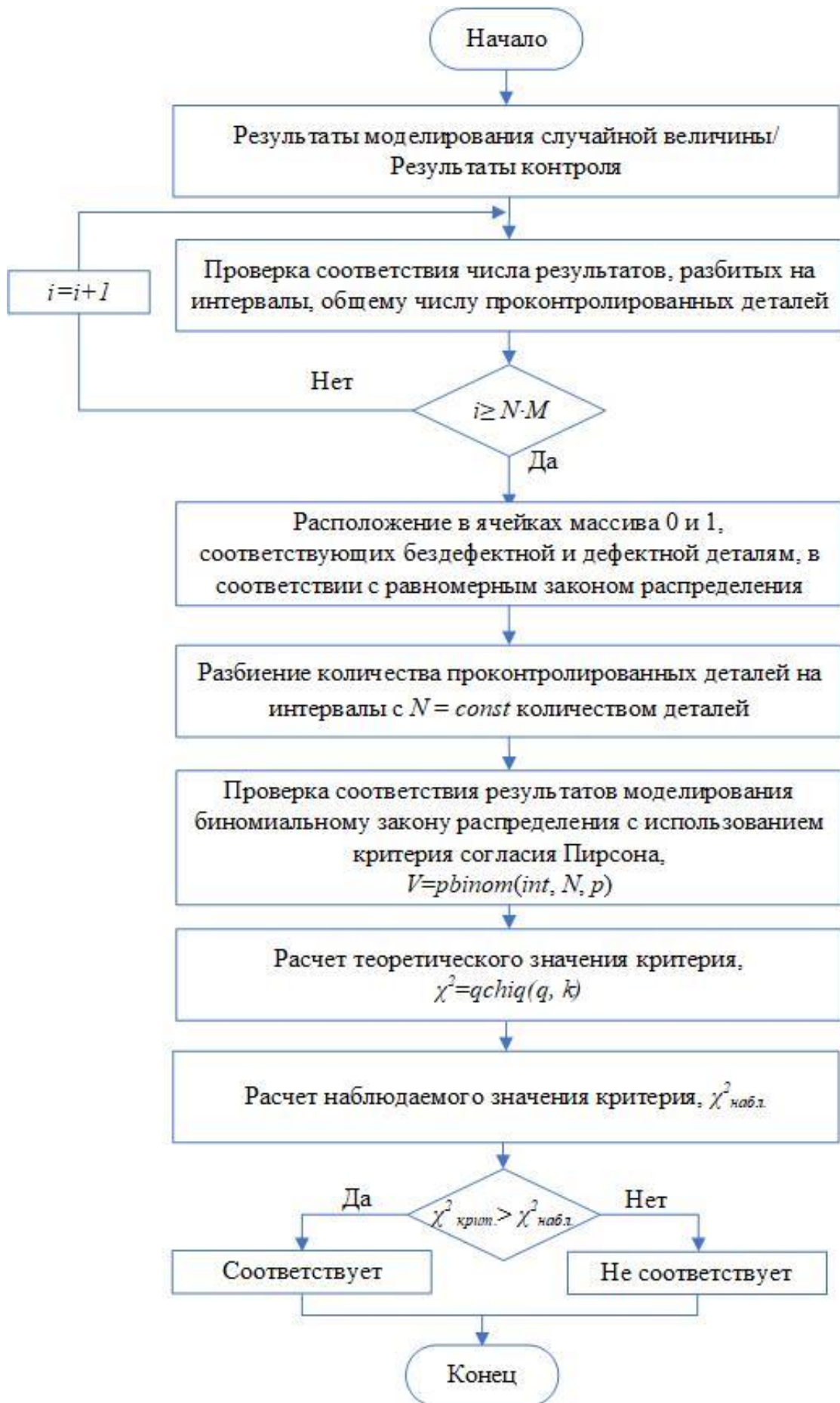


Рисунок 2.20 – Блок-схема восстановления потока случайных событий

Восстановлен поток случайных событий параметрами $M(N_j) = 25$ деталей и $S(N_j) = 10$ деталей (рисунок 2.21, а), для которого наблюдалось отклонение от биномиального закона распределения. На рисунке 2.21, б представлено распределение результатов моделирования после восстановления потока случайных событий, удовлетворительно описываемое биномиальным законом распределения с уровнем значимости 5 %.

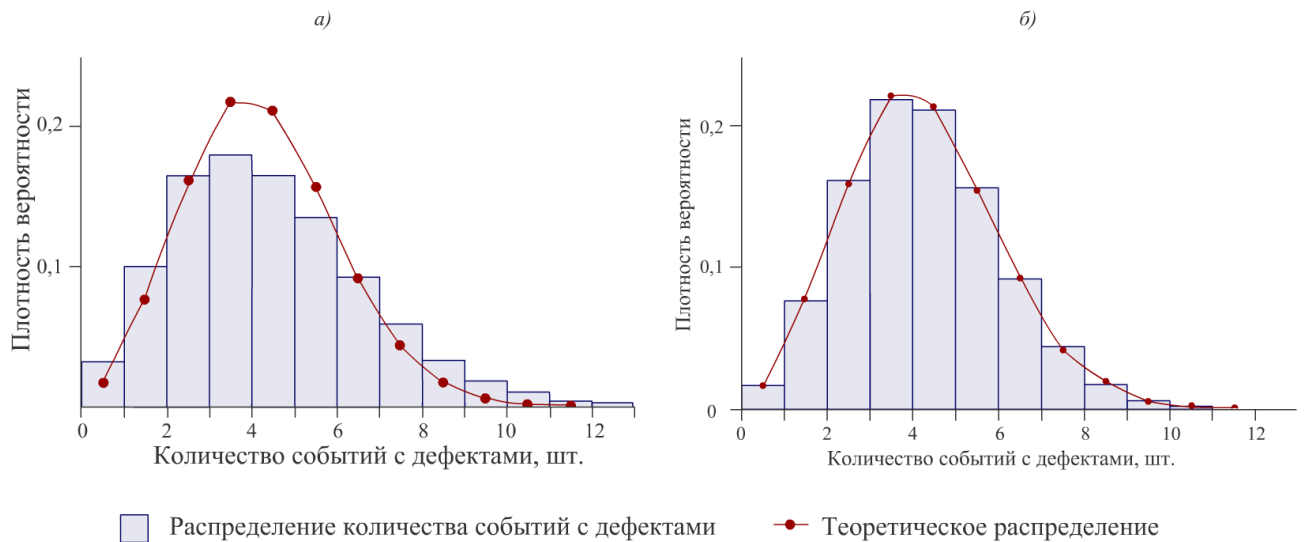


Рисунок 2.21 – Распределение результатов моделирования событий «Годен / Брак» до восстановления потока (а) и после восстановления потока (б)

Для оценки возможности применения способа восстановления потока случайных событий и оценки результативности деятельности подразделений НК в условиях производства отобраны результаты магнитопорошкового контроля клиньев тягового хомута. На основе данных, полученных за 12 месяцев, для специалистов из 37 вагоноремонтных депо построены распределения количества проверенных и забракованных деталей. Количество деталей, проконтролированных за смену в пределах каждого отдельно взятого предприятия, удовлетворительно описывается нормальным законом распределения с уровнем значимости $q = 5\%$ (рисунок 2.22, а). При этом распределение количества забракованных деталей по результатам НК не принадлежит биномиальному (рисунок 2.22, б).

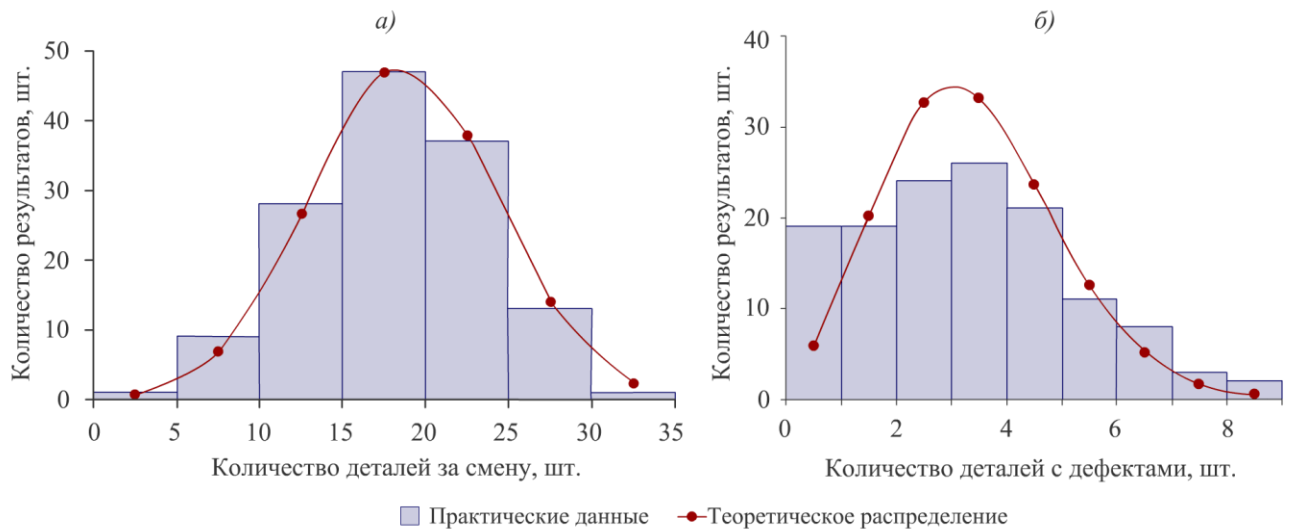


Рисунок 2.22 – Распределение результатов контроля клиньев тягового хомута по количеству проконтролированных деталей за одну смену (а) и по количеству забракованных деталей (б)

С помощью разработанного способа восстановлены результаты магнитопорошкового контроля клиньев тягового хомута (рисунок 2.23, а). Ширина исходного распределения количества забракованных деталей (рисунок 2.22, б) не характерна для биномиального закона и связана с дисперсией количества ежесменных результатов контроля. После применения способа восстановления полученные распределения (рисунок 2.23) принадлежат биномиальному с уровнем значимости 0,05.

Поток результатов НК восстанавливался несколько раз, в результате чего формировались несколько случайных равнозначных реализаций (позиция 1, 2, 3, 4 на рисунок 2.23). Статистическая обработка 500 реализаций позволила оценить средние значения вероятностей (позиция 6) и их СКО (позиция 7). Относительное значение СКО, рассчитанное по 500 реализациям, возрастает при уменьшении количества данных и изменяется в диапазоне от 13 до 25 % при количестве данных больше 10.

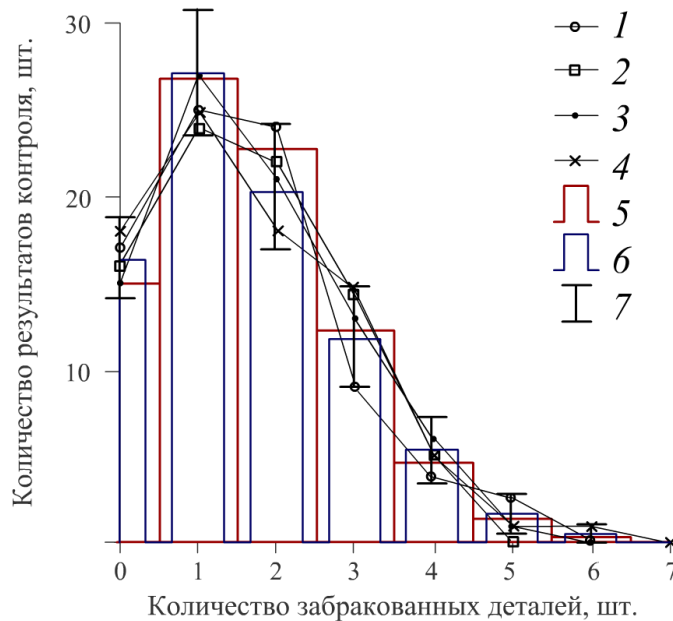


Рисунок 2.23 – Распределение количества результатов контроля от количества забракованных деталей после многократного восстановления: 1, 2, 3, 4 – восстановленные потоки событий с $N = 20$; 5 – биномиальное распределение; 6 – среднее по 500 восстановлением; 7 – доверительные границы в одно СКО

В результатах НК обнаруживаются отклонения распределения количества результатов по числу забракованных деталей (рисунок 2.24, а), свидетельствующие о нарушениях стационарности процесса контроля. Причины возникновения таких событий требуют проведения отдельной оценки или проведения дополнительного анализа системы контроля на предприятии. В ситуации, представленной на рисунке 2.24, а, наблюдается аномально большое количество результатов контроля без дефектов, которое в два раза превышает теоретически рассчитанное значение в рамках гипотезы о биномиальном распределении.

Анализ зависимости количества забракованных за смену деталей позволяет идентифицировать причину отклонения от теоретического закона распределения. Между 32 и 44 сменами наблюдаются 13 смен подряд, в которые не было забраковано ни одной детали (рисунок 2.25). Среди очевидных причин появления такого события – нарушения процедуры регистрации результатов, плановая замена деталей, бывших в эксплуатации, на новые и выполнение ремонта клиньев с трещинами, что является нарушением требований технологического процесса.

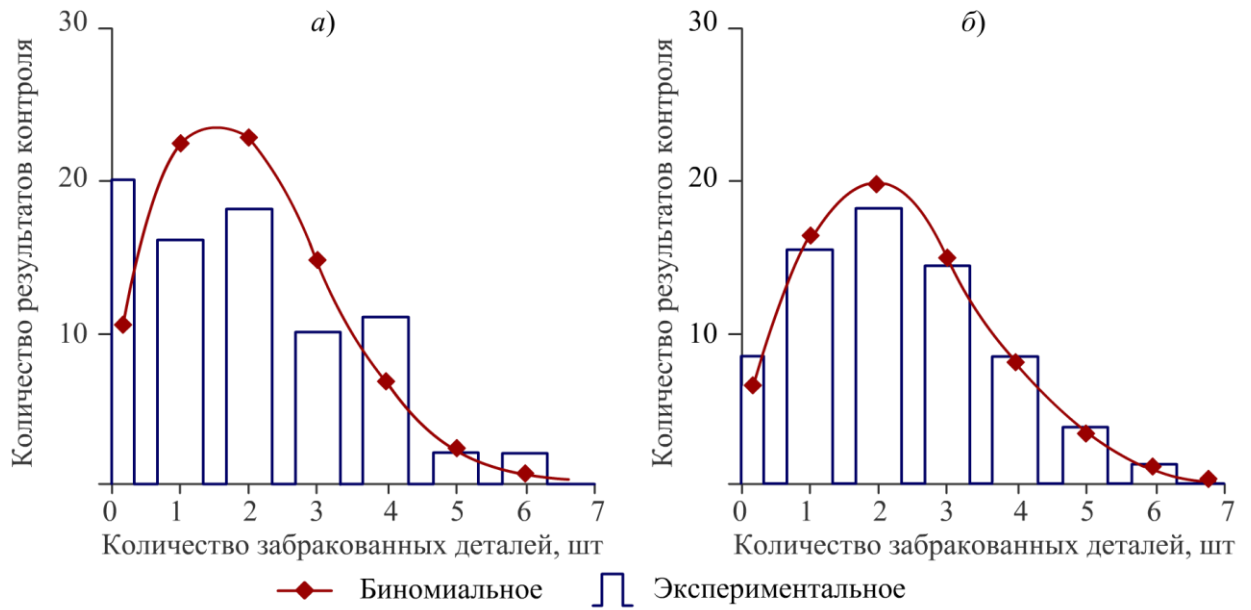


Рисунок 2.24 – Распределение количества результатов по количеству забракованных деталей с $N = 20$ после восстановления и усреднения по 500 реализациям: исходное распределение (а) и исправленное распределение (б)

Исключение результатов контроля с номерами смен от 32 до 44 из общего потока повышает вероятность обнаружения дефектной детали с 9,4 % до 11 %. Распределение результатов контроля по количеству забракованных деталей (рисунок 2.24, б) описывается биномиальным распределением с уровнем значимости $q = 0,05$.



Рисунок 2.25 – Распределение ежемесячных результатов браковки

Анализ восстановленных потоков результатов ежемесячного контроля позволяет идентифицировать несколько типов характерных форм распределений.

Для специалистов, у которых средняя частота браковки составляет (0,24 – 8,50) %, распределение количества забракованных деталей принадлежит биномиальному закону (рисунок 2.26, а, б, в) с характерными формами частных случаев, которые определяются значением вероятности p . При превышении частоты браковки более 8,50 % наблюдается появление локальных максимумов в распределении и отклонение от биномиального (рисунок 2.26, г).

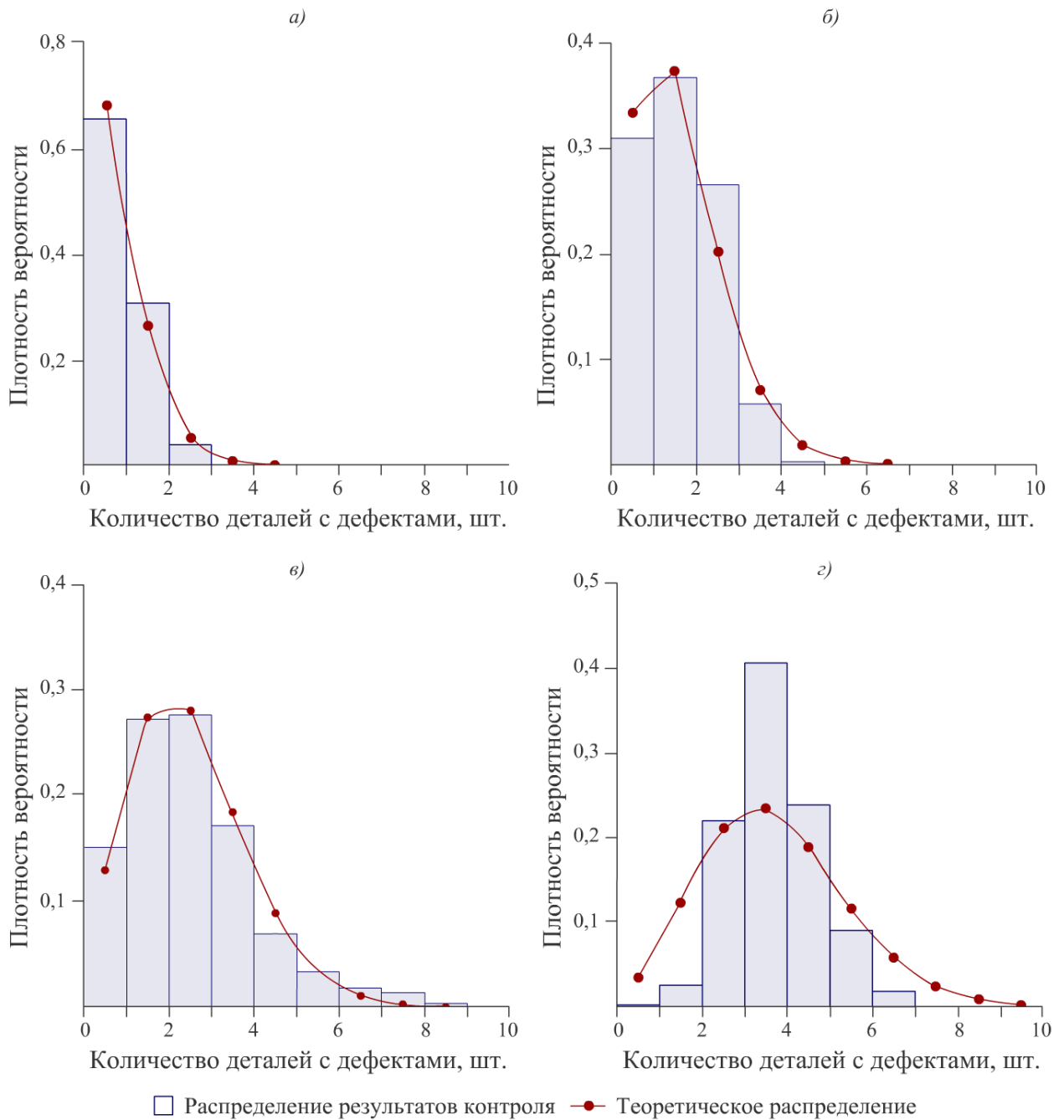


Рисунок 2.26 – Восстановление результатов НК «Годен / Брак»

2.4 Выводы ко второй главе

Рассмотрена модель равновероятного появления дефектной детали в технологическом процессе вагоноремонтного предприятия. Показано, что распределение количества забракованных деталей описывается биномиальным законом распределения. Отклонение частоты браковки в структурном подразделении компании от среднего значения по всей компании и отклонение распределения количества забракованных деталей от биномиального распределения свидетельствуют об отклонениях технологического процесса. В результатах магнитопорошкового контроля маятниковых подвесок в 28 % вагоноремонтных депо, входящих в состав компании, обнаружено маловероятное событие – значительное превышение частотой браковки среднего значения в 3 – 4 раза.

Для достоверной оценки средних результатов браковки неномерных деталей проведен инспекционный контроль в четырех структурных подразделениях. Методом экспертной оценки определены значения частоты браковки клина тягового хомута составила 9,1 %, маятниковой подвески – 5,8 %. Выполнен разрушающий контроль деталей с дефектами, подтвердивший полученные частоты браковки и позволивший сформулировать критерий оценки технологических процессов контроля по соотношению количества выявляемых дефектов в разных зонах детали.

В рамках модели о биномиальном законе распределения результатов НК разработан критерий анализа технологических процессов в структурных подразделениях. Установлена связь высокого уровня браковки (более 8,50 %) с отклонением формы распределения результатов контроля от биномиального.

Разработан способ восстановления потока результатов контроля, основанный на применении генератора случайных чисел для определения места дефектной детали в потоке. Использование усреднения равновероятных реализаций потоков позволяет повысить статистическую значимость распределений количества забракованных деталей и оценить их доверительные

границы. Работоспособность способа показана на примере реальных данных с результатами контроля клиньев тягового хомута. Отклонение распределения количества результатов контроля по количеству забракованных деталей является индикатором изменения параметров технологического процессе контроля на предприятии.

На основе полученных закономерностей статистических распределений сформулированы критерии оценки результатов НК в структурных подразделениях вагонной ремонтной компании:

1. Результаты контроля описывают и состояние детали, и параметры производственного процесса НК. Распределение результатов характеризуется вероятностью браковки p и описывается биномиальным законом. Критерий согласия Пирсона с уровнем значимости 0,05 может являться критерием оценки соответствия технологического процесса установленным требованиям.

2. Методом экспертной оценки определена средняя частота браковки ненормальных деталей. Частота браковки клина тягового хомута составила 9,1 %, маятниковой подвески – 5,8 %. Отклонение частоты браковки на предприятии от средних значений на величину, большую чем три СКО (для клина тягового хомута = 3,9 %, для маятниковой подвески = 2,9 %) свидетельствует об отклонениях в технологическом процессе.

3. Отношение количества дефектов в зоне галтельного перехода от стержня к нижней головке n_1 к количеству дефектов в зоне перехода к верхней головке n_2 : при нормальном протекании технологического процесса с учетом доверительных границ при $q = 5\%$ должно составлять:

$$0,3 \leq \frac{n_1}{n_2} \leq 3,4.$$

3 ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПО ПРЕДПРИЯТИЮ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

3.1 Анализ подразделений неразрушающего контроля

Подразделение НК, обычно, участок, лаборатория, цех, – это самостоятельная организационно-структурная единица в рамках вагонного ремонта депо, которая подчиняется главному инженеру. Подразделение является распределенным, так как отдельные посты контроля, оборудованные техническими средствами, находятся в разных ремонтных цехах: колесно-роликовом, тележечном и по ремонту автосцепного устройства. Стационарные рабочие места НК оборудованы местным освещением, стандартными и настроечными образцами с дефектами, а также местами хранения основных и вспомогательных устройств и дефектоскопических материалов. На рабочих местах НК находятся технологические карты контроля и рабочие журналы. Для перемещения крупногабаритных деталей предусмотрены грузоподъемные механизмы и приспособления. Позиции контроля, которые рассчитаны на применение переносных средств, оборудованы приспособлениями, обеспечивающими эффективное взаимное расположение работника, аппаратуры и контролируемого участка детали (рисунок 3.1).

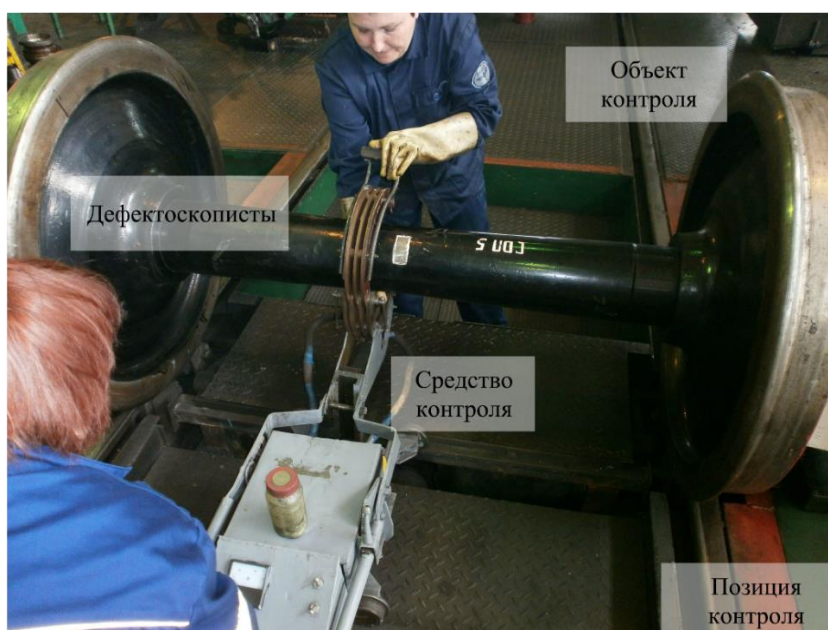


Рисунок 3.1 – Позиция НК колесных пар

Целью функционирования подразделения НК является повышение эксплуатационной надежности отремонтированных вагонов за счет обнаружения и изъятия из эксплуатации деталей и узлов вагонов с недопустимыми дефектами – усталостными трещинами. Для достижения этой цели применяются специализированные методы и средства НК в соответствии с действующей нормативной документацией и технологическими процессами ремонта грузовых вагонов.

Компетентность, способность проводить НК узлов и деталей грузовых вагонов подтверждается аттестацией подразделения НК в определенной области – совокупности видов продукции и методов контроля [109]. Подразделение НК функционирует в соответствии с паспортом [109], в котором содержится информация о контролируемых деталях и узлах, методах НК, сведения о средствах, вспомогательных устройствах и средствах контроля, перечень и оснащение постов, а также сведения об уровне квалификации персонала и перечень технологических карт. Для каждого поста разрабатывается паспорт рабочего места, в котором указывается метод контроля, перечень деталей, оснащенность оборудованием и технологическими картами, а также список персонала, допущенного к проведению НК.

Начальник вагонного ремонтного депо осуществляет контроль за выполнением общего производственного процесса подразделения НК. Общее руководство организацией и обеспечением работ возложено на главного инженера вагонного ремонтного депо. Штат подразделения НК составляет мастер подразделения НК, бригадир и дефектоскописты по магнитному, ультразвуковому и вихретоковому контролю. Непосредственное руководство работами по НК возложено на мастера подразделения или начальника лаборатории. Дефектоскописты проводят работы по НК деталей и узлов грузовых вагонов в соответствии с технологическим процессом, утвержденным начальником депо, по технологическим картам, утвержденным главным инженером.

Персонал, обладающий требуемым уровнем квалификации по

соответствующим методам, является важной составляющей системы НК деталей и составных частей вагонов. Дефектоскописты выполняют работы по контролю в соответствии с трудовыми функциями и тарификацией работ [110-111] (рисунок 3.2). Распределение специалистов по трудовым функциям в структурных подразделениях вагоноремонтной компании представлено на рисунке 3.3.

2 разряд

- оценка качества деталей простой конфигурации;
- настройка магнитных, электромагнитных и простых ультразвуковых дефектоскопов;
- определение дефектов в деталях сложной конфигурации под руководством дефектоскописта более высокой квалификации;
- ведение учетной документации;

3 разряд

- контроль деталей сложной конфигурации на агрегатах без снятия;
- расшифровка поверхностных дефектов;
- контроль качества сварных соединений;

4 разряд

- настройка сложных ультразвуковых переносных, лабораторных и стационарных дефектоскопов;
- определение качества проката, отливок, поковок и сварных соединений по результатам контроля и техническим условиям;
- изготовление приспособлений для проведения контроля;

5 разряд

- проведение дефектоскопии на всех видах дефектоскопов;
- испытание, наладка и настройка оборудования;
- определение размеров и глубины залегания дефектов;
- обработка результатов контроля;
- составление ведомостей и технологических карт;

6 разряд

- проведение всех видов работ, встречающихся на производственном участке НК.

Рисунок 3.2 – Трудовые функции дефектоскопистов, классифицированных по разрядам

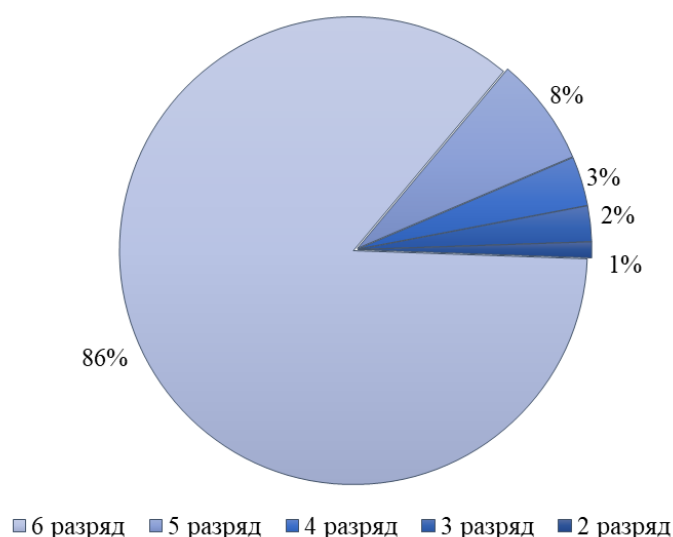


Рисунок 3.3 – Количество дефектоскопистов по трудовым функциям

Дефектоскописты 5 и 6 разрядов составляют 94 % от общего числа дефектоскопистов, так как в соответствии с нормативными требованиями контроль ответственных узлов и деталей, эксплуатация которых связана с безопасностью перевозочного процесса, должны проводить специалисты именно этих разрядов. Дефектоскописты выполняют работу в соответствии с трудовыми функциями, номенклатурой работ с учётом степени сложности работ и на основе имеющихся теоретических знаний и накопленного производственного опыта (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Технологические операции НК по трудовым функциям

№ п/п	Наименование технологической операции НК	Разряд трудовых функций
Детали колесных пар		
1	Ультразвуковой контроль элементов колесных пар	5-6
2	Магнитопорошковый контроль деталей колесных пар	5-6
3	Вихретоковый контроль деталей колесных пар	5-6
Детали тележек		
4	Магнитопорошковый контроль литых деталей тележек	6
Детали автосцепного устройства		
5	Магнитопорошковый, вихретоковый контроль корпуса автосцепного устройства и тягового хомута	6
6	Магнитопорошковый контроль, вихретоковый контроль маятниковой подвески, клина и валика тягового хомута.	4-6
7	Магнитопорошковый контроль, вихретоковый контроль подвески тормозного башмака, тяги тормозной	4-6

На результаты НК значительное влияние оказывает производственный стаж персонала. В вагонных ремонтных депо дефектоскописты со стажем работы более пяти лет составляют 60 %, то есть высококвалифицированный персонал составляет чуть больше половины.

При определении минимального количества специалистов учитывается информация о ежесменной программе ремонта вагонов, трудоемкости технологических операций, режиме работы. Разными структурными подразделениями вагоноремонтного комплекса ремонтируется от двух до четырнадцати вагонов за 12-ти часовую смену (рисунок 3.4, а), а среднее количество по всем предприятиям составляет 7 вагонов. Количество дефектоскопистов на предприятии слабо связано с объемом ремонта (рисунок 3.4, б), коэффициент корреляции не превышает 0,6. Несмотря на то, что предприятия выполняют работы по практически идентичным технологиям и используют типовые средства контроля, единая методика определения оптимального количества дефектоскопистов в настоящее время не применяется.

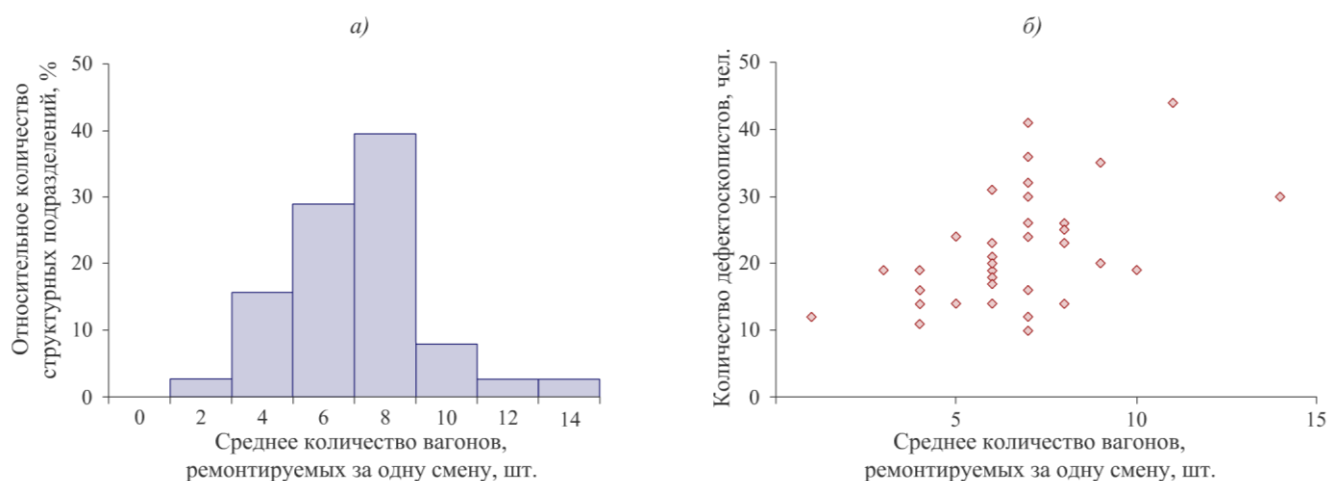


Рисунок 3.4 – Распределение структурных подразделений по объемам ремонта (а) и количество дефектоскопистов от объема ремонта в структурных подразделениях компании (б)

В вагонных ремонтных депо численность дефектоскопистов составляет от 10 до 44 человек (рисунок 3.5, а). В среднем по вагоноремонтной компании на каждом предприятии один специалист, сертифицированный на уровень хотя бы по одному методу, выполняет должностные обязанности, не связанные с проведением контроля, например, бригадиры производственных участков или

специалисты, переведенные на легкий труд в связи с беременностью или находящиеся в декретном отпуске (рисунок 3.5, б).

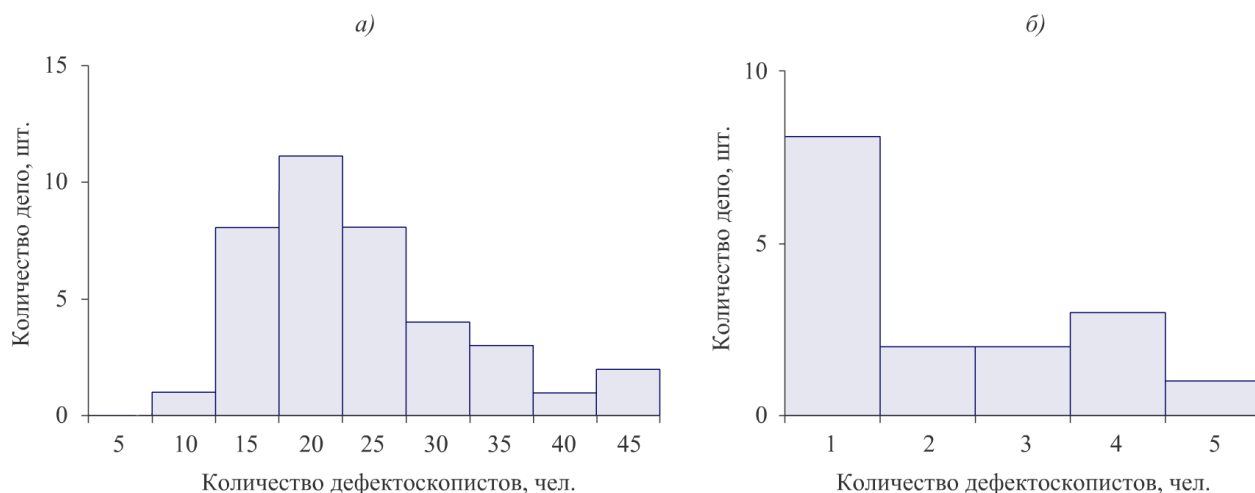


Рисунок 3.5 – Распределение общего количества сертифицированных дефектоскопистов в структурных подразделениях (а) и количества специалистов, выполняющих другие обязанности (б)

Сертификация персонала по НК деталей и составных частей вагонов при изготовлении и ремонте проводится в соответствии с требованиями ПР НК В1 [109], ГОСТ Р ИСО 9712 [112] уполномоченными органами и экзаменационными центрами по сертификации персонала по НК в соответствии с национальными нормами в промышленном секторе «Железнодорожный транспорт». Правилами сертификации [112] предусмотрены три уровня квалификации. Специалисты, сертифицированные на I уровень, проводят подготовку оборудования и объекта к проведению контроля, наличие II уровня квалификации дает возможность проводить контроль и выдавать заключение о годности/негодности объекта, специалисты III уровня занимают руководящие должности в лабораториях НК, разрабатывают нормативную документацию на проведение контроля, участвуют в сертификации других специалистов.

В вагонных ремонтных депо предъявляются высокие требования к квалификации работников, поэтому практика сертификации на I уровень не применяется. Это обусловлено тем, что основной объем работ осуществляется вручную, и как следствие, требует подтверждения высокой квалификации персонала.

На предприятиях железнодорожной отрасли наибольшее распространение получили магнитный (МПК), ультразвуковой (УЗК) и вихретоковый (ВТК) методы контроля. Процесс контроля деталей многоуровневый, включает в себя три этапа: визуальный и измерительный контроль до НК для определения отклонения геометрических параметров деталей, визуальный осмотр (ВО) при НК, позволяющий обнаружить достаточно развитые дефекты, и контроль средствами НК для выявления невидимых глазом дефектов (рисунок 3.6).

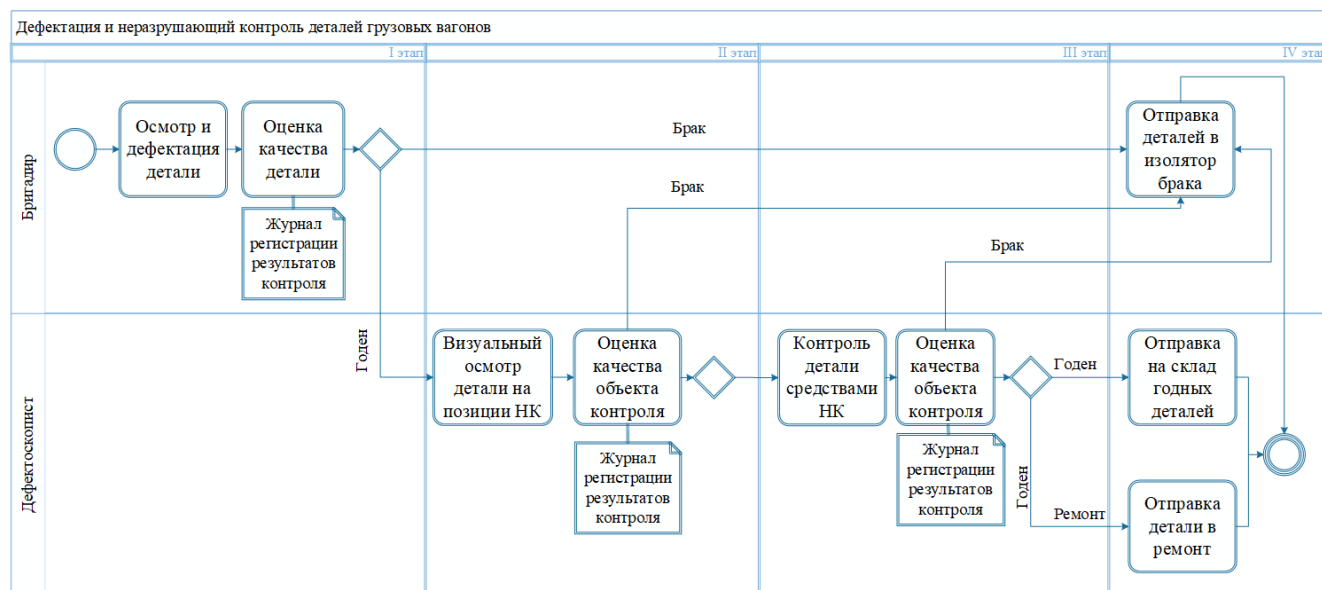


Рисунок 3.6 – Процесс НК на вагоноремонтном предприятии

При дефектации и визуальном осмотре выявляется около 15 % общего количества обнаруженных дефектов. Большинство дефектов, возникающих в деталях и узлах вагонов, могут быть выявлены только с помощью методов НК.

В 42 депо проанализированы сведения о квалификации дефектоскопистов: на II уровень хотя бы на один метод сертифицированы 834 человека. Наибольшее число специалистов сертифицированы на МПК (рисунок 3.7), так как в соответствии с правилами по НК для ответственных деталей вагонов этот метод имеет более широкую область применения.

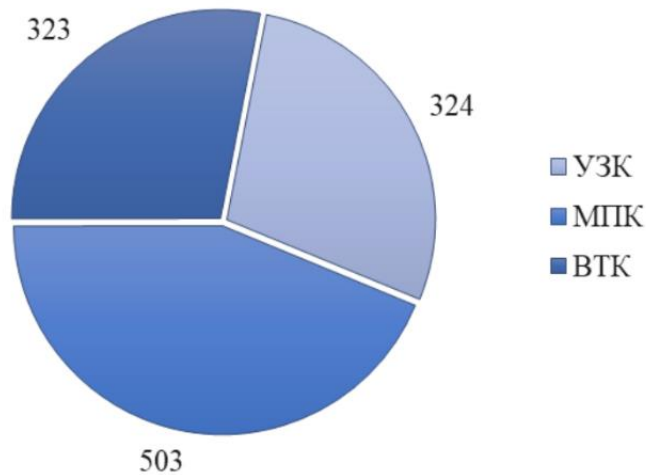


Рисунок 3.7 – Количество дефектоскопистов, сертифицированных по методам НК

В кадровом составе 66 % структурных подразделений 16 % специалистов одновременно сертифицированы на три метода НК (рисунок 3.8). 30 % дефектоскопистов сертифицированы на два метода, из них 14 % подтвердили квалификацию по УЗК и МПК, 12 % – по МПК и ВТК и 4 % сертифицированы на ВТК и УЗК (рисунок 3.9, а, б). При этом сертификация специалиста одновременно на три метода контроля увеличивает расходы предприятия, но одновременно открывает возможности наиболее эффективного использования производственного персонала за счет универсальности специалистов. Несмотря на то, что такой подход находит применение на практике, на основе данных вагоноремонтной компании, единая обоснованная стратегия такого организационного решения пока отсутствует.

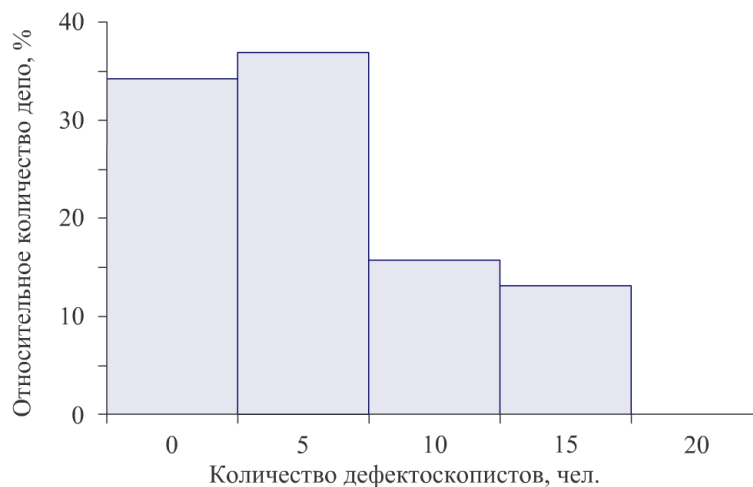


Рисунок 3.8 – Распределение структурных подразделений по количеству дефектоскопистов, сертифицированных на три метода НК

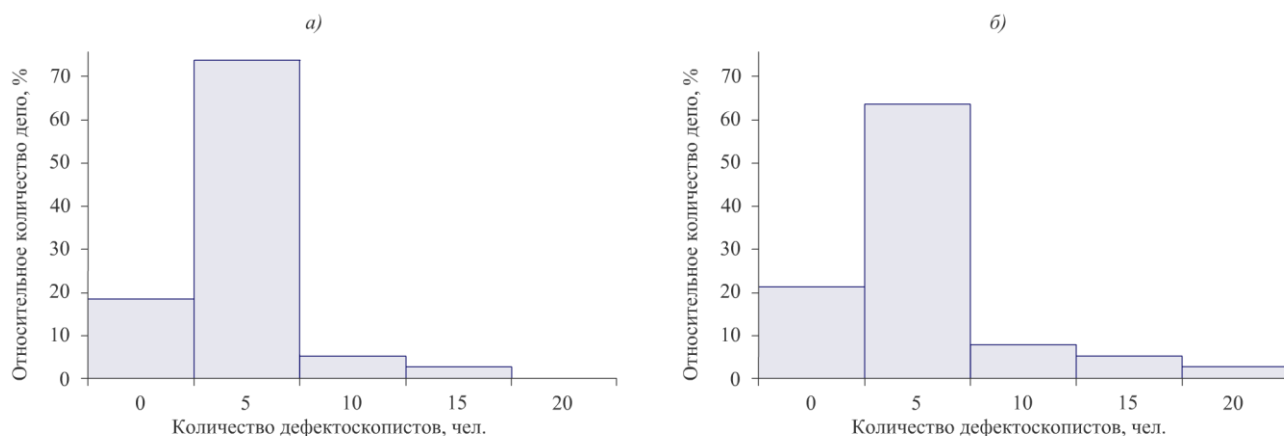


Рисунок 3.9 – Распределение структурных подразделений по количеству дефектоскопистов, сертифицированных на МПК и ВТК (а) и УЗК и МПК (б)

Нормативной и технологической документацией установлены требования к квалификации работников. Достоверность результатов контроля зависит не только от технических средств, но и от уровня квалификации дефектоскопистов, так как именно дефектоскописты принимают решение о техническом состоянии узлов и деталей и возможности их дальнейшей эксплуатации. Проблема отсутствия необходимого количества сертифицированных дефектоскопистов в вагонных ремонтных депо и оптимизации кадровой политики для выполнения ежедневного плана контроля узлов и деталей грузовых вагонов является ключевой с точки зрения безопасности железнодорожного транспорта.

Производственный процесс НК – это часть технологии изготовления, ремонта и технического обслуживания грузовых вагонов и выполняется для своевременного выявления в узлах и деталях дефектов и принятия необходимых мер по обеспечению безопасной эксплуатации железнодорожного транспорта. Процесс НК не относится к классу поточных процессов, так как операции выполняются с разной продолжительностью, и на одной позиции могут проверяться детали разных типов.

Вагонное ремонтное депо содержит вагоноборочный, тележечный, колесно-роликовый участки и участок по ремонту автосцепного устройства. Для оценки технического состояния деталей грузовых вагонов проводится НК в соответствии с утвержденными нормами времени.

Участок по ремонту автосцепного устройства предназначен для обеспечения его работоспособного состояния в межремонтный период. Участок содержит позиции НК клина тягового хомута и маятниковой подвески, тягового хомута и корпуса автосцепки.

Участок ремонта тележек предназначен для ремонта деталей и сборки тележек грузовых вагонов. На участке находятся позиции контроля литых деталей: надрессорных балок и боковых рам, подвесок тормозного башмака.

Колесно-роликовый участок (цех) содержит посты НК колесной пары при среднем и текущем ремонтах. На позициях проводится МПК осей, УЗК осей и колес цельнокатаных, ВТК колес. Информация о нормах времени на проведение контроля приведена в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Исходные данные о нормах времени на проведение контроля и количестве постов НК

Наименование параметра	Значение
Длительность рабочей смены, ч	12
Длительность обеденного перерыва, ч	1
Участок по ремонту автосцепного устройства	
Норма времени МПК одного клина тягового хомута, t_1 , мин.	2,52
Норма времени МПК одной маятниковой подвески, t_2 , мин.	3,00
Норма времени МПК одного корпуса автосцепки, t_3 , мин.	15,96
Норма времени МПК одного тягового хомута, t_4 , мин.	11,34
Участок ремонта тележек	
Норма времени МПК одной боковой рамы, t_5 , мин.	11,28
Норма времени МПК одной надрессорной балки, t_6 , мин.	31,32
Норма времени МПК одной подвески тормозного башмака, t_7 , мин.	3,66
Колесно-роликовый участок	
Норма времени МПК одной оси при текущем ремонте, t_8 , мин.	11,1
Норма времени ВТК одного цельнокатаного колеса при текущем ремонте, t_8' , мин.	67,02
Норма времени УЗК одной оси при текущем ремонте, t_8'' , мин.	5,34
Норма времени УЗК одного цельнокатаного колеса при текущем ремонте, t_8''' мин.	9,3
Норма времени МПК одной оси при среднем ремонте, t_9 , мин.	22,32
Норма времени ВТК одного цельнокатаного колеса при среднем ремонте, t_9' , мин.	60,72
Норма времени УЗК одной оси при среднем ремонте, t_9'' мин.	5,34
Норма времени УЗК одного цельнокатаного колеса при среднем ремонте, t_9''' , мин.	9,3

В структурных подразделениях вагоноремонтного комплекса, ремонтирующих от 6 до 8 вагонов за рабочую смену, на протяжении семи рабочих смен проводился мониторинг времени поступления деталей на позиции контроля на трех производственных участках. Дефектоскописты фиксировали время поступления и количество деталей. Пример заполнения опросного листа приведен на рисунке 3.10.

Производственный участок	Наименование детали	Время поступления деталей	Количество деталей, штук
Участок по ремонту автосцепного устройства	Клин тягового хомута	8:00 – 9:00	–
		9:00 – 10:00	–
		10:00 – 11:00	–
		11:00 – 12:00	–
		12:00 – 13:00	–
		13:00 – 14:00	4
		14:00 – 15:00	–
		15:00 – 16:00	–
		16:00 – 17:00	3
		17:00 – 18:00	3
		18:00 – 19:00	–
		19:00 – 20:00	–
		Маятниковая подвеска	8:00 – 9:00
	9:00 – 10:00		–
	10:00 – 11:00		–
	11:00 – 12:00		–
	12:00 – 13:00		–
	13:00 – 14:00		8
	14:00 – 15:00		–
	15:00 – 16:00		6
	16:00 – 17:00		6
	17:00 – 18:00		–
	18:00 – 19:00	–	
	Корпус автосцепки	8:00 – 9:00	–
		9:00 – 10:00	–
		10:00 – 11:00	–
		11:00 – 12:00	–
12:00 – 13:00		–	
13:00 – 14:00		4	
14:00 – 15:00		–	

Рисунок 3.10 – Фрагмент заполнения опросного листа

Рабочая смена всех производственных участков депо начинается в 8:00, в это время вагон устанавливается в вагоноборочный участок, выполняется очистка и разборка вагона, именно поэтому на позиции НК детали поступают с задержкой, которая может достигать нескольких часов. Распределения среднего количества деталей, поступающих на контроль, в течение рабочей смены на трех производственных участках представлены на рисунках 3.11 и 3.12.

Свободное время в начале каждой последующей смены дефектоскопистом расходуется на подготовку рабочего места и настройку оборудования, оформление и внесение результатов проведенного контроля в предыдущие

рабочие часы, что подтверждается данными из программного обеспечения АРМ НК.

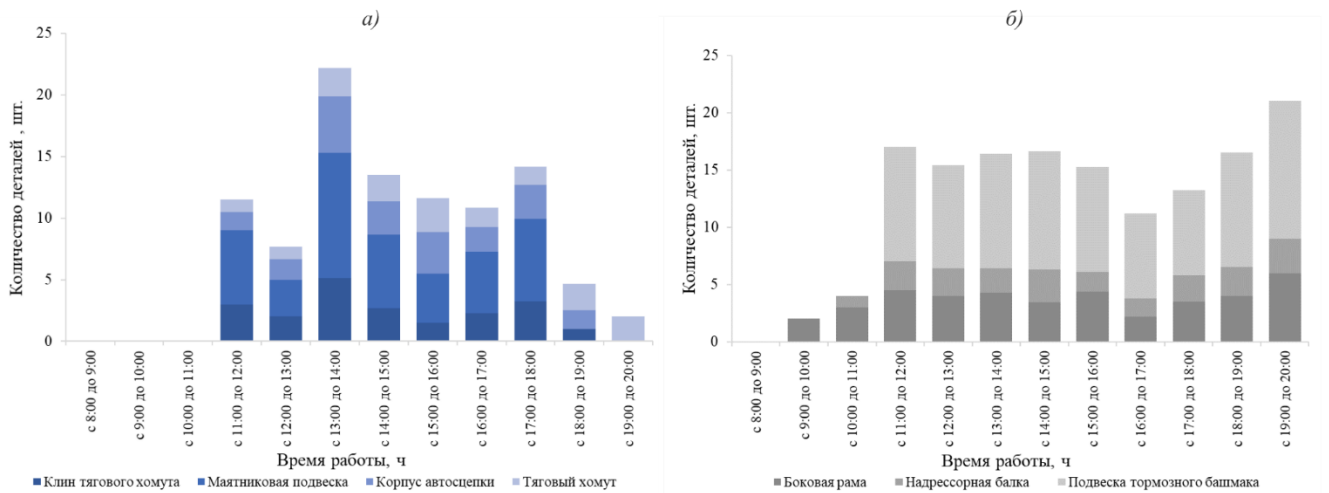


Рисунок 3.11 – Поступление деталей на позиции НК в течение рабочей смены на участок по ремонту автосцепного устройства (а) и тележечный участок (б)

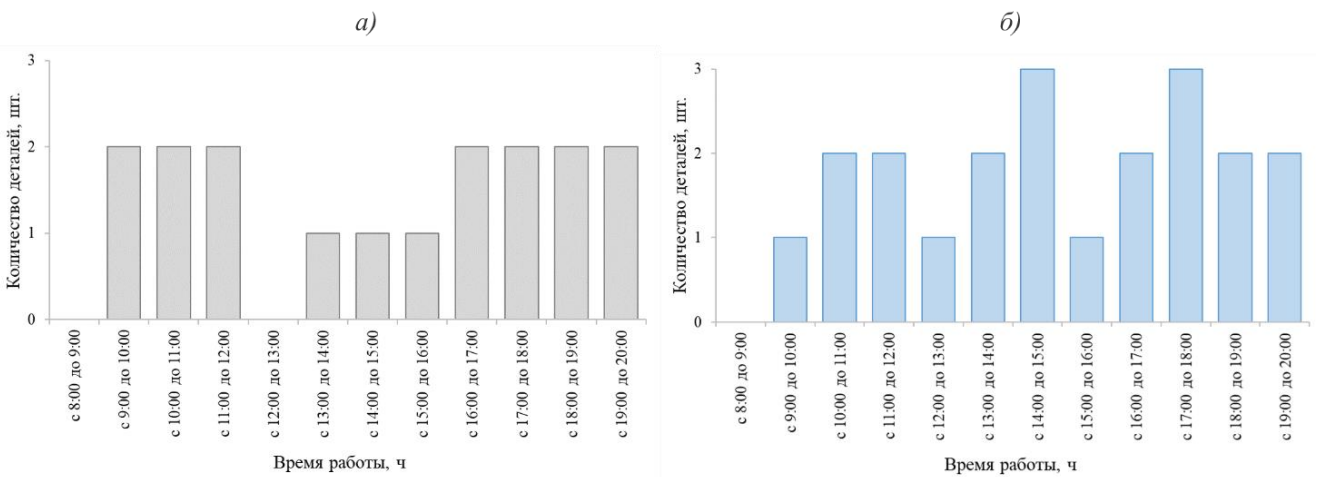


Рисунок 3.12 – Поступление колесных пар на позиции НК при текущем ремонте (а) и среднем ремонте (б) в течение рабочей смены

3.2 Имитационная модель подразделения неразрушающего контроля

Позиция НК и детали, поступающие на позицию контроля, описываются в терминах случайных процессов дискретными случайными величинами и могут быть проанализированы в рамках теории массового обслуживания. Имитационная модель позволяет исследовать структуру производственного процесса и выявить закономерности функционирования. На основе имитационного моделирования, выполненного с достаточным уровнем детализации, может быть получено

достоверное описание существующих процессов. Центральная проблема, решаемая при построении моделей, заключается в определении оптимального количества и квалификации дефектоскопистов, которые необходимы для выполнения ежедневных объемов контроля.

Модель производственного процесса содержит четыре основных элемента: входящий поток заявок, очередь, узел обслуживания и выходящий поток. Заявками на обслуживание являются детали грузовых вагонов, поступающие с интенсивностью потока λ_i и образующие очередь на позицию контроля. Поступившие детали находятся в одном из двух состояний: обслуживание или ожидание, когда все позиции заняты. Детали формируют очередь, длину которой определяет количество элементов Q_i , ожидающих обслуживания. Узел обслуживания содержит оборудование, необходимое для проведения контроля, и определяется длительностью контроля одной детали определенного типа t_i . На выходе – проконтролированные детали с интенсивностью потока λ'_i . Модель характеризуется временем задержки заявок в системе t .

В рамках работы создана имитационная модель подразделения НК, посты которого располагаются на участках ремонта автосцепного устройства, колесных пар и тележек грузовых вагонов. В качестве исходных данных используется статистическая информация об ежедневных объемах контролируемых деталей, описываемых нормальным законом распределения со средним значением \bar{x} и СКО S , нормы времени на контроль одной детали и количество дефектоскопистов, работающих в одну смену.

На участке по ремонту автосцепного устройства находятся позиции МПК клина тягового хомута и маятниковой подвески, МПК корпуса автосцепки и МПК тягового хомута. При разработке модели позиций НК участка по ремонту автосцепного устройства учитывается, что в соответствии с технологией контроля одновременно проверяются две маятниковых подвески или два клина тягового хомута, корпус автосцепки и тяговый хомут контролируются по одной детали. В колесно-роликовом цехе предусмотрены позиции НК для колесных пар, направляемых в текущий ремонт, и колесных пар, направляемых в средний

ремонт. На позициях контроля проводится УЗК осей и колес цельнокатаных, ВТК колес цельнокатаных и МПК осей колесных пар. Особенностью позиций является возможность одновременно проводить 2 вида контроля, например, ВТК колес и УЗК оси, т.е. на одной позиции одновременно работают два дефектоскописта. На участке по ремонту деталей тележки располагаются позиции для МПК подвески тормозного башмака, надрессорной балки и боковой рамы. Схема имитационной модели подразделения НК в вагонном ремонтном депо

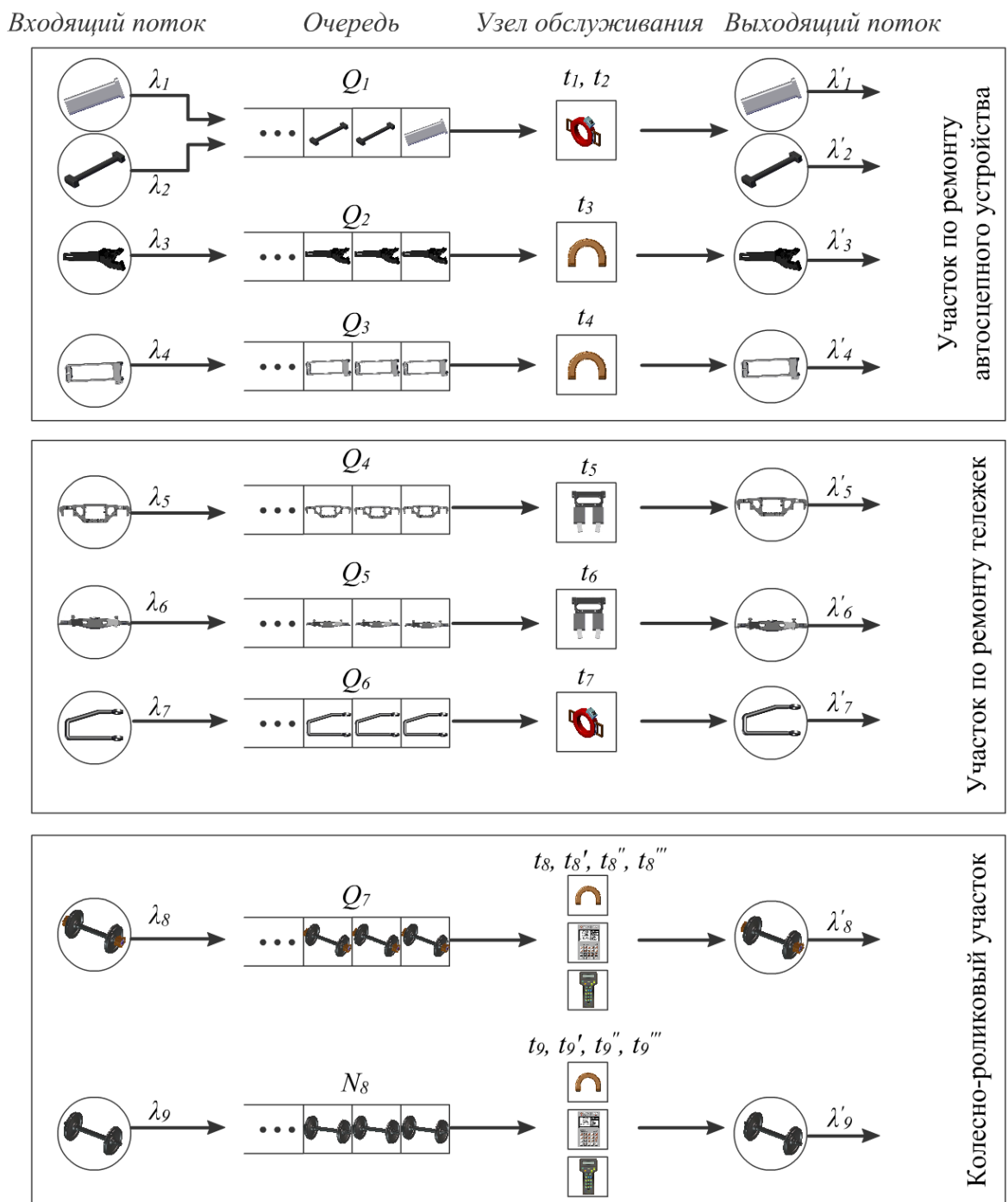


Рисунок 3.13 – Схема имитационной модели подразделения НК в вагонном ремонтном депо

По исходным данным, представленным в таблице 3.2 и на рисунках 3.11-3.12 проведено моделирование подразделения НК вагоноремонтного депо в течение 31 рабочей смены. Адекватность модели оценивалась сравнением фактического количества проконтролированных деталей и количества деталей в имитационной модели за рассматриваемый период. Отклонение этих величин по каждому виду деталей не превышает 10 %. При моделировании анализировались коэффициент занятости дефектоскописта в течение смены и количество деталей в очереди на контроль.

Результаты моделирования в виде фрагментов зависимости коэффициента занятости специалистов и количества деталей в очереди на контроль от времени в течение рабочей смены по участкам ремонта деталей грузовых вагонов представлены на рисунках 3.14-3.17. На участке по ремонту автосцепного устройства все детали контролируются до окончания рабочей смены, однако средний коэффициент занятости дефектоскопистов не превышает 0,2 (рисунок 3.14). Для участка по ремонту деталей тележки наблюдается ситуация, при которой от 2 до 11 деталей остаются непроконтролированными, коэффициент занятости дефектоскопистов варьируется от 0,26 до 0,42 (рисунок 3.15). На позициях контроля колесных пар (при текущем и среднем ремонтах) наблюдается самая высокая загруженность специалистов – коэффициент занятости достигает 0,55, при этом количество деталей в очереди на контроль увеличивается от смены к смене, максимальное количество в очереди достигает 48-ми колесных пар.

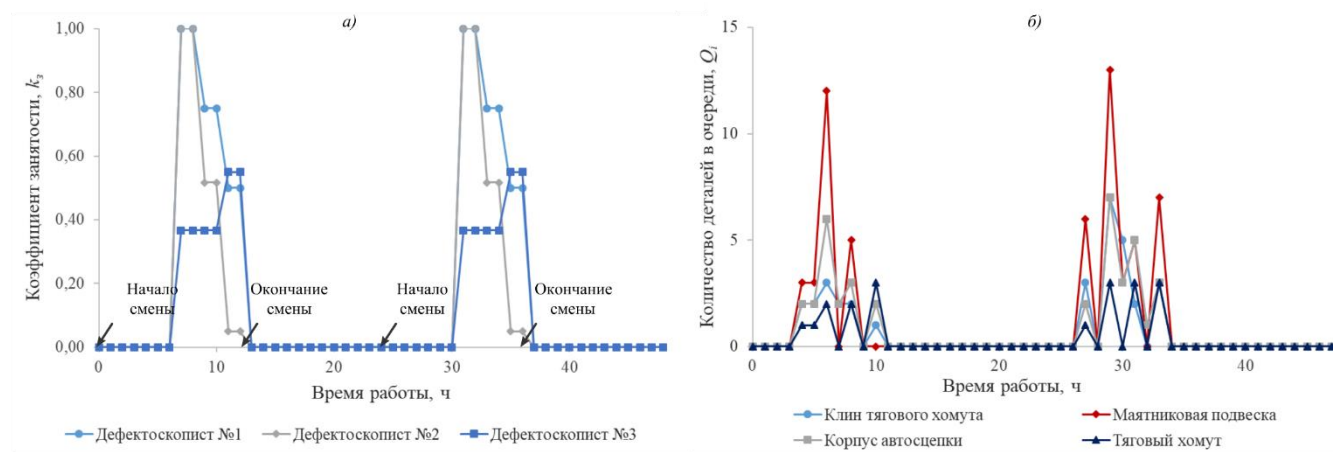


Рисунок 3.14 – Коэффициент занятости дефектоскопистов (а) и количество деталей в очереди на контроль (б) в течение времени работы на участке по ремонту автосцепного устройства

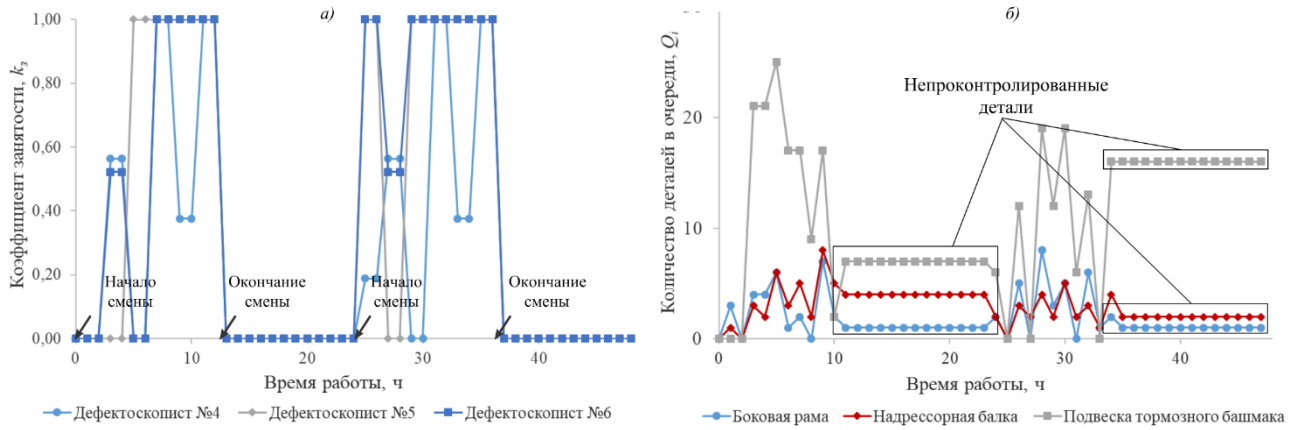


Рисунок 3.15 – Коэффициент занятости дефектоскопистов (а) и количество деталей в очереди на контроль (б) в течение времени работы на участке по ремонту деталей тележки (б)

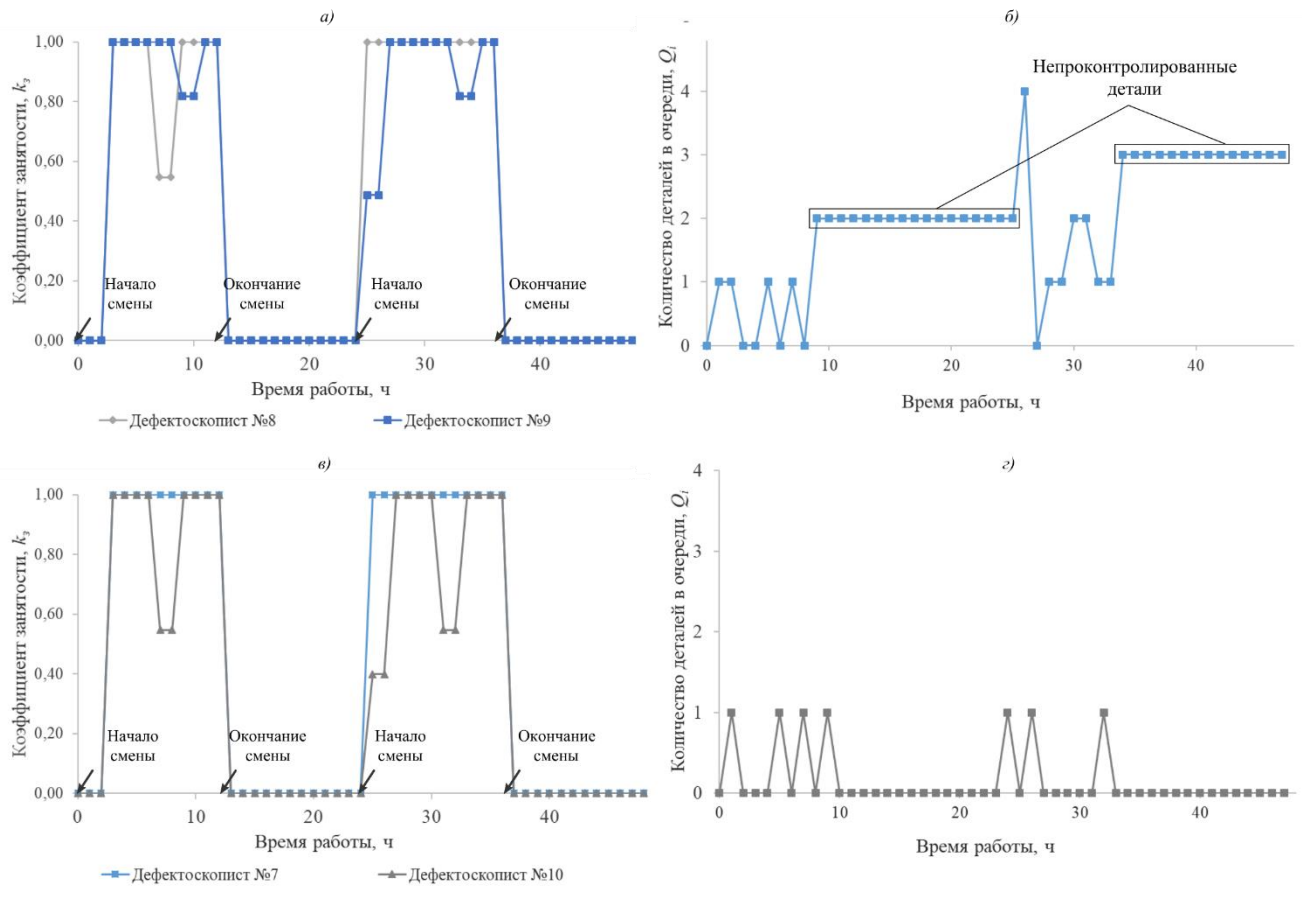


Рисунок 3.16 – Коэффициент занятости дефектоскопистов (а, в) и количество деталей в очереди на контроль (б, г) в течение времени работы на позициях текущего ремонта колесных пар

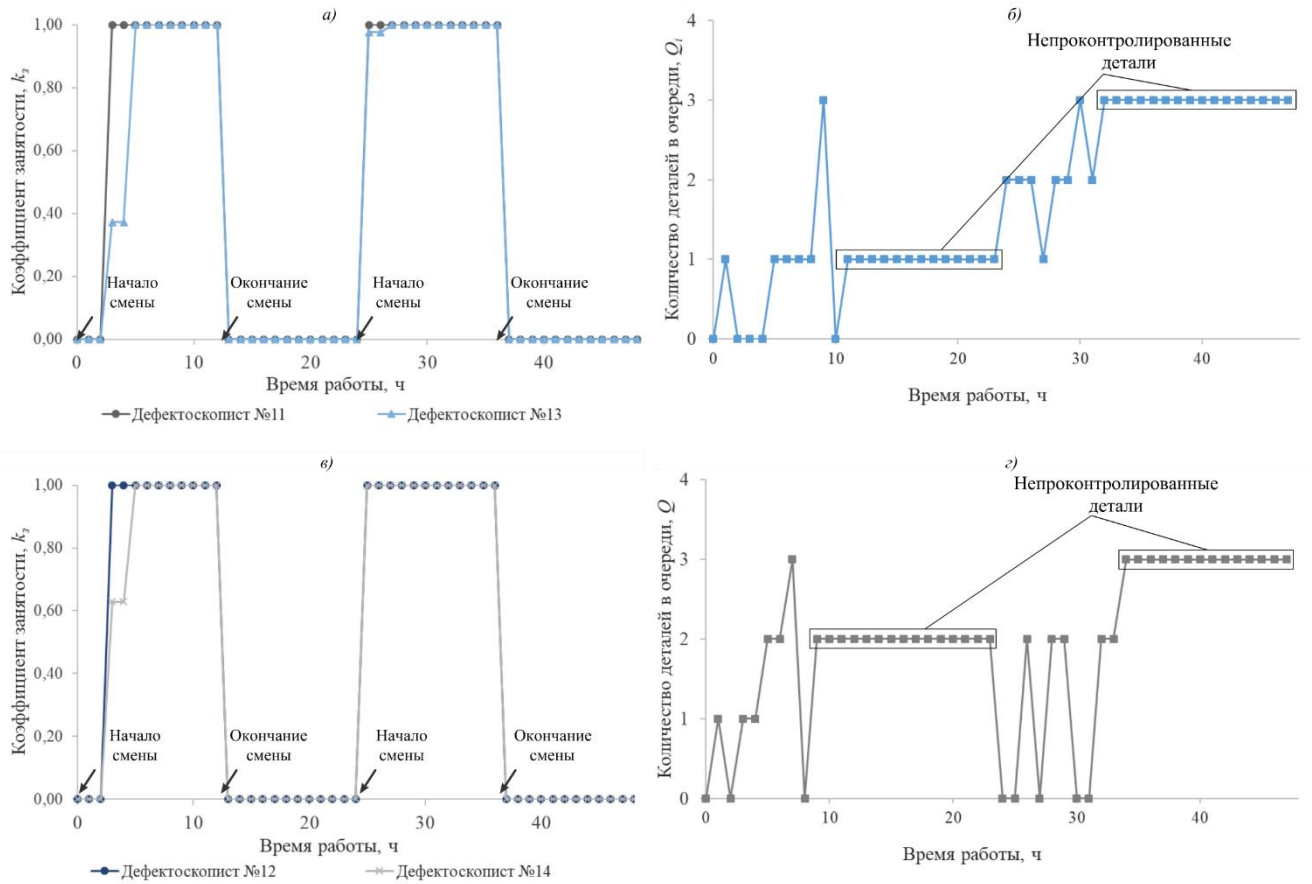


Рисунок 3.17 – Коэффициент занятости дефектоскопистов (а, в) и количество деталей в очереди на контроль (б, г) в течение времени работы на позициях среднего ремонта колесных пар

Остающиеся в конце смены не проконтролированные детали увеличиваются в следующую смену. Это приводит к задержке работы вагоносборочного участка, вагоны вовремя не выпускаются из ремонта, следовательно, предприятие несет убытки, связанные с недополучением прибыли и издержками из-за нарушения сроков ремонта. Распределения количества деталей, находящихся в очереди на контроль, представлены на рисунке 3.18.

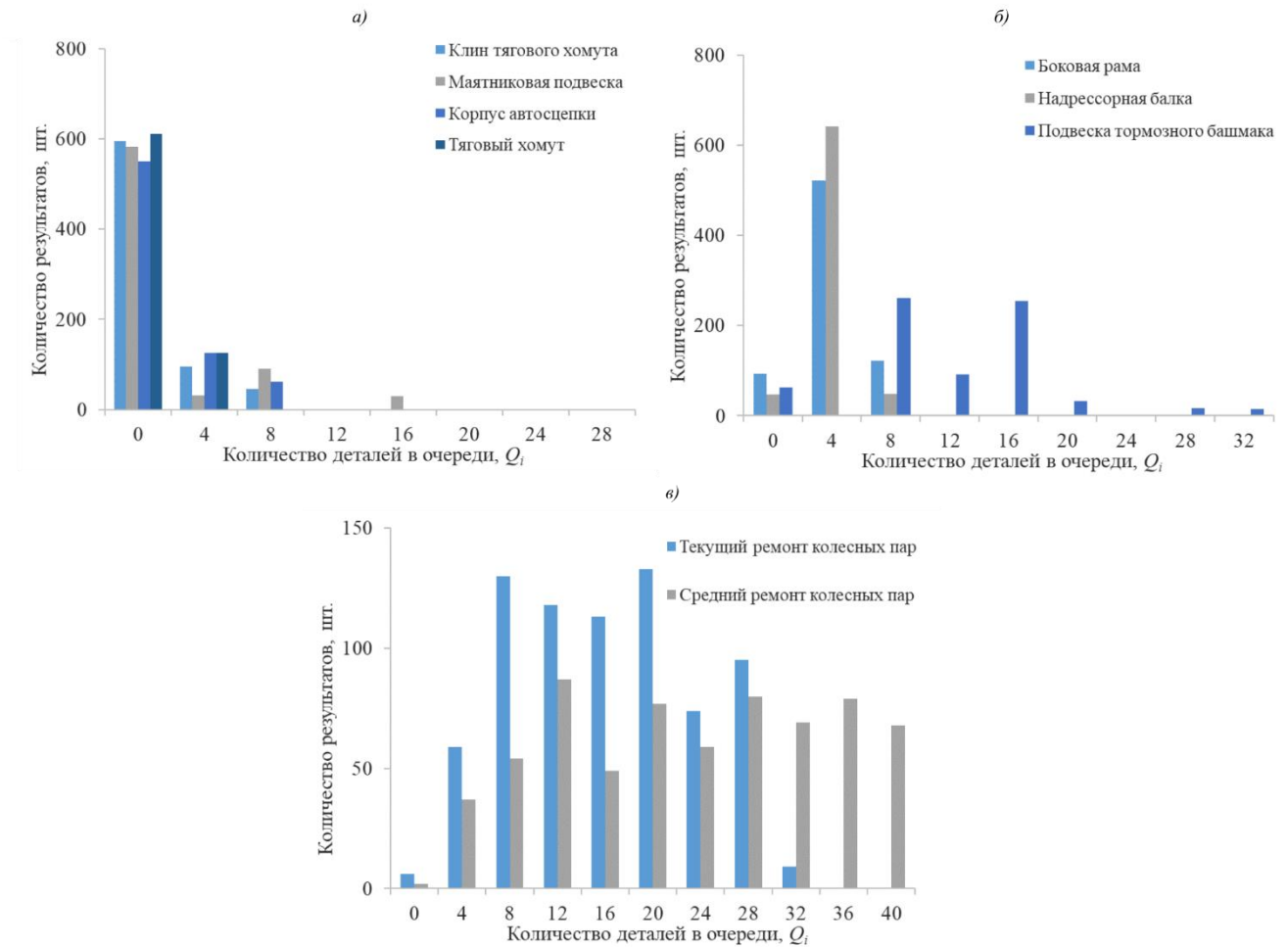


Рисунок 3.18 – Распределение количества деталей в очереди на контроль на участке по ремонту деталей автосцепного устройства (а), деталей тележки (б) и колесно-роликовом участке (в)

В настоящее время дефектоскописты закреплены на определенной позиции контроля. Эта информация заносится в паспорт подразделения НК и АРМ НК. Для решения проблемы уменьшения вероятности появления не проконтролированных деталей предлагается реализовать стратегию перемещения специалистов между позициями контроля. Такой подход позволяет оптимизировать работу подразделения НК. Зависимости коэффициента занятости специалистов в течение рабочей смены после оптимизации представлены на рисунках 3.19-3.22.

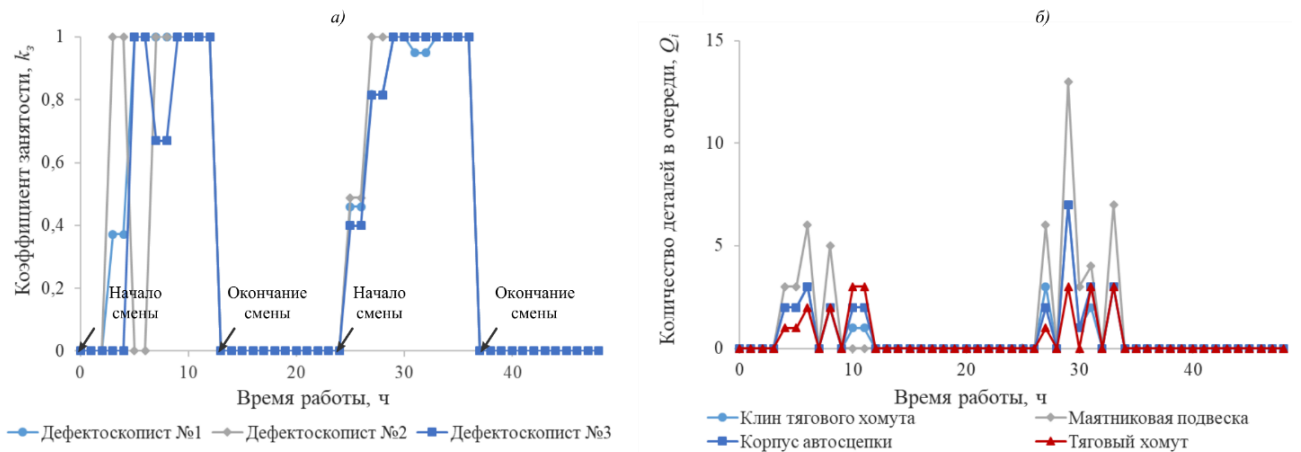


Рисунок 3.19 – Коэффициент занятости дефектоскопистов (а) и количество деталей в очереди на контроль (б) в течение времени работы на участке по ремонту автосцепного устройства после оптимизации

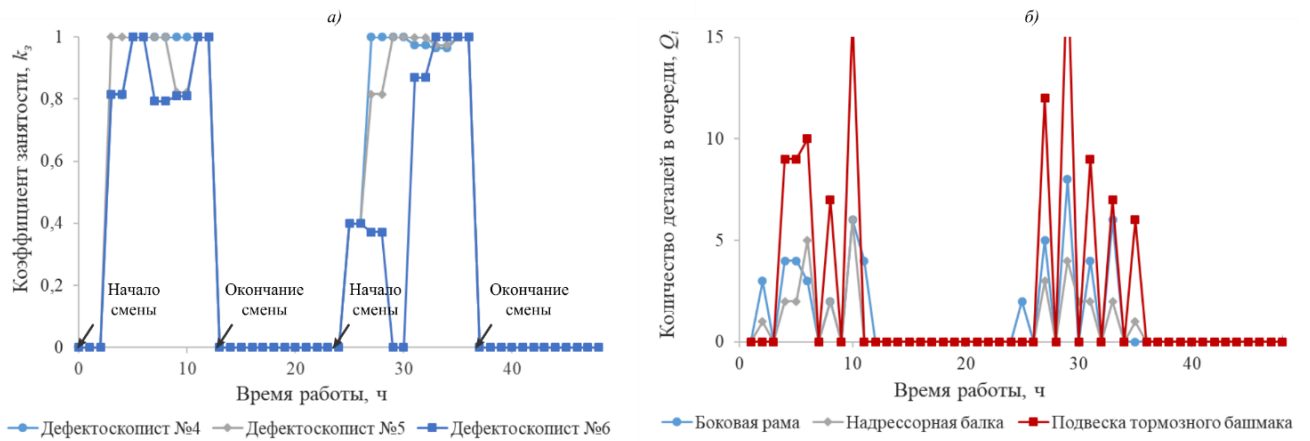
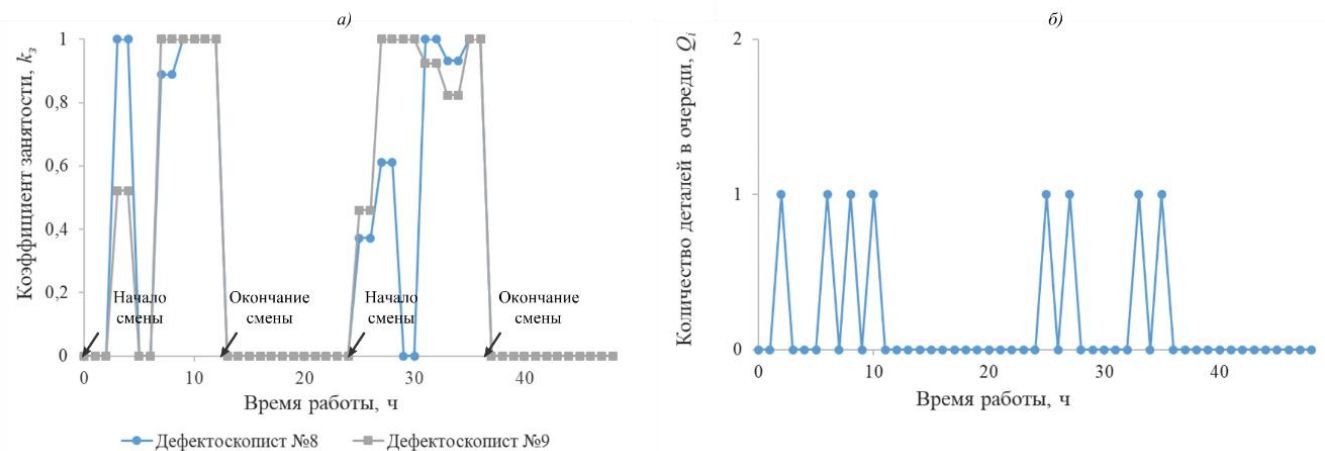


Рисунок 3.20 – Коэффициент занятости дефектоскопистов (а) и количество деталей в очереди на контроль (б) в течение времени работы на участке по ремонту деталей тележки после оптимизации



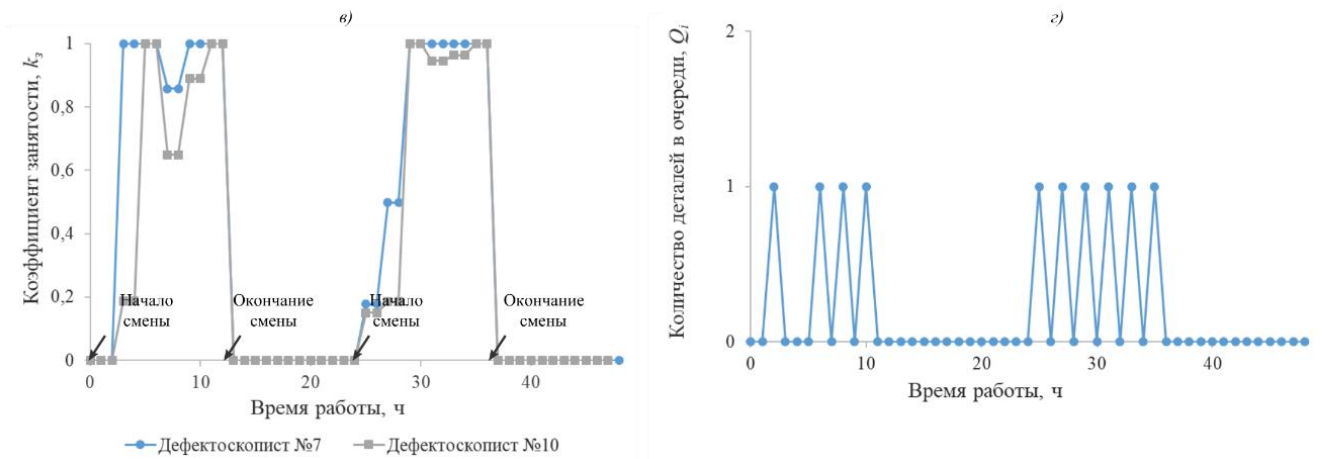


Рисунок 3.21 – Коэффициент занятости дефектоскопистов (а, в) и количество деталей в очереди на контроль (б, г) в течение времени работы на позициях текущего ремонта колесных пар после оптимизации

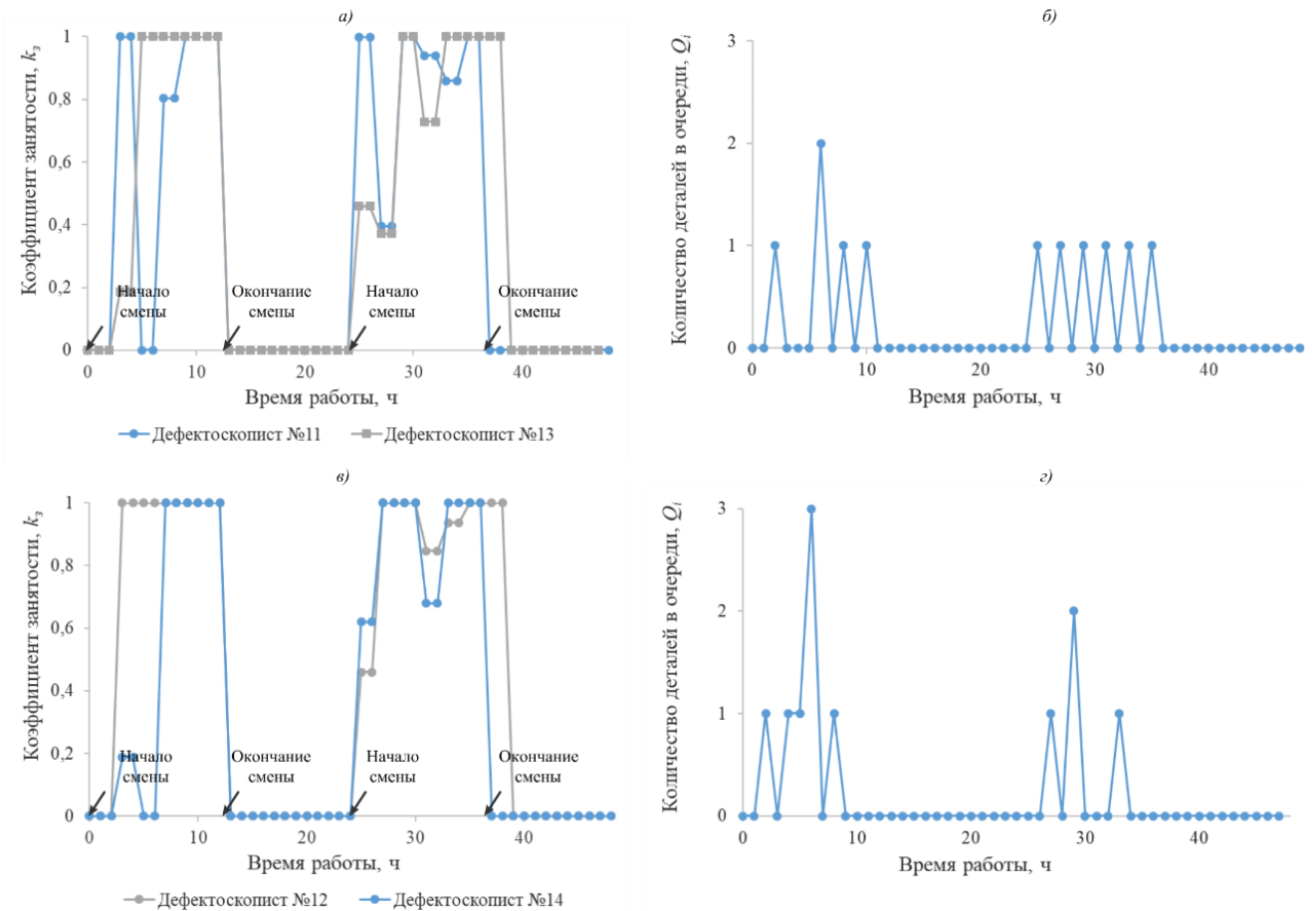


Рисунок 3.22– Коэффициент занятости дефектоскопистов (а, в) и количество деталей в очереди на контроль (б, г) в течение времени работы на позициях среднего ремонта колесных пар после оптимизации

На рисунках 3.19-3.22 показано, что перемещение дефектоскопистов позволяет подразделению НК в нормативно установленное время контролировать детали и уменьшить очередь на контроль, снизив вероятность срыва выпуска

вагонов из ремонта. Распределения количества деталей, находящихся в очереди на контроль, представлены на рисунке 3.23.

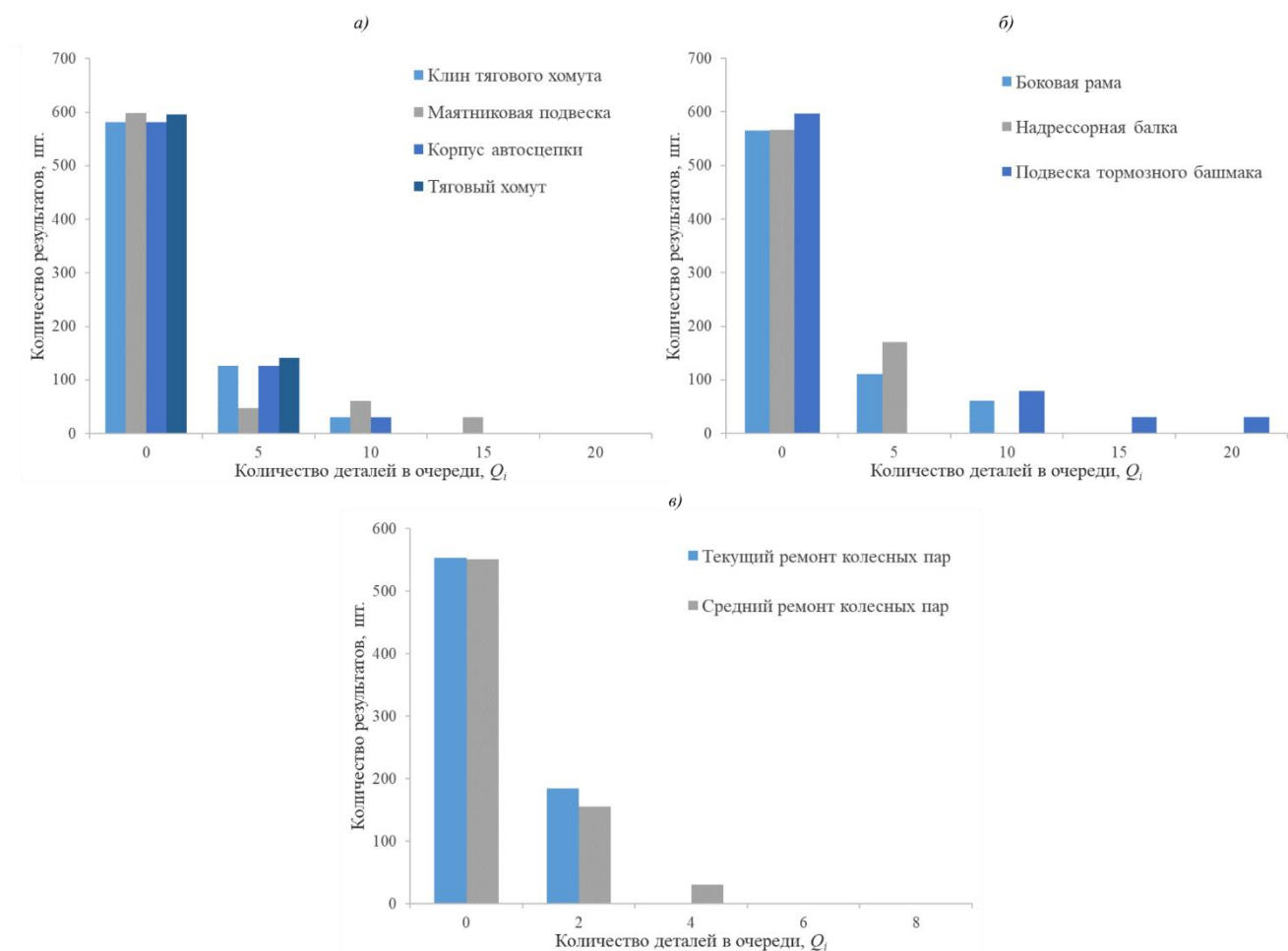


Рисунок 3.23 – Распределение количества деталей в очереди на контроль на участке по ремонту деталей автосцепного устройства (а), деталей тележки (б) и колесно-роликовом участке (в) после оптимизации

Для решения задачи обеспечения своевременного выпуска вагонов возможен экстенсивный путь, связанный с увеличением количества дефектоскопистов, и интенсивный путь, связанный с повышением компетентности специалистов и совершенствованием организации их работы. Увеличение количества специалистов приводит к снижению коэффициента занятости и, следовательно, производительности труда. Оптимизация подразделений за счет повышения компетентности работников позволила повысить средний коэффициент занятости с 0,34 до 0,45 (рисунок 3.24).



Рисунок 3.24 – Значение среднего коэффициента занятости дефектоскопистов

Для совершенствования структуры подразделения НК предложена целевая функция $f(b)$ оптимизации, основанная на отношении среднего коэффициента занятости дефектоскопистов к коэффициенту задержки детали на позициях контроля:

$$f(b) = \frac{k_z}{k_{дет}} \rightarrow \max, \quad (3.1)$$

где b – номер схемы кадрового состава, k_z – средний коэффициент занятости дефектоскопистов, $k_{дет}$ – коэффициент задержки детали.

Коэффициент занятости дефектоскописта k_z :

$$k_z = \frac{t_{раб}}{t_{см}}, \quad (3.2)$$

где $t_{раб}$ – время работы, ч, $t_{см}$ – длительность рабочей смены, ч.

Коэффициент задержки детали на позиции контроля $k_{дет}$:

$$k_{дет} = \frac{t_{конт}}{t_{норм}}, \quad (3.3)$$

где $t_{конт}$ – время контроля детали, ч, $t_{норм}$ – нормативное время контроля детали.

Выбранная целевая функция задачи оптимизации управления производственным персоналом подразделения НК направлена на повышение коэффициента занятости дефектоскопистов и, следовательно, производительности труда, сокращения время задержки деталей до нормативно установленного

значения, то есть снижения вероятности остановки производственного цикла предприятия.

Изменяемыми параметрами задачи оптимизации является количество дефектоскопистов и их компетентность, которая определяет возможность выполнения ими работы на различных позициях контроля. Наиболее рациональная схема управления производственным персоналом соответствует максимуму целевой функции (рисунок 3.25).

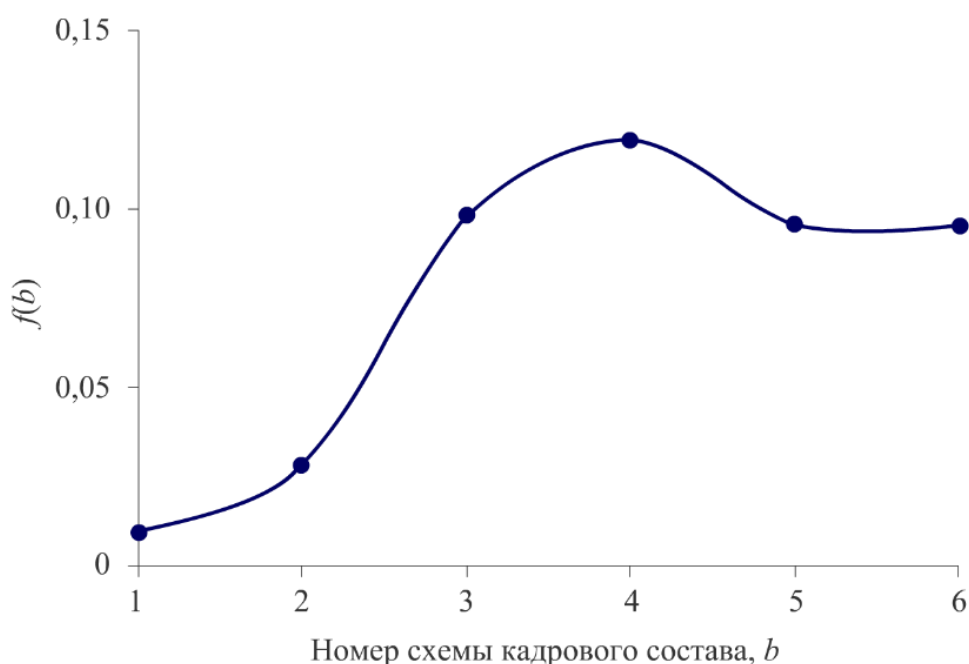


Рисунок 3.25 – График целевой функции

На основе разработанной модели решена задача оптимизации для предприятия с объемом ремонта от 6 до 8 вагонов. Показано, что переход от закрепления дефектоскопистов на позициях контроля (схема 3 на рисунке 3.26) к их свободному перемещению между позициями (схема 4 на рисунке 3.26) обеспечивает повышение коэффициента занятости с 0,39 до 45 и снижение необходимого для бесперебойной работы цикла предприятия количества специалистов с 30 до 28.

Представленный подход к выбору оптимального (максимального) значения целевой функции при управлении производственным персоналом подразделения НК на основе имитационного моделирования повышает производительность труда и снижает риски нарушения производственного ритма предприятия.

3.3 Выводы к третьей главе

Проанализирована производственная среда подразделений НК в вагонной ремонтной компании и показано, что 85 % деталей бракуется методами НК. Достоверность результатов контроля зависит от уровня квалификации дефектоскопистов, которые самостоятельно принимают решение о техническом состоянии узлов и деталей и возможности их дальнейшей эксплуатации. На предприятиях железнодорожной отрасли предъявляются высокие требования к квалификации специалистов, при этом сертификация специалистов на все применяемые методы НК (ультразвуковой, магнитопорошковый и вихретоковый) позволяет оптимизировать работу подразделения.

Разработана имитационная модель управления подразделением НК и на ее основе определены требования к кадровому составу подразделения НК технологического цикла предприятия с объемом ремонта от 6 до 8 вагонов в смену. Проведено моделирование и показано, что оптимальной стратегией управления кадрами распределенного подразделения является универсальная специализации работников с возможностью их перемещения по производственным участкам всего предприятия. В результате оптимизации кадрового состава удалось повысить средний коэффициент занятости дефектоскопистов с 0,34 до 0,45, а среднее время задержки детали на позиции уменьшить с 650 % до 150 % от нормативного времени.

Предложена целевая функция, равная отношению коэффициента занятости дефектоскописта к среднему времени задержки детали в очереди на позицию контроля. Функция является основой для выбора стратегии управления персоналом производственного участка НК, квалификацией и схемой перемещения специалистов для достижения максимального коэффициента занятости и минимальных задержек деталей на позициях НК.

4 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ВАГОНРЕМОНТНОЙ КОМПАНИИ

4.1 Риск-ориентированный подход к управлению техническими средствами подразделения неразрушающего контроля

АРМ мастера НК обеспечивает сбор, хранение и управление основными данными о подразделениях НК, формирование отчетов о деятельности подразделений, на основании которых руководство депо и технический отдел Центрального офиса принимают управленческие решения по устранению несоответствий в подразделениях НК вагоноремонтного комплекса. Программный комплекс содержит несколько модулей, отличающихся по назначению и типу вводимой информации: «Специалисты», «Средства», «Результаты контроля деталей», «Документы» и «Отчеты» (рисунок 4.1).

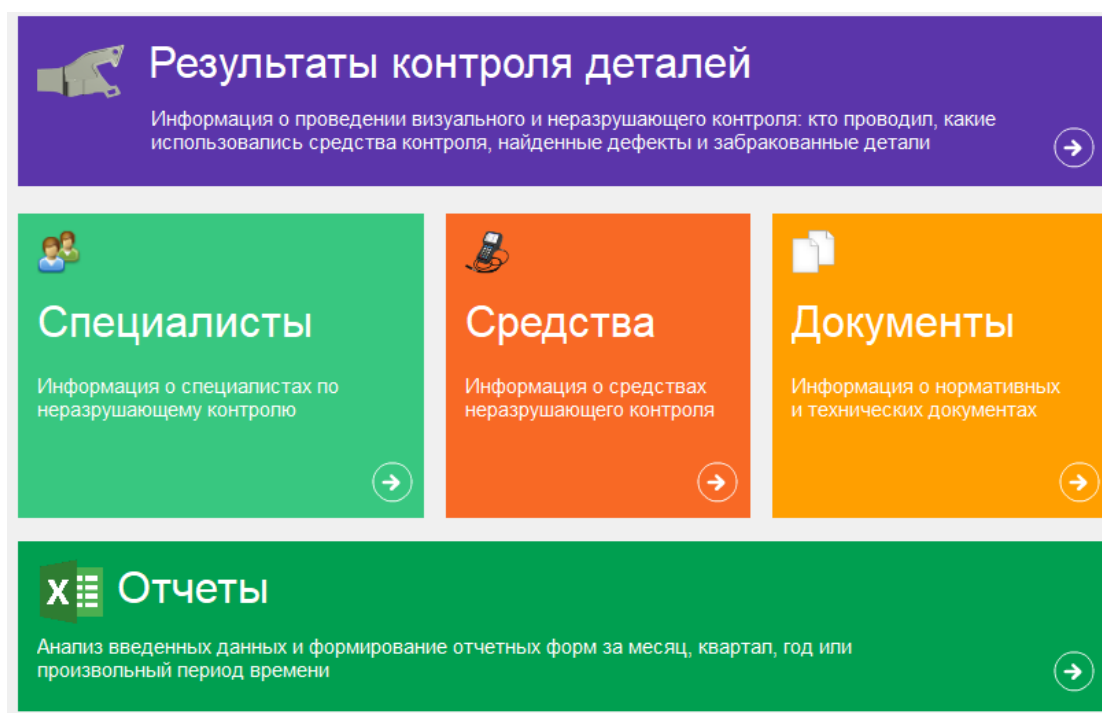


Рисунок 4.1 – Внешний вид программного комплекса АРМ мастера НК

Модуль «Специалисты» содержит список и сведения о специалистах вагоноремонтного предприятия: личную информацию специалиста, должность и стаж работы, данные о повышении квалификации и сертификации. Модуль

«Средства» создан для систематизации информации о средствах, имеющихся в подразделении НК. Все средства контроля классифицируются на основные средства, меры, стандартные и настроечные образцы, намагничивающие устройства и т.д. В модуле отображаются данные об изготовителе, техническом состоянии прибора, дате текущей и следующей поверки (калибровки). Модуль «Документы» является информационным разделом программы. В данном модуле приводятся действующие отраслевые и государственные нормативные и технические документы. Модуль «Результаты контроля деталей» предназначен для регистрации результатов НК узлов и деталей грузовых вагонов. Программа позволяет автоматически формировать отчеты девяти форм, включая сведения о персонале, средствах НК и результаты браковки деталей. Список отчетных форм утверждается ежегодно.

На первом этапе эксплуатации мастера была введена информация по специалистами и средствам НК (рисунок 4.2, а, б) и, в соответствии с распоряжением главного инженера вагонной ремонтной компании, дефектоскописты приступили к вводу информации о результатах контроля узлов и деталей вагонов.

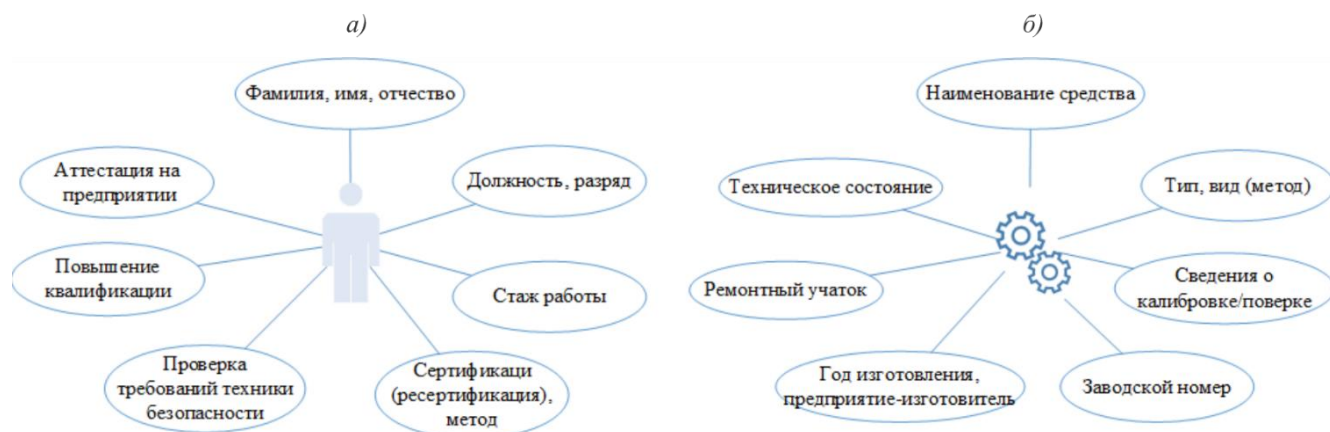


Рисунок 4.2 – Основная информация, вводимая о специалистах НК (а) и средствах контроля

Уровень технической оснащённости подразделения НК определяет эффективность работы депо. При проведении НК используются сложные технические устройства, например, ультразвуковые дефектоскопы, намагничивающие устройства и простые вспомогательные устройства такие, как

измерительная линейка или лупа. Управление средствами НК включает в себя поверку (калибровку), техническое обслуживание и ремонт в установленные сроки, ежемесный осмотр, проверку и настройку основных параметров контроля в соответствии с технологической инструкцией.

На диаграмме (рисунок 4.3, а) показано состояние оснащенности производственных участков по ремонту автосцепного устройства средствами МПК и колесно-роликовых участков средствами МПК внутренних колец подшипников, напрессованных на шейку оси. Риск, который связан с технически сложной неисправностью установки, которая не может быть устранена в условиях производства, характеризуется вероятностью отказа установки в течение года. Вероятность отказа $p_{от}$ может быть количественно оценена на основании документированной информации о количестве неисправного оборудования на предприятии:

$$p_{от} = \frac{u}{U \cdot T}, \quad (4.1)$$

где u – количество неисправного i -го оборудования, U – общее количество i -го оборудования, T – средний срок службы.

В качестве примера приведена оценка вероятности отказов средств магнитопорошкового контроля для производственных участка по ремонту автосцепного устройства и колесно-роликового участка представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Оценка вероятности отказов средств магнитопорошкового контроля

Производственный участок	Общее количество оборудования, U , шт.	Количество неисправного оборудования, u , шт.	Средний срок службы, T , лет	Вероятность отказа, $p_{от}$
Ремонт автосцепного устройства	181	29	17	0,009
Колесно-роликовый	38	2	18	0,003

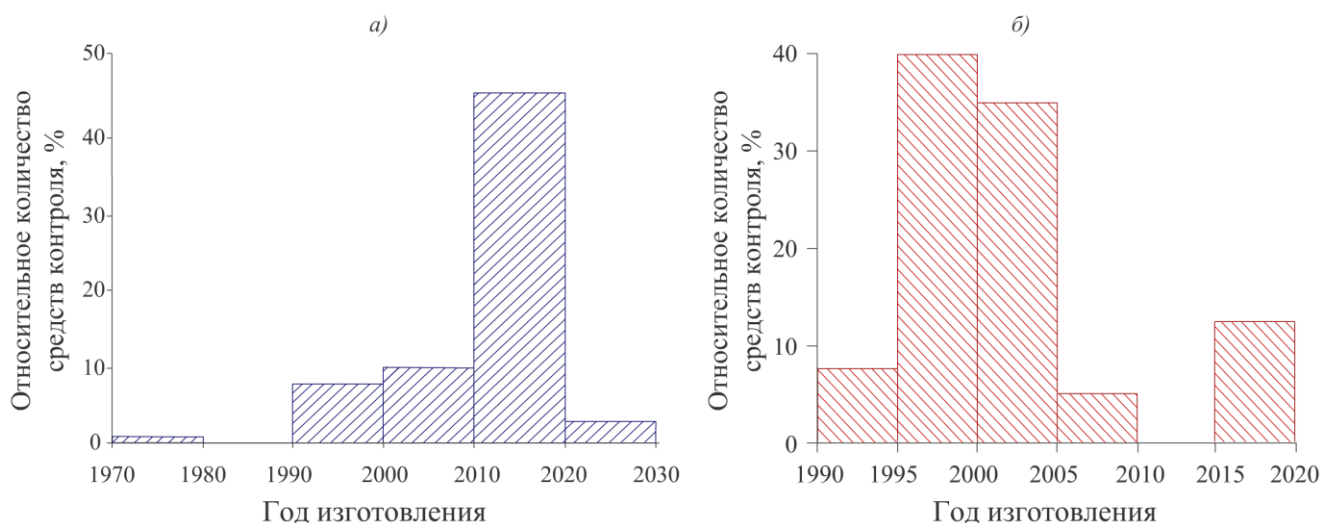


Рисунок 4.3 – Оснащенность участков по ремонту автосцепного устройства (а) и колесно-роликового участка (б)

Сведения о средствах НК (более трех тысяч) и их техническом состоянии хранятся в базе данных АРМ НК. Выход из строя оборудования и отказы как внезапные, так и связанные с моральным износом, являются несоответствием подразделения. Для оценки рисков вагонной ремонтной компании предлагается критерий, позволяющий классифицировать все структурные подразделения по двум уровням риска появления несоответствия: допустимый и недопустимый. В зону допустимого риска попадают подразделения, имеющие достаточное количество исправного и метрологически обеспеченного оборудования, необходимого для осуществления производственной деятельности. В зоне недопустимого риска находятся депо, в которых имеется одна единица оборудования, в случае отказа которой невозможно заменить работоспособным и поверенным (калиброванным) прибором.

С использованием критерия проведена оценка уровня риска участков по ремонту автосцепного устройства и колесно-роликового участка (рисунок 4.4). Всего 88 % участков по ремонту автосцепного устройства структурных подразделений имеет два и более магнитопорошковых дефектоскопа. Вероятность отказа в данном случае определяется произведением вероятностей отказа двух дефектоскопов, которая составляет 0,008 % в год. Две и более установки магнитопорошкового контроля колец подшипников функционируют в 9 %

структурных подразделениях, вероятность несоответствия не превышает 0,001 % в год. Рассчитанная вероятность отказа позволяет идентифицировать несоответствие как допустимое.

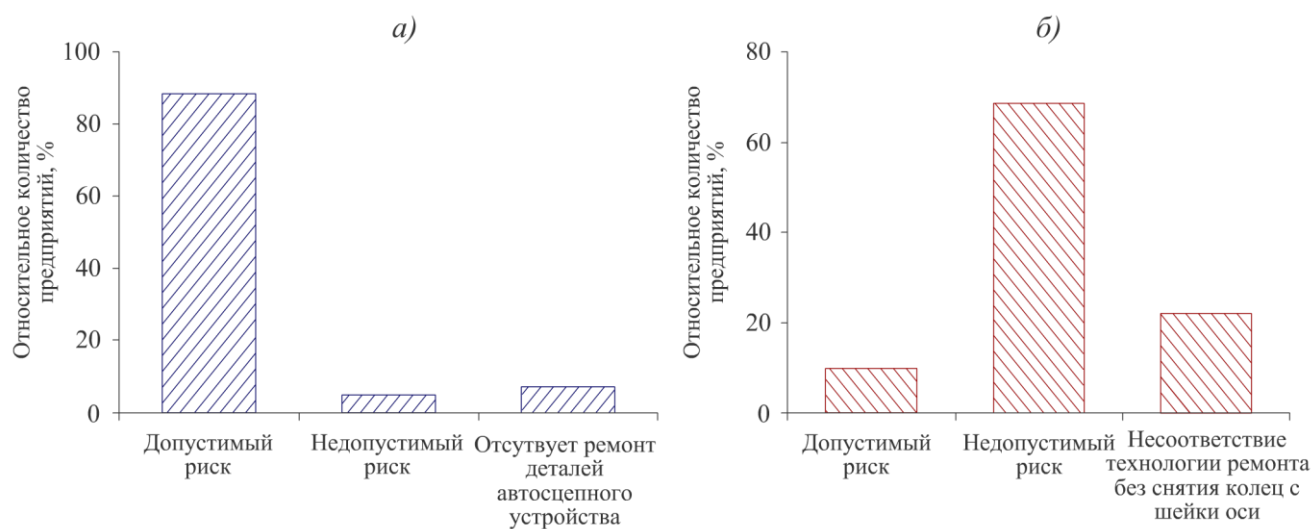


Рисунок 4.4 – Оценка риска оснащённости участков по ремонту автосцепного устройства (а) и колесно-роликового участка (б)

Один исправный дефектоскоп функционирует в 5 % участков по ремонту автосцепного устройства и 70 % колесно-роликовых участках – риски определены как недопустимые. В 7 % структурных подразделениях отсутствует участок ремонта автосцепного устройства, они оказывают услуги исключительно по ремонту колесных пар

В 21 % структурных подразделениях отсутствуют установки для контроля колец подшипников, напрессованных на шейку оси колесной пары, следовательно, технология среднего ремонта без снятия внутренних колец подшипников не используется. Стоимость среднего ремонта не зависит от выполнения демонтажа/монтажа внутренних колец, предприятия несут дополнительные расходы. Риски, которые связаны с нарушениями требований к оснащённости подразделений средствами контроля, определяют их в зону недопустимого риска (рисунок 4.4, б). Для этих подразделений требуется разработка технологического процесса ремонта колесных пар с обязательным демонтажем внутренних колец подшипников.

Интерфейс модулей ввода результатов контроля в зависимости от типа проконтролированной детали отличается. Результаты контроля классифицируются по четырем направлениям: литые детали тележки грузового вагона (надрессорные балки и боковые рамы); детали автоматического сцепного устройства (корпус, тяговый хомут), детали колесных пар (колесо, ось) и неномерные детали (маятниковая подвеска, клин тягового хомута и др.).

Ежегодно силами вагонной ремонтной компании контролируются более 25 млн деталей различного типа. Номерных деталей таких, как ось, колесо, корпус автосцепки, тяговый хомут, боковая рама и надрессорная балка проверено более 2,5 млн (рисунок 4.5). Из общего количества проконтролировано около 45 % колес цельнокатаных, количество забракованных не превышает 5,5 %.

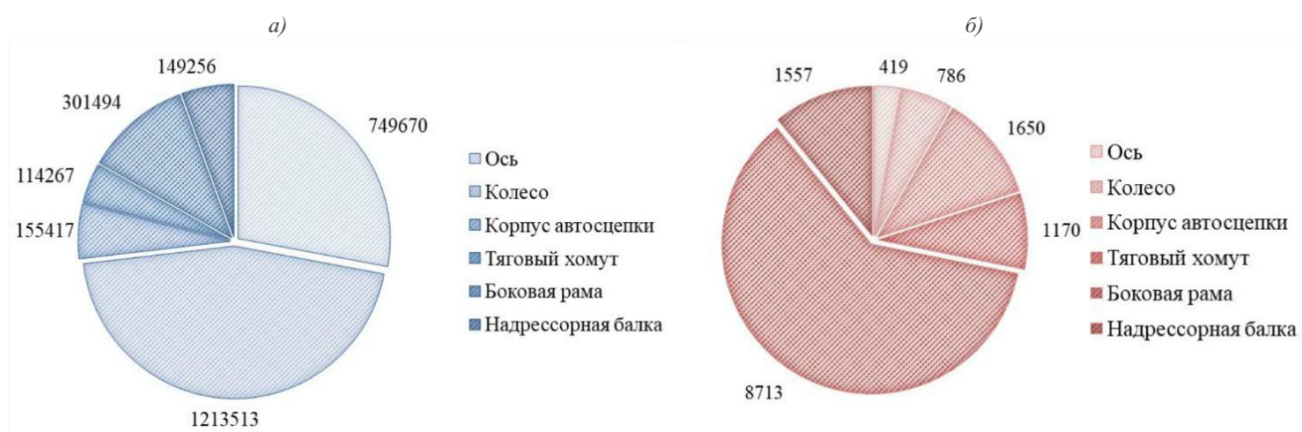


Рисунок 4.5 – Количество проконтролированных (а) и забракованных деталей (б)

За рассматриваемый период 12 месяцев было забраковано более 14 тысяч номерных деталей, наибольшее количество – 61 % забраковано надрессорных балок, корпусов автосцепок и надрессорных балок забраковано 12 % и 11 % соответственно.

Одной из основных причин сходов и крушений железнодорожного транспорта является несоответствие технического состояния ходовой части вагона, в частности, колесных пар. Анализ причин неисправностей колесных пар показал, что наибольшее количество дефектов, выявляемых методами НК, возникает в шейках (~ 60 % от общего количества дефектов оси) и на поверхности

катания колеса цельнокатаного (~ 46 % от общего количества дефектов колес)
(рисунок 4.6).

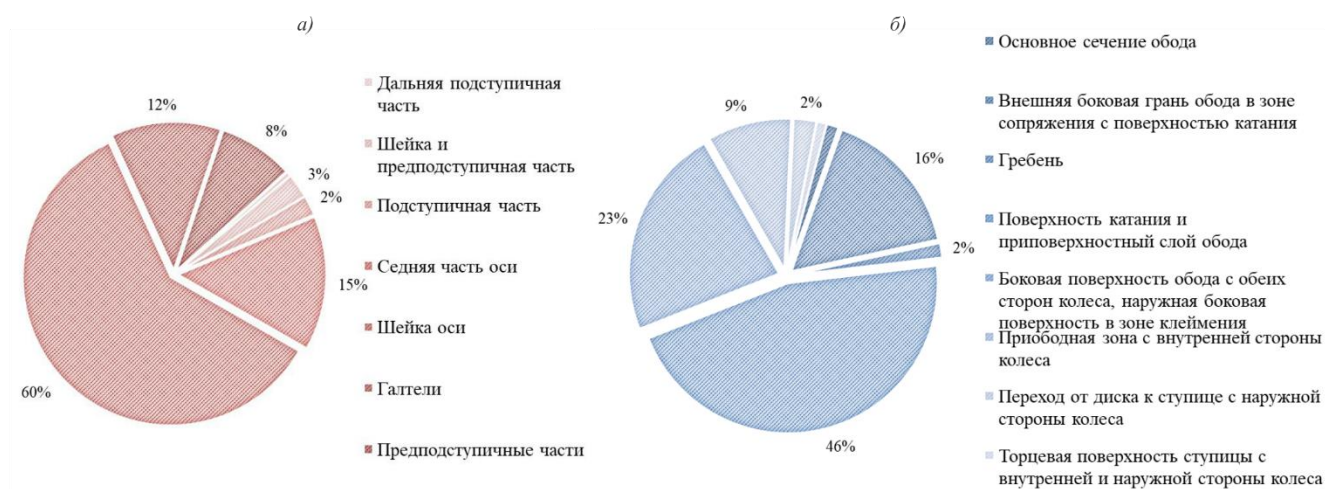


Рисунок 4.6 – Распределение дефектов в элементах колесной пары: оси (а) и колесе цельнокатаном (б)

В среднем магнитопорошковым методом контролируется 280 тыс. маятниковых подвесок и 140 тыс. клиньев тягового хомута, объемы контроля в структурных подразделениях сопоставимы и составляют от 5 до 10 тыс. деталей. Распределение результатов контроля технического состояния деталей приведено на рисунке 4.7. Относительное количество забракованных по результатам магнитопорошкового контроля клиньев тягового хомута составляет 5 %, маятниковых подвесок – 4 %,

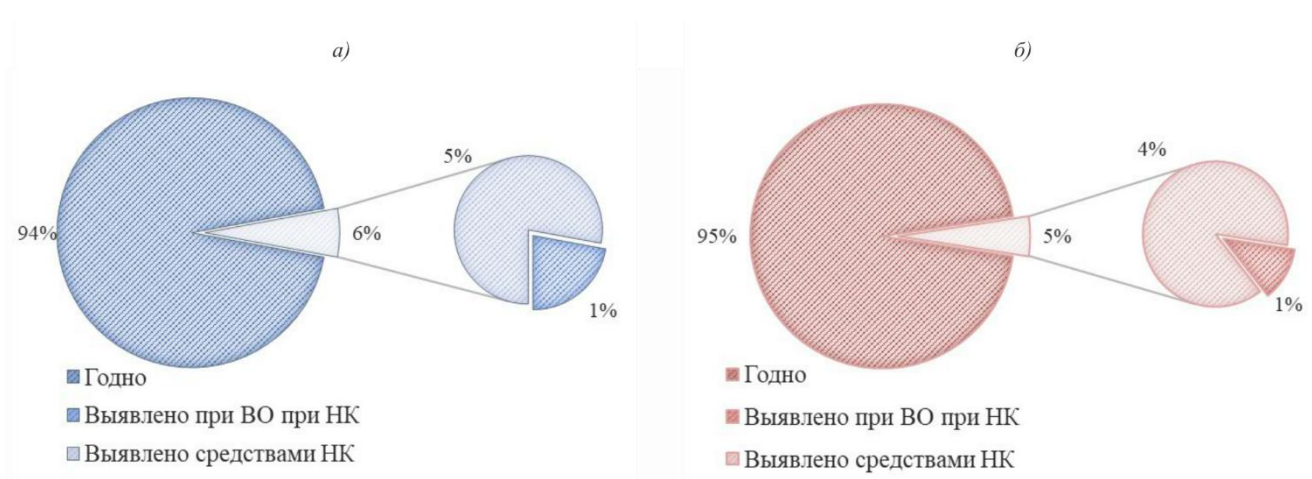


Рисунок 4.7 – Распределение результатов контроля клиньев тягового хомута (а) и маятниковых подвесок (б)

Разработанные критерии оценки соответствия на основе принадлежности результатов биномиальному распределению и средней частоте браковки НК

использованы для классификации 37 предприятий компании по степени соответствия технологического процесса НК требованиям нормативной и технологической документации. Структурные подразделения разделены на три группы: предприятия, в которых процесс НК соответствует требованиям нормативной документации, все результаты контроля описываются биномиальным законом (27 %), предприятия с одиночными несоответствиями (45 %), и предприятия (28 %), на которых два процесса и более не удовлетворяют установленным критериям (рисунок 4.8).

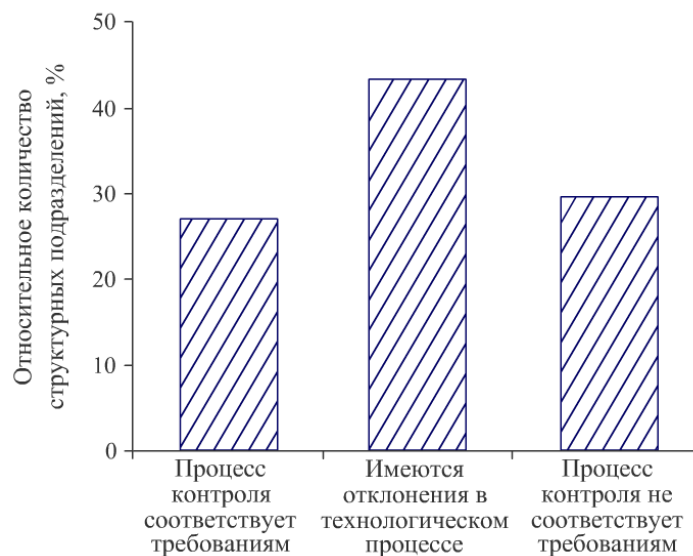


Рисунок 4.8 – Оценка предприятий на основе критерия принадлежности результатов НК биномиальному закону распределения и средней частоте браковки

Для выявления и устранения причин отклонения производится аудит структурных подразделений. При аудите проверяется наличие утвержденных актуализированных технологических процессов и карт, соблюдение установленных требований, а также выборочный контроль деталей в процессе ремонта.

4.2 Совершенствование методов управления персоналом с помощью информационной среды предприятия

Важной задачей любого предприятия является постоянное обеспечение и поддержание высокого уровня квалификации и знаний персонала. Традиционно,

эта задача решается за счет переподготовки кадров и повышения квалификации. В соответствии с целями предприятия процесс обучения может быть организован с полным или частичным отрывом от производства, а также без отрыва, непосредственно на рабочем месте [113].

На предприятиях железнодорожной отрасли предъявляются высокие требования к системе подготовки кадров, именно поэтому техническое обучение является неотъемлемым элементом деятельности. Роль обучения персонала возрастает в связи со сменой требований к профессиональным навыкам и умениям, внедрением новых требований к производственным процессам и методикам проведения НК ответственных деталей подвижного состава.

В вагонной ремонтной компании для проведения обучения специалистов используется информационная среда для технических занятий, которая связана с базой специалистов в АРМ НК. Наличие обратной связи базы данных с результатами технических занятий и результатами процессов НК позволяет проводить анализ соблюдения технологии и формировать индивидуальный план занятий дефектоскопистов для устранения несоответствий и совершенствования компетентности кадрового состава подразделений (рисунок 4.9).



Рисунок 4.9 – Алгоритм организации технических занятий дефектоскопистов

На основе анализа результатов НК формируется план технического обучения, назначается контрольная дата, до истечения которой работник должен

пройти обучение. Процесс обучения включает в себя учебное тестирование с изучением учебных пособий, содержащих положения действующей нормативной документации, и контрольное тестирование. При контрольном тестировании отсутствует возможность обращения к учебным пособиям, результат известен только после окончания тестирования. Результаты обучения сохраняются в базе данных и доступны для постоянного мониторинга и всестороннего анализа на различных уровнях управления вагоноремонтного комплекса.

Каждая учебная тема содержит пособие в формате «html», базу вопросов (тестовые и интерактивные). Для обеспечения возможности непрерывного обучения программный комплекс можно использовать на персональном компьютере, а также разработано мобильное приложение [114]. Внешний вид учебного пособия представлен на рисунке 4.10.

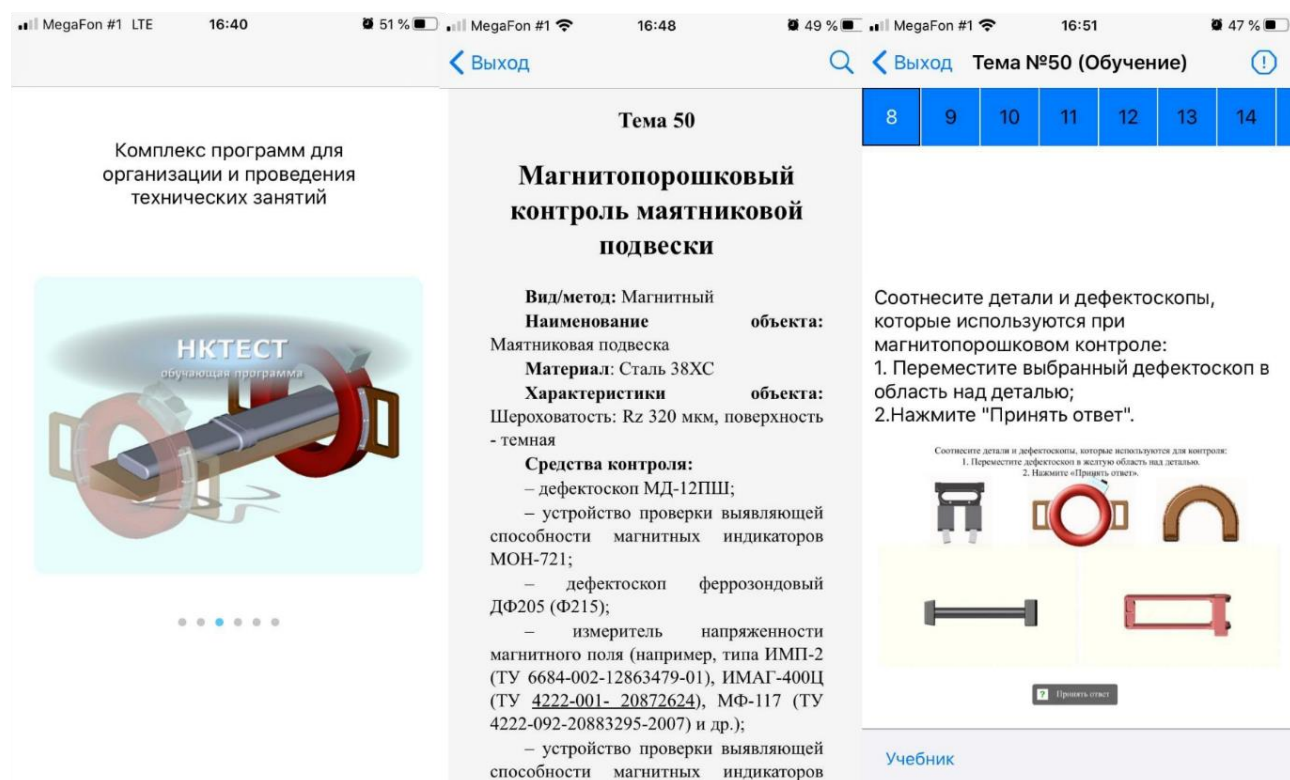


Рисунок 4.10 – Внешний вид учебного пособия в мобильном приложении

Программа «НК-Тест» содержит 85 учебных пособий по физическим основам и особенностям МПК, УЗК, ВТК, требования по безопасности, порядок ведения учетной документации по НК, общие требования к организации и оснащению рабочих мест (рисунок 4.11), базу тестовых и интерактивных

вопросов, для ответа на которые требуется выполнить последовательность действий, осуществляя взаимодействие с мультимедийными элементами [115].



Рисунок 4.11 – Распределение учебных материалов

Каждое учебное тестирование в режиме учебного тестирования содержит 50 тестовых и интерактивных вопросов. Результатом обучения является контрольное тестирование, содержащее 10 вопросов, случайно сформированных из базы учебных заданий. Считается, что специалист успешно прошел обучение при успеваемости не ниже 80 %, оставшиеся 20 % даются на ошибки, которые связаны с опечатками, ошибками и некорректной формулировкой вопроса, что может привести к недопониманию задания [116].

Проверка базы тестовых вопросов и интерактивных заданий на соответствие действующей нормативно-технической документации проводится на основе статистического анализа. За один календарный год формируется документ, содержащий сведения об идентификационном номере учебной темы, количестве правильных и неправильных ответов и среднем временем ответа на один вопрос в теме. На основе имеющейся информации выявляются наиболее сложные для освоения учебные темы и вопросы, вызывающие наибольшие затруднения.

На основе выборки построено распределение относительного количества учебных тем от относительного количества правильных ответов (рисунок 4.12, а). Результаты обучения варьируются в широком диапазоне от 47,6 % до 83,4 %

правильных ответов в учебной теме. Сложная учебная тема «№ 79 – Порядок ведения учетной документации по НК деталей и узлов вагонов», на которую дано наименьшее количество правильных ответов – 47,6 %, и наиболее легкая тема «№ 158 – Вихрековый контроль тормозной тяги дефектоскопом ВДЗ-71» – 83,4 % правильных ответов.

Параметром, характеризующим уровень сложности вопросов в учебных материалах, является среднее время, затрачиваемое на ответ в обучающей теме (рисунок 4.12, б). Показатель варьируется в широком диапазоне от 10 до 40 секунд, в среднем требуется около 20 секунд для ответа на вопрос. Для оценки результатов тестирования по учебным темам построена зависимость относительного количества неправильных ответов по каждой теме от среднего времени ответа на один вопрос. Наблюдается высокая корреляционная связь с коэффициентом корреляции $R = 0,85$. Из графика, представленного на рисунке 4.12 б, видно, что чем больше времени специалист затрачивает на ответ, тем меньше вероятность ответить на вопрос правильно.

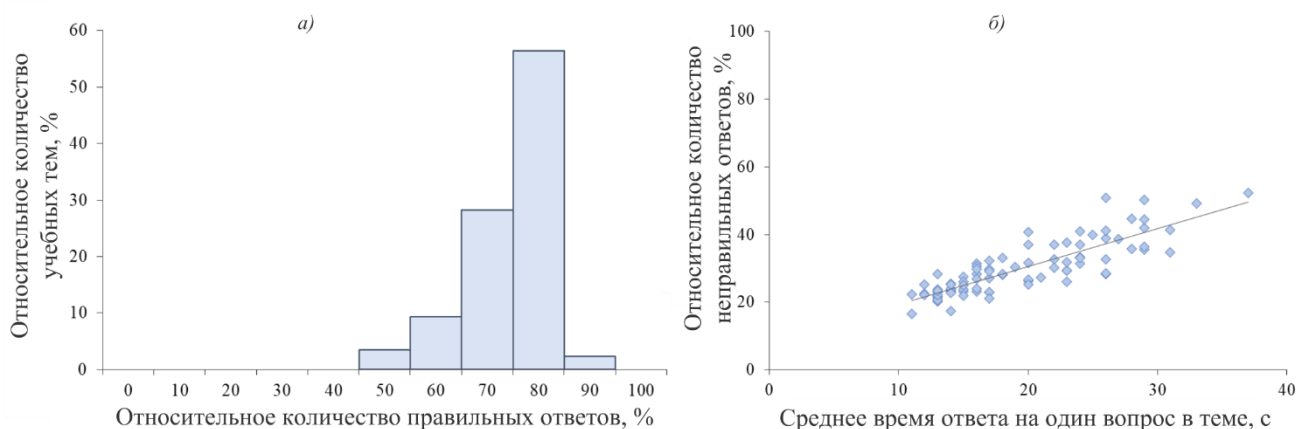


Рисунок 4.12 – Распределение результатов обучения дефектоскопистов по относительному количеству правильных ответов (а) и зависимость относительного количества неправильных ответов от времени ответа на один вопрос (б)

В обучении принимают участие дефектоскописты, выполняющие работы по НК деталей и узлов грузовых вагонов. Каждому специалисту присвоен идентификационный номер, позволяющий получить информацию об успеваемости, общем затраченном времени на обучение и среднем времени ответа на один тестовый и интерактивный вопрос, общем количестве ответов,

количестве правильных и неправильных ответах. Анализ успеваемости показал, что 52 % специалистов успешно проходят учебные программы и заканчивают обучение, не нарушая установленные сроки, с уровнем освоения более 80 %. Специалисты, не набравшие нужного количества правильных ответов, обязаны пройти повторное обучение и контрольное тестирование.

Время ответа на один вопрос при тестировании дефектоскопистов варьируются в широком диапазоне от 2 до 300 секунд. Одному специалисту в среднем необходимо 23 секунды для ответа на тестовый вопрос (рисунок 4.13, а) и на интерактивный вопрос – 29 секунд (рисунок 4.13, б). Увеличение среднего времени на 20 % при работе с интерактивными заданиями свидетельствуют о том, что такой формат является более сложным для понимания и требует дополнительного внимания со стороны специалистов, что способствует увеличению количества знаний, получаемых в процессе обучения и тестирования.

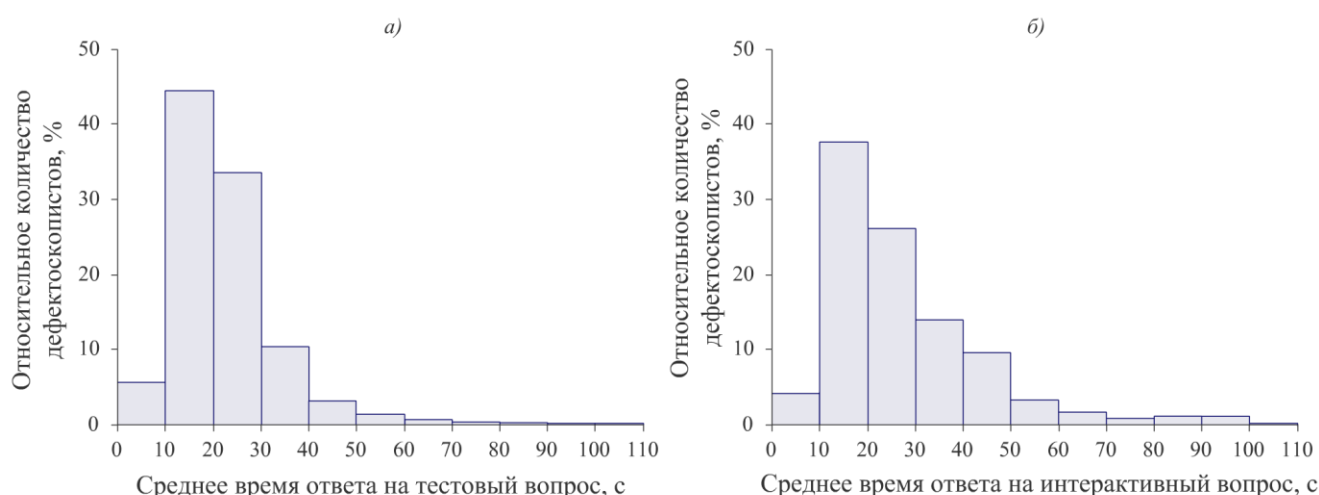


Рисунок 4.13 – Распределение относительного количества специалистов от среднего времени ответа на один тестовый вопрос в учебной теме (а) и от среднего времени ответа на один интерактивный вопрос в учебной теме (б)

Время ответа – показатель степени освоения, понимания и знания учебных материалов. Экспериментально установлено, что 80 % времени затрачивается на прочтение, осмысление вопроса и предлагаемых вариантов ответа и поиск ответа в учебных материалах, 20 % – на принятие решения и ответе на задание.

Информационная среда для обучения позволяет проводить мониторинг производственных процессов, в которых количество забракованных деталей за

один год не превышает 1 %. Эти результаты не позволяют достоверно построить распределение ни по количеству забракованных деталей, ни по частоте браковки, следовательно, оценка принадлежности результатов контроля одного специалиста или структурного подразделения генеральной совокупности по всем подразделениям невозможна. Примером таких деталей являются оси колесных пар и колеса цельнокатаные.

Выполнена оценка дефектоскопистов, выполняющих ультразвуковой контроль осей и колес при ремонте грузовых вагонов. В структурные подразделения вагонной ремонтной компании посредством информационной среды был сформирован и направлен тест, содержащий результаты контроля (А-развертки), проведенного независимым специалистом, сертифицированным на III (высший) уровень квалификации, с указанием варианта метода контроля. Специалистам НК необходимо сделать заключения о состоянии объекта контроля: «Годен/Брак», на основании которых рассчитывалась частота браковки каждого дефектоскописта и средняя частота браковки в вагоноремонтной компании, вероятности недобраковки (ошибка первого рода) и перебраковки (ошибка второго рода).

Частота браковки каждого дефектоскописта W'_i :

$$W'_i = \frac{n_i}{N} \cdot 100\%, \quad (4.2)$$

где n_i – количество заключений «Брак», определенных дефектоскопистом, N – общее количество результатов.

Средняя частота браковки в компании \bar{W} :

$$\bar{W} = \frac{\sum W'_i}{i}, \quad (4.3)$$

где i – количество дефектоскопистов.

Вероятность недобраковки p_1 :

$$p_1 = \frac{k}{K} \cdot 100\%, \quad (4.4)$$

где k – количество незабракованных дефектных деталей, K – количество заключений «Брак», определенных независимым специалистом.

Вероятность перебраковки p_2 :

$$p_2 = \frac{m}{M} \cdot 100\%, \quad (4.5)$$

где m – количество забракованных годных деталей, M – количество заключений «Годен», определенных независимым специалистом.

На рисунке 4.14 приведены результаты оценки дефектоскопистов. По результатам эксперимента выявлены специалисты, не соответствующие требованиям системы сертификации: 52 % проверенных дефектоскопистов, превышают вероятность недобраковки, 77 % проверенных дефектоскопистов превышают вероятность перебраковки.

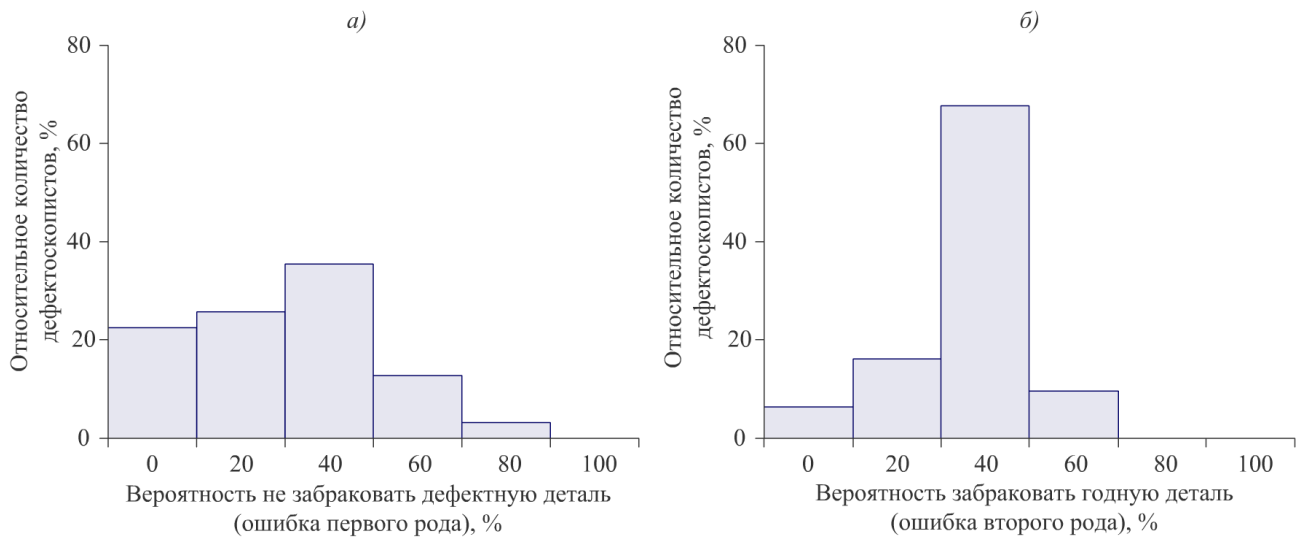


Рисунок 4.14 – Распределение относительного количества дефектоскопистов по вероятности недобраковки (а) и по вероятности перебраковки (б)

4.3 Выводы к четвертой главе

Разработанное и внедренное программное обеспечение позволяет проводить регистрацию, систематизацию и хранение, а также анализ основных показателей производственного процесса и результатов работы подразделений НК в вагоноремонтном комплексе.

Подразделения НК классифицируются на две группы: с допустимым и недопустимым уровнями риска возникновения несоответствия по оснащенности средствами контроля. Для второй группы предприятий обязательным является разработка технологической документации, предусматривающей мероприятия по

устранению последствий возникновения несоответствия. В настоящее время на 28 предприятиях наблюдается недопустимый уровень риска отказа установок магнитопорошкового контроля колец подшипников, напрессованных на шейку оси.

Проведение обучения дефектоскопистов является важной составляющей обеспечения надежности производственных процессов, так как от умения правильно интерпретировать результаты контроля зависит безопасность на железнодорожном транспорте. Статистический анализ результатов обучения открывает возможности для непрерывного мониторинга компетенций работников подразделения.

Предложена и реализована в программном обеспечении методика организации индивидуальных технических занятий на основе результатов работы специалиста, методика занятий реализована в виде мультимедийных учебных пособий и интерактивных заданий. Техническое решение направлено на управление компетентностью кадров для оптимизации целевой функции и устранения несоответствий, вызванных человеческим фактором.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установленные закономерности результатов контроля и основанные на них критерии оценки соответствия технологических процессов, предложенная целевая функция и методика имитационного моделирования являются основой для цифровизации производственных процессов НК, направленной на снижение вероятности пропуска дефектов при выпуске вагонов из ремонта, и, следовательно, на повышение безопасности грузового движения.

Основные результаты работы состоят в следующем:

1. Экспериментально установлены статистические закономерности распределения результатов технологических процессов НК вагоноремонтных предприятий и основанные на них критерии оценки соответствия технологических процессов нормативным требованиям:

– результаты ежесменного контроля неномерных деталей (клиньев тягового хомута и маятниковой подвески) описываются биномиальным законом, а критерий согласия Пирсона с уровнем значимости 0,05 является критерием оценки соответствия технологического процесса требованиям нормативных документов;

– инспекционным контролем, экспертным методом и фрактографией установлены средние значения и доверительные границы частот браковки с уровнем значимости 0.05, равные 9,1 % для клиньев тягового хомута и 5,8 % для маятниковых подвесок, совпадение частоты браковки с доверительными границами является индикатором соответствия;

– для деталей с двумя и более зонами контроля показано, что отношение вероятностей обнаружения дефекта является критерием соответствия, например, отношение среднего количества дефектов в верхней головке маятниковой подвески и в нижней головке является случайной величиной с доверительными границами $0,3 \leq \frac{n_1}{n_2} \leq 3,4$.

2. На основе реальных результатов технологического процесса показано, что различный ежесменный объем контроля искажает распределение результатов

по количеству забракованных деталей и частоте браковки с вероятностью ошибки 5 %. Разработаны математическая модель и алгоритм восстановления потока случайных событий НК с использованием генератора случайных чисел и усреднения равновероятных реализаций. Алгоритм позволяет привести результаты к одинаковым объемам контроля, повысить их статистическую значимость и оценить доверительные границы параметров распределений.

3. Разработана имитационная модель всех процессов НК вагоноремонтного предприятия. Предложена целевая функция, равная отношению коэффициента занятости дефектоскописта к среднему времени задержки детали в очереди на позицию контроля. Проведено моделирование и показано, что стратегия управления кадрами подразделения НК, основанная на универсальной специализации работников и возможности перемещения их по производственным участкам предприятия, является оптимальной. В результате оптимизации кадрового состава удается повысить средний коэффициент занятости дефектоскопистов с 0,34 до 0,45, среднее время задержки детали на позиции уменьшить с 650 % до 150 % от нормативного времени.

4. Предложен риск-ориентированный критерий оценки технической оснащенности предприятий вагонного ремонтного комплекса средствами НК. Подразделения НК классифицируются на две группы: с допустимым (менее 0,1 % в год) и недопустимым уровнями риска появления несоответствия. Уровень риска определен на основе вероятности появления технически сложного отказа оборудования $p_{от}$. Показано, что 70 % предприятий, выполняющих технологию ремонта колесных пар без снятия колец подшипников при среднем ремонте, находятся в зоне недопустимого риска. Для таких предприятий установлена обязательность разработки мероприятия по устранению последствий несоответствия.

5. Разработана и внедрена в программное обеспечение методика управления компетентностью производственного персонала, основанная на планировании технических занятий на рабочих местах. Разработаны методические материалы для технического обучения, текущего контроля знаний и проверки умений и

навыков, что позволяет оперативно внедрять в производственный процесс новые технологии и изменения нормативной и технической документации. Статистический анализ результатов технических занятий на рабочих местах является основой непрерывного мониторинга компетентности работников предприятий вагоноремонтного комплекса.

Дальнейшее развитие темы диссертационного исследования заключается в совершенствовании цифровой модели подразделения НК за счет повышения уровня детализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nedeliaková, E. Six Sigma and Dynamic Models Application as an Important Quality Management Tool in Railway Companies / E. Nedeliaková, V. Štefancová, Š. Kudláč // *Procedia Engineering*. – 2017. – Volume 187. – P. 242-248.
2. Шарнин, Л.М. Моделирование задачи производства изделия с помощью Anylogic // Л.М. Шарнин, А.П. Кирпичников, Р.А. Нитшаев, Б.М. Заляев, В.Д. Васильев, Ш.А. Шайхутдинов // *Вестник технологического университета*. – 2019. – № 4. – т. 22. – С. 153-157.
3. ГОСТ 12.3.002-2014 Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные. Общие требования безопасности. – М.: Стандартинформ, 2019. – 15 с.
4. ГОСТ 3.1109-82 Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий. – М.: Стандартинформ, 2012. – 15 с.
5. Law, A. M. Kelton, W. D. *Simulation modeling and analysis*, 3rd ed. Osborne: The McGraw-Hill Companies. – 2000. – 760 p.
6. Дзедик, В.А. Совершенствование систем менеджмента качества на основании интегрированного управления рисками / В.А. Дзедик // *Экономика устойчивого развития*. – 2017. – № 4 (32). – С. 239-244.
7. Ray, D. A framework for probabilistic model-based engineering and data synthesis / Douglas Raya, JoseRamirez-Marquez // *Reliability Engineering & System Safety*. – 2020. – Volume 193. – 106679.
8. Стороженко, Н.Р. Моделирование информационных процессов в сети с использованием методов линейного и нелинейного программирования / Н.Р. Стороженко, А.И. Голева, О.П. Шафеева // *Россия молодая: Передовые технологии в промышленности*. – 2017. – №2. – С. 27-30.
9. Евсеев, Д.Г. Сетевая модель сервисного технического обслуживания грузовых вагонов / Д.Г. Евсеев, М.Ю. Куликов, А.С. Кузютин // *Вестник Брянского государственного технического университета*. – 2018. – №5 (66). – С. 24-32.

10. Куликов, М.Ю. Разработка математической модели технологической системы вагоноремонтного предприятия / М.Ю. Куликов, А.С. Казютин, М.И. Дыбо // Брянского государственного технического университета. – 2018. – №6 (67). – С. 38-45.

11. Шантаренко, С.Г. Управление технологическими процессами и качество выполнения ремонта локомотивов / С.Г. Шантаренко, М.Ф. Капустьян, О.П. Супчинский // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2019. – № 3 (75). – С. 64-71.

12. Шантаренко, С.Г. Разработка технологических процессов технического обслуживания и ремонта локомотивов новых серий / С.Г. Шантаренко, М.Ф. Капустьян, О.П. Супчинский // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 4 (68). – С. 58-64.

13. Смирнов, В.А. Повышение эффективности технологических систем ремонтного производства и технического обслуживания подвижного состава: специальность 05.02.22 «Организация производства (транспорт): диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Смирнов Виктор Александрович: Российский университет транспорта. – Москва, 2020. – 344 с. – Библиогр.: с. 202-261. – Текст: непосредственный.

14. Смирнов, В.А. Оценка предельных параметров функционирования сложных технологических систем предприятий с общими производственными ресурсами / В.А. Смирнов // Транспорт Урала. – 2020. – №3(66). – С. 28-31.

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

16. Смирнов, В.А. Автоматизированная система управления технологическим процессом на предприятиях по ремонту подвижного состава / В.А. Смирнов, К.В. Панов // Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава. Материалы III

Всероссийской научно-технической конференции с международным участием в 3-х частях. – Омск. – 2015. – С. 192-196.

17. Смирнов, В.А. Многокритериальная оптимизация проектных решений предприятий по ремонту подвижного состава железнодорожного транспорта / В.А. Смирнов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2013. – № 4(52). – С. 94-100.

18. Смирнов, В.А. Оценка производственно-технологических параметров предприятий по ремонту подвижного состава методами математического моделирования / В.А. Смирнов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2012. – № 4 (48). – С. 45-53

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

20. Смирнов, В.А. Имитационное моделирование технологических процессов предприятий транспортного машиностроения/ В.А. Смирнов, А.М. Семенов // – Вестник РГУПС. – 2012. – №2 (46). – С. 67-74.

21. Миронов, А.С. Анализ вариантов технологического процесса с использованием имитационного моделирования / А.С. Миронов, И.В. Репина // Прикладная математика и фундаментальная информатика. – 2020. – №1. – Т.7. – С.31-38.

22. Ревина, И.В. Имитационное моделирование сборочного процесса / И.В. Ревина, П.А. Витт // Динамика систем, механизмов и машин. – 2019. – №3. – Т.7. – С. 86-94.

23. Ревина, И.В. Имитационное моделирование производственного процесса изготовления деталей / И.В. Ревина, Г.Н. Бояркин // Омский научный вестник. – 2018. – № 6(162). – С.230-234.

24. Erasmusa, J. Using business process models for the specification of manufacturing operations / J. Erasmusa, I. Vanderfeestenb, K. Traganosa, P. Grefena. – 2020. – № 123. – 103297.

25. Durão, L.F.C.S. Digital twin requirements in the context of industry 4.0 / L.F.C.S. Durão, S. Haag, R. Anderl, K. Schützer, E. Zancul // Information and Communication Technology, Springer, New York LLC. – 2018. – P. 204-214.

26. Kalpič, B. Business process modeling through the knowledge management perspective/ B. Kalpič, P. Bernus// Journal of Knowledge Management. – 2006. – №10 (3). – p. 40-56.

27. Пономарев, К.С. Стратегия цифрового двойника производства как метод цифровой трансформации предприятия/ К.С. Пономарев, А.Н. Феофанов, Т.Г. Гришина // Вестник современных технологий. – 2019. – №4 (16). – С. 25-30.

28. Гурьянов, А.В. Организация цифровых производств Индустрии 4.0 на основе киберфизических систем и онтологий / А.В. Гурьянов, Д.А. Заколдаев, А.В. Шукалов, И.О. Жаринов, М.О. Костишин // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2018. – № 2. – Т.18. – С. 268-277.

29. Жаринов, И.В. Управление бизнес-процессами на фабриках Индустрии 4.0/ И.В. Жаринов// Известия Санкт-петербургского государственного экономического университета. – 2021. – №4 (130). – С.93-38.

30. Тарасов, И.В. Индустрия 4.0: Трансформация производственных фабрик / И.В. Тарасов, Н.А. Попов // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2018. – №3 (106). – С. 38-53.

31. Пятецкий, В.Е. Модель оценки уровня технологичности компании в управлении качеством / В.Е. Пятецкий, Е.Н. Горчакова, М.С. Титкина М.С. // Экономика в промышленности. – 2020. – №4. – Том 13. – С. 503-510.

32. ГОСТ Р ИСО 9001-2015 Системы менеджмента качества. Требования. – М.: Стандартинформ. – 2018 г. – 32 с.

33. Петров, С.В. Управление эффективностью стратегических решений по рационализации системы технического обслуживания и ремонта пассажирских вагонов / С.В. Петров // Вестник ВНИИЖТ. – 2020. – №1. – Т. 79. – С.26-33.

34. Петров, С.В. Надежность и функциональная безопасность как основные составляющие качества пассажирских вагонов / С.В. Петров, Г.В. Райков, Ю.В. Корнев, Н.Б. Караванова // Вестник ВНИИЖТ. – 2018. – №4. – Т. 77. – С.241-249.

35. Netland, T.H. Learning lean: rhythm of production and the pace of lean implementation / T.H. Netland, J.D. Schloetzer, K. Ferdows// International Journal of Operations and Production Management. – 2021.– Vol. 41 No. 2. – P. 131-156.

36. Федосов, А.В. Опыт применения систем компьютерного моделирования для увеличения эффективности литейного производства на ООО «РЛЗ»/ А.В. Федосов, Г.В. Чумаченко // Литье и металлургия. – 2017. – № 4 (89). – С. 72-76.

37. Лакин, И.К. Автоматизированная система управления эксплуатационным жизненным циклом локомотивов / И.К. Лакин, И.В. Пустовой, А.А. Аболмасов // Эксплуатация и обслуживание электронного и микропроцессорного оборудования тягового подвижного состава. Труды Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – 2020. – С. 223-242.

38. Пустовой, И.В. Повышение эффективности системы сервисного обслуживания локомотивов за счёт внедрения информационных технологий / И.В. Пустовой // Вестник транспорта Поволжья. – 2016. – № 6(60). – С. 36-40.

39. Белинский, А.А. Управление надежностью локомотивов в сервисной компании «Локомотивные технологии» // А.А. Белинский, В.Н. Пустовой, И.К. Лакин // Вестник транспорта Поволжья. – 2016. – №4(58). – С.30-36.

40. Белинский, А.А. Принцип «Встроенное качество» в информационных системах локомотиворемонтного комплекса / А.А. Белинский, И.К. Лакин, А.А. Аболмасов // Бюллетень результатов научных исследований. – 2015. – № 3-4 (16-17). – С. 13-28.

41. Лакин, И.К. Использование технологии «Цифровой двойник» при управлении ремонтом локомотивов / И.К. Лакин, А.П. Семенов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – № 3(63). – С. 89-98.

42. Лакин, И.К. Цифровая трансформация управления ремонтом локомотивов / И.К. Лакин, А.П. Семенов // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2019. – Том 2. – С. 182-185.

43. Смольянинов, А. В. Анализ текущего состояния, проблемы и перспективы вагоноремонтного производства в Уральском федеральном округе / А. В. Смольянинов, В.Ф. Кармацкий, А. А. Соломенников// Инновационный транспорт. – 2020. – № 4 (38). –С. 37-43.

44. Кнышев, И.П. Система технического зрения в вагонном хозяйстве / И.П. Кнышев, Т.Т. Тулемисов // Наука и техника транспорта. – 2020. – № 1. – С. 76-79.

45. Пат. 2709980 С2 Российская Федерация, МПК В61L 29/00 (2006.01) Система и способ дистанционного контроля и регистрации технологических операций на транспорте / Кнышев И.П., Тулемисов Т.Т., заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта (МИИТ)» (РУТ (МИИТ)). – № 2018112975 заявл.10.04.2018, опубл. 23.12.2019 Бюл. № 36 – 9 с.: ил.

46. Лапшин, В.Ф. Анализ технологической подготовки предприятий по техническому обслуживанию и ремонту вагонов / В.Ф. Лапшин, Е.В. Зелюкова, О.А. Миронова // Инновационный транспорт. – 2020. – № 4 (38). –С. 44-50.

47. Gerhátová, Zuzana Industry 4.0 Implementation Options in Railway Transport / Zuzana Gerhátová, Vladislav Zitrickýa, Vladimír Klapita // Transportation Research Procedia. 2021. – № 53. – P. 23–30

48. Мироненко, О.И. Некоторые вопросы развития вагоноремонтных предприятий / О.И. Мироненко, К.А. Сергеев, О.Ю. Кривич, А.А. Петров, М.В. Козлов // Транспортное дело России. – 2019.– №3. – С. 158-160.

49. Сергеев, К.А. Автоматизированное проектирование технологических процессов ремонтного производства (математическое, информационное и программное обеспечение) / К.А. Сергеев, О.Ю. Кривич, О.И. Садыкова, О.И. Мироненко, И.К. Сергеев // Наука и техника транспорта. – 2019. – № 2. – С. 11-14.

50. Сергеев, К.А. Моделирование технологических процессов технического обслуживания и ремонта железнодорожного подвижного состава / К.А. Сергеев, О.Ю. Кривич, О.И. Садыкова, О.И. Мироненко, И.К. Сергеев// Наука и техника транспорта. – 2018. – № 3. – С. 24-28.

51. Сергеев, К.А. Информационное и программное обеспечение технолога вагоноремонтного предприятия / К.А. Сергеев, И.В. Гундаев, Е.С. Сидоров // Наука и техника транспорта. – 2011. – № 2. – С. 97-101.

52. Райков, Г.В. Моделирование технологических процессов в повышении эффективности работы вагоноремонтных предприятий / Г.В. Райков, К.А. Сергеев, О.Ю. Кривич, А.П. Бомбардинов // Транспортное дело России. – 2019. – № 3. – С. 143-144.

53. Bannikov, D.A. Development of innovative railway rolling stock technologies / D.A Bannikov, N.F. Sirina // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2020. – Т. 1115. – P. 401-407.

54. Банников, Д.А. Цифровая трансформация организации сервисного технического обслуживания и ремонта пассажирских вагонов / Д.А. Банников, Н.Ф. Сирина // Современные наукоемкие технологии. – 2021. – №3. – С. 22-26.

55. Smirnov, V.A. Intelligent decision support system for the control of complex technical systems / V.A. Smirnov// Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – 12009.

56. Ponomarev, A.V. Digital technologies in non-destructive testing/ A.V. Ponomarev, O.V. Ponomareva// Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – 12038.

57. Абрамов, А.Д. Разработка методов и средств информатизации управления производственными процессами в подразделениях неразрушающего контроля / А.Д. Абрамов, С.А. Бехер, А.О. Коломеец // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2018. - № 4. – С. 88-92.

58. Bekher, S. Automation of control processes in the non-destructive testing units / S. Bekher, A. Kolomeets // Matec Web of Conferences 239. – (2018). – 01025. doi: 10.1051 / matecconf / 201823901025.

59. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016662066 Автоматизированное рабочее место мастера неразрушающего контроля вагонного ремонтного депо (АРМ Мастера НК ВЧДР) / Коломеец А.О., Бехер С.А., Засыпкина Н.Н. и др. – № 2016619401, заявл. 05.09.2016, рег. 31.10.2016 – 1 с.

60. Bertovic, M. Investigating human factors in manual ultrasonic testing: testing the human factor model / M. Bertovic, M. Gaal, C. Müller, B. Fahlbruch // Insight - Non-Destructive Testing and Condition Monitoring. – 2011. – № 53 (12). – P. 673-676.

61. Calmon, P. Simulated probability of detection Maps in case of non-monotonic EC signal response / P. Calmon, F. Jenson, C. Reboud // AIP Conference Proceedings. – 2015. – № 1650 (1). – P. 1933-1939.

62. Li, M. Physical model-assisted probability of detection of flaws in titanium forgings using ultrasonic non-destructive evaluation / M. Li, W. Meeker, R. Thompson // Technometrics. – 2014. – № 56. – P. 78-91.

63. Бадалян, В.Г. Возможности ультразвуковой дефектометрии и риск-ориентированного подхода в диагностике / В.Г. Бадалян // Контроль. Диагностика. – 2019. – №1. – С. 22-31.

64. Бадалян, В.Г. Выявление и достоверность контроля в ультразвуковой дефектоскопии и дефектометрии / В.Г. Бадалян // Контроль. Диагностика. – 2020. – №7. – С. 4-17.

65. Бадалян, В.Г. Анализ достоверности контроля в ультразвуковой дефектометрии/ В.Г. Бадалян // Контроль. Диагностика. – 2019. – №3. – С. 4-13.

66. Бойчук, А.С. Вероятностная оценка достоверности результатов ультразвукового неразрушающего контроля монолитных конструкций из углепластика при использовании фазированных решеток / А.С. Бойчук, А.С. Генералов, А.В. Степанов // Труды ВИАМ. – 2016. – №11 (47). – С. 86 – 94.

67. Бойчук, С.А. Вероятностная оценка достоверности результатов ультразвукового неразрушающего контроля конструкций из ПМК, применяемых в авиационной промышленности / А.С. Бойчук, А.С. Генералов, М.А. Далин, А.В. Степанов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2013. – №9. – С. 36-39.

68. Чертищев, В.Ю. Оценка вероятности обнаружения дефектов акустическими методами в зависимости от их размера в конструкциях из ПКМ для выходных данных контроля в виде бинарных величин / В.Ю. Чертищев // Авиационные материалы и технологии. – 2018. – № 3(52). – С. 65-79.

69. Bato, M.R. Impact of human and environmental factors on the probability of detection during NDT control by eddy currents/ M.R. Bato, A. Hor, A. Rautureau, C. Bes // Journal of the International Measurement Confederation. – 2019. – Volume 133. – P. 222-232.

70. Bato, M.R. Experimental and numerical methodology to obtain the probability of detection in eddy current NDT method / M.R. Bato, A. Hor, A. Rautureau, C. Bes // NDT and E International. – 2020. – №114. – P. 1-13.

71. Марков, А.А. Оценка достоверности автоматического распознавания сигналов от конструктивных элементов рельсового пути магнитографическим методом / А.А. Марков, А.Г. Антипов, М.В. Карелин // Контроль. Диагностика. – 2018. – № 3. – С. 16-27.

72. Марков, А.А. Повышение вероятности обнаружения дефектов в рельсах /А.А. Марков // Контроль. Диагностика. – 2016. – №11. – С. 16-24.

73. Марков, А.А. Анализ эффективности ультразвуковых и магнитных каналов дефектоскопических комплексов при контроле рельсов / А.А. Марков, Е.А. Максимова // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. – 2019. – № 2. – Т.2. – С.22-32.

74. Бобров, А.Л. Статистическая оценка неразрушающего контроля деталей автосцепного устройства на вагоноремонтных предприятиях/ А.Л. Бобров, А.А. Данилина// Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2012. – №6. – С. 57-61.

75. Бехер, С.А. Анализ результатов неразрушающего контроля при деповском ремонте деталей тележек грузовых вагонов / С.А. Бехер, А.Л. Бобров, А.А. Большанов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения – 2011. - № 2 (42). – С. 20-26.

76. Бехер, С.А. Методы контроля динамически нагруженных элементов подвижного состава при ремонте и в эксплуатации на основе комплексного использования тензометрии и акустической эмиссии: специальность 05.11.13 «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Бехер Сергей Алексеевич: Сибирский государственный университет путей сообщения. – Новосибирск, 2017. – 321 с. – Библиогр.: с. 28-29. – Текст: непосредственный.

77. Бобров, В.Т. Роботизированные системы неразрушающего контроля и технической диагностики промышленных объектов / В.Т. Бобров, А.М. Сляднев // Контроль. Диагностика. – 2018. – №2. – С.16.31.

78. Троицкий, В.А. Неразрушающий контроль продолжительно эксплуатируемых объектов / В.А. Троицкий, М.Н. Карманов // Территория NDT. – 2019. – № 4(32). – С. 44-51.

79. Trampus, P. NDT integrity engineering – A new discipline / P. Trampusa, V. Krstelja, G. Nardonia // ICSI 2019 The 3rd International Conference on Structural Integrity. Procedia Structural Integrity. 2019. – № 17. – P. 262–267.

80. Верескун, В.Д. Влияние отказов технических средств на задержку поездов / В.Д. Верескун, В.С. Воробьев, И.В. Яньшина, И.Б. Репина // Вестник РГУПС. – 2019. – №4. – С. 42-48.

81. Манаков, А.Л. Человеческий фактор в технологических процессах железной дороги / А.Л. Манаков, В.С. Воробьев, И.В. Яньшина, И.Б. Репина // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2018. – № 4 (47). – С. 5-14.

82. Vorobyov V. Economic assessment of the control of human-factor impact on faults of technical facilities in railway-transport technological processes. / V. Vorobyov, A. Manakov, I. Repina // Matec Web of Conferences 239 (2018), 08011.

83. Vorobyov, V. Bases of the methodology of monitoring the impact of the human factor on the reliability of the railway infrastructure / V. Vorobyov, A. Manakov, I. Yanshina, I. Repina // Advances in intelligent systems and computing. – 2020. – 1116 AISC. – P. 691-706.

84. Воробьев, В.С. Оценка отказов технических систем железнодорожного транспорта с учетом влияния человеческого фактора / В.С. Воробьев, В.Д. Верескун, И.Б. Репина // Вестник РГУПС. – 2014. - № 3 (55). – С. 32-40.

85. Аксенов, В.А. Оценка влияния человеческого фактора на надежность производственных процессов и технических систем железнодорожного транспорта / В.А. Аксенов, А.М. Завьялов, И.Н. Синякина, Ю.В. Завьялова // Наука и техника транспорта. – 2019. – № 2. – С. 120-125.

86. Аксенов, В.А. Анализ влияния человеческого фактора на надежность технических систем железнодорожного транспорта / В.А. Аксенов, А.М. Завьялов, И.Н. Синякина, Ю.В. Завьялова, А.О. Ермаков // Проблемы безопасности российского общества. – 2018. – № 4. – С. 96-102.

87. Carino, N.J. Training: Often the missing link in using NDT methods / N.J. Carino // Construction and Building Materials. – 2013. – № 38. – P. 1316-1329.

88. Быстрова, Н.А. Особенности оценки практического экзамена у кандидатов, проходящих аттестацию в соответствии с ПБ 03-440-02 «Правила аттестации персонала в области неразрушающего контроля» / Н.А.Быстрова, Д.С. Большаков, М.М. Семенов, А.А. Травкин // Территория NDT. – 2018. – № 1(25). – С. 52-55.

89. Дымкин, Г.Я. Подготовка персонала по неразрушающему контролю продукции железнодорожного назначения / Г.Я. Дымкин, В.Н. Коншина, Л.А. Юрченко // Приборостроение в XXI веке - 2020. Интеграция науки, образования и производства. Сборник материалов XVI Всероссийской научно-технической конференции. – Ижевск. – 2020. – С. 82-89.

90. Дымкин, Г.Я. Гармонизация требований образовательных и профессиональных стандартов при подготовке персонала по неразрушающему контролю продукции железнодорожного назначения / Г.Я. Дымкин, В.Н. Коншина// Современное образование: содержание, технологии, качество. Сборник материалов конференции. Санкт-Петербург. – 2019. – Т. 1. – С 540-542.

91. Муравьев, В. В. Анализ результатов сертификации специалистов в области неразрушающего контроля объектов железнодорожного транспорта / В.В. Муравьев // Интеллектуальные системы в производстве. 2013. – №2. – С. 144-148.

92. Murav'ev, V.V. Analysis of test results mean specialists in magnetic non-destructive testing for the certification / V.V. Murav'ev, L.V. Volkova, A.V. Platonov, E.G. Bulatova, T.N. Vajkalova // Testing. Diagnostics. 2015. – № 10. – P. 36-42.

93. Абрамов, А.Д. Оптимизация процессов технического обучения кадрового состава вагоноремонтных предприятий за счет разработки и внедрения программного обеспечения / А.Д. Абрамов, С.А. Бехер, А.А. Попков // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2018. – № 4 (47) – С. 42-48.

94. Popkov A., Use of computer software for technical training at rail car repair shops / A. Popkov, S. Bekher // Matec Web of Conferences. 10th International Scientific and Technical Conference «Polytransport Systems», PTS 2018. 2018, 04001. doi: 10.1051 / matecconf / 201821604001.

95. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019663521 Программный комплекс для организации и проведения технических занятий со специалистами вагонных ремонтных предприятий / Бехер С.А., Коломеец А.О., Попков А.А. и др. – № 2019662390, заявл. 08.10.2019, рег. 17.10.2019 – 1 с.

96. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019660433. Программа для организации и проведения технических занятий со специалистами по неразрушающему контролю «НКТЕСТ» / Бехер С.А., Бобров А.Л., Бояркин Е.В., Коломеец А.О., Попков А.А., Сыч Т.В. – № 2019619440; заявл. 30.07.2019; рег. 06.08.2019. – 1 с.

97. ГОСТ 34513-2018 Система неразрушающего контроля продукции железнодорожного назначения. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2019 г. – 15 с.

98. ГОСТ Р 9712-2019 Контроль неразрушающий. Квалификация и сертификация персонала.

99. Итоги работы вагонного комплекса за 2020 год/ Гудок. – 2021. №12(27106). – 3 полоса.

100. ГОСТ Р 53697-2009 Контроль неразрушающий. Основные термины и определения.

101. ГОСТ 33514 – 2015 Продукция железнодорожного назначения. Правила верификации методик неразрушающего контроля. – М.: Стандартиформ, 2016. – 16с.

102. Пат. RU 2733592 С1 Российская Федерация, МПК G06F 17/18, G05B 21/00. Способ управления производственным процессом неразрушающего контроля / Бехер С.А., Школина Д.И., Засыпкина Н.Н., Коломеец А.О., Болчанов А.А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения» (СГУПС). – № 2019143869; заявл. 23.12.2019; опубл. 05.10.2020, Бюл. № 28. – 10 с.: ил.

103. Бехер, С.А. Информационная поддержка принятия управленческих решений в подразделениях неразрушающего контроля / С.А. Бехер, Д.И. Школина, А.О. Коломеец // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 3 (79). – С. 69–76.

104. Shkolina, D. Information support methods and algorithms for non-destructive control system management/ D. Shkolina, S. Bekher, A. Bobrov, A. Kolomeets // Transportation Research Procedia. – 2021. – Volume 54. – P. 334–339.

105. Школина Д.И. Анализ результатов работы подразделений неразрушающего контроля в вагоноремонтном комплексе/ Д.И. Школина, С.А. Бехер // Сборник материалов X Международной научно-практической конференции «Непрерывное профессиональное образование: Теория и практика». – Новосибирск: Изд-во СГУПС. – 2020. – С. 363-367.

106. Школина, Д.И. Мониторинг подразделений неразрушающего контроля на основе статистических критериев и инспекционного разрушающего контроля / Д.И. Школина, С.А. Бехер, А.О. Коломеец, А.Л. Бобров // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2022. – №1 (85). – С.46-53.

107. Сорокин, В.Г. Марочник сталей и сплавов / В. Г Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др.: Под общей редакцией В.Г. Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.

108. Школина, Д.И. Восстановление потоков случайных событий результатов неразрушающего контроля методами математического моделирования/ Д.И. Школина, С.А. Бехер// Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2021. – №4 (59). – С. 46-54.

109. ПР НК В 1 Правила по неразрушающему контролю вагонов, их деталей и составных частей при ремонте. Общие положения. – 2019. – 54 с.

110. Профессиональный стандарт. Специалист по неразрушающему контролю – Утвержден приказом Министерства труда и защиты Российской Федерации от «03» декабря 2015 г. № 976н.

111. Распоряжение ОАО «Российские железные дороги» № 932/р от «10» мая 2018 г. «О тарификации работ, выполняемых работниками отдельных профессий, используемых в структурных подразделениях филиалов ОАО «РЖД».

112. ГОСТ Р ИСО 9712-2019 Контроль неразрушающий. Квалификация и сертификация персонала. М.: Стандартинформ. – 2019 г. – 30 с.

113. Popkov, A. Analysis of the Process Efficiency of Wagon Repair Base Specialists' Technical Training / A. Popkov, D. Shkolina, A. Kolomeets // International Scientific Siberian Transport Forum. – 2021. – Volume 403. – P. 570-577.

114. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2020615524. Мобильное приложение для тестирования специалистов вагонных ремонтных депо / Бехер С.А., Выплавень В.С., Коломеец А.О., Попков А.А., Школина Д. И.; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения» (СГУПС). – № 22020614315; заявл. 24.04.2020; рег. 25.05.2020. – 1 с.

115. Shkolina, D. Monitoring and Technical Training Results' Assessment of Specialists in NDT Inspection of Railway Transport Facilities/ D. Shkolina, A. Popkov

// International Scientific Siberian Transport Forum. – 2021. – Volume 403. – P. 189-196.

116. Школина, Д.И. Анализ результатов технического обучения специалистов по неразрушающему контролю/ Д.И. Школина, С.А. Бехер // Сборник материалов XI Международной научно-технической конференции «Политранспортные системы» (12–13 ноября 2020 г.). – Новосибирск: Изд-во СГУПС. – 2020. – С. 498-502.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ПАТЕНТ НА ИЗОБРЕТЕНИЕ № 2733592

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2733592

Способ управления производственным процессом
неразрушающего контроля

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет путей сообщения" (СГУПС) г. Новосибирск (RU)*

Авторы: *Бехер Сергей Алексеевич (RU), Школина Дарья Ивановна (RU), Засыпкина Наталья Николаевна (RU), Коломеец Андрей Олегович (RU), Болчанов Анатолий Анатольевич (RU)*

Заявка № 2019143869

Приоритет изобретения 23 декабря 2019 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 05 октября 2020 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 23 декабря 2039 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

АКТ ВНЕДРЕНИЯ ВАГОННОГО РЕМОНТНОГО ДЕПО ИНСКАЯ АО «ВРК-1»



ВАГОННАЯ
РЕМОНТНАЯ
КОМПАНИЯ-1

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

**«ВАГОННАЯ РЕМОНТНАЯ
КОМПАНИЯ-1»
НОВОСИБИРСКОЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО
ВАГОННОЕ РЕМОНТНОЕ ДЕПО
ИНСКАЯ**

ул. Каланчевская 35, г. Москва 129090
Адрес для корреспонденции
а/я 33, г. Новосибирск,
Новосибирская обл., 630080
Тел. (383) 337-94-01 Факс (383) 337-94-01

УТВЕРЖДАЮ:

Главный инженер вагонного
ремонтного депо Инская
АО «ВРК-1»



В.В. Матюх

« 05 » _____ 2022г.

« _____ » _____ г № _____

АКТ

Настоящий акт составлен о том, что Сибирским государственным университетом путей сообщения в рамках заключенного договора № ИП0696/18/Р от 07.11.2018 г. внедрен и используется программный комплекс «Автоматизированное рабочее место мастера неразрушающего контроля вагоноремонтного депо» (Свидетельство о государственной регистрации № 2016619401 от 31.10.2016 г.) в 42 вагонных ремонтных депо компании с 2018 года.

В соответствии с техническим заданием программный комплекс предназначен для организации электронного документооборота в системе неразрушающего контроля в обособленных структурных подразделениях компании. Комплекс обеспечивает формирование отчетности с анализом результатов браковки деталей и ее подтверждаемости, штата работников и их квалификации, оснащенности техническими средствами.

Реализованный в программном комплексе способ управления производственным процессом неразрушающего контроля, разработанный в диссертационной работе Школиной Дарьи Ивановны, используется специалистами технического отдела компании и мастерами участков неразрушающего контроля предприятий для мониторинга процессов неразрушающего контроля и выявления отклонений от типового производственного процесса.

Мастер участка
неразрушающего
контроля вагонного
ремонтного депо Инская

М.Ю. Малахов

ПРИЛОЖЕНИЕ В

**АКТ ВНЕДРЕНИЯ НОВОСИБИРСКОГО ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВА
АО «ВРК-1»**



ВАГОННАЯ
РЕМОНТНАЯ
КОМПАНИЯ-1

НОВОСИБИРСКОЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО

УТВЕРЖДАЮ:
Директор Новосибирского
представительства АО «ВРК-1»

С.А. Грассман



АКТ

Настоящий акт составлен о том, что Сибирским государственным университетом путей сообщения в рамках заключенного договора ВРК-1/328/2019 от 23.10.2019 года выполнены обновление и корректировка программного обеспечения (ПО) для организации и проведения технических занятий в десктопной (свидетельство о государственной регистрации № 2019660433 от 30.07.2019 г.) и в мобильной (свидетельство о государственной регистрации № 2020615524 от 25.05.2020 г.) версиях. Результаты работы внедрены в 39 вагонных ремонтных депо, что подтверждается актом выполненных работ №1 от 17.12.2019 г. Обновленное ПО реализует следующие функции: годовое планирование непрерывного производственного обучения дефектоскопистов, учет и анализ результатов обучения специалиста, депо и компании, проведение обучения в дистанционной форме.

В ПО реализованы алгоритм оценки и способ управления производственным процессом, созданные в рамках диссертационного исследования Школиной Дарьей Ивановной. Применение этих технических решений позволило реализовать индивидуальное непрерывное производственное обучение, учитывающее компетентность каждого дефектоскописта. Экономический эффект от внедрения ПО достигается за счет применения цифровых технологий, не требующих перерыва в производственном процессе, и составляет 275 тыс. руб. в одном вагоноремонтном депо в год.

Ревизор по безопасности движения
поездов Новосибирского представительства
АО «ВРК-1»

А.А. Болчанов

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММ
ДЛЯ ЭВМ № 2020615524

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2020615524

**Мобильное приложение для тестирования специалистов
вагонных ремонтных депо**

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

Авторы: *Бехер Сергей Алексеевич (RU), Вылавень Владимир
Сергеевич (RU), Коломеец Андрей Олегович (RU), Попков Артем
Антонович (RU), Школина Дарья Ивановна (RU)*

Заявка № 2020614315

Дата поступления 24 апреля 2020 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 25 мая 2020 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев