

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

На правах рукописи



Карпов Валерий Александрович

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ ТЯГОВОГО
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ
ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО И НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
(на примере элементов колёсной пары электровоза ВЛ80С)**

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Воробьев Александр Алексеевич

МОСКВА – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ОБЗОР РАБОТ ПО ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА.....	11
1.1 Роль диагностирования и неразрушающего контроля в оценке и прогнозировании технического состояния тягового подвижного состава.....	11
1.2 Методы и технология неразрушающего контроля деталей тягового подвижного состава.....	16
1.3 Обзор научных работ в области совершенствования систем анализа надежности, технического обслуживания и ремонта тягового подвижного состава.....	32
1.4 Выводы по разделу 1.....	36
2 АНАЛИЗ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ИНФОРМАТИЗАЦИИ О ТЕХНИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В ПРОЦЕССЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ.....	37
2.1 Методика сбора и учёта информации о техническом состоянии тягового подвижного состава.....	37
2.2 Систематизация и оценка достоверности информации о техническом состоянии тягового подвижного состава.....	46
2.3 Оценка качества деталей и узлов подвижного состава по результатам неразрушающего контроля.....	53
2.4 Выводы по разделу 2.....	59
3 ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ И ДОГОВЕЧНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ.....	60
3.1 Методика оценки показателей надежности оборудования тягового подвижного состава.....	60

3.2 Оценка показателей надёжности оборудования тягового подвижного состава по результатам диагностирования.....	64
3.3 Выводы по разделу 3.....	81
4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОЛЁСНОЙ ПАРЫ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ	82
4.1 Определение показателей безотказности оборудования тягового подвижного состава по наработкам до отказа.....	82
4.2 Расчёт показателей безотказности элементов колёсной пары по результатам неразрушающего контроля	91
4.3 Расчёт показателей долговечности элементов колёсной пары электровоза ВЛ80С и определение лимитирующей детали	103
4.4 Выводы по разделу 4.....	105
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	106
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	104
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	122
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	125
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	128
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	131

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Процессы перехода ОАО «РЖД» к выстраиванию функциональной системы управления компании холдингового типа, ориентированной на рыночную экономику, характеризуются активным формированием и преобразованием филиалов в дочерние и зависимые общества. В этих условиях многократно возрастает роль принятой Функциональной стратегии обеспечения гарантированной безопасности перевозочного процесса в ОАО «Российские Железные Дороги» (ОАО «РЖД») [115].

На современном этапе развития железнодорожного транспорта, с увеличением скоростей движения, ростом интенсивности перевозок и веса поездов, выполнение важнейшей задачи обеспечения безопасности движения происходит с помощью введения в эксплуатацию нового типа тягового подвижного состава (ТПС). Увеличенная эксплуатационная надежность, которая достигается за счет необходимого запаса прочности, заложенной при проектировании, а также действующей в ОАО «РЖД» планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта, предусматривает применение в технологических процессах методы диагностирования и средств неразрушающего контроля (НК) ответственных узлов и деталей.

Процессы образования и роста дефектов в период эксплуатации ставят под угрозу безаварийную эксплуатацию подвижного состава. Обеспечение безопасности движения за счет своевременного обнаружения заводских и усталостных дефектов в ответственных элементах подвижного состава приносит огромный экономический эффект и служит сохранению человеческих жизней. Решение этой проблемы достигается современными физическими методами НК и диагностирования.

Использование разнообразных методов НК и систем диагностики, в том числе стационарной, переносной и бортовой микропроцессорной аппаратуры,

позволяют по-новому управлять текущим состоянием локомотива и расставлять приоритеты в организации планово-предупредительного ремонта (ППР).

Анализ собираемых данных о техническом состоянии узлов и деталей, после проведения неразрушающего контроля и диагностирования позволяет проводить дальнейшее прогнозирование надёжной работы ТПС, а также даёт возможность оптимизировать ППР с учётом индивидуальных параметров локомотива.

При проведении планового технического осмотра (ТО) или текущего ремонта (ТР), на основании обрабатываемых данных специализированными электронными приборами, есть возможность принять решение о замене узла или детали с критическими уровнями контролируемых параметров и тем самым предотвратить отказ локомотива в процессе движения поезда, либо принять решение об уменьшении или исключении операций по обслуживанию и ремонту, если контролируемые параметры в допуске. Таким образом, увеличивается время полезной эксплуатационной работы узла, детали и локомотива в целом а, следовательно, увеличивается межремонтный пробег, а также минимизируются объёмы и сроки ремонта [32].

Современные технологические процессы изготовления и ремонта продукции железнодорожного транспорта подвижного состава, во многих случаях сопровождаются промежуточным контролем качества изделий. В связи с этим важное значение приобретают неразрушающие методы контроля качества, которые позволяют не только обнаруживать дефекты на поверхности или в толще изделия, но и определять их форму и размеры, а также пространственное положение в детали.

Среди основных задач, стратегии реформирования системы НК в ОАО «РЖД», к которым относятся производственные, инженерные и организационные необходимо выделить задачу формирования и обеспечения реализации единой технической политики в области НК на железнодорожном транспорте. Для ОАО «РЖД», как владельца инфраструктуры, эта задача является одной из приоритетных.

Степень разработанности темы исследования. В основу исследований по теме диссертации положены труды российских учёных, ведущих научно-исследовательских и проектных институтов: ВНИИЖТа, НИИАС, высших учебных заведений: РУТ (МИИТ), СамГУПС, РГУПС, УрГУПС. Вопросам разработки методик расчёта и анализа показателей безотказности и долговечности, определения ресурса оборудования уделяется большое внимание в исследованиях учёных.

В работе были использованы научные труды по изучению надежности, при разработке и эксплуатации тягового подвижного состава, способов его технического обслуживания и ремонта М.М. Агапова [1], С.А., Алексеева [4], Н.Н., Алексеенко [6], А.Ю., Балакина [10], М.М. Болотина [15], В.П. Бугаева [17], А.А. Воробьева [19], А.В. Горского [30], И.В., Дмитриенко [47], И.П., Исаева [67], В.А. Козырева [75], А.Г. Кузнецова [80], И.К. Лакина [81], В.С. Наговицына [86], В.Т. Стрельникова [105], А.В. Скребкова [106], П.А. Устича [110], В.А. Четвергова [114], Н.Г. Шабалина [117] и многими другими.

В диссертационной работе поставлены научно–практические задачи оценки показателей надёжности оборудования ТПС. Исследования выполнены на примере расчёта показателей безотказности и долговечности элементов колёсной пары электровоза ВЛ80С (локомотиворемонтное депо Петроввальское Приволжской железной дороги) на основе информации об инструментальном и неразрушающем контроле.

Цели и задачи исследования

Целью диссертационного исследования является разработка методов определения показателей надежности деталей колёсной пары электровоза ВЛ80С по результатам инструментального и неразрушающего контроля при конкретных условиях эксплуатации. При разработке учитывалось их фактическое техническое состояние, полученные при регламентированных видах обслуживания и диагностирования, что в свою очередь позволило достигнуть определения реального ресурса наработки и срока службы узлов тягового подвижного состава.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе необходимо решить следующие **основные задачи исследования**:

- 1 анализ систем, приборов диагностирования и неразрушающего контроля в оценке и прогнозировании технического состояния тягового подвижного состава;
- 2 анализ и систематизация информации о техническом состоянии тягового подвижного состава в процессе диагностирования и неразрушающего контроля;
- 3 оценка показателей безотказности и долговечности элементов колёсной пары тягового подвижного состава по результатам инструментального контроля;
- 4 разработка методики расчёта показателей безотказности и долговечности оборудования ТПС по результатам неразрушающего контроля и диагностики;
- 5 расчёт показателей безотказности и долговечности элементов колёсной пары по результатам инструментального и неразрушающего контроля;
- 6 сравнительный анализ показателей надежности деталей колёсной пары электровозов серии ВЛ80С с целью определения лимитирующего её ресурс (межремонтный пробег).

Объект исследования: элементы колёсной пары электровозов серии ВЛ80С при проведении ремонта в сервисном локомотиворемонтном депо «Петроввальское» (СЛД-43) филиала «Южный» ООО «ЛокоТех-Сервис» Приволжской железной дороги - филиала ОАО «РЖД».

Предмет исследования: методика оценки показателей надежности узлов и деталей тягового подвижного состава в локомотиворемонтном депо по результатам инструментального и неразрушающего контроля.

Научная новизна диссертационной работы определяется следующими положениями:

1. разработана методика оценки показателей надежности оборудования тягового подвижного состава на основе информации по неразрушающему контролю;
2. выполнен расчёт показателей безотказности и долговечности элементов колёсной пары электровоза ВЛ80С по результатам инструментального и неразрушающего контроля;

3. проведён сравнительный анализ показателей долговечности элементов колёсной пары электровоза ВЛ80С для конкретных условий эксплуатации в регионе Приволжской железной дороги с целью определения элемента, лимитирующего межремонтный пробег колёсной пары.

Теоретическая значимость исследования вносит вклад в теорию организации производства по повышению надёжности оборудования тягового подвижного состава при выполнении технического обслуживания и ремонта. Разработанная методика позволяет рассчитать показатели надёжности по накопленной информации об изменении технического состояния элементов колёсной пары в реальных условиях эксплуатации.

Практическая значимость диссертации заключается в возможности применения результатов данной работы для оценки качества изготовления, оценки показателей безотказности и долговечности деталей тягового подвижного состава, характеризующихся различными наработками, с использованием результатов инструментального и неразрушающего контроля.

Методология и методы исследования

В процессе выполнения работы, для решения поставленных задач, были использованы научные труды отечественных и зарубежных учёных в области теории вероятностей и надёжности. Проводился сравнительный анализ, сопоставление, обобщение, статистический анализ с применением численных и вероятностно-статистических методов, методов теории надёжности.

Математический расчёт полученных результатов, в ходе исследования, выполнялся с применением программы разработанной на кафедре «Электропоезда и локомотивы» РУТ.

Положения, выносимые на защиту:

- 1 научные принципы в концепции повышения надёжности узлов и деталей тягового подвижного состава электровозов серии ВЛ80;
- 2 методика расчёта показателей безотказности и долговечности оборудования ТПС на основе результатов неразрушающего контроля;

3 оценка показателей надёжности оборудования тягового подвижного состава по результатам инструментального контроля;

4 расчёт показателей безотказности оборудования ТПС по результатам неразрушающего контроля;

5 определение сроков замены и восстановления деталей колёсной пары тягового подвижного состава по результатам инструментального и неразрушающего контроля.

Степень достоверности результатов

Обоснованность и достоверность результатов работы подтверждается применением апробированных научных методов, согласованностью с результатами научных исследований других авторов в части оценки показателей безотказности и долговечности оборудования, использованием в расчётах больших выборок статистической информации полученной в процессе эксплуатации тягового подвижного состава.

Апробация результатов работы

Основные положения и результаты диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на 2 всероссийских научно - практических конференциях по безопасности движения поездов, проходивших на базе РУТ (МИИТ) в 2013-2018гг. Результаты исследования докладывались и обсуждались на заседании кафедры «Электропоезда и локомотивы», технико-технологическом совете Дирекции тяги Приволжской железной дороги.

Публикации. Основные результаты выполненных исследований опубликованы в 6 печатных работах, в том числе 4 работы в рецензируемых научных периодических изданиях, включённых в перечень ВАК при Минобрнауки России для публикации результатов диссертационных работ, свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ зарегистрированной как интеллектуальная собственность.

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырёх разделов, заключения с основными результатами и выводами, списка литературы из 121 наименования, четырёх приложений. Общий объём диссертации составляет 131 страниц основного текста, 51 рисунка, 14 таблиц.

1 ОБЗОР РАБОТ ПО ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА

1.1 Роль диагностирования и неразрушающего контроля в оценке и прогнозировании технического состояния тягового подвижного состава

Техническая диагностика возникла в связи с ускоренным развитием современного машиностроения и в частности подвижного состава железных дорог, которая обусловила необходимость более глубокой оценки технического состояния ТПС и их комплектующих изделий, как основы прогрессивных методов технического осмотра и ремонта. Термин "диагностика" происходит от греческого «diagnostikos», что означает распознавание, определение. В процессе диагностики устанавливается диагноз, т.е. определяется техническое состояние системы, узла, детали или ТПС в целом.

Техническая диагностика – область знаний, охватывающая теорию, методы и средства определения технического состояния объектов [38].

Диагностика это один из способов проверки состояния и работоспособности технического изделия с целью выявления в нём скрытых или явных дефектов, неисправных узлов и элементов, отклонений от заданных условий и режима работы, представляя одним из эффективных средств обеспечения надёжности объекта.

Техническая диагностика является составной частью изготовления, технического обслуживания и ремонта ТПС. Основная задача технического диагностирования – это обеспечение безопасности, безотказности, долговечности и эффективности работы узлов и деталей ТПС, а также сокращение затрат на его техническое обслуживание и уменьшение потерь от простоев в результате отказов и unplanned ремонтов.

По результатам диагностических исследований определяют показатели надёжности конкретного изделия, его состояние в течение определённого промежутка времени (наработки).

Диагностирование включает в себя следующие функции:

- оценка технического состояния изделия;
- обнаружение и определение места нахождения неисправностей;
- прогнозирование остаточного ресурса объекта.

В зависимости от применяемых диагностических устройств и диагностических параметров, которые необходимы при проведении контроля, можно составить следующий неполный список методов диагностирования:

- органолептические методы диагностирования, которые основаны на использовании органов чувств человека (зрение, слух);
- инструментальные методы;
- вибрационные методы диагностирования, которые основаны на анализе параметров вибраций технических объектов;
- акустические методы диагностирования, основанные на анализе параметров звуковых волн, образуемых техническими устройствами;
- тепловые методы, основанные на использовании тепловизоров;
- магнитопорошковый метод;
- вихретоковый метод;
- ультразвуковой метод;
- капиллярный метод.

Проблемой технической диагностики является обеспечение получения достоверной информации с приемлемой оперативностью распознавания истинного состояния изделия и классификации этого состояния.

От обусловленности дальнейшего применения проконтролированной продукции методы контроля подразделяются на разрушающие и неразрушающие. Разрушающий контроль используется для оценки показателей качества материалов, деталей и узлов подвижного состава в целом. Данные методы применяют при испытаниях продукции на надежность (проверка причин отказов). После проведения разрушающего контроля изделие или узел считается непригодным для последующего применения по назначению. Неразрушающий контроль (НК) выполняется такими методами, которые не позволяют оказывать

влияние на работоспособность изделия. Вследствие проведения НК деталь считается работоспособной и пригодной к дальнейшему использованию [77].

В современном периоде развития ремонтного производства тягового подвижного состава методы НК нашли наиболее широкое применение, так как они высокотехнологичны, точны в определении несплошности в материале.

Методы неразрушающего контроля, не искажая параметров и структуру детали, позволяют выявлять поверхностные и внутренние скрытые дефекты, либо вскрыть такие особенности, которые влекут за собой определенную ненадежность изделий. Они позволяют исследовать изделия в процессе из разработки, производства, испытаний и эксплуатации, а также могут применяться для оценки качества технологических процессов и отработки изделий, не удовлетворяющих требованиям технического задания. Методы НК должны отвечать следующим основным требованиям: носить действительно неразрушающий характер, обладать достаточной чувствительностью и разрешающей способностью. Под чувствительностью методов НК понимается способность надежно, с заданной вероятностью выявить визуально или с применением специальных устройств, в определенных условиях, минимальный по размерам (ширине, глубине, длине) дефект.

Результативность использования НК определяется его принципиальными преимуществами по сравнению с визуальным осмотром и разрушающими испытаниями деталей. Методы контроля, основанные на визуальном осмотре поверхности детали, просты, не требуют высокой квалификации работника и применения определённых дорогостоящих приборов. В то же время они малопроизводительны, не могут быть полностью автоматизированы и являются субъективными, так как достоверность результатов зависит от состояния здоровья, опыта и добросовестности работника, проводящего контроль. Многие дефекты не имеют выхода на поверхность детали или не видны даже при применении увеличительных устройств [79].

Достоинством разрушающих методов испытаний является то, что в процессе испытаний, возможно измерить разрушающие нагрузки или другие

показатели, обуславливающие надежность детали. Определённым недостатком разрушающих испытаний является то, что они проводятся выборочно, т.е. только на некоторой партии одинаковых изделий. В виду того, что испытываемые материалы и изделия разрушаются в процессе контроля, достоверность разрушающих методов зависит от однотипности проверяемых свойств в материалах и изделиях, а также от соответствия условий испытаний с условиями работы детали. При сравнении с НК, разрушающие испытания, более трудоемки, менее производительны и сложнее подвергаются автоматизации.

На современном этапе развития ремонтной системы тягового подвижного состава в ОАО «РЖД» наибольшую популярность при диагностировании получили средства и методы неразрушающего контроля.

При проектировании и опытно-конструкторских работ по созданию изделий, системы неразрушающего контроля применяют: для получения необходимых данных, подтверждающих правильность выбранных решений; для сокращения времени и объемов необходимых исследований; для отбора материалов, компонентов и оборудования, обеспечивающих получение продукции необходимого качества с минимальными материальными и трудовыми затратами. На этом этапе выбирают оптимальные методы и средства контроля, разрабатывают основные технические требования к эталонам и критерии приемки деталей. На этапе производства и испытаний опытной партии деталей неразрушающий контроль используют для отработки технологических процессов и конструкций. По результатам контроля вносят изменения в конструкцию с целью снижения материалоемкости и трудоемкости производства, повышения надежности и долговечности продукции. На этом этапе устанавливают необходимые технические требования к качеству изделия. При эксплуатации и ремонте изделий и оборудования с помощью систем НК предотвращаются отказы, сокращаются простои и эксплуатационные расходы, увеличиваются сроки эксплуатации и межремонтные пробеги. На основании результатов неразрушающего контроля, браковки, изделие изымается из эксплуатации [98].

Исходя из физических явлений, на которых основан неразрушающий контроль, выделяют ряд его основных видов и методов НК (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Основные виды и методы неразрушающего контроля

Описание различных видов и методов неразрушающего контроля деталей происходит во множестве технической литературе [28, 48, 50, 54, 56, 61, 77], в результате чего возможно выбрать наиболее оптимальный, с оценкой достоверности получаемого результата.

Среди различных методов неразрушающего контроля, на железнодорожном транспорте, наиболее широкое распространение получили: визуально–оптический, магнитопорошковый, вихретоковый и акустический методы контроля деталей.

1.2 Методы и технологии неразрушающего контроля деталей тягового подвижного состава

Визуально – оптический метод это один из методов неразрушающего контроля оптического вида. Он основан на получении первичной информации о контролируемом объекте при визуальном наблюдении или с помощью оптических приборов и средств измерений. Это органолептический контроль, т.е. воспринимаемый органами чувств (органами зрения), считается эффективным и удобным способом выявления самых различных дефектов. Именно с визуального осмотра начинается проведение неразрушающего контроля деталей. Данный вид контроля проводится как с использованием специальных средств, так и без них. Визуальный метод контроля в частности доказал свою высочайшую эффективность при контроле качества основного металла, сварных швов, соединений и наплавов – как в процессе подготовки и проведения сварки, так и при исправлении выявленных дефектов [39, 73].

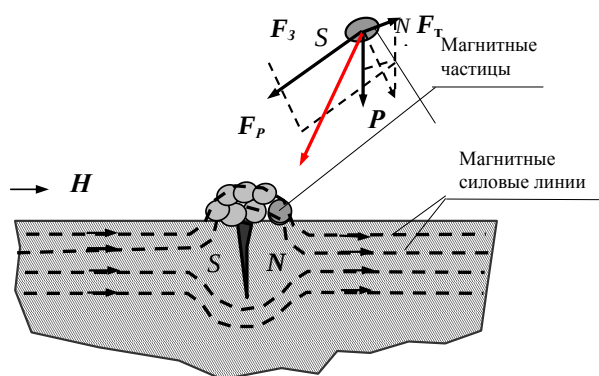
Пример внешнего дефекта детали, выявленного в ходе проводимого визуального контроля, в локомотиворемонтном депо Петроввальское представлен на рисунке 1.2.1.



Рисунок 1.2.1 – Внешний дефект внутреннего кольца подшипника буксового узла, выявленный при помощи визуального контроля

Магнитопорошковый метод один из распространенных методов неразрушающего контроля для деталей подвижного состава. Применение магнитопорошкового метода объясняется его высокой производительностью, наглядностью результата контроля и высокой чувствительностью для контроля наиболее ответственных деталей подвижного состава – осей колёсных пар, колец подшипников буксового узла и шестерен зубчатой передачи и т.д. [28, 44]. Следует также отметить, что магнитопорошковый метод используется для подтверждения результатов контроля деталей, проведённых другими методами: вихретоковым, феррозондовым или ультразвуковым.

Принципиальная возможность обнаружения дефектов магнитными методами объясняется тем, что при намагничивании детали из ферромагнитных материалов на их поверхности в области дефекта возникает неоднородное магнитное поле рассеивания дефекта. Далее это поле обнаруживают при помощи магнитного индикатора – порошка или суспензии, частицы которых притягиваются полем рассеяния (рисунок 1.2.2).



*S-магнитная частица; P- сила тяжести; F_t - сила трения; F_z - затягивающая сила;
 F_p - результирующая сила*

Рисунок 1.2.2 – Силы, действующие на магнитную частицу в поле рассеяния дефекта и скопление магнитных частиц на поверхности детали в области дефекта

Метод позволяет контролировать детали практически любых форм и размеров и выявляет поверхностные и подповерхностные дефекты типа

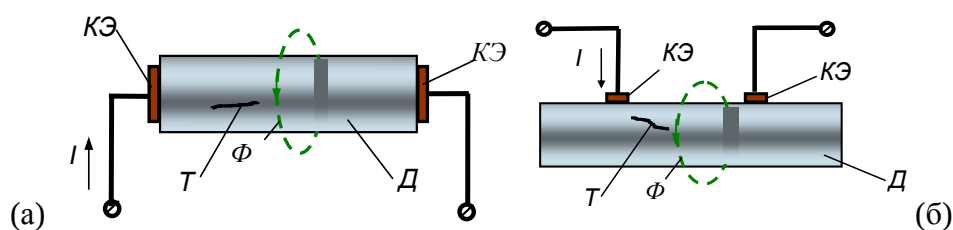
несплошности металла (раковины), трещины различного происхождения (поперечные, продольные), волосовины, расслоения, закаты с шириной раскрытия порядка 0,001мм и глубиной 0,01мм.

Детали, подлежащие контролю, имеют различные химические составы и подвергаются определённой термической обработке, вследствие чего имеют различные магнитные свойства. Поэтому для каждой детали должна быть установлена технология контроля, обеспечивающая достаточную для выявления дефектов намагниченность этой детали. Способ и режим намагничивания выбирают с учетом геометрической формы детали и местоположения подлежащих выявлению дефектов.

При магнитопорошковом контроле деталей применяют следующие виды намагничивания: циркулярное, полюсное и комбинированное [28, 44]. Способ намагничивания выбирают в зависимости от геометрической формы и размеров контролируемой детали, а также от направления подлежащих выявлению дефектов.

Циркулярное намагничивание осуществляют одним из следующих способов: пропусканием тока по всей детали или ее части; пропусканием тока по центральному проводнику, пропущенному в сквозное отверстие или полость в детали, а также пропусканием тока по проводнику, намотанному на деталь тороидальной формы.

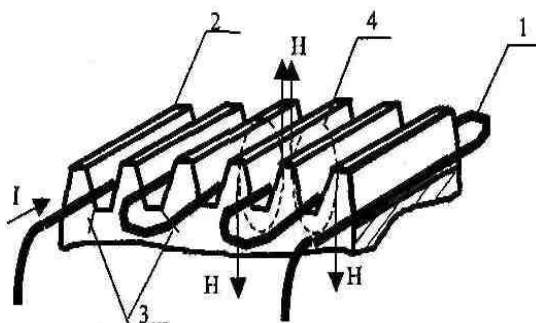
Циркулярное намагничивание при пропускании тока по детали или ее части представлено на рисунке 1.2.3.



Д – деталь; Т – трещина (дефект); КЭ – контактные электроды.

Рисунок 1.2.3 – Намагничивание пропусканием электрического тока по контролируемой детали (а) или ее части (б)

Например, намагничивание венцов зубчатых колес и шестерен осуществляют пропусканием импульсного тока по гибкому кабелю, проложенному в межзубных впадинах [62], (рисунок 1.2.4).



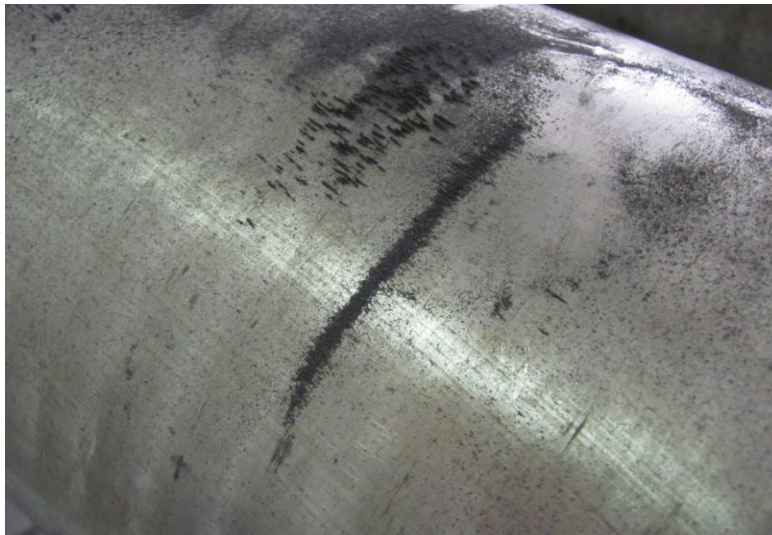
*1 – кабель; 2 – деталь; 3 – трещины; 4 – силовые линии магнитного поля;
H – вектор напряженности магнитного поля; I – намагничивающий ток*

Рисунок 1.2.4 – Намагничивание венцов зубчатых колес и шестерен с помощью гибкого кабеля

Над поверхностными усталостными трещинами образуется индикаторный рисунок в виде четкого тонкого плотного валика магнитного порошка по всей их длине. Над закалочными трещинами образуется четкий разветвленный прерывистый индикаторный рисунок, над шлифовочными трещинами образуется четкий индикаторный рисунок в виде сетки. Примеры дефектов, выявленных в ходе проводимого МПК в локомотиворемонтном депо Петроввальское представлены на рисунке 1.2.5 и рисунке 1.2.6.



Рисунок 1.2.5 – Усталостная трещина на венце зуба шестерни тягового редуктора



**Рисунок 1.2.6 – Валик магнитного индикатора над трещиной в средней части
оси колесной пары**

Поверхностные несплошности в металле характеризуются шириной раскрытия, глубиной и длиной. При магнитопорошковом контроле достаточно четкий индикаторный рисунок образуется над невидимыми визуально несплошностями металла, глубина которых превышает их ширину раскрытия в 10 и более раз в зависимости от характера этих несплошностей. Визуально можно обнаружить длину индикаторного рисунка порядка 2,5 мкм.

Подповерхностные несплошности выявляются, если они расположены не на большой глубине. Максимальную глубину невозможно указать, т.к. она зависит от размера дефекта и его ориентации. Для обнаружения подповерхностных дефектов детали намагничивают постоянным током.

При производстве неразрушающего контроля на детали возможно образование ложного скопления магнитного порошка, которое может образоваться:

- в местах резкого изменения площади поперечного сечения детали при намагничивании постоянным магнитным полем;
- по рискам с острыми краями (магнитные частицы могут попадать в риски, но валик при этом не образуется);

- в местах резкого изменения магнитной проницаемости металла (изменения структуры металла; на границе участков, подвергавшихся механической обработке, например, накатке);

- в местах касания друг с другом двух предварительно намагниченных деталей или касания намагниченной детали каким-либо острым предметом, например, отверткой.

По характеру индикаторных рисунков определяют число и длину выявленных дефектов. При этом длину протяженного дефекта принимают равной длине валика магнитного порошка. Группу из нескольких дефектов, расстояние между которыми меньше длины самого протяженного из них, принимают за один дефект. Каждый выявленный дефект отмечают краской, мелом или цветным карандашом. Оценку результатов контроля проводят с учетом требований документов по техническому обслуживанию и ремонту подвижного состава и составных частей.

Магнитопорошковый контроль деталей проводят способом остаточной намагниченности (СОН) или способом приложенного поля (СПП) [28].

При контроле СОН деталь сначала намагничивают, затем, после прекращения намагничивания, на контролируемую поверхность наносят магнитный индикатор и осматривают ее. При контроле СОН детали намагничивают до технического магнитного насыщения. Напряженность технического магнитного насыщения для конкретного марок материала определяют по справочникам.

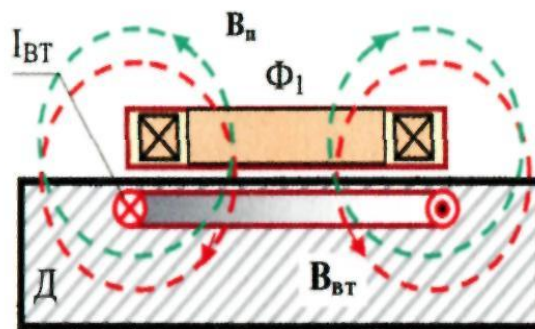
При контроле СПП магнитный индикатор наносят на контролируемую поверхность в период намагничивания детали. При этом индикаторные рисунки дефектов образуются в процессе намагничивания. Намагничивание прекращают после стекания магнитной суспензии с контролируемой поверхности. Осмотр контролируемой поверхности проводят при намагничивании и после прекращения намагничивания. МПК детали проводят в соответствии разработанных технологических карт на предприятии (Приложение А).

Наиболее распространенные виды дефектоскопов для магнитопорошкового контроля, применяемые в локомотивном хозяйстве: МД–12ПШ, МД–12ПЭ, МД–12ПС, УМДЗ, УНМ–300/2000, УНИ–2000/4000.

Вихретоковый метод основан на анализе взаимодействия внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых возбуждающей катушкой в электропроводящем объекте контроля [28].

В качестве источника электромагнитного поля чаще всего используется индуктивная катушка с синусоидальным током, называемая вихретоковым преобразователем (ВТП).

Под катушкой в металле по закону электромагнитной индукции возбуждается вихревой ток $I_{ВТ}$, рисунок 1.2.7, который создает свое магнитное поле индукции $B_{ВТ}$, взаимодействующее с полем катушки вихретокового преобразователя $B_{П}$, при этом изменяется магнитный поток внутри катушки. Значение магнитного потока Φ_I зависит от магнитной проницаемости и электропроводности металла, а следовательно, несет информацию о наличии или отсутствии дефекта в объекте контроля под преобразователем.



$I_{ВТ}$ – вихревой ток; $B_{ВТ}$ – магнитное поле индукции; $B_{П}$ – магнитное поле катушки преобразователя; Φ_I – магнитный поток; Д – деталь

Рисунок 1.2.7 – Катушка ВТП с переменным током

Перед проведением контроля проводят проверку работоспособности и настройку дефектоскопа с помощью соответствующего стандартного образца предприятия. Для выявления дефектов вихретоковый преобразователь перемещают по поверхности контролируемой детали, в зоне контроля, по заданным траекториям с определённой скоростью и шагом сканирования. При срабатывании светового и звукового индикаторов в какой-либо точке необходимо провести не менее двух раз сканирование зоны вокруг этой точки с уменьшенным шагом сканирования.

При этом причиной ложного срабатывания индикаторов могут быть:

- превышение допустимого рабочего зазора между контролируемой поверхностью детали и ВТП;
- шероховатости поверхности;
- отклонения преобразователя от нормали к контролируемой поверхности;
- отрыв ВТП от контролируемой поверхности;
- приближение к краю детали.

Оценку результатов контроля проводят с учетом требований к деталям, приведенных в нормативных и технологических документах по техническому обслуживанию и ремонту локомотивов, мотор-вагонного подвижного состава и их составных частей [63].

Технология контроля колёсного центра, колёсной пары электровоза ВЛ80С, с применением вихретокового контроля, заключается в продольном сканировании зоны контроля, спиц и переход от спиц к ободу колёсного центра вдоль линии разъема литейной формы в пределах не менее 100 мм [62]. Примеры контроля на рисунке 1.2.8 и рисунке 1.2.9.

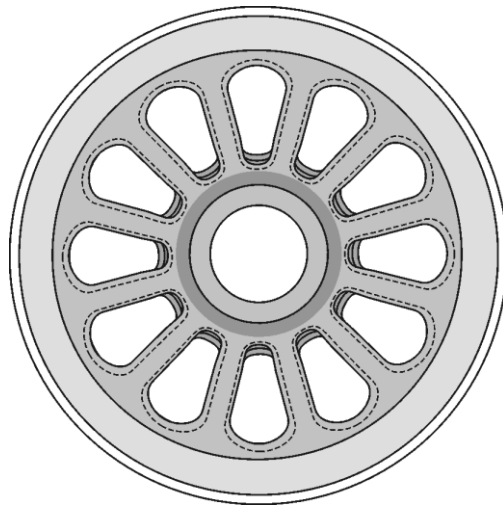


Рисунок 1.2.8 – Зона контроля, контроль кромок окон колесного центра

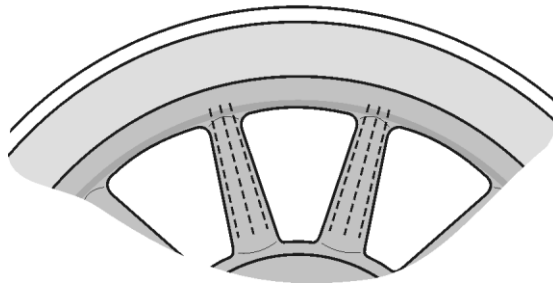


Рисунок 1.2.9 – Зона контроля, переход от спиц к ободу колесного центра

Контроль бандажа колёсной пары электровоза ВЛ80С проводят также по заданным зонам контроля, это кромки внутренней и наружной боковых поверхностей в зоне посадки (рисунок 1.2.10), вершина и рабочая поверхность гребня бандажа (рисунок 1.2.11).

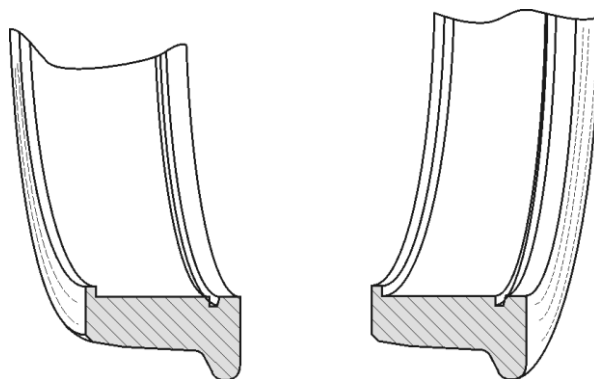


Рисунок 1.2.10 – Зона контроля, кромки внутренней и наружной боковых поверхностей в зоне посадки бандажа

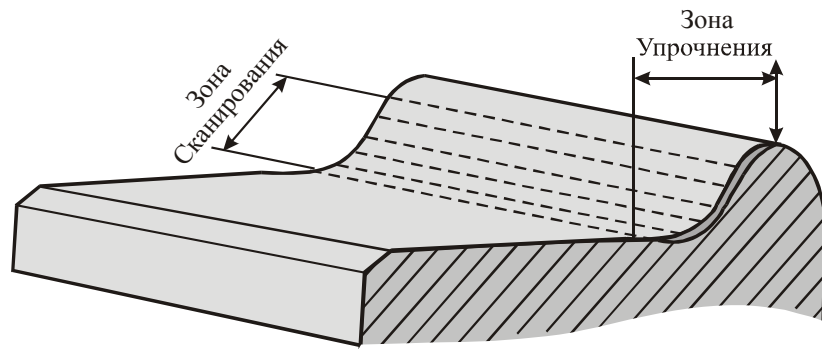


Рисунок 1.2.11 – Зона контроля, вершина и рабочая поверхность гребня бандажа

Операции контроля при ВТК детали проводят в соответствии разработанных технологических карт на предприятии (Приложение Б).

Пример дефекта, выявленного в ходе проводимого ВТК в локомотиворемонтном депо, представлен на рисунке 1.2.12.



Рисунок 1.2.12 – Трещина на поршневой вставке дизеля 10Д100

На сети железных дорог нашли широкое применение портативные дефектоскопы ВД-12НФМ, ВД-12НФП, ВД-15НФМ и ВД-70, а также автоматизированные установки ВД-13НФ, ВД-19НФ, ВД-20НФ. Все они имеют один принцип действия и устройство преобразователя. Отличаются они рабочей частотой и схемным решением.

Акустический метод основан на излучении и последующем анализе параметров высокочастотных упругих механических колебаний (ультразвуковых волн), прошедших через контролируемое изделие. [28, 78] Этот метод также называют ультразвуковым контролем (УЗК).

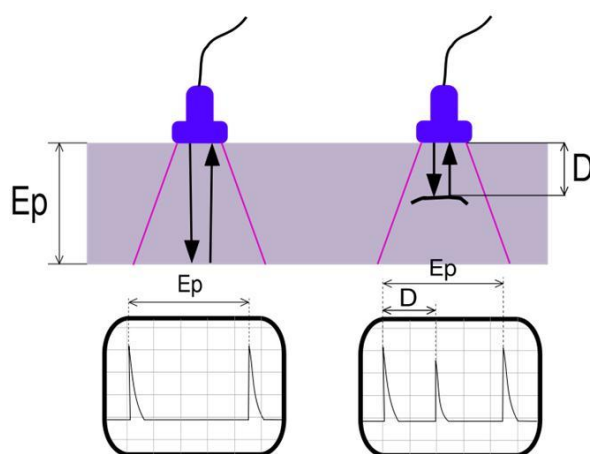
Многообразие задач, возникающих при необходимости проведения неразрушающего контроля различных изделий тягового подвижного состава, привело к разработке и использованию ряда различных акустических методов контроля. Наиболее широкое распространение в практике ультразвуковой дефектоскопии нашли импульсные методы, которые подразделяются:

- импульсный эхо–метод, основанный на послышке коротких ультразвуковых импульсов и отражении их от поверхности дефекта;
- теневой метод, связанный с появлением области «звуковой тени» за дефектом, поперечные размеры которого превышают длину упругой волны;
- резонансный метод, в основе реализации которого положено явление возникновения в исследуемом материале стоячих продольных или сдвиговых волн;
- импедансный метод, основанный на установлении зависимости силы реакции изделия на контактирующий с ним колеблющийся стержень (преобразователь);
- метод акустической эмиссии, основанный на регистрации упругих волн ультразвукового диапазона, скачкообразно появляющихся при перестройке структуры материала, возникновении трещин, аллотропических превращении в кристаллической решетке;
- электромагнитно–акустический метод, основанный на возбуждении ультразвуковых колебаний в результате взаимодействия переменного и постоянного магнитных полей с металлом или ферромагнетиком.

В настоящее время при изготовлении и производстве ремонта тягового подвижного состава наибольшее внедрение в дефектоскопах получил импульсный эхо – метод, который основан на явлении отражения ультразвуковых волн от поверхности дефекта и регистрации отраженных сигналов.

С этой целью в деталь с помощью пьезоэлектрического преобразователя распространяется последовательность коротких ультразвуковых импульсов, которые называют «зондирующими». Признаком обнаружения дефекта является наличие эхо-сигнала, отраженного от несплошности. Отраженные ультразвуковые импульсы несут информацию о наличии, какого – то отражателя, его удаленности от излучателя и о его размерах. Размеры и местоположение дефекта оценивают по амплитуде и времени задержки (положению на экране) отраженного эхо – сигнала [28]. Схема прозвучивания и типовые дефектограммы при контроле эхо – методом представлены на рисунке 1.2.13.

Глубину залегания и расстояние до дефекта при контроле импульсным эхо-методом может быть определено с высокой точностью, так как предварительно известны тип ультразвуковой волны и скорость её распространения в материале



E_p –толщина детали, D –расстояние от излучателя до дефекта.

Рисунок 1.2.13 – Импульсный эхо–метод ультразвуковой дефектоскопии

Ультразвуковой метод применяют для контроля элементов колесной пары: оси, ступицы, бандажа, большого зубчатого колеса так и других деталей ТПС при ремонте, в том числе сварных конструкций [76, 116].

Пример обнаруженного дефекта с использованием ультразвукового метода представлен на рисунке 1.2.14.



Рисунок 1.2.14 – Внутренний дефект в чистовой оси, выявленный ультразвуковым методом

Основные виды дефектоскопов для ультразвукового контроля применяемые в локомотиворемонтных депо: УД2–102 «ПЕЛЕНГ», УД4–Т, УД2–70.

Выполнение технологии контроля, по всем методам, производится в соответствии технологической карты, которая составляется специалистами предприятия на основе стандартов ОАО «РЖД» [103, 104] и типовых нормативных документов по НК. [64, 65]

Технологическая карта для ультразвукового контроля содержит сведения:

- наименование детали;
- условное обозначение нормативных и технологических документов, на основе которых она разработана;
- марку стали и шероховатость поверхности детали. Эскиз детали с указанием зон контроля и траекторий сканирования;
- типы и характеристики дефектов, подлежащих выявлению;
- применяемый дефектоскоп, стандартный образец предприятия (СОП) и вспомогательные средства контроля;
- операции контроля и последовательность их проведения;
- технологическую оснастку рабочего места, необходимую для проведения контроля (способ установки, закрепления и вращения детали);
- критерии оценки результатов контроля в соответствии с требованиями нормативных и технологических документов по техническому обслуживанию и

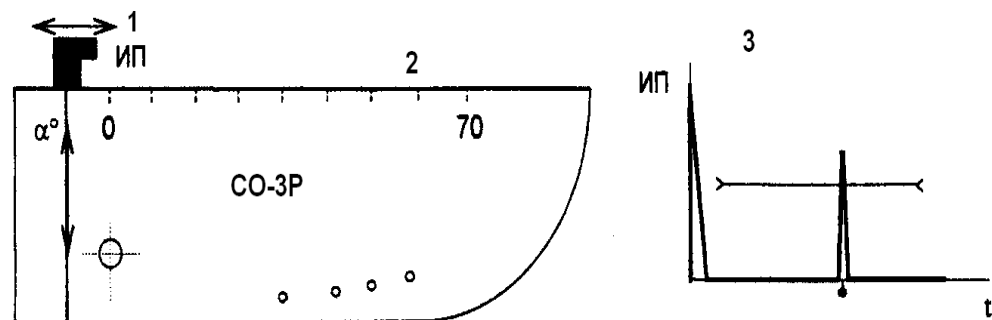
ремонту локомотивов и мотор-вагонного подвижного состава и их составных частей или ссылку на эти документы;

– подписи лиц, разработавших и утвердивших технологическую карту.

Пример технологической карты ультразвукового контроля осей колесных пар, представлен в ПРИЛОЖЕНИИ В.

Каждая деталь, подвергаемая неразрушающему контролю, имеет «зону контроля» и применяемый дефектоскоп настраивается на эту зону с помощью стандартного образца предприятия (СОП) или настроечного образца [104].

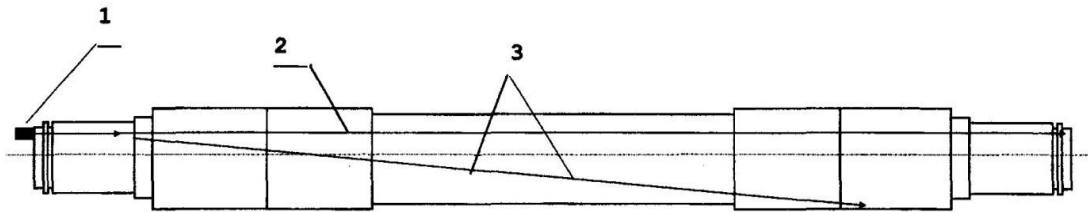
Для проверки работоспособности дефектоскопа и настройки порога чувствительности (браковочный уровень) используют стандартный образец предприятия типа СО-3Р рисунок 1.2.15.



1– пьезоэлектрический преобразователь; 2– стандартный образец СО-3Р;
3– типовая дефектограмма настройки.

Рисунок 1.2.15 – Стандартный образец предприятия СО-3Р

При современной разработке и изготовлении ультразвуковых дефектоскопов, в частности УД2-102 «ПЕЛЕНГ», позволяет достоверно определить координаты залегания и условные размеры дефекта. Технология контроля заключается в подготовке дефектоскопа, настройке на определенную зону контроля оси, установке преобразователя на поверхность контролируемого участка и его перемещения по заданной траектории рисунок 1.2.16.

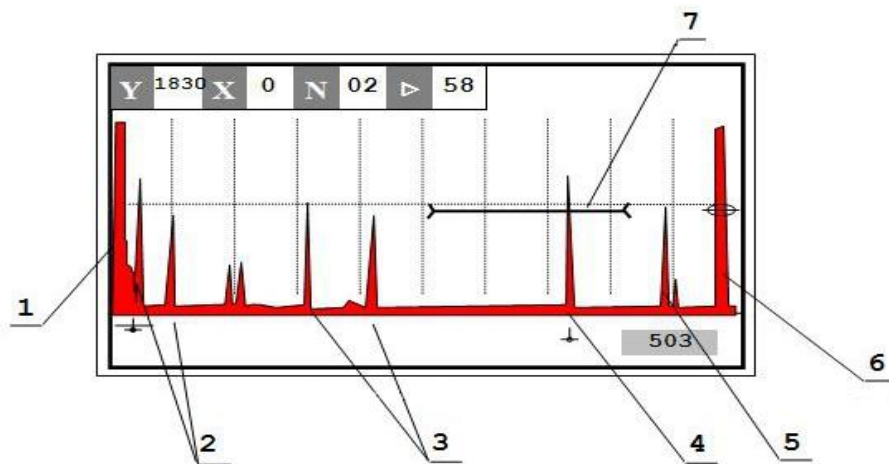


1– прямой преобразователь; 2– ось ультразвукового луча; 3– «боковые» лучи

Рисунок 1.2.16 – Акустическая схема контроля дальней подступичной части оси колесной пары электровоза ВЛ80С и оценка оси на «прозвучиваемость»

При наличии дефекта на пути распространения ультразвуковой волны, часть её отражается от дефекта и попадает на преобразователь, вследствие чего на экране дефектоскопа отображается сигнал в виде амплитуды 4 в зоне контроля 7 (рисунк 1.2.17).

По результатам контроля деталь бракуется и помещается в изолятор брака с целью недопущения установки её на ремонтируемый подвижной состав.



1– передний фронт зондирующего импульса; 2– сигналы от кромок колец подшипников на шейке оси; 3– помехи от кромок колесного центра и внутренней галтели подступичной части оси (с учетом трансформации луча продольной волны в поперечную); 4– сигнал от трещины в зоне под внутренней кромкой ступицы дальнего колеса; 5– сигнал от галтели шейки оси; 6– «донный» сигнал; 7– зона контроля

Рисунок 1.2.17 – Сигналы на экране ультразвукового дефектоскопа УД2-102.

Все применяемые в технологических процессах, приборы неразрушающего контроля, то есть средства измерений, подлежат прохождению метрологического обслуживания, что в свою очередь даёт возможность получить однозначно достоверные результаты при дефектоскопии деталей тягового подвижного состава.

В основном межповерочный интервал данных средств измерения составляет 12 месяцев, и поверяются в Дорожных центрах метрологии.

Каждый прибор НК ежегодно строго учитывается в графике поверки (калибровки) на бумажном носителе, а также проводилась запись в соответствующих журналах о проведённом метрологическом обслуживании. С целью оптимизации времени специалиста по метрологии и поверителей на контроль за периодичностью поверки приборов НК автор разработал программу «Автоматизированная система контроля выполнения графика калибровки средств неразрушающего контроля и диагностики» (ПРИЛОЖЕНИЕ Г).

В рамках проводимых исследований с помощью перечисленных видов и методов неразрушающего контроля были собраны данные о проконтролированных деталях, за определённый период времени (наработки) при производстве ремонта локомотивов серии ВЛ80С в локомотиворемонтном депо Петроввальское. Ряд деталей были забракованы.

1.3 Обзор научных работ в области совершенствования систем анализа надежности, технического обслуживания и ремонта тягового подвижного состава

Во все времена оценке и контролю надежности продукции, как важнейшей характеристике производственного процесса, уделялось и уделяется большое внимание.

Надежность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования [41]. Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств.

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Ремонтпригодность – свойство объекта, заключающееся в приспособленности к восстановлению и поддержанию работоспособного состояния изделия путем технического обслуживания и ремонта.

Деятельность компании ОАО «РЖД» в настоящее время направлено на повышение скоростей движения, увеличение весовых норм поездов и повышением требований к безопасности движения. В связи с этим значительно возросло значение эксплуатационной надежности локомотивов. Надежность локомотивов в эксплуатации в основном обеспечивается своевременными и качественными техническими обслуживаниями, и ремонтами, что во многом зависит от уровня технологической готовности локомотиворемонтного производства.

На тяговом подвижном составе происходит все более широкое внедрение различных систем автоматического управления, регулирования и контроля, на которые возлагаются ответственные задачи. Повреждение или отказ в работе элементов такой системы может привести к остановке в пути следования, а в ряде случаев к разрушению подвижного состава, срыву графика движения и к внеплановому простоя локомотива в ремонте, что напрямую связано с большими экономическими потерями.

Изучению надежности при разработке и эксплуатации тягового подвижного состава, железных дорог РФ, способов его технического обслуживания и ремонта проводились многими научными группами. Значительный вклад в решение этих проблем внесли научные труды: М.М. Агапова [1], А.Ю. Балакина [10], В.П. Бугаева [16], А.А. Воробьева [19], А.В. Горского [30], И.В. Дмитриенко [47], И.П. Исаева [67], А.Г. Кузнецова [80], В.С. Наговицына [86], А.К. Омарбекова [90], А.Т. Осяева [91], Р.А. Постникова [93], В.Т. Стрельникова [105], А.В. Скребкова [106], П.А. Устича [110], Н.Г. Шабалина [117]. В данных работах представлены методики расчета рациональных сроков ремонта оборудования и решены вопросы совершенствования организации процесса восстановления деталей и узлов подвижного состава.

В работе Горского А.В. и Воробьева А. А. «Надежность электроподвижного состава» [31] освещены основные положения теории и факторы, влияющие на надежность электроподвижного состава, рассмотрены показатели надежности подвижного состава и методы их расчета, а также указаны главные направления её повышения.

С увеличением систем контроля и роста сложности применяемого оборудования технических устройств на ремонтируемом, модернизируемом ТПС и интенсивность их использования весьма часто опережают рост качества применяемых составных элементов. Безусловно, это требует принятия соответствующих мер по повышению надежности изделия в целом, а также влечет необходимость построения новой системы технического обслуживания и

ремонта, которая позволит снизить до минимума количество внезапных отказов в пути и расходы на неплановые ремонты [32].

Создаваемые в настоящее время условия позволяют разработать инженерные методы расчета надежности технических устройств так, чтобы при проектировании заложить, а в изготовлении выдержать экономически оптимальные показатели надежности. Для локомотиворемонтных депо необходимо выполнять задачу по поддержанию требуемого уровня надежности при оптимальной системе обслуживания и ремонта этих изделий. Для решения этих задач требуется достоверная информация, а для этого необходимо вести тщательный учет всех без исключения отказов и неисправностей оборудования, всех плановых и неплановых ремонтов локомотивов.

Анализ большого количества необходимых данных, накопленных, заводами-изготовителями, заводами и предприятиями, производящими ремонт подвижного состава железных дорог, не используется в полном объеме. Например, во всех локомотивных депо ведутся учётно-отчетные формы, в которые должны заноситься сведения о плановых и неплановых ремонтах локомотивов, межремонтных пробегах, заменах оборудования, результатах диагностирования и неразрушающего контроля и т.д.

Из вышеизложенного, данный анализ технического состояния электровозов носит, в основном, качественный характер. Извлечь более полную информацию из имеющихся данных об отказах оборудования ТПС позволяет обработка этих данных вероятностно – статистическими методами.

Основы статистических методов, выдвинутых проф. М.В. Остроградским, были развиты представителями русской школы П.Л. Чебышевым, А.М. Ляпуновым, А.А. Марковым и другими, а также зарубежными учеными Ф. Гальтоном, К. Пирсоном, Р. Фишером и другими. Во второй половине XX века А.Н. Колмогоров, А.Я. Хинчин, А.И. Берг, их ученики и последователи, развивая основы русской школы, создали научные методы контроля за качеством продукции и ее надежностью, нашедшие широкое применение в ряде отраслей

промышленности и техники. Выдающийся вклад в развитие этих методов внесли зарубежные ученые Н. Винер, К. Шеннон, Д. Нейман и другие.

Сейчас теории вероятностей надежности, исследования операций и моделирования процессов представляют собой основной математический аппарат исследования многих современных технических задач. Требования практики привели к созданию и применению новых разделов прикладной математики, в том числе, теории оптимального управления, теории информации, теории конечных автоматов, математической теории планирования эксперимента, методов статистического моделирования производственных процессов и т.п. Все это изменило облик самой математики, расширило ее практические возможности и применение [31].

Из имеющегося разнообразия методов диагностирования, можно выделить разрушающие и неразрушающие методы. Методы неразрушающего контроля нашли наиболее широкое применение вследствие своей высокой технологичности, точности для определения поверхностных и внутренних скрытых дефектов в материале. Данное преимущество и послужило распространению методов НК во всех предприятиях железнодорожного транспорта как основа обеспечения безопасности перевозки пассажиров и сохранности груза.

Выполняемый неразрушающий контроль предоставляет возможность:

- выявить детали имеющие дефекты при производстве, ремонте и предотвратить их установку на эксплуатируемый подвижной состав;
- обнаружить дефектные изделия при плановых видах ремонта и непосредственно предотвратить отказ подвижного состава в условиях эксплуатации тем самым сократить финансовые расходы на внеплановый ремонт.

Анализ состояния узлов и деталей, продукции железнодорожной отрасли – важнейшая проблема в современных условиях эксплуатации и ремонта ТПС, так как их надежность напрямую связана с безопасностью пассажирских перевозок и сохранностью материальных грузов. В связи с тем, что на железнодорожный

транспорт приходится основная доля перевозимых грузов и пассажиров, качество изготовления ТПС должно находиться на высоком уровне.

Повышение надежности изделия в целом, влечет необходимость построения новой системы технического обслуживания и ремонта, которая позволит снизить до минимума количество внезапных отказов в пути следования и расходы на неплановые ремонты.

1.4 Выводы по разделу 1

1. Проведенный в разделе анализ методов применяемых диагностических устройств и диагностических параметров, которые необходимы при проведении контроля и последующей оценке технического состояния деталей тягового подвижного состава представляет собой системный подход, направленный на выявление основных технических параметров изделия. Наряду с рассмотренным инструментальным методом контроля более подробно описаны методы неразрушающего контроля.

2. Проводимый неразрушающий контроль деталей позволяет:

- выявить дефектные изделия на стадии производства и не допустить их ввода в эксплуатацию;
- выявить дефектные изделия на плановых ремонтах и тем самым избежать постановки ТПС на внеплановые ремонты по причине отказа деталей и соответственно сократить расходы на эксплуатацию.

3. Неразрушающий контроль позволяет выявить дефектные изделия, но в современном, экономически эффективном производстве важно не только выявить бракованное изделие, но и определить причины возникновения брака и предупредить появление дефектной продукции в дальнейшем.

4. Проведён анализ научных трудов по совершенствованию систем оценки надёжности технического обслуживания и ремонта подвижного состава.

2 АНАЛИЗ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ИНФОРМАТИЗАЦИИ О ТЕХНИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В ПРОЦЕССЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

2.1 Методика сбора и учёта информации о техническом состоянии тягового подвижного состава

Управление процессом производства, в настоящее время, невозможно без анализа большого объема информации, при этом необходимо в полной мере использовать объективную, своевременную, полную информацию, которая собирается, обрабатывается, и распространяется с помощью технических средств и современных научных методов.

Технологии сбора и обработки информации, а также применение различных методик сбора данных незаменимы в решении ряда вопросов по надежности и техническом состоянии тягового подвижного состава.

Систематизация учета о надежности изделий, наработок до отказа определяется [95]. Сбор информации должен предусматривать проведение постоянных, периодических и (или) разовых наблюдений за изделиями и осуществляется на основании:

- данных учета, проводимого эксплуатационными и ремонтными предприятиями;
- результатов наблюдений за изделиями в эксплуатации;
- применения опросных листов (экспертных методов).

В процессе сбора информации производят обследование технического состояния изделия на месте его эксплуатации, в том числе ремонта, осматривают и, при необходимости, исследуют отказавшие составные части, изучают и анализируют данные:

- эксплуатационных и ремонтных документов по ГОСТ 2.601–95 и ГОСТ 2.602–95;
- акты расследования аварий;

- акты рекламаций.

Основные требования к обработке и анализу информации включают в себя:

- классификацию и кодирование исходных данных;
- контроль полноты, достоверности и однородности информации;
- внесение уточнений в исходные данные (при необходимости);
- копирование исходной информации (при необходимости);
- перевод содержания исходной информации на машинные носители;
- оценку показателей надежности;
- классификацию причин отказов и предельных состояний по видам, связанным с изготовлением, ремонтом и эксплуатацией, и их анализ;
- подготовку исходных данных для разработки мероприятий, направленных на выявление недостатков и повышение надежности изделий в эксплуатации.

Результаты обследования отражают в документах первичной информации о надежности:

- донесениях об отказах,
- журналах технического состояния, учета простоев оборудования, технического обслуживания и ремонта.

В системе ОАО «РЖД» разработаны и утверждены формы документов нормативно – технической документации и методики их обработки, имеют общий вид для всех железных дорог и депо. Формы – накопители предусматривают возможность кодирования данных и обработки их на электронных вычислительных машинах (ЭВМ) [4, 31, 32].

Первичные формы учета предназначены для записи несистематизированной информации и заполняются на месте эксплуатации локомотивов, т.е. в депо. Такими формами являются журналы учета: наработок, повреждений и отказов, а также технического обслуживания и ремонта локомотивов.

Формы – накопители для записи, систематизированной по необходимому признаку информации заполняются по данным первичной документации (первичным формам учета) специально выделенным и обученным персоналом. К ним относятся:

- карта – накопитель наработок, повреждений и отказов локомотивов;
- карта – накопитель сведений о техническом обслуживании и ремонте локомотивов.

Сбор информации в локомотивных депо проводят работники, несущие ответственность за обеспечение исправного состояния локомотивов. В процессе эксплуатации исправную работу локомотива оценивает локомотивная бригада, которая обязана делать запись о результатах проведенной поездки в журнале технического состояния локомотива (форма ТУ–152). При внесении записи в журнал о неисправности локомотива не указываются причины и последствия отказов. Более подробные сведения об отказах, их последствиях и о способах восстановления заносят в настольный журнал (часть 1, форма ТУ–1). Если отказ произошел в пути следования и привел к порче локомотива, то в соответствии с «Инструкцией о порядке расследования порч» в депо составляется технический акт (форма ТЭУ–21).

Неисправность тягового подвижного состава, может быть вызвана с повышенным износом узлов и деталей, которые могут быть выявлены в пунктах технического осмотра (ПТО), где производится экипировка локомотива и внешний осмотр важнейших элементов конструкции. При обнаружении неисправностей производится замена деталей и агрегатов. О характере и причине устраненных неисправностей мастер или бригадир пункта технического осмотра делает запись в журнал ПТО и сообщает эти сведения дежурному по депо. Информацию об отказе оборудования, которое привело к внеплановому ремонту, записывают в журнал (форма ТУ–29).

При производстве плановых видах ремонтах во всех случаях, когда определена техническая необходимость преждевременной замены или регулировки узла и детали, мастер ремонтного депо вносит запись о дополнительных проведенных ремонтах в журнале (форма ТУ–28). В журнале ремонта так же отражается информация о пробеге локомотива на данный момент со времени ранее выполненного ремонта.

Все контролируемые параметры ремонтируемых изделий локомотива подвергаются замерам различными измерительными приборами и приспособлениями, а также специальными шаблонами. Результаты контрольных измерений регистрируют в книгах учета и журналах формы ТУ-28. Например, при подкатке колесно-моторных блоков производят ревизию букс и освидетельствуют колесную пару. При этом измеряют штангензубомером толщину зуба зубчатых колёс (рисунок 2.1.1) и шаблонами УТ-1 (рисунок 2.1.2) прокат, толщину гребня и бандажа, которые записывают в журнал (форма ТУ-17), являющийся основным документом для регистрации контрольных замеров бандажей колесных пар, а также в «Книгу пробегов и регистрации ремонтов локомотивов» (форма ТУ-27) и электронный паспорт локомотива.

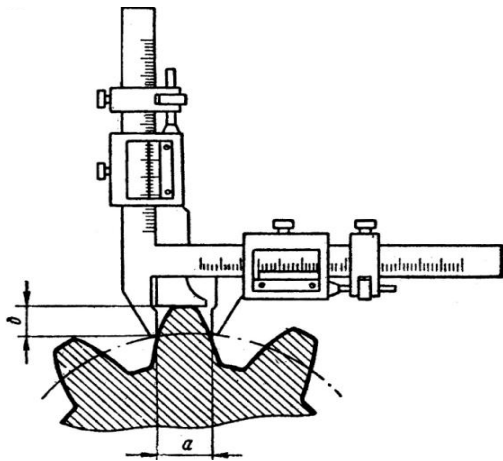


Рисунок 2.1.1 - Штангензубомер

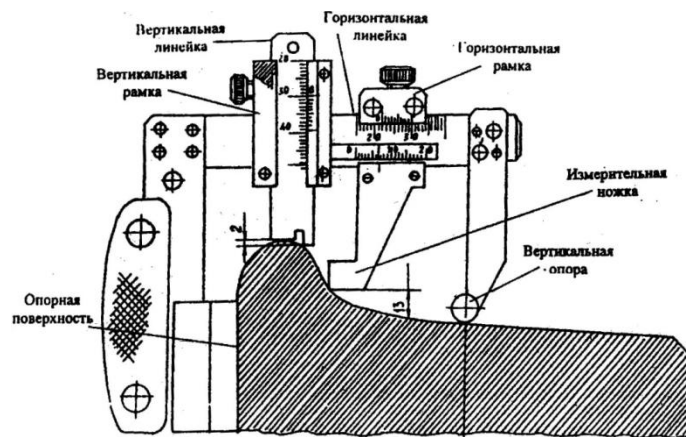


Рисунок 2.1.2 - шаблон УТ-1

В техническом отделе депо ведется общий журнал учета повреждений по данным эксплуатации локомотивного парка в течение месяца. На основании этого журнала один раз в квартал составляется отчет «Ведомости неплановых ремонтов» (форма ТО-15), где отражается работа оборудования локомотивов, а также фиксируются неисправности по системам или группам агрегатов в целом. Формой ТО-15 не предусматривается группировка сведений об отказах оборудования локомотивов отдельных серий. С целью получения анализа инструментальных замеров данные формы учёта крайне увеличивают время обработки. Для совершенствования системы ремонта и обслуживания

локомотивов, тщательного анализа всех выявленных при эксплуатации и ремонте отказов, используется автоматизированная система "Электронный паспорт локомотива" (АС ЭП) и внедрение её в локомотивных депо началась ещё в середине 2000-х. годов.

Ввод в эксплуатацию электронного паспорта, взамен паспортов и журналов на бумажных носителях – основное направление по приведению в строгую систему учета и контроля запасов и технического состояния как парка ТПС, так и их основного оборудования.

Электронный паспорт представляет собой единое место хранения всей информации о локомотивах, их узлах и агрегатах, в том числе, о результатах испытаний, диагностики, дефектоскопии, отказах и ремонтах оборудования для всех предприятий, осуществляющих изготовление, ремонт и эксплуатацию локомотивов. Схема взаимодействия АС ЭП с другими информационными системами ОАО «РЖД» приведена на рисунке 2.1.3

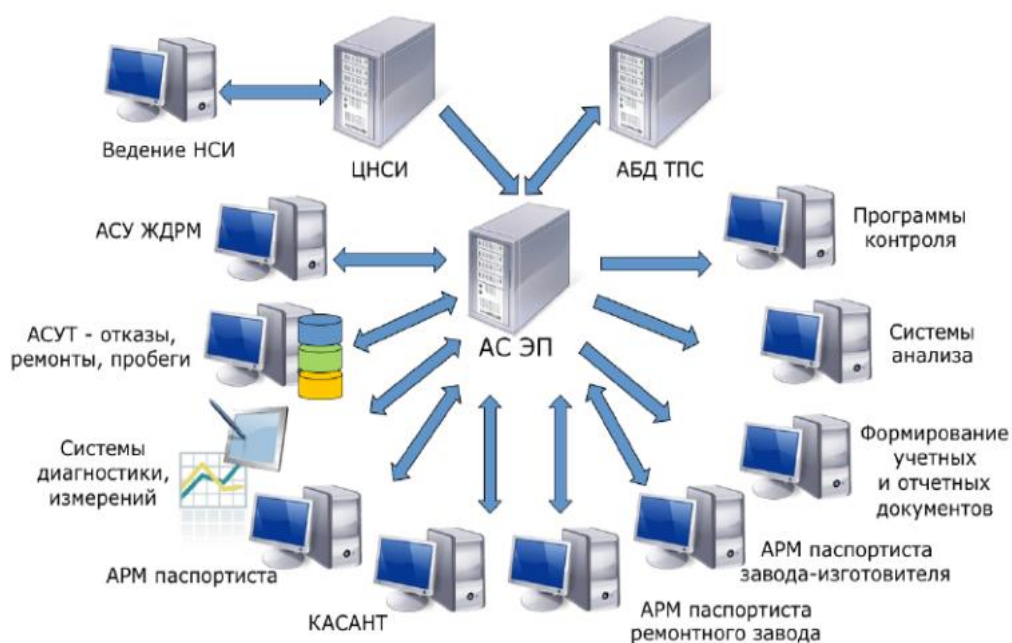


Рисунок 2.1.3 – Схема взаимодействия АС ЭП с информационными системами ОАО «РЖД»

Возможности и перспективы развития «Электронного паспорта локомотива»:

- отслеживание стоимости жизненного цикла локомотива и его оборудования с учетом стоимости ремонтов в депо и на заводах;
- проведение оперативного анализа и получение справок о работе и техническом состоянии локомотивов и их узлов;
- определение фактических показателей надежности локомотивов и их узлов;
- планирование «тяжелых» видов ремонтов локомотивов и локомотивного оборудования;
- определение оптимального размера ремонтного фонда и контроль его состояния;
- определение узлов, лимитирующих межремонтные пробеги и ремонтный цикл локомотива;
- исключение человеческого фактора при контроле соблюдения технологии ремонта через анализ информации о результатах испытаний от измерительных и диагностических стендов;
- паспортизация приборов безопасности;
- автоматический расчет пробегов и сроков эксплуатации локомотивов и установленного на них оборудования;
- автоматический сбор статистической отчетности по работе локомотивов и локомотивного оборудования;
- быстрый поиск «аварийного» оборудования или оборудования, требующего особого контроля (колесные пары, бандажи и т.д.);
- формирование возрастной структуры локомотивов и локомотивного оборудования.

Интерфейс электронного паспорта локомотива представлен на рисунке 2.1.4.

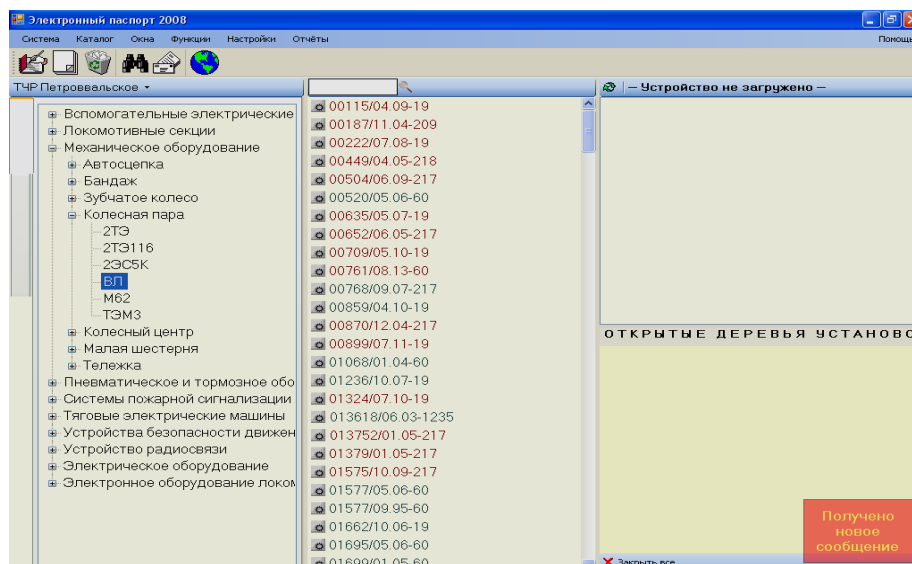


Рисунок 2.1.4 – Интерфейс электронного паспорта

Для нахождения интересующей детали, например, по номеру колесной пары № 56/07.13–19, при поиске устройств отображается информация, представленная на рисунке 2.1.5

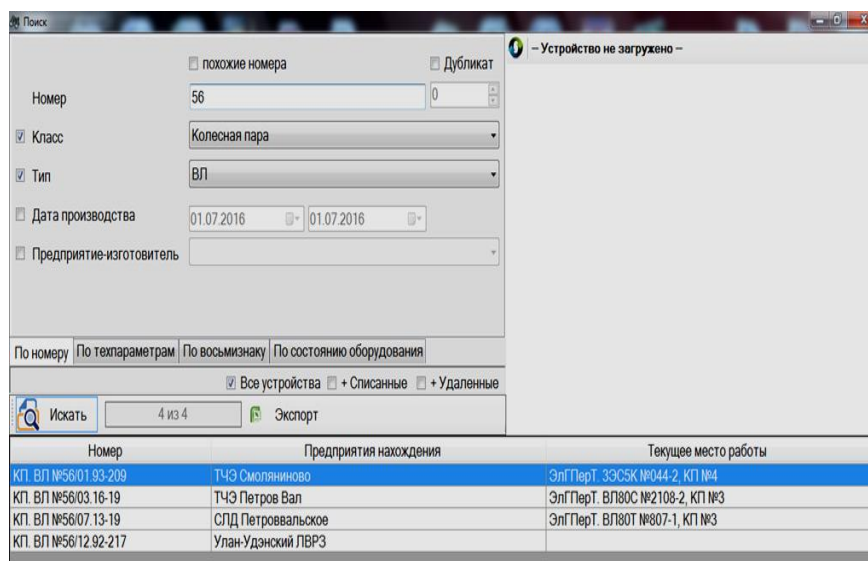


Рисунок 2.1.5 – Отображение информации о колесной паре № 56/07.13–19

В связи с тем, что по начальным цифрам номера колесной пары выводится некоторое их количество, то есть «задваивание», поочерёдно находим, в какой период времени проходила ремонт колесная пара № 56/07.13–19 в депо

Петроввальское. В результате поиска находим технический паспорт, по данной колесной паре, представленный на рисунке 2.1.6

**КОЛЕСНАЯ ПАРА
ТЕХНИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ**

Тип: ВЛ

Заводской №: 56

Предприятие-изготовитель: Ростовский ЭРЗ

Дата изготовления (постройки): 30.03.2016

Дата приемочного акта: _____

№ приемочного акта: _____

Дата снятия с инвентаря: _____

Причина снятия с инвентаря: _____

Рисунок 2.1.6 – Технический паспорт на колесную пару 56/07.13–19

В техническом паспорте возможно, просмотреть и внести данные: о работе, ремонте, пробеге, конструктивных изменениях, отказах и т.д. Проведенные ремонты по выбранной колесной паре представлены на рисунке 2.1.7

РЕГИСТРАЦИЯ РЕМОНТОВ						
Тип ремонта	Место ремонта	Дата отправки в ремонт	Дата выпуска из ремонта	Пробег от предыдущего ремонта, км	Общий пробег с начала эксплуатации, км	Характеристика, описание, детали
ПО	ТЧЭ Петров Вал	03.08.2005	05.08.2005		1347591	Согласно техн.
ПО	ТЧР Петроввальское	24.07.2008	25.07.2008	268677	1616268	Согласно техн.
ПО	ТЧР Петроввальское	26.02.2010	26.02.2010	59102	1675370	по
ОО	ТЧР Петроввальское	09.03.2011	09.03.2011	102000	1777370	оо
ПО	Ростовский ЭРЗ	29.05.2012	15.06.2012	0	1777370	Произведено ПО обработкой м/ос 2го объема. Вып. УЗД. Смазка Бу

Рисунок 2.1.7 – Технический паспорт, вкладка «регистрация ремонтов»

После реформирования локомотивного хозяйства и подключения к единому информационному ресурсу заводов ОАО "Желдорреммаш" и "Трансмашхолдинг", документ стал принимать форму регламента. С 2012 года планируется

постепенное исключение бумажной документации посредством внедрения системы электронного технологического документооборота с электронной подписью. Таким образом, взаимодействие двух дирекций – тяги и по ремонту тягового подвижного состава выходит на другой уровень.

Накопление информации об однородных отказах позволяет тщательно их изучать и принимать меры по их предупреждению и устранению.

2.2 Систематизация и оценка достоверности информации о техническом состоянии тягового подвижного состава

Технические изделия имеют большое число параметров, которые изменяются в процессе их эксплуатации. В ходе оценки технического состояния (диагностирования) получают конкретные значения диагностических признаков или параметров, которые затем сравниваются с установленными требованиями и нормами. Получение информации о техническом состоянии объекта может осуществляться на основе физических, химических, биологических и других явлений. Эти явления и законы, которым они подчиняются, их последовательность и способ применения для оценки состояния объекта составляют метод диагностирования.

Сбор и обработка данной информации о надежности ТПС позволит решить следующие задачи [31, 32]:

- определение и оценка показателей надежности изделий;
- выявление конструктивных и технологических недостатков изделий, снижающих надежность;
- установление деталей и сборочных единиц, ограничивающих надежность конкретных изделий;
- определение закономерностей возникновения отказов;
- оптимизация норм расхода запасных частей, выявление недостатков эксплуатации и совершенствование системы технического обслуживания и ремонта;
- установление влияния условий и режимов эксплуатации на надежность изделий;
- корректировка нормируемых показателей надежности;
- определение эффективности мероприятий от повышения надежности локомотивов до оптимального уровня.

В соответствии с [96] к информации предъявляются также соответствующие требования:

- полученная информация должна быть достоверной. Первичную информацию необходимо получать от одних и тех же высококвалифицированных специалистов. В связи с тем, что отказ явление случайное, то внесение субъективных погрешностей, связанных с низкой квалификацией или небрежностью работников, не допускает выявить какие-либо закономерности в появлении того или иного отказа. Тогда обработка такой информации, возможно, приведет к неверным выводам о фактической надежности подвижного состава в целом или отдельных сборочных единиц и деталей. Вследствие этого для формирования первичной информации необходимо проводить комиссионный подход оценки неисправностей с составлением соответствующих документов;

- для принятия правильных выводов и решений имеющаяся информация должна быть полной. При анализе надежности локомотивов информацию собирают по отказам в межремонтный период. В связи с тем, что момент внепланового ремонта является случайным, то и замена той или иной детали или сборочной единицы на локомотиве не подкреплена какими-либо объективными причинами. В этом случае значительная часть информации в расчетах не учитывается, что вносит большие погрешности в определение показателей надежности. В конечном счёте проверяются выбранные заранее межремонтные сроки, насколько они удачно заданы, а имеющаяся информация дает возможность лишь приближенно определить показатели надежности (безотказности, сохраняемости, ремонтпригодности и некоторые другие) и не позволяет прогнозировать надежность;

- информация должна быть оперативной. В условиях интенсивных перевозок особое значение приобретает обеспечение распорядительных органов ОАО «РЖД» на различных уровнях своевременной информацией об изменениях количества отказов. При этом необходима информация, как о качественных, так и о количественных характеристиках отказов. В локомотиве работа всех сборочных единиц взаимосвязана, и поэтому несвоевременное обнаружение отказа даже какой-либо малозначительной детали может иметь тяжелые последствия и повлечет отказ всего локомотива. Это особенно серьезно для деталей и сборочных

единиц, непосредственно обеспечивающих безопасность движения поездов. Вместе с тем информация должна непрерывно и постоянно накапливаться для обоснования объемов работ, выполняемых на плановых ремонтах, а также для оптимизации всей системы ремонтно-эксплуатационного обслуживания локомотивов;

- информация должна легко обрабатываться и быть краткой и информативно емкой. Для выполнения этого требования разработана система кодирования и передачи информации с использованием современных средств передачи и обработки. Эти средства позволяют автоматизировать учет и отчетность. Формы учета данных об отказах должны быть краткими и содержать четкие и достаточные сведения, позволяющие выявить причины и последствия отказа.

Система передачи информации должна иметь обратную связь. Поскольку вычислительные центры имеются на каждой дороге, полученная от всех линейных подразделений информация должна быть обработана и результаты доведены до линейных предприятий. Это позволяет специалистам на линии оперативно принимать организационные меры, направленные на быстрее выявление и устранение причин, вызывающих те или иные отказы или неисправности. Обработанная информация в вычислительном центре дороги (ДВЦ) должна быть передана как в вышестоящие отраслевые инстанции, так и заводам–изготовителям с тем, чтобы совместными усилиями повысить надежность локомотивов.

Для решения этих задач используется существующая в настоящее время автоматизированная система управления локомотивным хозяйством (АСУТ), являющаяся частью АСУЖТ, предназначенная для автоматизации управления железнодорожным транспортом ОАО «РЖД».

Принятие решений зависит не только от количества информации, но и от ее качества. Поэтому при создании информационной базы АСУТ следует уделять внимание методам оценки качества информации. Критериями её качества являются представительность, достоверность и своевременность.

Информацию, используемую для управления в АСУТ, можно условно разделить на оперативную и статистическую. Исходные данные накапливаются и усредняются в течение времени, значительно превышающего возможные задержки при передаче и обработке этой информации. Однако, следует иметь в виду, что в процессе накопления статистических данных могут возникнуть основания для принятия оперативных решений. Так, например, по мере накопления сведений о сезонных отказах необходимо принять меры по их оперативному предупреждению. Поскольку источниками информации являются различные журналы и формы учета в локомотивном депо, то объективность информации, формирующейся на основе первичного учета, можно условно рассматривать с двух позиций. С одной стороны, обеспечение достоверности может основываться лишь на личной ответственности за порученный участок работы. С другой стороны, следует контролировать достоверность информации на основе вероятностных характеристик возникновения ошибок на этапах заготовки первичных носителей, передачи и обработки информации.

При решении задач надежности локомотивов следует обеспечить достоверность, установленную техническим заданием на АСУЖТ, а именно: не более одной необнаруженной ошибки на один миллион принятых знаков.

Порядок учета первичной информации и её обработки в локомотивных депо строго регламентирован указаниями ОАО «РЖД». Руководителям локомотивных депо запрещается составлять и предоставлять статистическую отчетность по не установленным адресам и по формам, не утвержденным нормативными документами ОАО «РЖД».

Отчетные и учетные формы депо рассчитаны на ручную технологию обработки информации, поэтому не могут рассматриваться как основа для создания компьютерной базы данных депо. Однако, наличие форм, их объема и порядок взаимодействия позволяют оценить структуру будущей базы и ожидаемый объем информации. Сложная структура взаимодействия учетных форм говорит о существенном дублировании информации, что неизбежно при ручной технологии работы. Поэтому при создании локальной информационной

сети депо следует создавать новую структуру базы данных, позволяющую формировать как существующие формы учета и отчетности, так и создавать новые [31].

С 2008 года в системе ОАО «РЖД» разработана и действует «Комплексная автоматизированная система учета, контроля устранения отказов технических средств и анализа их надежности» (КАСАНТ) [97]. В различные периоды была выполнена интеграция КАСАНТ с автоматизированными системами компании:

- система автоматизированного ведения графика движения поездов (ГИД «Урал – ВНИИЖТ»);
- автоматизированная система ведения актов комиссионных месячных осмотров станций (АС КМО);
- автоматизированная система контроля технического состояния подвижного состава (АСК ПС);
- типовая автоматизированная система выдачи и отмены предупреждений (АСУВОП–2);
- автоматизированная система управления путевым хозяйством (АСУ – П);
- комплексная автоматизированная система управления инфраструктурой хозяйства сигнализации, централизации и блокировки (АСУ – Ш – 2);
- автоматизированная система управления хозяйством электрификации и электроснабжения (АСУ – Э).

Учет отказов ведется в соответствии «Положения о порядке учета, расследования и анализа случаев отказов в работе технических средств ОАО «РЖД». Положение определяет общий для ОАО «РЖД», его филиалов и структурных подразделений состав документов и порядок документооборота при учете и расследовании случаев отказов в работе технических средств, а также состав и регламент предоставления аналитической информации (отчетных форм) об отказах технических средств.

За последние три года она позволила поэтапно перейти на единую систему учета и анализа отказов в работе технических средств. Появилась возможность внедрить комплексные методы оценки эффективности эксплуатационной

деятельности, как по отраслевым хозяйствам, так и в целом по компании, с использованием единой общесетевой базы данных учета отказов технических средств.

Особенностью, отличающей систему КАСАНТ от локальных информационных разработок, действовавших в свое время на ряде железных дорог, стала автоматическая фиксация факта отказа непосредственно на основе информации, вносимой поездным диспетчером в автоматизированный график исполненного движения поездов системы ГИД «Урал – ВНИИЖТ». Кроме того, для повышения достоверности данных в систему КАСАНТ изначально заложена возможность формирования информации об отказах технических средств из нескольких источников. Для корректности учета факта отказа, информация по которому поступила из нескольких источников, в системе реализован специализированный механизм проверки поступающих данных на предмет дублирования с возможностью последующего объединения данных пользователями.

Структура взаимодействия с автоматизированными системами представлена на рисунке 2.2.1

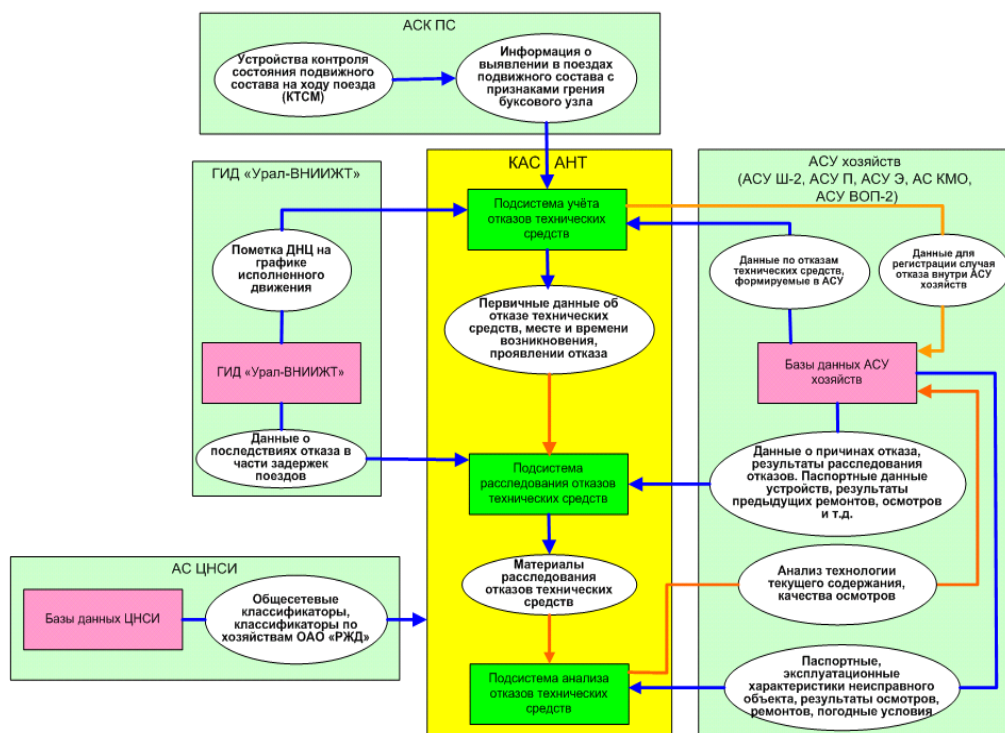


Рисунок 2.2.1–Схема информационного взаимодействия системы КАСАНТ

Наиболее эффективное использование технических возможностей таких цифровых систем возможно только при их совместном применении, интеграции аппаратного и программного обеспечения, а также функциональных особенностей в одну многофункциональную систему управления и обеспечения безопасности движения поездов.

Формирование в системе КАСАНТ достоверной и оперативной информации, на основе данных отраслевых систем, позволяет детально анализировать работу технических средств, своевременно организовать и выполнить ремонт, определяя направления их совершенствования, снижая негативные последствия отказов в работе объектов инфраструктуры и подвижного состава и на перевозочный процесс. На основе этого положена основа цифровой трансформации системы управления безопасностью движения на железнодорожном транспорте.

2.3 Оценка качества изделий и деталей подвижного состава по результатам неразрушающего контроля

Современные технологические процессы изготовления продукции для железнодорожного транспорта во многих случаях сопровождаются промежуточным контролем качества изделий. В связи с этим особое значение приобретают неразрушающие методы контроля, которые позволяют не только выявлять дефекты на поверхности или в толще конструкционной детали, но и определять их форму и размеры, а также пространственное положение. Каждый из методов обладает определенными преимуществами и это помогает с большей точностью выявлять те или иные типы дефектов.

Процессы образования и роста дефектов ставят под угрозу возможность безаварийной эксплуатации подвижного состава. Обеспечение безопасности движения за счет своевременного обнаружения заводских и эксплуатационных усталостных дефектов в ответственных элементах пути и подвижного состава приносит немалый экономический эффект и служит сохранению человеческих жизней. Решение этой задачи достигается сегодня все чаще физическими методами неразрушающего контроля.

В трактовке теории неразрушающий контроль представляет собой самостоятельную и интенсивно развивающуюся на стыке физического материаловедения и технологии отрасль науки и техники, которая находит широкое применение в различных сферах производства и особенно на транспорте. Практика показывает, что правильная организация проверки, а также умелое использование того или иного метода контроля, разумное сочетание этих методов, позволяют с большой достоверностью оценить наличие дефектов в подконтрольных изделиях.

Дирекция по ремонту тягового подвижного состава ОАО «РЖД» регулярно проводит анализ технического состояния локомотивного парка по сети железных дорог России. Основой для такого анализа становятся сведения о случаях нарушения работоспособности локомотивов, поступающие из всех

локомотиворемонтных депо холдинга. Ценность подобного исследования определяется достоверностью и полнотой первичной информации. Обработка информации об отказах дает возможность получить вполне обоснованные выводы о характере и причинах нарушения работоспособного состояния оборудования подвижного состава, а также разработать мероприятия по их предупреждению.

Одним из вариантов оценки технического состояния узлов и агрегатов локомотивов по результатам неразрушающего контроля, возможно применить анализ Парето [45].

Диаграмма Парето – инструмент анализа, позволяющий наглядно представить вклад отдельных факторов в общий результат, который устанавливает, что обычно 80 процентов последствий являются результатом всего 20 процентов причин. Диаграмма Парето помогает выявить эти 20 процентов, которые обычно называют «малой, но жизненно важной частью». Основная цель – графически показать неравномерность распределения причин проблем, возникающих в ходе производства, эксплуатации и ремонта, вычислить главную из них, например:

- исполнитель работы: смена, бригада, квалификация;
- оборудование: станки, инструменты, оснастка, организация использования;
- сырье: изготовитель, вид сырья, поставщик, партия;
- метод работы: условия производства, технологические приемы, последовательность операций;
- измерения: точность, повторяемость в течение длительного периода, тип измерительного прибора (аналоговый или цифровой).

Построение диаграммы Парето начинают с классификации возникающих проблем по отдельным факторам (не качественная настройка оборудования, не соответствие применяемого материала или низкая квалификация исполнителей и т. д.) Затем следуют сбор и анализ статистического материала по каждому фактору, чтобы выяснить, какие из них могут считаться преобладающими при решении проблем.

Ориентируясь на статистическую информацию о результатах неразрушающего контроля деталей электровозов серии ВЛ80С, проходивших в 2009 – 2011 годах в ремонтном локомотивном депо Петроввальское, представленную в таблице 2.1, выполнен анализ их технического состояния. Результаты регистрации данных с графами для итогов по каждой детали в отдельности, накопленной суммы числа дефектов, процентов к общему итогу и накопленных процентов в порядке значимости по деталям для построения диаграммы Парето приведены в таблице 2.1. На основе данных таблицы 2.2 построена диаграмма Парето рисунок 2.3.1.

Таблица 2.1 - Статистическая информация о результатах неразрушающего контроля

Наименование детали	Количество забракованных деталей				Забракованный процент, %
	2014 год.	2015 год	2016 год	Всего	
1	2	3	4	5	6
Ось	4	53	8	65	1,4
Бандаж колеса	0	107	73	180	3,9
Колесный центр	0	157	100	257	5,6
Удлиненная ступица	0	14	28	42	0,9
Зубчатое колесо	0	104	51	155	3,4
Малая шестерня	21	195	139	355	7,7
Корпус	36	24	50	110	2,4
Тяговый хомут	3	155	123	281	6,1
Клин хомута	39	80	66	185	4,0
Маятниковая подвеска	179	428	380	987	21,4
Внутренние и внешние кольца	21	65	109	195	4,2
Ролики	26	957	760	1743	37,9
Валы якорей	12	11	24	47	1,0
Всего	341	2350	1911	4602	

Таблица 2.2 - Исходные данные для построения диаграммы Парето

Наименование узла	Число дефектов	Накопленная сумма числа дефектов	Процент числа дефектов по каждому признаку к общей сумме	Накопленный процент, %
Ролики	1743	1743	38	38
Маятниковая подвеска	987	2730	21	59
Малая шестерня	355	3085	8	67
Тяговый хомут	281	3366	6	73
Колесный центр	257	3623	6	79
Внутренние и внешние кольца	195	3818	4	83
Клин хомута	185	4003	4	87
Бандаж колеса	180	4183	4	91
Зубчатое колесо	155	4338	3	94
Корпус	110	4448	2	97
Ось	65	4513	1	98
Валы якорей	47	4560	1	99
Удлиненная ступица	42	4602	1	100
ИТОГО	4602			

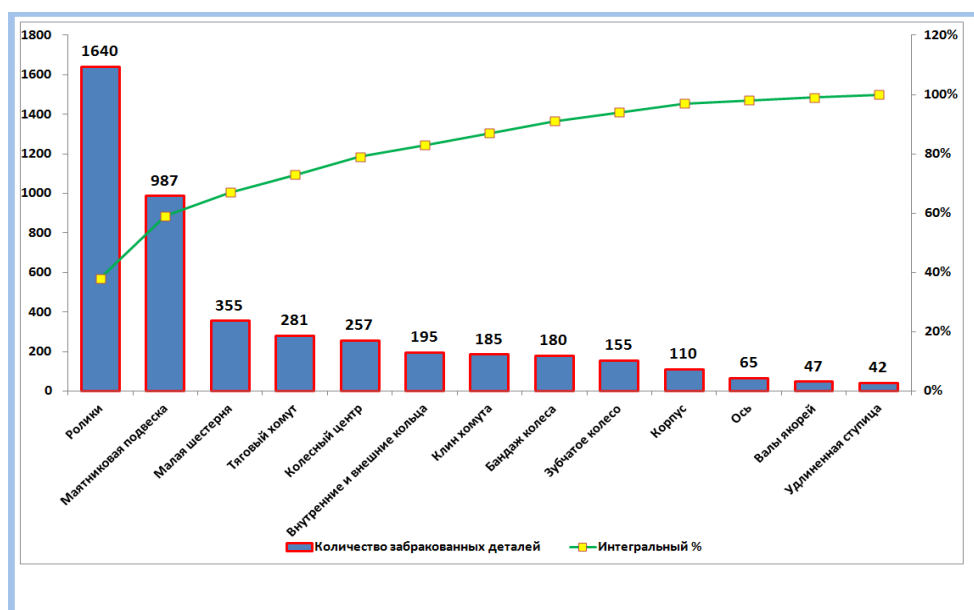


Рисунок 2.3.1 – Диаграмма Парето

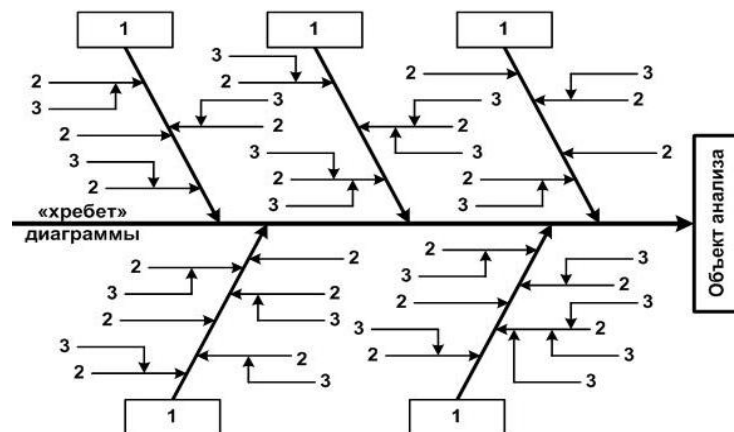
Анализ полученной диаграммы Парето предоставляет возможность определить, что превалирующими при браковке деталей электровозов серии ВЛ80

являются ролики подшипника буксового узла, маятниковые подвески и малые шестерни тяговой передачи.

В полученных данных мы констатируем только факт исключения деталей из дальнейшей эксплуатации, но причины, вызвавшие этот отказ, возможно, получить с помощью построения диаграммы Исикавы.

Диаграмма Исикавы это инструмент анализа причинно-следственных связей между различными факторами и конечным результатом, который разработал Каору Исикава, профессор Токийского университета, в 1952 году. Диаграмма причин и результатов – графический способ исследования и определения, наиболее существенных причинно-следственных взаимосвязей между факторами и последствиями в исследуемой проблеме. Неоспоримым преимуществом диаграммы Исикавы является то, что она дает наглядное представление не только о тех факторах, которые влияют на изучаемый объект, но и о причинно-следственных связях этих факторов. Распространенное название диаграммы «схема Исикавы» или «рыбья кость».

Пример вида диаграммы Исикавы предоставлен на рисунке 2.3.2.



- 1 – факторы первого порядка (большие кости)
 2 – факторы второго порядка (средние кости)
 3 – факторы третьего порядка (малые кости)

Рисунок 2.3.2 – Причинно – следственная диаграмма Исикавы

В основе построения причинно-следственной диаграммы Исикавы к голове «рыбьей кости» размещают наиболее важные параметры и факторы.

Составление начинают с того, что основную проблему обозначают центральной горизонтальной стрелкой, изображающей объект анализа. Факторы, которые усугубляют проблему, отражают стрелками первого порядка, обозначающие главные факторы (группы факторов), влияющие на объект анализа. Далее к каждой первичной стрелке подводят стрелки второго порядка, к которым, в свою очередь, подводят стрелки третьего порядка и так далее, до тех пор, пока на диаграмму не будут нанесены все стрелки, обозначающие факторы, оказывающие заметное влияние на объект анализа в конкретной ситуации.

Каждая из стрелок, нанесенная на схему, представляет собой в зависимости от ее положения либо причину, либо следствие: предыдущая стрелка по отношению к последующей всегда выступает как причина, а последующая – как следствие. Главное при построении схемы заключается в том, чтобы обеспечить правильную соподчиненность и взаимозависимость факторов, а также четко оформить схему, чтобы она хорошо визуализировалась.

Обеспечение безопасности пассажиров и материальных ценностей, перевозимым железнодорожным транспортом, важнейшая задача в современных условиях организации перевозок. Методы неразрушающего контроля – основной инструмент, позволяющий диагностировать и оценивать состояние важных узлов и деталей ТПС.

Неразрушающий контроль позволяет выявить дефектные изделия, но в современном, экономически эффективном производстве важно не только выявить бракованное изделие, но и определить причины возникновения брака и предупредить появление дефектной продукции в дальнейшем. Одним из способов решения данной задачи является применение статистических методов контроля качества.

2.4 Выводы по разделу 2

1. В проведённом анализе сбора и обработки информации о техническом состоянии деталей наблюдается применение внесения полученных результатов инструментального и неразрушающего контроля в соответствующие формы журналов: ТУ–152, ТЭУ–21, ТУ–29, ТУ–28, ТУ–27, ТУ–17 и другие. Такая выполняемая работа крайне увеличивает время обработки данных, что не является оперативными данными для решения ряда вопросов по определению надёжности.

2. Рассмотрены внедрённые автоматизированные системы: АСУТ, КАСАНТ, АСУ–П, АСУ–Ш и др. Для оперативного контроля периода жизненного цикла деталей ТПС, технического обслуживания и ремонта в полной мере представляет интегрированная автоматизированная система «Электронный паспорт локомотива», отображающая параметры узлов, деталей и на какой тяговый подвижной состав установлены.

3. С целью определения технического состояния узлов и агрегатов локомотивов, по результатам неразрушающего контроля, в разделе был применён анализ Парето. Данный инструмент анализа показал, что 20 % причин отказов могли дать детали оси колёсной пары электровозов: бандаж колеса, большое зубчатое колесо тягового редуктора и сама ось колёсной пары.

3 ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

3.1 Методика оценки показателей надежности оборудования тягового подвижного состава

Надёжность тягового подвижного состава (ТПС) неразрывно связана с понятием работоспособное и неработоспособное состояние. Работоспособное – состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно–технической документации. Неработоспособное состояние – состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно – технической документации [31, 41].

В период эксплуатации тягового подвижного состава параметры деталей изменяются, в результате их взаимодействия или воздействия внешних факторов и при производстве технического осмотра или ремонта осуществляется их контроль. Все технические контролируемые параметры должны находиться в пределах определённых допусков, т.е. иметь минимальное $X_{\min}$ и максимальное $X_{\max}$ значение. Значение, которое может находиться между параметрами при эксплуатации: $\Delta = X_{\max} - X_{\min}$ – поле допуска [31].

Когда все параметры, характеризующие способность объекта выполнять заданные функции, находятся внутри поля допуска, установленного требованиями конструкторской (проектной) и нормативно–технической документации, то этот объект находится в работоспособном состоянии.

Если хотя бы один (или несколько) параметров выходят за пределы установленных допусков, то этот объект переходит в неработоспособное состояние – отказывает.

Отказ – это событие, заключающееся в потере работоспособного состояния в результате выхода значений одного или нескольких контролируемых параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции, за пределы установленных допусков. Отказы, которые возникают в процессе плавного изменения контролируемого параметра и выхода его величины за установленный допуск называются постепенными параметрическими отказами. Отказ, наступивший в результате резкого, скачкообразного изменения параметра, называется внезапным.

На рисунке 3.1.1 показаны изменения контролируемого параметра в зависимости от продолжительности эксплуатации – наработки изделия.

Наработка – это продолжительность или объем работы объекта. Нарботка может измеряться в единицах времени – часах, сутках, годах, или в километрах пробега и т.д., а так же, она может измеряться числом рабочих циклов, запусков, включений и т.д. [31].

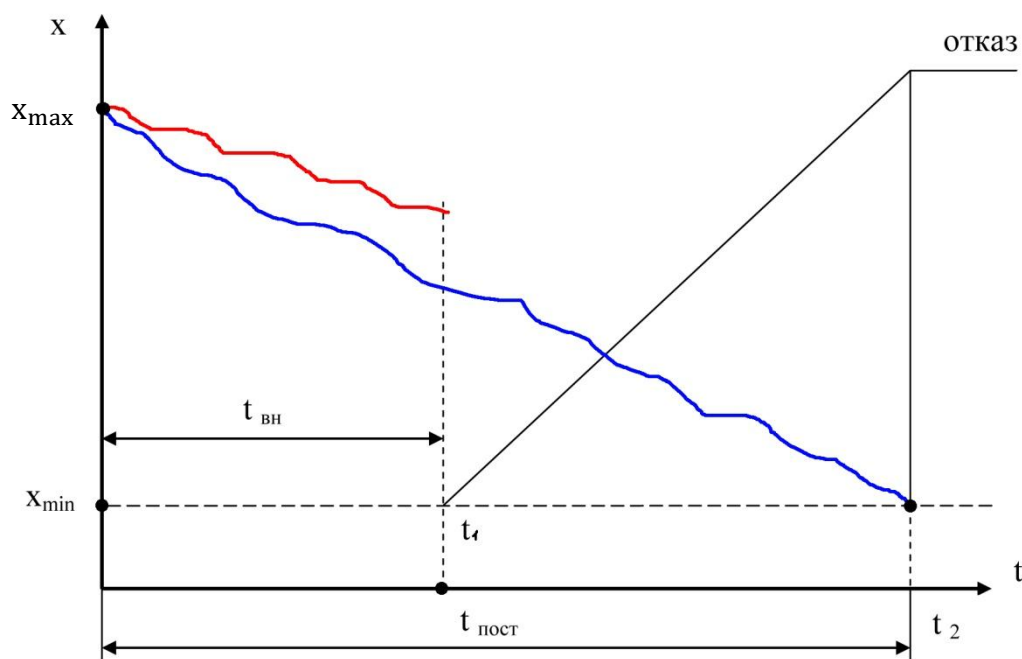


Рисунок 3.1.1 – Изменения контролируемого параметра изделия

На рисунке 3.1.1 в момент времени t_2 возник постепенный отказ в результате выхода, например, высоты угольной вставки пантографа до минимально допустимого предела вследствие ее изнашивания. Нарботка до этого отказа составила $t_{\text{пост}}$. В момент t_1 возник внезапный отказ, например, в результате резкого уменьшения высоты – выкрашивание угольной вставки пантографа. Нарботка до этого отказа составила $t_{\text{вн}}$.

С целью определения, находится тот или иной объект в работоспособном состоянии или нет, необходимо:

- иметь перечень всех технических параметров, характеризующих способность этого объекта выполнять заданные функции;
- для каждого параметра установить максимально и минимально допустимые его значения;
- разработать методику и сконструировать аппаратуру измерения (контроля) значений каждого из параметров [32].

В результате такого диагностирования при условии, что все параметры объекта окажутся в пределах установленных допусков, то этот объект находится в работоспособном состоянии. Если хотя бы один из параметров выходит за пределы установленных допусков, то такой объект считается потерявшим работоспособность – отказавшим.

В процессе эксплуатации ТПС информация о техническом состоянии может быть представлена в виде контролируемых параметров, характеризующих техническое состояние оборудования с увеличением наработки. Эта информация характеризует параметрическую надёжность. Она позволяет прогнозировать изменения технического состояния и по представительным выборкам контролируемого параметра, полученным при различных наработках, осуществлять оценку показателей безотказности и долговечности и в конечном итоге определять рациональные сроки замены или восстановления соответствующего оборудования.

Кроме постоянных отказов, характеризующихся значениями контролируемых параметров, в процессе эксплуатации ТПС возникают внезапные

отказы, которые характеризуются информацией о наработках до отказа и между отказами соответствующего оборудования.

Например, в процессе эксплуатации колёсной пары ТПС с увеличением наработки изменяются контролируемые параметры: прокат бандажа, толщина бандажа, толщина гребня, толщина зуба шестерни, которые определяют параметрическую надёжность колёсной пары. Кроме того в процессе эксплуатации возникают внезапные отказы: образование ползуна или подрез гребня, более установленного допуска, ослабление бандажа на колёсном центре, возникновение трещин в оси колёсной пары, зубчатом колесе, колёсном центре и т. д.

Момент возникновения внезапного отказа будет характеризоваться величиной соответствующей наработки до его возникновения. Эта наработка и являться исходной информацией для анализа надёжности.

Ввиду того что значения контролируемого параметра до и между отказами зависит от множества случайных факторов – качества изготовления детали, различных эксплуатационных режимов, чередования нагрузок, климатических условий эксплуатации, квалификации обслуживающего персонала при техническом обслуживании и ремонте всё это является случайными величинами.

Исчерпывающей характеристикой случайной величины является закон ее распределения, т.е. соотношение, которое устанавливает связь между возможными значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями [32].

Методика и алгоритм определения соответствия выборок контролируемых параметров предполагаемым законам распределения была разработана и описана в работах [19, 32].

3.2 Оценка показателей надёжности оборудования тягового подвижного состава по результатам инструментального контроля

Наблюдение за параметрами деталей, как правило, не удастся наблюдать постоянно. При проведении очередных видов ремонта или осмотров тягового подвижного состава производят замер контролируемого параметра. Реализация контролируемого параметра происходит от момента номинальной его величины, заводской или восстановленной, до предельного значения в период нескольких последовательных измерениях [32]. По мере изменения контролируемого параметра, при определённой наработке, происходит выход его за установленное предельное значение $x_{\text{доп}}$, то есть наступает отказ детали. Например, износ поверхности зуба шестерни редуктора или толщины бандажа приводит к отказу колесной пары, если их значение превысит минимальное (толщина зуба шестерни редуктора 11 мм, толщины бандажа 45 мм). В данном случае контролируемый параметр относится к «уменьшающемуся». Пример реализации контролируемого уменьшающегося параметра при определенной наработке L представлено на рисунке 3.2.1.

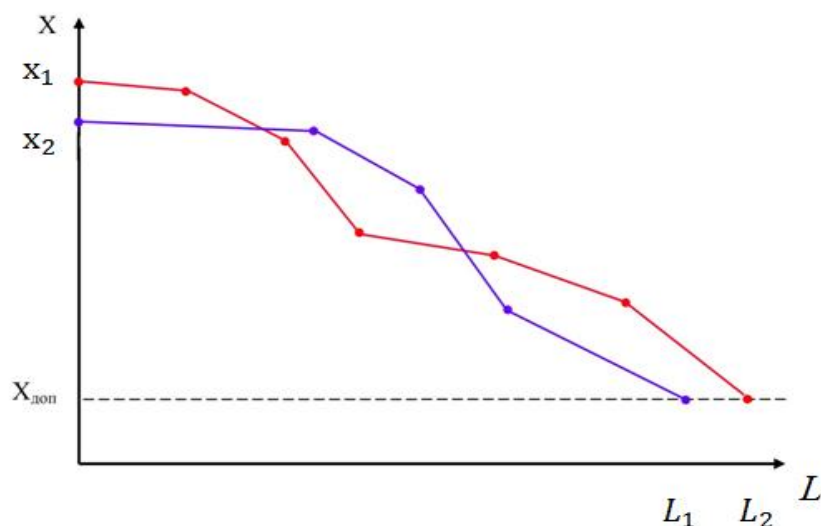


Рисунок 3.2.1 – Характер изменения толщины зуба и толщины бандажа с увеличением наработки

Наработка до отказа обусловлена рядом случайных факторов – качеством изготовления детали, условиями эксплуатации, качеством проведенного

обслуживания, ремонта и применённых материалов, степени подготовленности оборудования, персонала и это всё является случайной величиной.

Любое соотношение, устанавливающее связь между возможными значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями есть закон распределения случайной величины [17].

При проведении замеров контролируемых параметров колесной пары: прокат колеса, толщина гребня, толщина бандажа проводят согласно [66] и величины измеряются не реже одного раза за 30 суток. В интервале времени между двумя замерами пробег локомотива может быть различным, что вызывает сдвиг реализаций контролируемого параметра по оси пробега. Тем не менее, разбросом значений пробега различных локомотивов можно пренебречь [20] и считать, что контроль технического состояния локомотива производится через одинаковые интервалы пробега, а результаты измерений контролируемых параметров образуют равноотстоящие ряды наблюдений. Информацию о значениях контролируемого параметра и соответствующих наработках оборудования с целью дальнейшей обработки и оценки показателей надёжности целесообразно систематизировать в виде таблицы 3.1.

Таблица 3.1 Результаты замеров контролируемого параметра

l	Значения контролируемого параметра детали							
	1	2	....	....	j	....	....	N
l_0	x_{01}	x_{02}	....	....	x_{0j}	....	....	x_{0N}
l_1	x_{11}	x_{12}	....	....	x_{1j}	....	....	x_{1N}
l_2	x_{21}	x_{22}	....	....	x_{2j}	....	....	x_{2N}
....								
l_i	x_{i1}	x_{i2}	....	....	x_{ij}	....	....	x_{iN}
....								
l_n	x_{n1}	x_{n2}	....	....	x_{nj}	....	....	x_{nN}

В данной таблице в каждой i -ой строке вносятся значения контролируемого параметра конкретной детали, полученные на одном и том же, i -ом по счету замере ($i=1...n$). Число замеров контролируемого параметра для каждого

измерения может быть равно N_i и уменьшаться в связи с выбыванием из под наблюдения деталей, при производстве внеплановых видов ремонтов. Примером может послужить, замена колесно-моторных блоков ввиду неисправности буксового узла.

Поскольку величина контролируемых параметров и наработок на отказ являются случайными, для получения достоверных результатов выборки исходных данных должны быть достаточно представительными. Минимально необходимый объем выборки, количество результатов измерения контролируемого параметра, согласно [31] составляет $N = 41$.

Контролируемый параметр изнашиваемой детали является непрерывной случайной величиной, закон распределения которой может быть представлен плотностью распределения [19].

Построение гистограммы распределения контролируемого параметра рассмотрено в [32].

Методика и алгоритм определения соответствия выборок контролируемых параметров предполагаемым законам распределения была разработана и описана в работах [19, 32].

Чтобы проверить соответствие выборки предполагаемому теоретическому закону распределения можно воспользоваться одним из известных критериев, например, критерием согласия Пирсона. Он позволяет определить вероятность того, что за счет случайных причин мера расхождения теоретического и статистического распределений будет больше, чем фактически наблюдаемая.

Выборки контролируемых параметров изнашиваемых деталей соответствуют нормальному закону распределения. Плотность распределения для данного закона:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}}, \quad (3.1)$$

где m_x – математическое ожидание величины контролируемого параметра;

σ_x – среднее квадратическое отклонение величины контролируемого параметра;

x – текущее значение величины контролируемого параметра.

При нормальном законе распределения на случайную величину, накладываются следующие связи:

$$\sum_{j=1}^k P_j^* = 1$$

– сумма частот по всем интервалам равна 1
(k – количество интервалов);

$m_x = m_x^*$, $D_x = D_x^*$ – параметры статистического и теоретического распределений равны;

Поскольку числовые характеристики нормального закона распределения могут быть выражены через математическое ожидание и дисперсию случайной величины, вычисляются соответствующие им оценки: среднее значение m_x^* и оценка дисперсии (среднее квадратическое отклонения σ_x^*):

$$m_x^* = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

$$\sigma_x^* = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - m_x^*)^2}, \quad (3.2)$$

где N – объем выборки контролируемого параметра;

x_i – значение контролируемого параметра.

Функции плотности распределения величин толщины бандажей и толщины зуба большого зубчатого колеса (БЗК), колесных пар при фиксированных наработках электровоза серии ВЛ80С в локомотиворемонтном депо Петроввальское представлен на рисунке 3.2.2 и рисунке 3.2.3

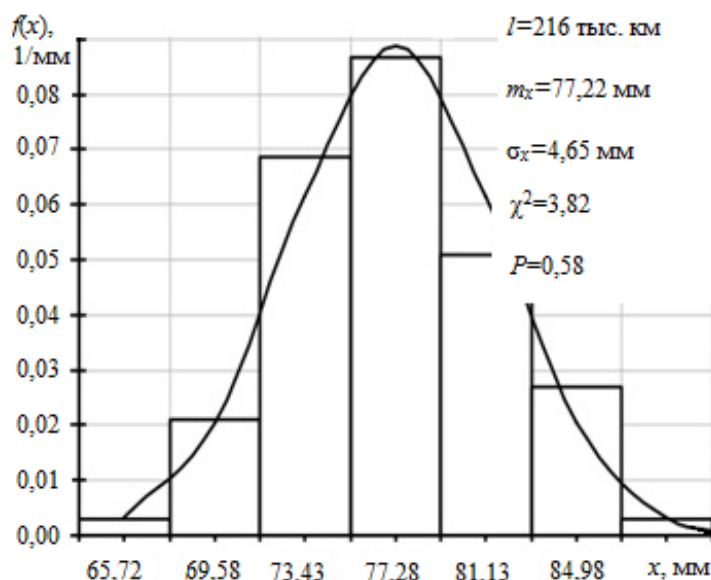


Рисунок 3.2.2 – Распределение толщины бандажей колесных пар

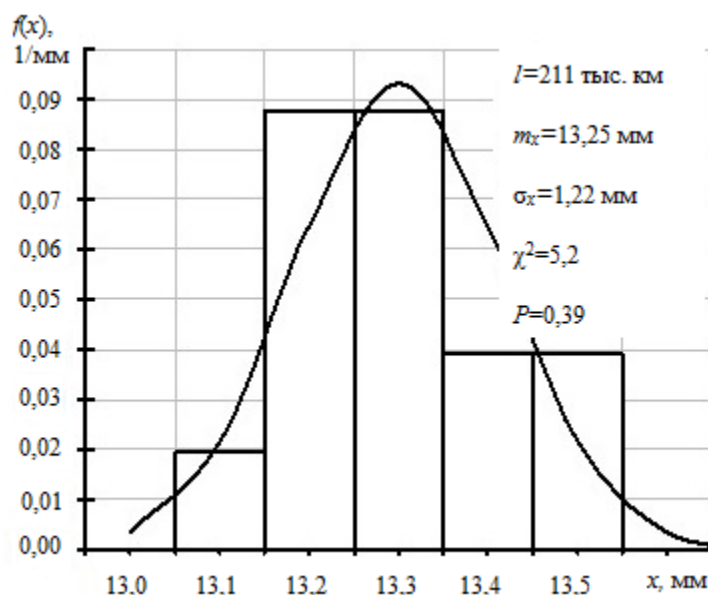


Рисунок 3.2.3 – Распределение толщины зуба шестерни БЗК колесных пар

Значения числовых характеристик закона распределения контролируемого параметра дают возможность прогнозировать их изменения при наибольших наработках, что в свою очередь определяет ресурс, а для этого находятся аналитические зависимости средних значений m_x и среднеквадратических отклонений σ_x от пробега.

Аналитическую зависимость можно представить в виде некоторой нелинейной функции $y = f(a_1, a_2, \dots, a_s, l_i)$ одного аргумента l_i в выражение которой

входит S параметров $a_1, a_2, \dots, a_s$. С помощью этой функции необходимо аппроксимировать эмпирическую регрессию, заданную в виде n точек (l_i, y_i) при $i = 1, 2, \dots, n$, где под y понимается один из параметров рассматриваемого закона распределения.

Параметры функции y находятся методом наименьших квадратов, условие которого записывается в виде:

$$Z(a_1, a_2, \dots, a_s) = \sum_{i=1}^n [f(a_1, a_2, \dots, a_s, l_i) - y_i]^2 \Rightarrow \min \quad (3.3)$$

Полученные на практике значения контролируемых параметров и эмпирические зависимости $m_x^*(l)$ и $\sigma_x^*(l)$ изнашиваемых деталей тягового подвижного состава, возможно описать линейными функциями [19, 31], то есть, аппроксимирующая функция имеет вид:

$$y = al + b \quad (3.4)$$

Критерием соответствия аппроксимирующей функции эмпирическим зависимостям является минимум суммы квадратов отклонений эмпирической и теоретической функций:

$$\sum_{i=1}^n \left([y_i - (al_i + b)]^2 \right) \rightarrow \min \quad (3.5)$$

$$\text{Здесь } y_i = \begin{cases} m_{xi} \\ \sigma_{xi} \end{cases} \text{ при аппроксимации зависимостей } \begin{cases} m(l) \\ \sigma(l) \end{cases};$$

l_i — наработка.

Коэффициент a линейной функции методом «наименьших квадратов» определяется как

$$a = r_{yl} \frac{\sigma_y}{\sigma_l}, \quad (3.6)$$

где r_{yl} – коэффициент корреляции между случайными величинами y и l ;

σ_y, σ_l – среднеквадратические отклонения, соответственно, y и l .

Коэффициент b уравнений регрессии определяется:

$$b = m_y - am_l \quad (3.7)$$

где m_l – среднее значение наработки;

m_y – среднее значение величины y .

Коэффициент корреляции r_{yl} характеризует тесноту линейной связи между случайными величинами y и l :

$$r_{yl} = \frac{k_{yl}}{\sigma_y \sigma_l} = \frac{\alpha_{11}(y,l) - m_y m_l}{\sigma_y \sigma_l}, \quad (3.8)$$

где $\alpha_{11}(y,l) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i l_i$ – второй смешанный начальный момент

случайных величин y и l .

Для электровозов ВЛ80С, эксплуатирующихся на Приволжской ж. д., проводились расчеты по таким контролируемым параметрам как: толщина бандажа колесной пары, толщина зуба большого зубчатого колеса тягового редуктора.

В результате наблюдения, от начала эксплуатации и при проведении очередного ремонта, по данным журнала ТУ-17, получили фактические значения: толщины бандажа колеса колёсной пары ВЛ80С, результаты в таблице 3.2 и толщины зубьев большого зубчатого колеса, результаты в таблице 3.3, соответственно была так же определена наработка между ремонтами.

Таблица 3.2 - Данные по контролю толщины бандажа колеса колёсной пары ВЛ80С в депо Петроввальское в 2012-2016 г.

№ п/п	Пробег локомотива, км	Замеры толщины бандажа, мм																
		Номера колёсных пар																дата контроля
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
ВЛ80С № 096																		
1	3808903	98,5	94,0	99,0	96,0	96,0	96,0	96,0	95,0	97,0	93,5	95,0	94,0	96,0	94,5	96,0	97,0	26.06.12
2	3813770	98,0	94,0	98,0	92,0	95,0	96,0	96,0	95,0	97,0	93,0	94,0	94,0	95,0	94,0	96,0	97,0	11.08.12
3	3820501	98,0	94,0	97,0	96,0	94,0	96,0	96,0	95,0	97,0	93,0	94,0	94,0	94,0	94,0	96,0	97,0	24.08.12
4	3840510	97,0	92,5	97,0	93,0	93,0	94,5	95,0	94,0	96,0	94,0	93,0	91,5	93,0	94,0	95,0	95,0	24.10.12
5	3849030	96,0	88,5	97,0	93,0	93,0	94,5	94,0	95,0	97,0	91,0	93,0	91,5	93,0	94,0	95,0	94,0	10.12.12
6	3857332	95,5	88,0	95,0	92,0	92,5	93,5	92,5	92,5	94,5	91,0	92,5	90,5	92,0	91,0	93,5	93,0	13.01.13
7	3869373	95,0	88,0	94,0	92,0	92,5	93,0	88,0	92,0	94,0	90,0	91,0	90,5	92,0	91,0	89,0	93,0	11.02.13
8	3878994	94,0	86,0	94,0	91,0	91,0	91,0	87,0	91,0	94,0	88,0	92,0	90,0	91,0	91,0	88,0	92,0	24.03.13
9	3880577	95,0	87,5	94,0	90,5	92,0	92,5	86,5	91,0	94,5	90,0	92,0	90,0	91,0	91,0	88,0	92,0	31.03.13
10	3886835	86,0	86,5	88,5	86,0	85,5	90,5	86,5	89,0	85,0	89,0	86,0	85,0	85,0	89,0	88,5	87,5	27.04.13
11	3894367	85,0	85,5	87,5	85,0	84,5	89,0	86,5	85,5	84,0	88,5	85,0	84,0	84,0	88,0	87,5	86,5	10.06.13
12	3917926	87,0	81,5	88,5	87,0	84,0	91,5	82,5	86,5	85,5	84,0	85,0	84,5	84,0	89,5	82,0	87,0	20.08.13
13	3927355	87,0	87,5	88,5	87,0	80,0	91,0	82,5	86,0	85,5	84,0	85,0	84,5	79,5	89,0	82,0	86,0	19.09.13
14	3955483	86,0	87,5	88,0	82,5	79,0	90,0	82,0	82,0	84,5	84,0	85,0	81,0	78,5	89,0	81,0	83,0	06.12.13
15	3958741	86,0	80,5	87,5	82,0	79,0	89,0	81,0	80,0	84,5	82,5	84,5	80,5	78,5	88,0	80,5	81,0	14.12.13
16	4043739	76,0	76,5	82,5	81,0	75,0	84,0	76,0	73,0	76,0	79,0	80,0	79,5	75,0	83,0	76,0	73,0	14.08.14
17	4044800	76,0	76,5	82,5	81,0	71,0	78,0	75,5	67,5	76,0	79,0	80,0	79,5	70,0	76,0	75,0	68,5	20.08.14
18	4061051	68,0	73,0	81,0	77,0	71,0	78,0	71,0	67,0	67,0	76,0	78,0	75,0	70,0	76,0	71,0	68,0	13.10.14

продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
19	4074271	67,5	73,0	80,0	76,5	71,0	87,5	70,0	67,0	67,0	76,0	77,5	75,0	69,5	75,5	70,0	68,0	15.11.14
20	4086249	63,0	67,0	72,5	73,0	66,0	74,0	70,0	66,0	63,5	67,0	72,0	72,0	66,0	74,0	70,0	65,5	29.12.14
21	4102827	74,0	73,0	71,5	71,5	64,0	72,0	64,0	61,0	72,5	75,0	68,5	71,0	64,0	70,5	63,5	61,5	12.02.15
22	4108517	73,5	62,5	69,5	71,0	63,5	66,0	59,5	56,5	72,0	66,5	66,0	70,5	63,5	65,5	59,0	57,5	12.03.15
23	4113003	72,5	62,5	69,0	70,0	63,0	65,0	58,5	57,0	71,0	66,5	65,5	69,5	63,0	65,0	58,5	57,0	07.04.15
24	4128088	72,0	62,5	69,0	70,0	60,0	65,0	58,5	55,5	70,5	66,0	65,5	69,5	60,0	64,5	58,0	56,5	24.05.15
25	4130046	72,0	63,0	69,5	70,0	60,0	65,0	58,0	55,5	70,5	66,0	65,5	69,5	60,0	64,0	58,0	56,0	30.05.15
26	4137610	68,0	60,5	69,5	67,0	60,0	65,0	58,0	55,5	68,0	64,0	65,5	68,0	60,0	64,0	58,0	56,0	26.06.15
27	4143268	68,0	60,0	69,5	67,0	60,0	65,0	58,0	55,5	68,0	64,0	65,5	68,0	60,0	64,0	58,0	56,0	22.07.15
28	4146960	68,0	60,0	69,5	67,0	60,0	65,0	58,0	55,5	68,0	64,0	65,5	68,0	60,0	64,0	58,0	56,0	4.08.15
29	4157739	68,0	60,0	69,5	67,0	59,0	65,0	58,0	55,0	67,5	63,0	65,0	67,0	59,0	64,0	57,5	55,5	07.09.15
30	4169844	68,0	60,0	69,5	63,4	54,0	58,0	53,0	49,0	67,5	63,0	65,0	64,0	54,0	57,0	52,5	49,0	12.10.15
31	4183511	66,0	60,0	68,0	63,0	52,5	56,0	52,5	48,0	65,5	63,0	64,0	63,5	52,5	55,0	51,5	48,5	11.11.15
32	4196112	63,0	60,0	63,0	63,0	52,5	56,0	52,5	48,0	62,0	63,0	61,0	63,5	52,0	55,0	51,5	48,5	13.12.15
ВЛ80 № 896																		
33	4877082	95,0	95,0	95,0	96,6	94,0	94,0	96,5	98,0	95,0	96,0	97,0	97,0	97,0	95,0	96,0	95,0	07.04.12
34	4883954	94,0	95,0	94,0	95,5	94,0	94,0	95,0	97,0	95,0	95,0	96,0	96,0	97,0	94,0	95,0	94,0	07.05.12
35	4901637	93,0	94,0	94,0	95,5	93,5	89,5	93,0	97,0	94,0	95,0	95,5	94,5	98,0	91,0	92,0	95,0	08.07.12
36	4913760	93,0	95,0	92,0	94,0	92,5	89,0	93,0	96,0	93,0	94,0	95,0	94,0	97,5	90,0	92,0	93,5	13.08.12
37	4915616	92,0	94,0	91,0	93,0	91,0	88,0	92,0	96,0	92,0	93,0	94,0	93,0	96,0	89,0	91,0	93,0	27.08.12
38	4923419	92,0	94,0	91,0	93,0	91,0	88,0	92,0	96,0	92,0	93,0	94,0	93,0	96,0	89,0	91,0	93,0	20.09.12
39	4941871	92,0	93,5	91,0	93,0	91,0	95,0	91,5	95,0	92,0	93,0	94,0	93,0	96,0	95,0	90,0	92,5	28.11.12
40	4955561	92,0	93,5	91,0	93,0	91,0	95,0	91,5	95,0	92,0	93,0	94,0	93,0	96,0	95,0	90,0	92,5	13.12.12
41	4970973	88,0	90,0	88,0	89,0	86,5	95,0	88,0	91,5	88,0	88,5	89,5	90,0	91,0	94,5	86,5	88,5	18.01.13
42	4981705	88,0	90,0	88,0	89,0	86,0	95,0	87,0	90,0	88,0	88,5	89,0	90,0	90,0	94,0	86,0	88,0	10.02.13
43	4991131	87,0	87,5	87,0	88,0	85,5	94,0	87,0	90,0	87,0	88,0	88,0	89,0	90,0	93,0	85,5	87,0	22.03.13

продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
44	4992243	86,0	87,5	85,5	87,5	85,0	94,0	87,0	90,0	87,0	87,5	88,0	88,5	90,0	92,5	85,0	86,5	29.03.13
45	5002364	85,0	87,0	85,0	83,0	81,0	90,0	87,0	90,0	86,0	87,0	88,0	81,0	85,0	88,0	85,0	86,5	20.04.13
46	5006537	85,0	87,0	85,0	82,0	81,0	89,0	86,0	89,5	86,0	87,0	88,0	81,0	85,0	87,0	85,0	86,5	30.04.13
47	5013767	86,0	88,5	79,0	75,0	81,0	89,0	87,0	90,5	86,0	87,0	82,0	75,5	85,0	88,0	85,0	86,0	09.06.13
48	5024574	82,5	82,5	77,5	72,5	74,0	84,0	81,0	83,0	82,0	81,5	80,5	74,0	79,0	83,0	81,0	80,0	12.07.13
49	5036327	81,5	82,5	77,0	72,5	73,0	84,0	81,0	83,0	82,0	81,5	80,0	74,0	79,0	83,0	80,0	80,0	10.08.13
50	5048669	76,5	77,5	72,5	69,5	72,0	80,0	80,5	82,5	77,0	76,0	74,5	67,5	78,0	79,5	79,5	79,5	14.09.13
51	5078595	74,0	71,0	69,0	66,0	64,5	70,0	75,0	75,5	74,0	70,0	70,0	65,0	65,5	68,5	74,0	72,5	27.11.13
52	5083485	73,0	70,5	68,5	65,0	64,0	70,0	74,0	74,5	73,0	70,0	70,0	64,0	68,0	68,0	72,0	71,5	14.12.13
53	5166616	57,5	58,0	57,5	49,0	57,0	62,0	66,0	64,5	58,0	57,5	59,0	49,0	59,0	62,0	66,0	64,0	01.08.14
54	5182666	57,0	57,0	56,5	54,0	61,0	61,0	63,0	61,0	57,0	57,0	58,0	53,0	61,0	61,0	63,0	59,0	14.09.14
55	5187845	57,0	57,0	56,0	54,0	61,0	61,0	63,0	61,0	57,0	57,0	58,0	53,0	61,0	60,5	63,0	59,0	26.09.14
56	5195952	59,5	58,0	57,0	55,0	61,0	62,0	63,0	62,0	58,0	57,0	58,0	53,5	61,0	61,0	62,5	59,0	18.10.14
57	5203726	59,5	53,5	51,0	51,0	60,0	55,0	62,5	58,0	58,0	53,0	53,5	50,0	60,5	54,5	62,0	55,5	15.11.14
58	5225388	53,0	53,0	51,0	47,0	55,0	54,0	61,5	60,0	52,0	52,0	52,5	49,0	56,0	53,5	61,0	62,0	14.01.15
59	5236104	53,0	49,0	45,0	47,0	55,0	51,0	56,0	57,0	52,0	47,0	47,0	48,5	56,0	50,0	55,0	59,0	13.02.15
60	5247799	53,0	48,5	46,5	48,5	55,0	50,0	55,0	57,0	52,0	47,0	47,0	47,0	56,0	49,0	54,0	59,0	16.03.15
61	5255014	53,0	48,5	46,5	48,0	55,0	50,0	55,0	56,5	52,0	47,0	47,0	46,0	56,0	48,5	54,0	59,0	01.04.15
62	5268036	50,5	49,0	46,5	48,0	51,0	50,0	55,0	53,0	50,0	47,0	47,0	46,0	52,0	48,5	54,0	56,0	04.05.15
63	5278891	50,0	48,5	46,0	55,5	50,5	58,5	54,5	52,5	49,5	46,5	46,5	55,5	51,5	59,0	53,5	55,5	06.06.15
....																		
ВЛ80 №1406																		
178	354019	93,0	94,0	95,0	92,0	94,0	92,0	93,0	93,0	93,0	94,0	95,0	93,0	94,0	92,0	93,0	94,0	17.10.12
179	3550504	92,0	94,0	94,0	92,0	94,0	92,0	93,0	93,0	93,0	93,0	95,0	93,0	94,0	92,0	93,0	94,0	20.11.12
....																		
198	3880777	55,0	55,0	55,5	47,0	51,5	55,0	56,0	49,0	54,5	55,0	55,0	46,0	51,0	57,0	56,0	49,0	23.08.15

Таблица 3.3 - Данные по контролю толщины зуба шестерни большого зубчатого колеса ВЛ80С

№ п/п	Номер зубчатого колеса	Дата проведения контроля	Дата начала эксплуатации ЗК	Пробег от начала эксплуатации, км	Толщина зуба в начале эксплуатации, мм	Толщина зуба при ремонте, мм
1	2	3	4	5	6	7
1	521823/01.07-19	17.06.2015	11.03.2007	737728	13.86	13.7
2	604940/10.07-19	17.06.2015	24.10.2007	1094729	13.7	13.3
3	21/09.98-19	19.06.2015	31.12.2003	1025748	14	13
4	5737/11.86-19	04.07.2015	03.11.2005	1428402	13.8	13.1
5	221/09.02-217	07.07.2015	12.09.2002	1107982	13.9	13
6	76/11.86-217	15.07.2015	28.06.2004	826292	13.9	13.3
7	195347/03.10-19	19.07.2015	26.03.2010	485490	13.8	13.5
8	433870/01.12-19	19.07.2015	01.02.2012	485490	13.88	13.7
9	374096/11.12-19	29.07.2015	15.11.2012	480929	13.95	13.5
10	401750/12.11-19	29.07.2015	21.02.2012	474795	13.9	13.7
11	111/04.90-217	29.07.2015	10.11.2006	1214819	13.8	13.3
12	157554/07.11-19	02.08.2015	29.07.2011	605581	14	13.8
13	158/01.07-60	02.08.2015	26.07.2007	1247005	14.1	13.1
14	51073/01.94-217	02.08.2015	13.10.2008	878120	13.6	13.1
15	239766/04.10-19	03.08.2015	22.04.2010	1280598	13.9	13.3
16	206673/03.10-19	03.08.2015	22.04.2010	1280598	13.9	13.5
17	107/04.92-217	06.08.2015	09.04.1992	1015340	14.0	13.2
18	990/02.12-60	06.08.2015	10.03.2012	274858	14.2	13.8
....						
....						
573	364876/01.90-21	30.12.2016	23.07.1999	1187201	14.0	13.1

Полученный ряд значения наработок и соответствующих им замерам толщины бандажа и зуба большого зубчатого колеса был разделен на несколько интервалов. В каждом из интервалов рассчитывалось: среднее значение наработки; среднее значение толщины бандажа и зуба большого зубчатого колеса, среднеквадратическое значение толщины бандажа и зуба большого зубчатого колеса.

Коэффициенты уравнений регрессии среднего и среднеквадратического отклонения (СКО), полученные в результате расчетов, приведены в таблице 3.4

Таблица 3.4 - Результаты расчета коэффициентов уравнений регрессии

Контролируемый параметр	Коэффициенты зависимостей				$x_{доп}$, мм
	$m_x(l)$		$\sigma_x(l)$		
	a , мм/тыс. км	b , мм	a , мм/тыс. км	b , мм	
Толщина бандажа	−0,0859	96,8304	0,02321	1,5595	45
Величина износа зуба шестерни БЗК	0,0101	0,010	1,3700	0,2740	3

Вид зависимостей среднего и СКО от наработки толщины зуба БЗК тягового редуктора показан на рисунке 3.2.4 и рисунке 3.2.5

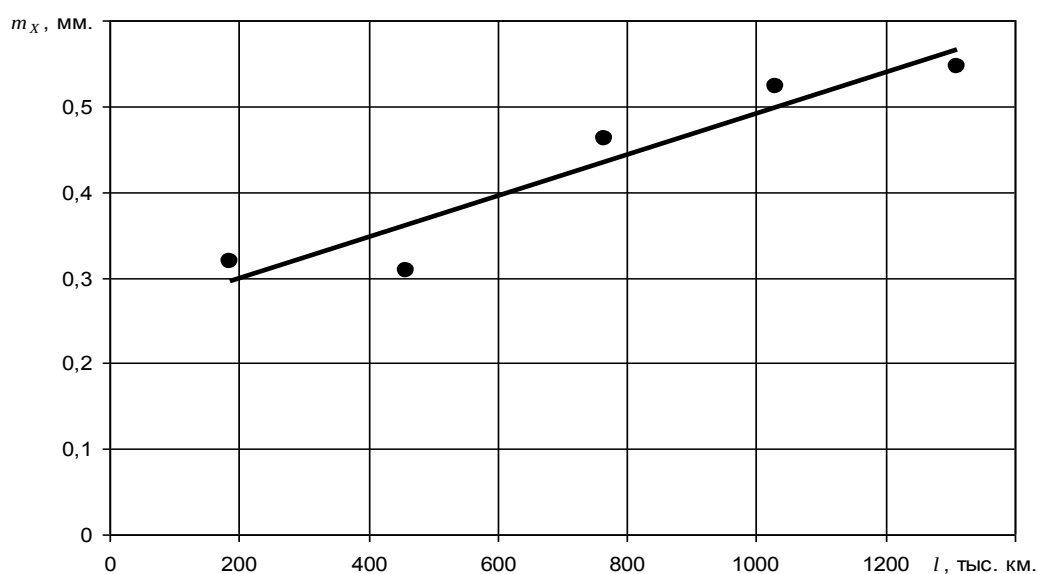


Рисунок 3.2.4 – Зависимость от пробега среднего значения выработки зуба БЗК тягового редуктора

Уравнение регрессии в этом случае: $m_x(l) = 0,0002398 \cdot l + 0,2516718$, коэффициент корреляции $r = 0,948$

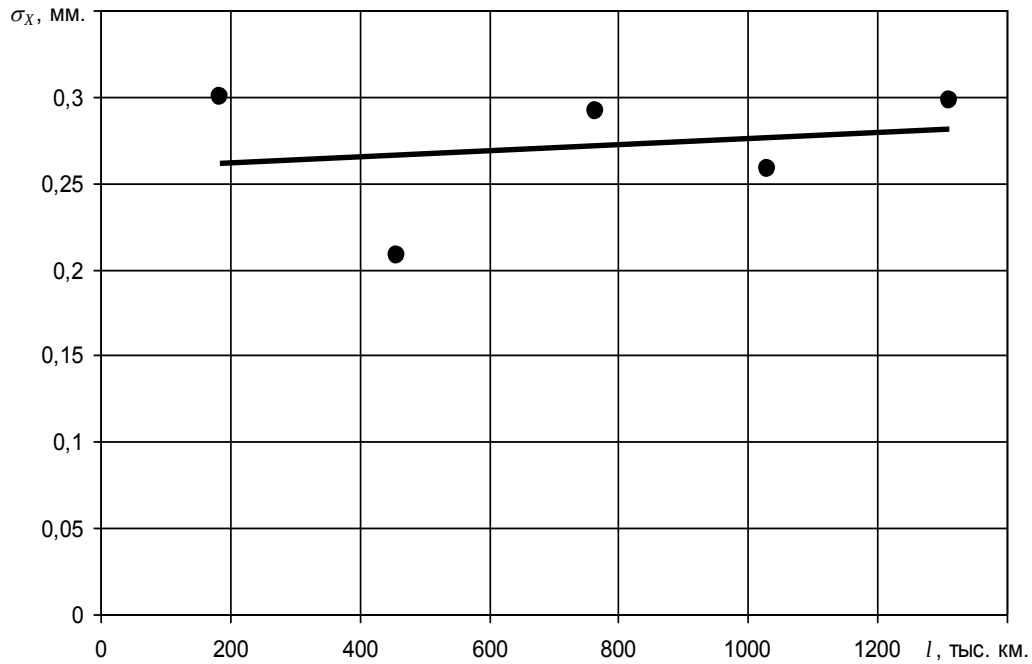


Рисунок 3.2.5 – Зависимость от пробега среднеквадратического отклонения износа зуба шестерни большого зубчатого колеса тягового редуктора

Уравнение регрессии в этом случае: $\sigma_x = 0,0000171 \cdot x + 0,2582241$, коэффициент корреляции $r = 0,195$.

Так как коэффициент корреляции достаточно мал, он был проверен на значимость отличия от 0. Установлено, что на уровне значимости 0,05 он статистически не отличается от 0, поэтому зависимость $\sigma_x(l)$ можно считать постоянной.

Вид зависимостей среднего $m_x(l)$ и среднеквадратического отклонения $\sigma_x(l)$ от наработки толщины бандажа показан на рисунке 3.2.6 и рисунке 3.2.7

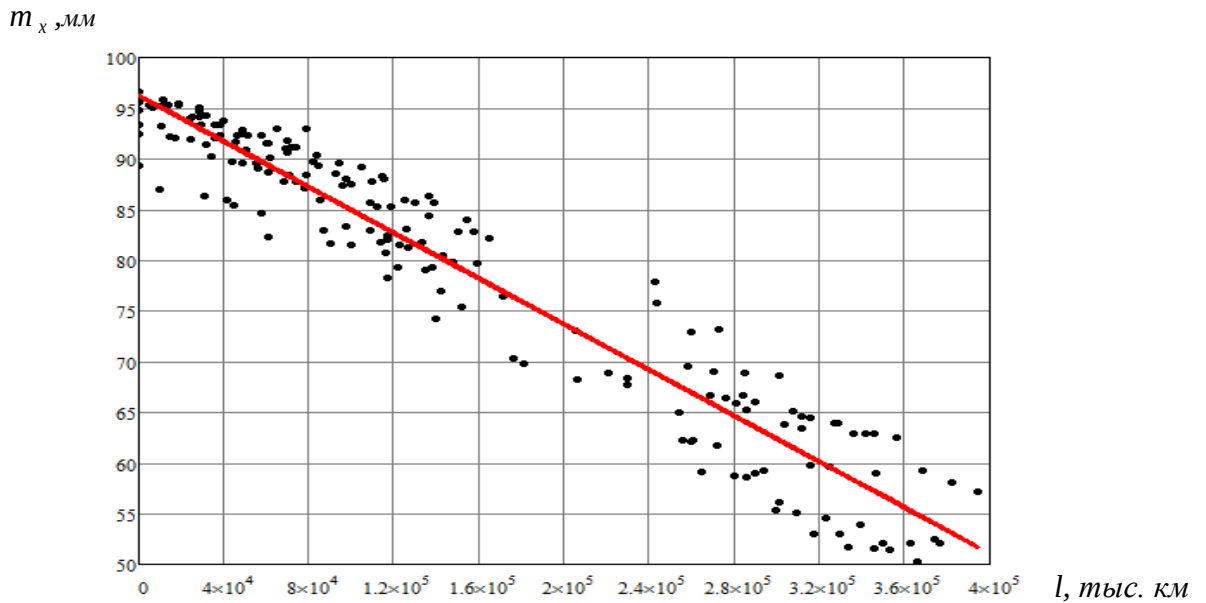


Рисунок 3.2.6 – Зависимость среднего значения толщины бандажа от наработки

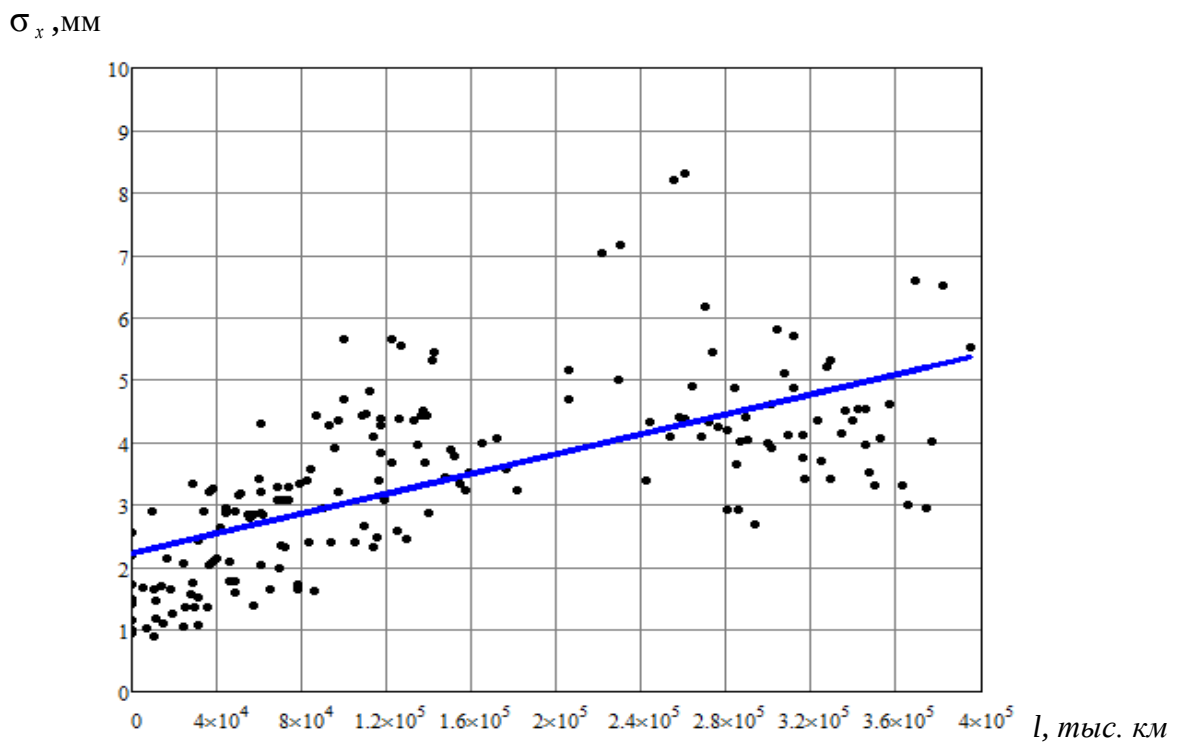


Рисунок 3.2.7 – Зависимость среднеквадратического отклонения толщины бандажа от наработки

Характер зависимостей $m_x(l)$ и $\sigma_x(l)$ возможно не измениться, если экстраполировать их в область больших значений пробега, при определении ресурса деталей. Подставляя значение пробега l в выражения $m_x(l)$ и $\sigma_x(l)$, рассчитывают числовые характеристики распределения контролируемого

параметра в области экстраполяции и строят кривые плотности распределения [19, 32]. (рисунок. 3.2.8).

При анализе графика рисунка 3.2.8 очевидно, что с ростом пробега l увеличивается вероятность выхода значения контролируемого параметра за пределы установленного допуска $x_{доп}$ (заштрихованная часть площади, ограниченной кривой плотности распределения параметра), тем самым определяя отказ детали. Следовательно, вероятность отказа детали Q возрастает с увеличением пробега l , а соответственно уменьшается вероятность ее безотказной работы $P = 1 - Q$.

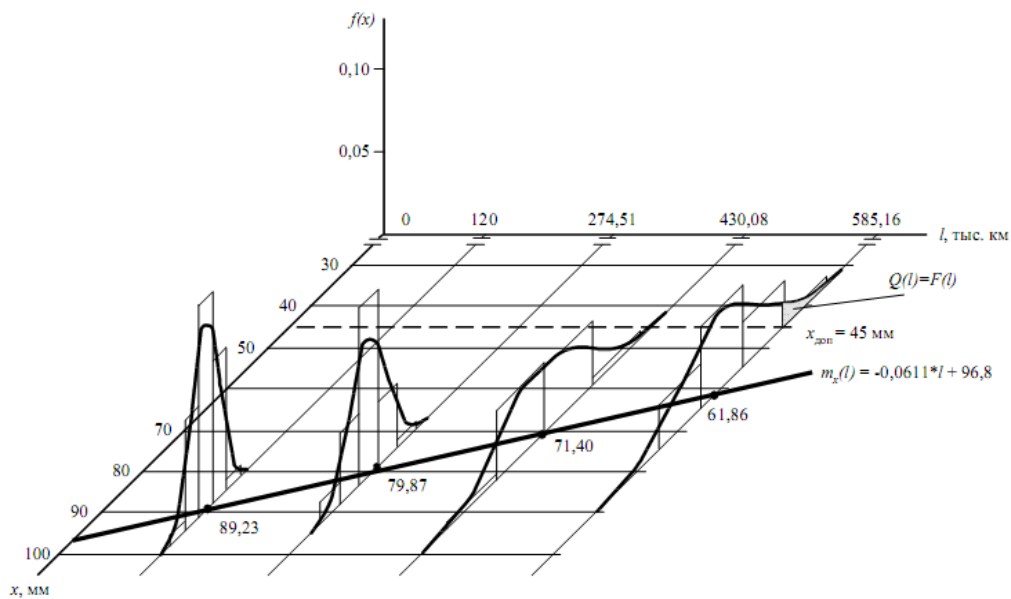


Рисунок 3.2.8 – Оценка вероятности отказа Q бандажа при фиксированной наработке l

При данных условиях, значение функции распределения вероятности отказа для контролируемого параметра, имеющего нормальный закон распределения, при заданной наработке будет определяться:

$$F(l) = \frac{1}{\sigma_x(l)\sqrt{2\pi}} \int_a^b \exp\left[-\frac{(x - m_x(l))^2}{2\sigma_x^2(l)}\right] dx, \quad (3.9)$$

где a и b – нижний и верхний пределы интегрирования, значения которых для уменьшающегося контролируемого параметра равны $a = m_x(l) - 3\sigma_x(l)$ и $b = x_{доп}$,

для увеличивающегося контролируемого параметра равны $a = x_{дон}$ и

$$b = m_x(l) - 3\sigma_x(l)$$

Значение интеграла, входящий в выражение (3.9), не выражается в элементарных функциях, поэтому его находим численными методами с применением ПЭВМ.

Функции распределения ресурса, толщины зуба БЗК, при обыкновенном освидетельствовании колесной пары, с допустимым значением $X_{дон}=3$ мм приведены на рисунке 3.2.9. и при полном освидетельствовании колёсной пары с допустимым значением $X_{дон}=1,5$ мм на рисунке 3.2.10. На рисунке 3.2.11 приведена функция распределения ресурса бандажей колесных пар.

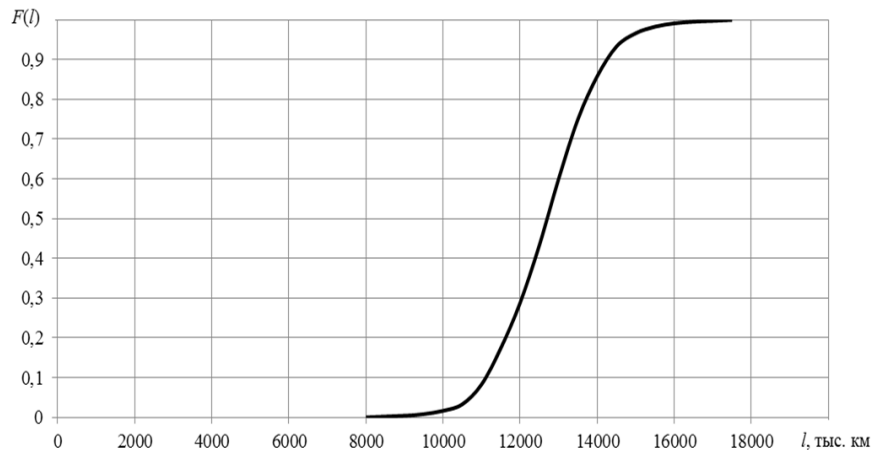


Рисунок 3.2.9 – Функция распределения ресурса БЗК по толщине зуба при допустимом значении $x_{дон} = 3$ мм

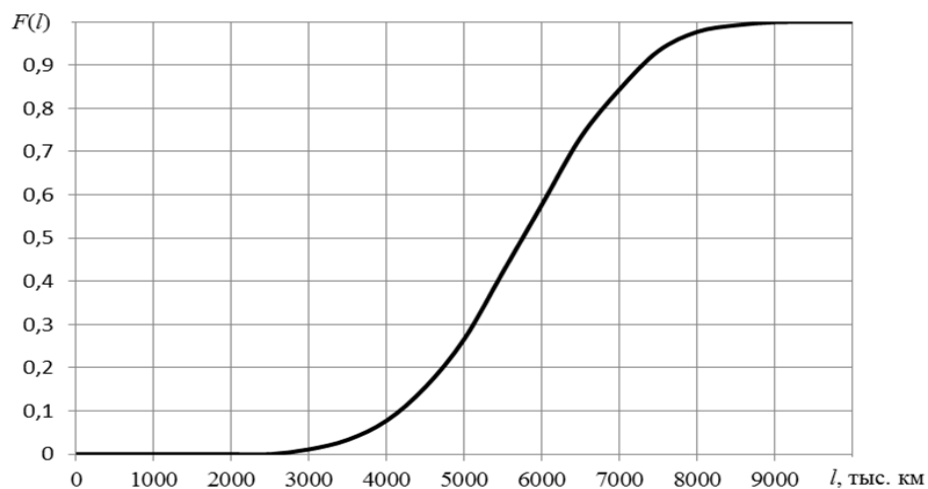


Рисунок 3.2.10 – Функция распределения ресурса БЗК по толщине зуба при допустимом значении $x_{дон} = 1,5$ мм

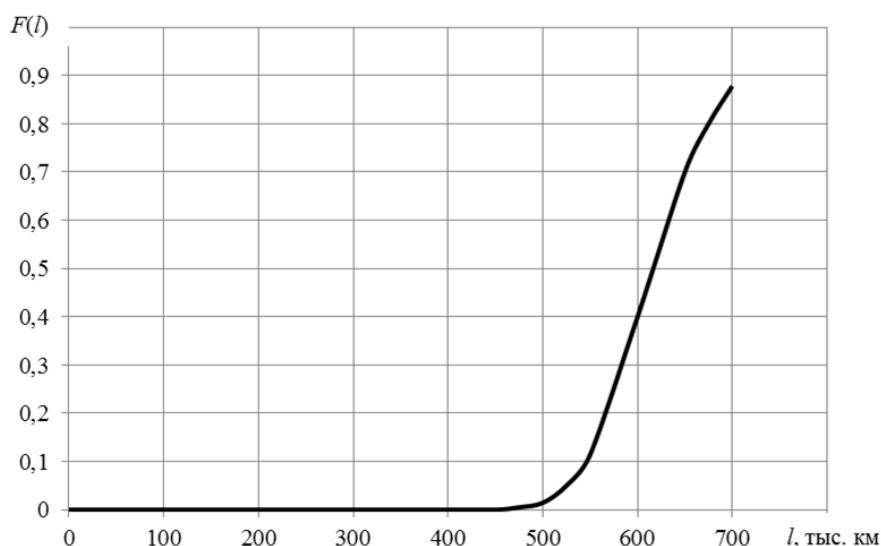


Рисунок 3.2.11 – Функция распределения ресурса бандажа колесной пары до смены

По установленной функции распределения ресурса $F(l)$, задаваясь требуемым уровнем вероятности безотказной работы γ , выраженной в процентах, определён соответствующий гамма – процентный ресурс детали

$$\gamma = (1 - Q) \cdot 100\% \quad (3.10)$$

В действительности используется 90 %-й ресурс детали, так как он соответствует заданному уровню надежности, но также был проведён расчёт и для 95 % ресурса. Результаты расчета 90 % и 95 % ресурсов деталей колёсной пары электровозов ВЛ80С локомотиворемонтного депо Петроввальское приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Результаты расчета 90% и 95% ресурсов деталей электровозов ВЛ80С

Контролируемый параметр	$l_{90\%}$, тыс. км	$l_{95\%}$, тыс. км
Толщина зуба шестерни тягового редуктора	11000	10470
Толщина бандажа	550	520

Проведенный расчет показал, лимитирующей деталью является бандаж колеса колёсной пары с пробегом 550 тыс. км. и 520 тыс. км. соответственно.

3.3 Выводы по разделу 3

1. Анализ методики оценки надёжности показал, что в процессе эксплуатации ТПС информация о техническом состоянии может быть представлена в виде контролируемых параметров, характеризующих техническое состояние оборудования с увеличением наработки и эта информация характеризует параметрическую надёжность.

2. В результате полученных данных от наблюдения проведён расчет и построены графики функции плотности распределения величин толщины бандажей и величины износа БЗК, колесных пар при фиксированных наработках электровоза серии ВЛ80С.

3. С целью прогнозирования процесса изменения контролируемых параметров рассматриваемых деталей и узлов при больших наработках и определения их ресурса были определены вид и параметры аналитических зависимостей числовых характеристик законов распределения контролируемых параметров от наработки.

4. Анализ зависимостей от наработки среднего значения позволяет сделать следующие выводы:

- интенсивность износа бандажей колесных пар очевидна;
- с ростом пробега увеличивается вероятность выхода значения контролируемого параметра за пределы установленного допуска, тем самым определяя отказ детали.

5. Проведенный расчет функций распределения и определение 90 %, 95 % гамма – процентного ресурса узлов показал, лимитирующей деталью является бандаж колеса колёсной пары с пробегом 550 тыс. км. и 520 тыс. км. соответственно.

4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОЛЁСНОЙ ПАРЫ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

4.1 Определение показателей безотказности элементов колёсной пары по наработкам до отказа

Количественной характеристикой только одного свойства надёжности служит единичный показатель, к которому относится показатель безотказности.

В связи с тем, что в целом безотказность ТПС и их отдельно сборочных единиц является высокой, то для получения качественной исходной информации требуется большая продолжительность наблюдений [31] и большой объем выборки.

С целью определения показателей безотказности оборудования с неконтролируемыми параметрами ТПС в период межремонтных пробегов применяется план испытаний на надёжность. В зависимости от конкретных условий и поставленных задач различают следующие планы испытаний [96]:

$$[N, U, N], [N, U, T], [N, U, r], [N, R, T], [N, R, r],$$

где N – количество изделий, поставленных под наблюдение (в нашем случае – число деталей в контрольной партии);

U – обозначение планов, в которых отказавшие изделия ТПС не заменяются новыми (выбывают из под наблюдения);

T – установленная наработка или продолжительность наблюдений;

R – обозначение планов, в которых отказавшие объекты заменяются новыми или восстановленными;

r – число отказов или предельных состояний изделий, до возникновения которых ведутся наблюдения.

При рассмотрении этих планов применительно к условиям эксплуатации тягового подвижного состава представляются следующие виды.

План наблюдений $[N, U, N]$, или полный план, означает, что под наблюдение взята контрольная партия из N подвижного состава или их составных изделий и что испытания проводятся до отказа всех объектов, отказавшие изделия не заменяются новыми.

Таким образом, при полном плане определяют наработки до отказа невосстанавливаемых изделий. Если объекты восстанавливаемые, то при таком плане выявляют наработки только до первого отказа, затем их исключают из наблюдения.

Временная диаграмма наработок до отказа при плане $[N, U, N]$ приведена на рисунке 4.1.1.

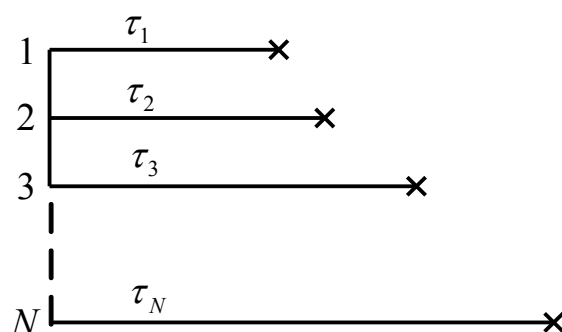


Рисунок 4.1.1 – Временная диаграмма наработок при плане $[N, U, N]$

Информация о результатах испытаний получается в виде выборки, содержащей N значений наработки до отказа $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N$, которая позволяет определить вид закона распределения, функцию распределения $F(t)$, функцию плотности распределения $f(t)$ и её числовые характеристики: среднюю наработку до отказа T^* и дисперсию наработки до отказа D_t^* .

– среднюю наработку до отказа T^* находят по формуле:

$$T^* = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \tau_i \quad (4.1)$$

– дисперсию наработки до отказа D_t^* находят по формуле:

$$D_t^* = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - T^*)^2 \quad (4.2)$$

В результате полученной плотности распределения $f(t)$ рассчитываются остальные показатели безотказности [31]:

– вероятность отказа $Q(t)$ по формуле:

$$Q(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (4.3)$$

– вероятность безотказной работы $P(t)$ по формуле:

$$P(t) = 1 - Q(t) \quad (4.4)$$

– интенсивность отказов $\lambda(t)$ по формуле:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} \quad (4.5)$$

Для промышленных изделий наработка до отказа оценивается в часах (например, моторесурс дизеля). На железнодорожном транспорте для оценки надежности подвижного состава большей частью используется пробег, т.е. расстояние, пройденное ТПС в рабочем состоянии. Поэтому в планах испытаний на надежность ТПС для оценки продолжительности наблюдений используют пробег, L_0 т.е. установленный пробег, после которого производится плановое восстановление работоспособности объекта или он заменяется новым.

Таким образом, планы наблюдений ТПС могут быть представлены в виде:

$$[N, U, N], [N, U, L_0], [N, U, r], [N, R, L_0], [N, R, r]$$

Для ТПС и его составных деталей выбор L_0 зависит от вида объекта и характера отказа. Например, для осей колесных пар пробег – L_0 может быть определен как пробег между заводским видом ремонта или от изготовления до

капитального ремонта. Для других узлов, например для подшипников буксового узла, L_0 может быть пробегом между текущими ремонтами.

При плане $[N, U, L_0]$ наблюдается состояние всех N объектов в течение пробега L_0 . При первом же отказе i -го объекта с наработкой $l_i < L_0$ дальнейшее наблюдение за объектом прекращается. Достоинством этого плана является меньший срок наблюдений, поскольку отпадает необходимость ожидать достижения отказов всех N объектов. Именно поэтому этот план широко используется в практике определения показателей надежности, особенно если число объектов N достаточно велико, а вероятность отказа мала. План $[N, U, L_0]$ может быть использован как для восстанавливаемых объектов, так и для невосстанавливаемых. Отличие состоит в том, что восстанавливаемый после первого отказа объект в дальнейшем из наблюдений исключается.

Если за время испытаний (в течение наработки L_0) откажут все N испытуемых объектов, то фактически реализуется план $[N, U, N]$, но возможно, что часть изделий проработает безотказно в течение всего периода испытаний L_0 .

Временная диаграмма наработок до отказа при плане $[N, U, L_0]$ показана на рисунке 4.1.2. Здесь в течение периода испытаний L_0 отказали r объектов, а остальные $N - r$ объектов проработали безотказно от начала испытаний до плановой замены. Полученная в результате испытаний информация не дает возможности определить плотность распределения $f(t)$, как при плане $[N, U, N]$, т.к. неизвестны фактические значения наработки до отказа $r + 1, r + 2, \dots N$ -го объекта [31].

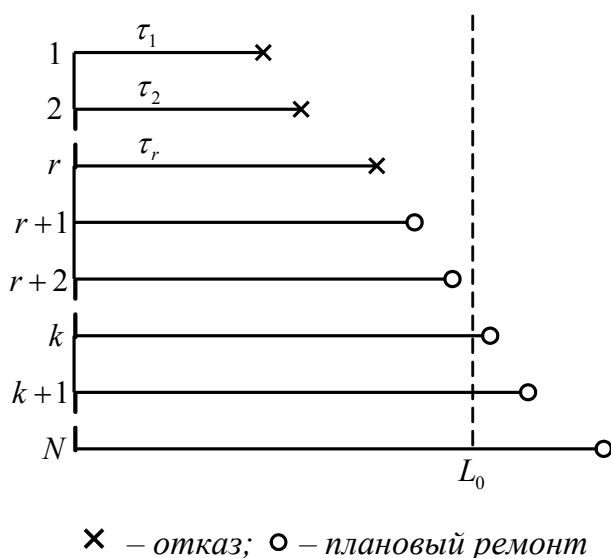


Рисунок 4.1.2 – Временная диаграмма наработок при плане $[N, U, L_0]$

По результату обработки полученной информации рассчитывают значение $\lambda^*(t)$ по формуле:

$$\lambda^*(t) = \frac{\Delta n}{n(t)\Delta t} \quad (4.6)$$

В результате найденной зависимости интенсивности отказов $\lambda(t)$ вычисляют:

– вероятность безотказной работы $P^*(t)$ по формуле;

$$P^*(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (4.7)$$

– вероятность отказа $Q^*(t)$ – функцию распределения наработки до отказа по формуле:

$$Q(t) = 1 - P(t) \quad (4.8)$$

– среднюю наработку до отказа T^* по формуле:

$$T = \int_0^{\infty} P(t) dt \quad (4.9)$$

Тогда плотность распределения, $f(t)$ возможно рассчитать по формуле:

$$f(t) = -\frac{dP(t)}{dt} \quad (4.10)$$

При этом в качестве исходной информации для расчетов выступает выборка наработок до отказа оборудования τ_i , объем которой равен r , то есть количеству отказавших экземпляров оборудования. Так как в течение периода испытаний L_0 не все экземпляры оборудования отказывают, то выборка наработок до отказа для N экземпляров оборудования усечена справа моментом проведения очередного планового ремонта. Следовательно, количество экземпляров оборудования, для которого в течение периода испытаний L_0 отказы не возникли, составляет $N - r$.

Исходя из полученной в результате таких испытаний информации, можно рассчитать точечную оценку вероятности отказа испытуемого оборудования к моменту проведения очередного планового ремонта L_0 как:

$$Q^*(L_0) = \frac{r}{N}. \quad (4.11)$$

Упорядочив наработки до отказа для всех отказавших экземпляров оборудования в порядке возрастания в вариационный ряд, имеется возможность построить зависимость оценки вероятности отказа от наработки $Q^*(\tau_i)$ в межремонтном периоде (рисунок 4.1.3).

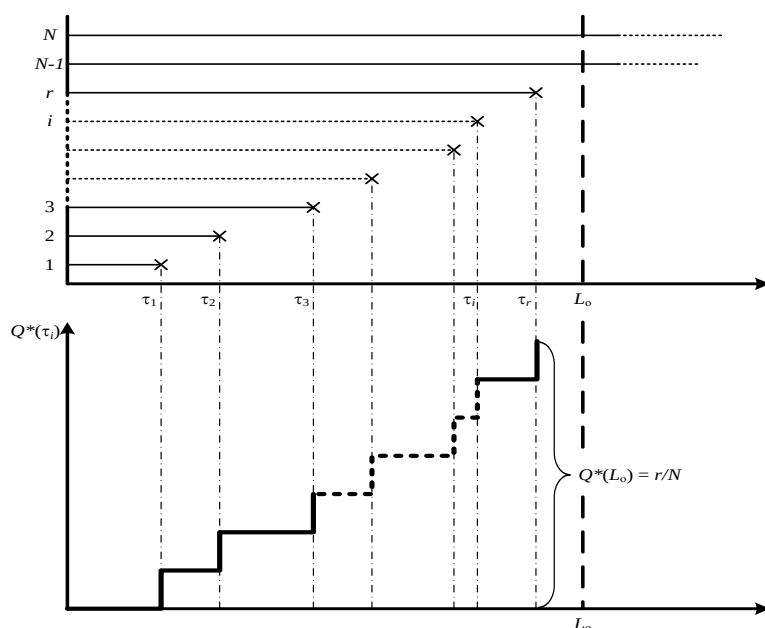


Рисунок 4.1.3 – Оценка вероятности отказа в межремонтном периоде неремонтируемого оборудования ТПС

Следует отметить, что рассчитанные значения оценки вероятности отказа являются точечными, и они ограничены справа моментом проведения очередного планового ремонта. Поэтому для определения интенсивности отказов оборудования ТПС по этим результатам необходимо иметь полную теоретическую зависимость вероятности отказа от наработки, то есть не имеющую усечения справа.

Для получения этой зависимости поступают следующим образом:

1) задаются одним из известных типов законов распределения наработки до отказа $F(t)$;

2) задаются значения параметров выбранного распределения $F(t) = f(m_x, \sigma_x)$ или $F(t) = f(a, b)$;

3) сравнивают оценку функции вероятности отказа $Q^*(\tau_i)$ в интервале межремонтного пробега с заданным теоретическим распределением $F(t)$ и рассчитывают сумму квадратов отклонений между функциями при известных значениях наработок до отказа τ_i по формуле

$$S_O^2 = \sum_{i=1}^r [Q^*(\tau_i) - F(\tau_i)]^2 \quad (4.12)$$

4) варьируя типом закона распределения наработки до отказа и его параметрами, методом последовательных приближений определяются такой тип закона распределения и значения его параметров m_x и σ_x (a и b), для которых сумма квадратов отклонений (4.12) минимальна, то есть $S_O^2 \Rightarrow \min$ [32].

Для определения вида закона распределения наработки до отказа оборудования ТПС и параметров этого распределения используется метод «наименьших квадратов».

В таблице 4.1 представлены данные о наработках до ослабления посадки бандажей на колёсном центре - (поворот) колёсной пары электровоза ВЛ80С.

Таблица 4.1 - Данные о наработках до ослабления посадки бандажей на колесном центре- (поворот) колёсной пары электровоза ВЛ80С

Номер бандажа (оси)	Дата проведения контроля	Результат контроля	Начало эксплуатации	Пробег, км	Толщина при повороте, мм
1	2	3	4	5	6
19556/01.14-8	3.04.14г.	поворот	30.11.11г.	309097	53,0
19676/01.14-8	5.04.14г.	поворот	04.08.12г.	354735	51,0
104286/10.12-218	8.04.14г.	поворот	6.11.13	309255	65,0
3842/02.12-8	9.04.14г.	поворот	4.05.12г.	121143	58,0
128199/10.10-8	11.04.14г.	поворот	19.01.11г.	223857	65,0
91612/01.11-8	14.04.14г.	поворот	9.09.11г.	2994719	64,5
60263/06.11-8	18.05.14г.	поворот	16.09.11г.	228773	61,5
119523/11.11-8	30.06.14г.	поворот	6.01.12г.	304618	60,0
118453/12.11-8	18.07.14г.	поворот	2.12.11г.	295421	72,5
125299/02.11-8	19.07.14г.	поворот	22.02.11г.	335870	61,0
9040/10.83-217	20.07.14г.	поворот	6.05.11г.	357391	66,5
50799/06.11-8	23.07.14г.	поворот	24.06.11	224679	67,5
50796/06.11-8	23.07.14г.	поворот	24.06.11г.	241220	60,5
48354/02.10-8	24.07.14г.	поворот	12.07.10г.	340541	64,5
4042/02.12-8	27.07.14г.	поворот	10.04.12г.	251678	64,0
32639/04.11-8	18.08.14г.	поворот	28.05.08г.	343137	66,0
97017/08.13-8	5.09.14г.	поворот	23.08.13г.	352456	61,0
132551/01.12-8	8.09.14г.	поворот	07.03.12г.	117104	84,0
84017/12.12-8	12.09.14г.	поворот	25.12.12г.	308213	56,5
30199/04.12-8	3.10.14г.	поворот	19.04.12г.	297690	57,0
67867/07.09-8	4.10.14г.	поворот	25.05.12г.	312211	64,0
89577/09.11-8	7.10.14г.	поворот	10.10.11г.	397502	53,0
109658/11.14-8	10.10.14г.	поворот	15.07.13г.	227218	80,0
89036/09.14-8	13.10.14г.	поворот	11.11.14г.	396417	54,0
96656/08.11-8	16.02.15г.	поворот	31.10.11г.	368560	46,0
40854/07.11-8	20.02.15г.	поворот	11.09.11г.	198370	57,0
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
20751/02.13-8	12.10.16г.	поворот	21.03.13г.	400040	54,0

По полученным данным была рассчитана и построена функция распределения наработки до отказа (ослабления) бандажей колесных пар (рисунок 4.1.4).

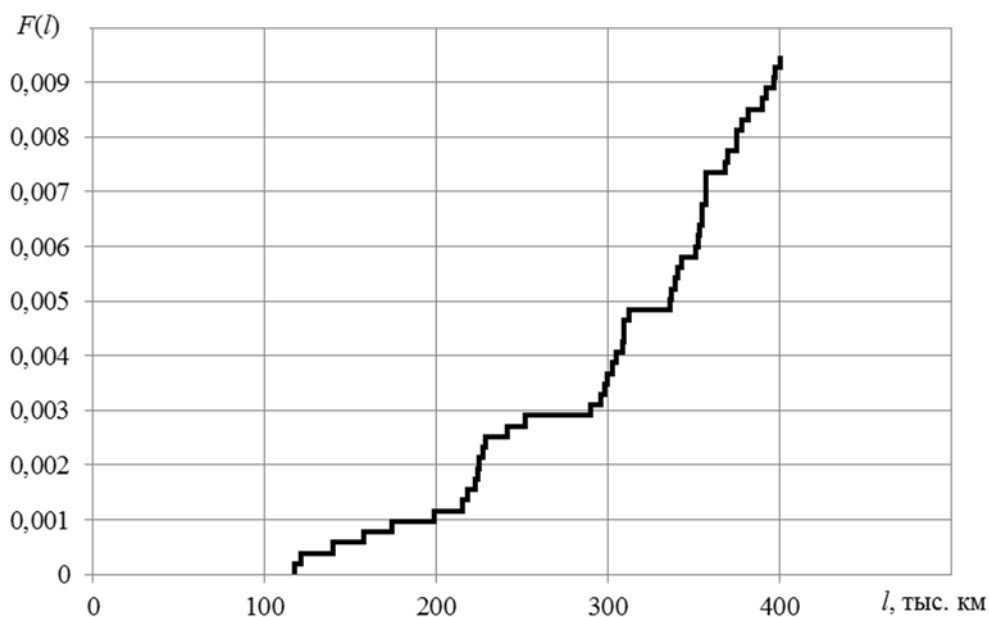


Рисунок 4.1.4 – Эмпирическая функция распределения наработки до отказа (ослабления) бандажей колесных пар

Из 5170 проконтролированных бандажей, имеющих различную наработку, обнаружено 49 с ослаблением их посадки на колесном центре, что позволяет предположить о несоблюдении регламентированной величины натяга при формировании колесных пар, а также в ремонте при перетяжке или замене бандажей, нарушение режимов тепловой посадки, несоблюдение регламентированной микро и макрогеометрии при обработке посадочных поверхностей бандажа и обода колесного центра.

Поскольку вероятность отказа на момент проведения ТР-3 (со сменой колес) очень мала ($F(l)=0,00948$), то считать суммарную функцию распределения с учётом износа и ослабления посадки бандажа не имеет смысла. Так как ослабление бандажа не оказывает существенного влияния на величину его ресурса.

4.2 Расчёт показателей безотказности элементов колёсной пары электровоза ВЛ80С по результатам неразрушающего контроля

При сборе информации о партии проконтролированных деталей (выборка) перед или в процессе восстановления подвижного состава, как правило, имеет разную наработку l от момента изготовления. Поэтому по результату неразрушающего контроля детали невозможно определить зависимость вероятности отказа от ее наработки. В этом случае значение процента брака (вероятности отказа) является усредненной точечной оценкой, не позволяющей прогнозировать техническое состояние детали конкретного наименования [31]. Если же известна наработка каждой проконтролированной детали из выборки N от момента её изготовления, то информацию о наработках всех N деталей, в процессе контроля во времени, можно графически представить следующим образом (рисунок 4.2.1).

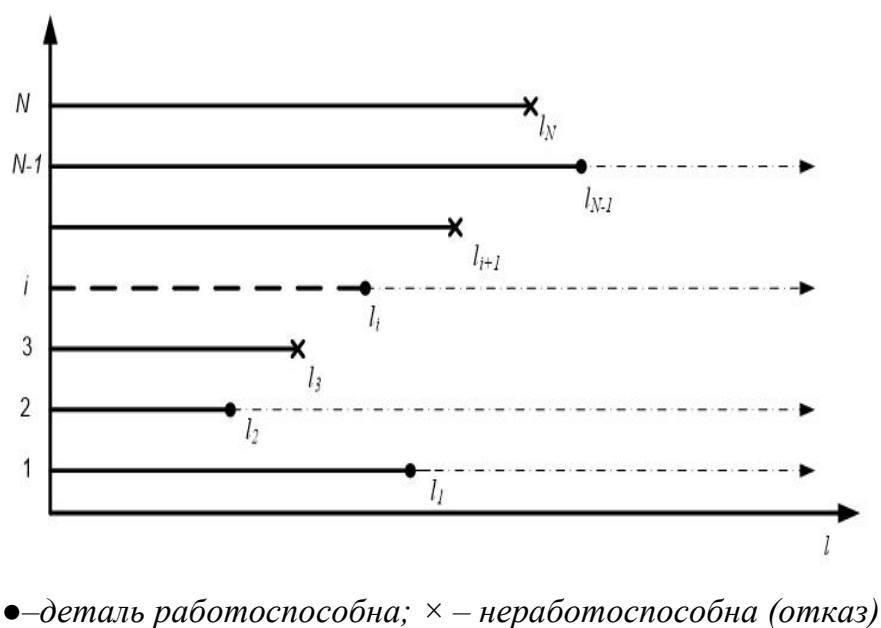


Рисунок 4.2.1. Представление информации о наработках выборки N деталей в процессе их неразрушающего контроля

Если наработки на момент контроля N деталей выстроить в вариационный ряд (рисунок 4.2.2), то полученная информация позволит оценивать точечную оценку вероятности отказа Q^* для конкретного значения наработки.

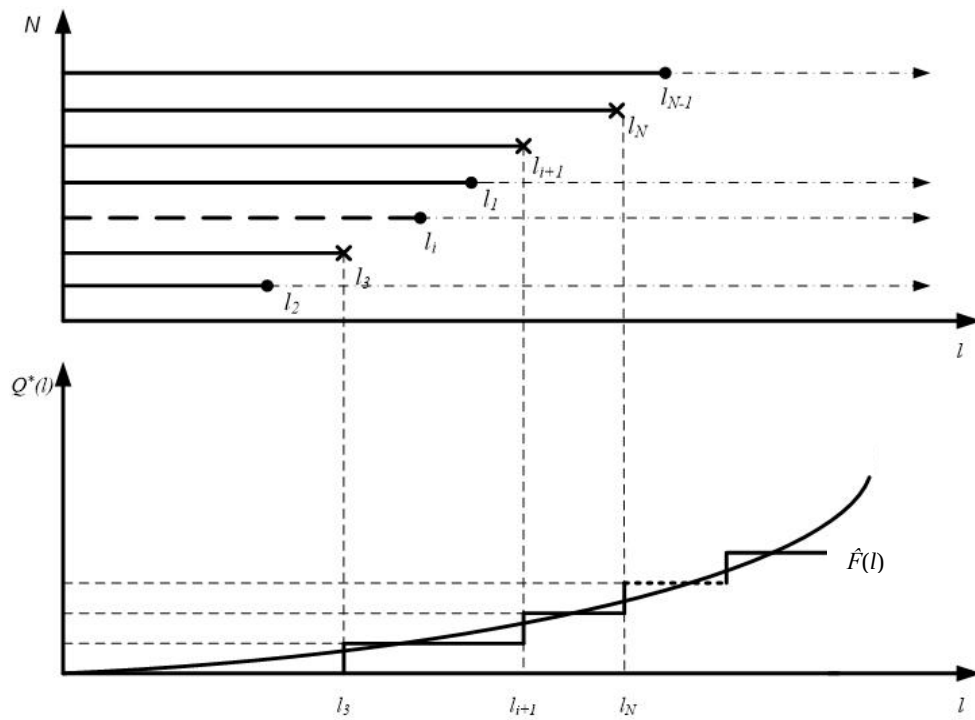


Рисунок 4.2.2 – Вариационный ряд наработок выборки N деталей, подвергнутых неразрушающему контролю и эмпирическая функция вероятности отказа – $\hat{F}(l)$

Вероятность отказа $Q^*(l_i)$ при наработке l_i проконтролированных деталей, k из которых оказались дефектными, будет:

$$Q^*(l_i) = \sum_{i=1}^k \frac{1}{N(l_i)}, \quad (4.2.1)$$

где i – номер (в вариационном ряду) отказавшей детали;

l_i – наработка на момент контроля i – й детали;

$N(l_i)$ – количество деталей, находящихся под наблюдением при наработке l_i , с учётом отказавших до наработки l_i ;

k – количество деталей, отказавших до наработки l_i ;

x – признак отказа детали;

o – признак работоспособности детали.

Совокупность точечных оценок вероятности отказа детали, полученных при разных наработках, позволяет построить эмпирическую зависимость её от наработки (эмпирическую функцию распределения наработки до отказа – $\hat{F}(l)$).

При объединении информации n выборок, каждая из которых представляет N одноимённых деталей, подвергнутых неразрушающему контролю, получим выборку $n \times N$ достаточно большого объема, что позволит существенно повысить достоверность оценки эмпирической функции распределения наработки до отказа.

По полученной в процессе контроля усеченной справа представительной выборке наработок до отказа рассматриваемой детали необходимо определить вид и параметры закона распределения наработки до отказа [31], то есть построить теоретическую функцию её распределения – $F(l)$.

Усечение выборки обуславливается тем, что вероятность того, что из выборки проконтролированных деталей все окажутся бракованными, практически равна нулю. По теоретической функции распределения наработки до отказа становится возможным определять показатели безотказности и долговечности [32] рассматриваемой детали.

Апробация предложенной методики осуществлена по полученной информации о результатах неразрушающего контроля осей колёсных пар электровозов ВЛ80С. С целью анализа результаты контроля осей колесной пары сведены в таблицу 4.2.1.

Таблица 4.2.1 – Результаты неразрушающего контроля осей колёсной пары электровоза ВЛ80С

№ п/п	Номер детали	Дата изготовления (формирования) детали	Завод изготовитель	Дата проведения контроля	Причина (зона) браковки и метод НК	Общий пробег, км
1	2	3	4	5	6	7
1	3860	14.04.1967	Ростовский ЭРЗ	02.01.2010	годен	1876168
2	1552	14.01.1972	НЭВЗ	04.01.2010	годен	339756
3	6018	16.10.1983	НЭВЗ	04.01.2010	годен	2478612
4	444898	27.03.2007	ЗАО НПЦ "Трансмаш" г.Луганск	04.01.2010	годен	405249
5	152	19.03.1988	НЭВЗ	05.01.2010	годен	2967027
6	1329	02.02.1978	НЭВЗ	08.01.2010	брак, п/ступ. УЗК	9254630
7	4773	05.04.1987	Ростовский ЭРЗ	10.01.2010	годен	882668
8	6059	08.01.1990	Челябинский ЭРЗ	10.01.2010	годен	4642451
9	7778	01.01.2001	У-У ЛВРЗ	11.01.2010	годен	1083056
10	7778	01.01.2001	У-У ЛВРЗ	11.01.2010	годен	1083056
11	9296	09.01.1999	НЭВЗ	11.01.2010	годен	1678000
12	7752	15.08.1984	НЭВЗ	12.01.2010	годен	1707500
13	8117	11.09.1975	Ростовский ЭРЗ	14.01.2010	годен	854354
14	7550	27.08.1987	НЭВЗ	15.01.2010	годен	1480639
15	12914	28.01.1986	НЭВЗ	16.01.2010	годен	1720271
16	171796	01.12.2004	ЗАО НПЦ "Трансмаш" г.Луганск	16.01.2010	годен	411394
17	01649	10.10.2006	Ростовский ЭРЗ	16.01.2010	годен	453100
18	5537	20.09.1995	НЭВЗ	18.01.2010		1460011
19	15783	01.03.1977	НЭВЗ	23.01.2010	брак, трещина на средней части оси, МПК	3957154
20	4293	01.10.2002	НЭВЗ	27.01.2010	годен	1566967
....						
1067	6052	19.07.1995	У-У ЛВРЗ	31.12.2010	годен	1107000

В представленных данных присутствуют забракованные детали, выявленные при разных методах контроля.

Ось колесной пары, является одной из ответственных деталей тягового подвижного состава, в процессе эксплуатации она подвергается интенсивным знакопеременным нагрузкам. Вследствие этого в осях колесных пар в течении срока их службы возникают эксплуатационные дефекты в основном усталостного характера. Скорость развития дефектов в оси определяется уровнем действующих сил и характеристиками механических свойств металла оси. Основными силовыми факторами, действующими на ось, являются вес локомотива, динамические усилия от колебаний на рессорах и силы от удара колес на стыках рельсов, а также боковые нагрузки, обусловленные действием инерционных сил при движении по криволинейным участкам пути.

Из 1067 проконтролированных осей, имеющих различную наработку (от 500 тыс. км. до 5 млн. км) выявлено 37 дефектных. Производство НК на предприятиях проводилось в соответствии с нормативной документацией, технологической картой, которая создана на основе стандартов ОАО «РЖД» и типовых инструкций по НК. При современной разработке и изготовлении ультразвуковых дефектоскопов, в частности УД2-102, позволяет достоверно определить координаты залегания и условные размеры дефекта.

Так как значения контролируемых параметров и наработок до отказа являются случайными, для получения достоверных результатов выборки исходных данных должны быть достаточно представительными. Минимально необходимый объем выборки (количество результатов измерения контролируемого параметра) согласно [31] составляет $N=41$. Используемые в работе выборки существенно превышают минимально необходимые, что позволяет свидетельствовать о достоверности рассчитанных значений показателей надёжности.

На основании выборки наработок осей колёсных пар электровозов ВЛ80С от начала их эксплуатации до момента проведения НК рассчитана усечённая эмпирическая функция распределения, данные представлены в таблице 4.2.2.

Таблица 4.2.2 – Расчётные значения показателей безотказности осей колёсных пар электровозов ВЛ80С

Наработка до отказа l , тыс. км	Кол-во осей колёсных пар $N(l)$	Приращение наработки Δl , тыс. км.	Приращение эмпирической функции распределения $\Delta \hat{F}(l)$	Приращение эмпирической функции плотности наработки до отказа $\Delta \hat{f}(l)$, 1/тыс. км	Расчётное значение интенсивности отказов $\lambda(l)$, 1/тыс. км
1	2	3	4	5	6
4,849	734	4,849	0,001362398	0,00028096	0,00028135
213,57	701	208,721	0,001426534	0,00000683	0,00000685
283	679	69,43	0,001472754	0,00002121	0,00002130
332,291	663	49,291	0,001508296	0,00003060	0,00003078
372	635	39,709	0,001574803	0,00003966	0,00003995
390,117	629	18,117	0,001589825	0,00008775	0,00008854
398,5	625	8,383	0,0016	0,00019086	0,00019289
414,9	619	16,4	0,001615509	0,00009851	0,00009972
558,114	581	143,214	0,00172117	0,00001202	0,00001219
601,45	568	43,336	0,001760563	0,00004063	0,00004127
670,432	543	68,982	0,001841621	0,00002670	0,00002717
702,517	532	32,085	0,001879699	0,00005858	0,00005974
732,9	522	30,383	0,001915709	0,00006305	0,00006442
873,329	484	140,429	0,002066116	0,00001471	0,00001506
882,6	480	9,271	0,002083333	0,00022472	0,00023058
914,798	470	32,198	0,00212766	0,00006608	0,00006795
920,366	468	5,568	0,002136752	0,00038376	0,00039550
969,95	458	49,584	0,002183406	0,00004403	0,00004548
1097,209	429	127,259	0,002331002	0,00001832	0,00001897
1107,16	428	9,951	0,002336449	0,00023480	0,00024370
1129,356	422	22,196	0,002369668	0,00010676	0,00011108
1163,952	414	34,596	0,002415459	0,00006982	0,00007283
1388,631	376	224,679	0,002659574	0,00001184	0,00001238
1467,024	354	78,393	0,002824859	0,00003603	0,00003780

продолжение таблицы 4.2.2

1	2	3	4	5	6
1486,241	352	19,217	0,002840909	0,00014783	0,00015556
1652,679	316	166,438	0,003164557	0,00001901	0,00002007
1675,37	315	22,691	0,003174603	0,00013991	0,00014820
1884,324	281	208,954	0,003558719	0,00001703	0,00001811
2039,842	256	155,518	0,00390625	0,00002512	0,00002682
2672,298	178	632,456	0,005617978	0,00000888	0,00000954
2754,921	174	82,623	0,005747126	0,00006956	0,00007518
2857,441	163	102,52	0,006134969	0,00005984	0,00006511
3194,424	130	336,983	0,007692308	0,00002283	0,00002505
3640,6	101	446,176	0,00990099	0,00002219	0,00002462
3957,154	86	316,554	0,011627907	0,00003673	0,00004128
4414,488	72	457,334	0,013888889	0,00003037	0,00003467
4494,158	72	79,67	0,013888889	0,00017433	0,00020223

По эмпирической функции (рисунок 4.2.3) методом «наименьших квадратов» определён вид и параметры закона распределения $F(l)$, оптимальным образом описывающего экспериментальные данные наработок до отказа [31, 106] по результатам неразрушающего контроля осей колёсных пар электровозов.

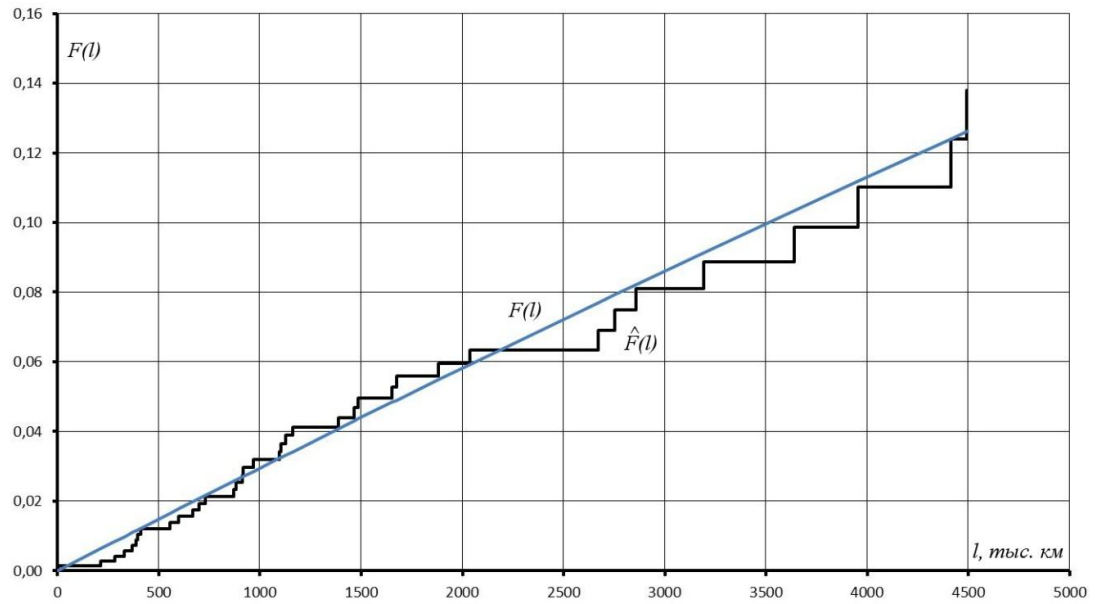


Рисунок 4.2.3 – Эмпирическая $\hat{F}(l)$ и теоретическая $F(l)$ функция распределения наработки до отказа оси колёсной пары.

Установлено, что полученная выборка наработок до отказа колёсных пар на интервале их контроля от 0 до 5 млн. км, подчиняется экспоненциальному закону распределения с постоянной интенсивностью отказа $\lambda=0,00003$ 1/тыс. км (рисунок 4.2.4).

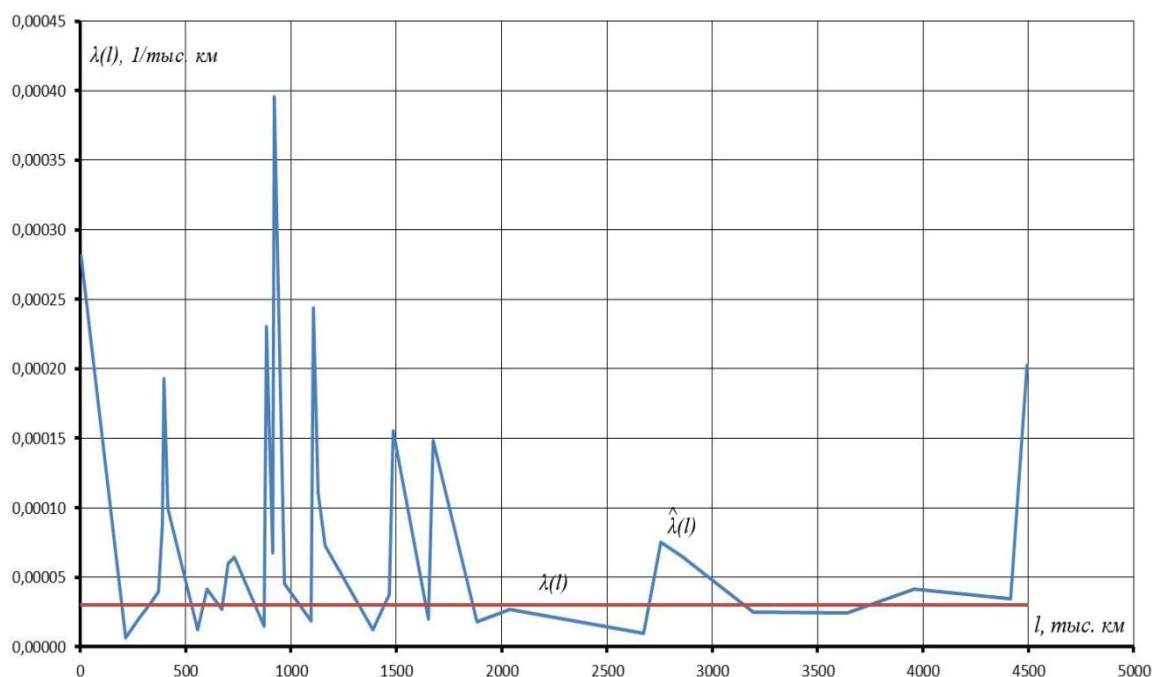


Рисунок 4.2.4 – Зависимости от наработки интенсивности отказов осей колёсных пар

При достижении наработки осей колёсных пар 5 млн. км. примерно 14 процентов их отказывает. Так как скорость отказов на рассматриваемом интервале наработки остаётся постоянной, следует сделать вывод, что срок службы рассматриваемых осей колёсных пар не исчерпан, т.е. при рассматриваемой наработке они не достигают предельного состояния.

При тех же плановых видах ремонта и на тех же колёсных парах были продефектоскопированы большие зубчатые колёса тягового редуктора, на выявление дефектов с помощью магнитопорошкового метода контроля. Из 685 проконтролированных деталей имеющих различную наработку, от 160 тыс. км. до 2.9 млн. км. выявлено 7 дефектных. Результаты контроля сведены в таблицу 4.2.3.

Таблица 4.2.3 – Результаты контроля БЗК тягового редуктора осей колёсной пары электровоза ВЛ80С

№ п/п	Номер зубчатого колеса	Дата проведения контроля	Результат контроля	Дата начала эксплуатации	Пробег, км
1	2	3	4	5	6
1	142/09.87-217	02.01.2015	годен	05.09.2005	2025155
2	133/10.03-217	02.01.2015	годен	21.04.2006	1062644
3	174/05.03-217	03.01.2015	годен	16.11.2005	1184185
4	154/06.91-217	03.01.2015	годен	02.12.2005	1815967
5	308685/03.12-26	05.01.2015	брак	23.03.2012	390742
6	425994/03.12-26	05.01.2015	годен	23.03.2012	390742
7	37/03.91-217	06.01.2015	годен	19.09.2004	944034
8	169/05.88-217	06.01.2015	годен	19.01.2008	975236
9	2496/07.81-217	06.01.2015	годен	23.02.2007	841217
10	51207/09.81-217	06.01.2015	годен	20.02.2007	1084232
11	622416/08.07-19	09.01.2015	годен	07.09.2007	897366
12	198/02.05-210	09.01.2015	годен	28.05.2005	1038364
13	157558/05.11-19	09.01.2015	годен	17.06.11г.	542652
14	157646/06.11-19	09.01.2015	годен	17.06.11г.	542652
....					
....					
682	2014/08.78-217	12.02.2016г.	годен	14.07.2007	1024927
683	426021/03.12-19	12.02.2016г.	годен	23.05.2012	382376
684	377/01.07-60	12.02.2016г.	годен	16.08.2004	1396711
685	1075/02.11-60	12.02.2016г.	брак	05.04.2011	871483

По расчетным данным построена эмпирическая $\hat{F}(l)$ и теоретическая $F(l)$ функции распределения наработки до отказа БЗК колёсной пары, рисунок 4.2.5

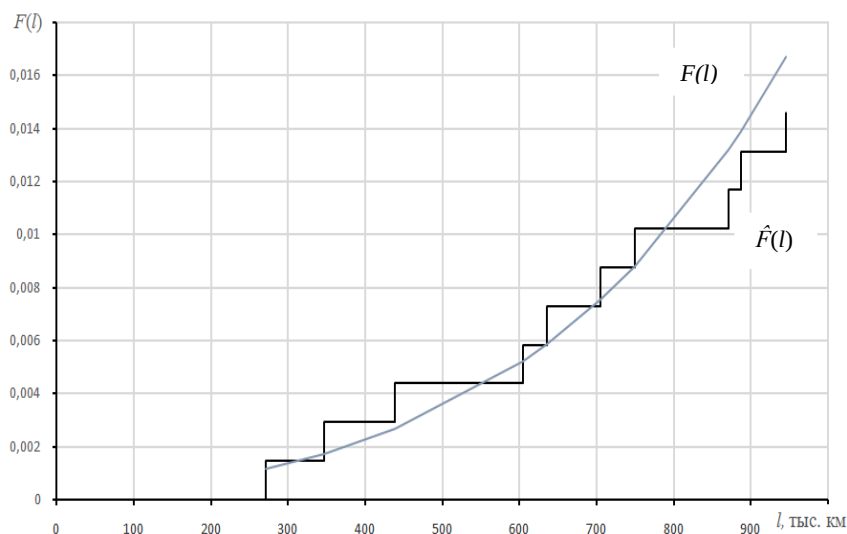


Рисунок 4.2.5 – Эмпирическая $\hat{F}(l)$ и теоретическая $F(l)$ функция распределения наработки до отказа БЗК колёсной пары

Аналогично так же неразрушающему контролю были подвергнуты колёсные центры на выявление дефектов с помощью вихретокового метода контроля. Результаты контроля сведены в таблицу 4.2.4.

Таблица 4.2.4 – Результаты неразрушающего контроля колёсных центров

№ п/п	Номер детали	Дата изготовления, установки детали	Завод изготовитель	Дата проведения контроля	Причина браковки и предприятие нахождения	Общий пробег, км
1	2	3	4	5	6	7
1	1801/11.12-1224	08.12.2012	НЭВЗ	04.01.2016	годен	825233
2	2484/01.75-217	02.09.2013	Улан-Удэ	02.01.2016	брак	531179
3	725н/09.82-217	02.10.1982	НЭВЗ	03.01.2016	брак	551934
4	3498/08.13-60	06.09.2013	НЭВЗ	07.01.2016	годен	808826
5	623/03.83-217	25.02.2011	НЭВЗ	07.01.2016	годен	1334734
6	3706/07.82-8	26.07.1982	Н. Тагил	07.01.2016	годен	1417987
7	1542/08.64-217	26.07.2011	НЭВЗ	08.01.2016	годен	647574
8	1303/05.07-1228	23.07.2012	Луганск	08.01.2016	годен	497280
9	491/04.04-60	30.12.2015	Улан-Удэ	08.01.2016	годен	432365
....						
269	4688/01.06-217	07.09.2006г.	НЭВЗ	06.07.2016	годен	1153804
270	2314/08.08-60	08.04.2014	НЭВЗ	06.07.2016	годен	271566
271	435/01.93-217	30.08.2012	НЭВЗ	06.07.2016	брак	449514
272	4308/09.13-60	11.10.2013	Улан-Удэ	06.07.2016	брак	416538
273	1259/06.12-26	28.06.2012г	Ярославский ЭРЗ	07.07.2016	годен	486317
....						
569	181/03.04-1224	24.04.2013	Завод точного литья	11.12.2016	годен	461608
570	1120/04.07-1224	21.06.2012	Завод точного литья	11.12.2016	годен	482625

По расчетным данным построена эмпирическая $\hat{F}(l)$ и теоретическая $F(l)$ функция распределения наработки до отказа колёсных центров колёсной пары, рисунок 4.2.6.

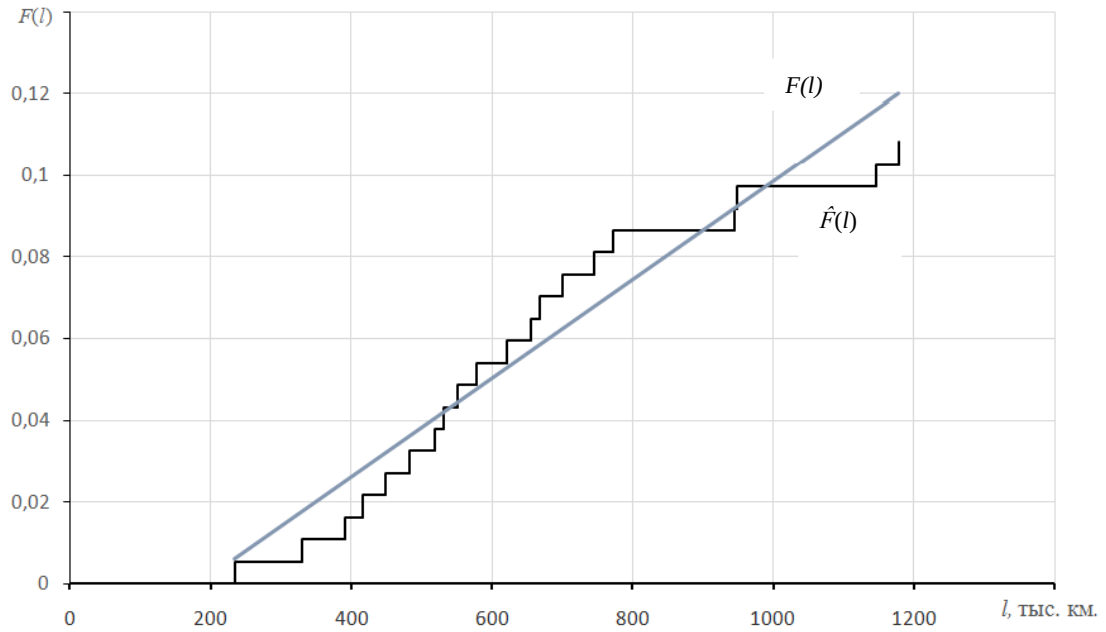


Рисунок 4.2.6 – Эмпирическая и теоретическая функция распределения наработки до отказа колёсного центра колёсной пары

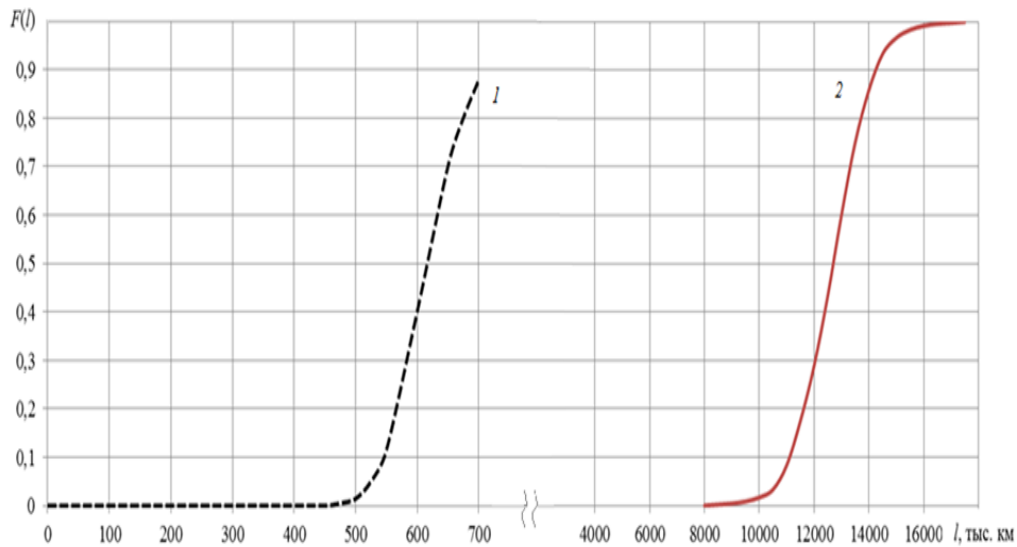
Из 570 проконтролированных деталей имеющих различную наработку, от 160 тыс. км. до 2.9 млн. км., выявлено 34 дефектных.

4.3 Расчёт показателей долговечности элементов колёсной пары электровоза ВЛ80С и определение лимитирующей детали

Функции восстановления оборудования, не имеющего контролируемых параметров и функции распределения ресурса изнашиваемого оборудования, являются исходными для расчёта оптимальных сроков восстановления оборудования тягового подвижного состава. Оптимизацию системы ремонта ТПС целесообразно осуществлять по критерию, который включал бы в себя все виды затрат на выполнение технического обслуживания и ремонта, приходящиеся на объем работы, выполненной локомотивами. Так как решение задачи оптимизации системы ремонта осуществляется для конкретных условий эксплуатации, все соответствующие значения показателей, входящих в критерий оптимальности, следует определять с учетом этих условий. Тогда наибольшую эффективность работы локомотивов можно получить, если при определении оптимальной системы ремонта в качестве критерия оптимальности использовать отношение к измерителю наработки суммарных затрат на выполнение ремонтов в течение определенного периода.

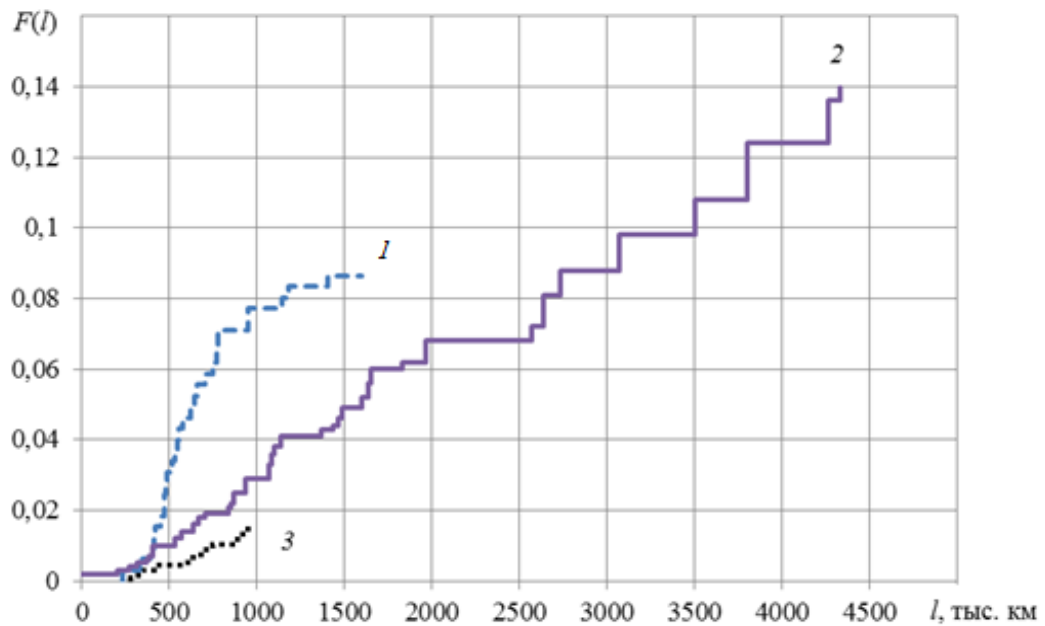
Исходя из того, что в нашей стране в качестве основного измерителя наработки принят линейный пробег, его целесообразно использовать как показатель выполненной работы. Следовательно, критерий оптимальности целесообразно выразить в виде отношения суммарных затрат на выполнение ремонтов за определенный период наработки к продолжительности этого периода [4].

По результатам произведённых расчётов и полученных данных построены графики функций распределения для всех элементов колёсной пары электровоза ВЛ80С. Для дальнейшего анализа и определения элемента, лимитирующего межремонтные пробеги, функции распределения ресурса элементов колесной пары сгруппированы по величине пробега и построены в одних осях (рисунок 4.3.1 и рисунок 4.3.2).



1 – по толщине бандаж; 2 – по толщине зуба большого зубчатого колеса

Рисунок 4.3.1 – Функции распределения ресурса элементов колесной пары электровоза ВЛ80С обусловленные износом



1 – колесный центр; 2 – ось; 3 – большое зубчатое колесо

Рисунок 4.3.2 – Функции распределения ресурса элементов колесной пары электровоза ВЛ80С по результатам неразрушающего контроля

Результаты расчёта 90 % и 95 % ресурса всех элементов колёсной пары электровоза ВЛ80 представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Результаты расчета 90% и 95% ресурса элементов колёсной пары электровоза ВЛ80С

Элемент колёсной пары	$l_{90\%}$, тыс. км	$l_{95\%}$, тыс. км
БЗК (по износу)	10850	10470
Бандаж (по износу)	550	520
НК колёсного центра	1000	600
НК оси колесной пары	3700	1850
НК БЗК	2000	1700

В таблице 4.5 наглядно показано, что лимитирующим элементом колёсной пары электровоза ВЛ80С по ресурсу, является бандаж колеса по износу.

4.4 Выводы по разделу 4

1. Важнейшим элементом при определении показателей безотказности оборудования с неконтролируемыми параметрами является определение плана наблюдений в период межремонтных пробегов ТПС.

2. По данным о наработках до ослабления бандажей (проворот) колёсной пары, была рассчитана и построена функция распределения наработки до отказа (ослабления) бандажей колесных пар.

3. По эмпирической функции методом «наименьших квадратов» определён вид и параметры закона распределения, оптимальным образом описывающего экспериментальные данные наработок до отказа по результатам неразрушающего контроля: осей колёсных пар, больших зубчатых колёс, колёсных центров электровозов.

4. Проведенный расчет функций распределения ресурса и определение 90 %, 95 % гамма - процентного ресурса узлов показал, лимитирующей деталью является бандаж колеса (по износу) колёсной пары с пробегом 550 тыс. км. и 520 тыс. км. соответственно.

5. Расчет функции распределения ресурса по результатам неразрушающего контроля и расчёт гамма - процентного ресурса определил, что лимитирующей деталью является большое зубчатое колесо с ресурсом 2000 тыс. км.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнение контроля надёжности деталей тягового подвижного состава в процессе их изготовления, ремонта и эксплуатации является важнейшей задачей по обеспечению безопасной и эффективной работы железнодорожного транспорта.

В диссертации в результате проведённых исследований получены результаты о техническом состоянии элементов колёсных пар локомотивов серии ВЛ80С эксплуатирующихся на полигоне Приволжской железной дороги, с применением инструментального и неразрушающего контроля. Разработаны теоретические положения, направленные на совершенствование организации ремонта и повышения эксплуатационной надёжности тягового подвижного состава. В соответствии с задачами диссертационной работы получены следующие научные и практические результаты.

1. Проведён анализ технического состояния элементов колёсных пар, влияющих на эксплуатационную надёжность тягового подвижного состава с применением инструментального метода контроля и неразрушающего контроля деталей.

2. В исследовании выявлено, что существующие информационные ресурсы, применяемые в холдинге ОАО «РЖД» позволяют оперативно и качественно производить сбор данных по отказам подвижного состава и ведение их в электронном виде паспортов на ТПС.

3. Проведенные теоретические исследования и расчёты подтверждают возможность применения системы ремонта и технического обслуживания тягового подвижного состава для учёта их фактического состояния.

4. На основе анализа процессов изменения контролируемых параметров колесных пар, таких как: толщина бандажа, толщина зуба большого зубчатого колеса и непараметрического контроля с применением методов НК деталей: ось колёсной пары, колёсный центр, большое зубчатое колесо тягового редуктора, бандаж, были определены законы их распределения и числовые характеристики

для каждого из параметров при фиксированной наработке. Установлено, что данные выборки величин всех контролируемых параметров колесных пар хорошо описываются нормальным законом распределения.

5. Построены зависимости от наработки среднего значения и среднеквадратического отклонения каждого из рассматриваемых параметров.

6. Рассчитаны функции распределения ресурса для каждого исследуемого параметра, полученного при инструментальном и неразрушающем контроле.

7. Установлено, что проведенный расчет функций распределения ресурса и определение 90%, 95% гамма-процентного ресурса деталей показал, лимитирующей деталью является бандаж колеса (по износу) колёсной пары с пробегом 550 тыс. км. и 520 тыс. км. соответственно.

8. Оптимальные сроки восстановления оборудования ТПС необходимо определять исходя из анализа изменения с увеличением наработки показателей безотказности и долговечности оборудования электровоза ВЛ80С в конкретных условиях эксплуатации.

Рекомендации и перспективы дальнейших исследований по теме:

1. Представленные в работе результаты исследования и расчёты показателей безотказности и долговечности элементов колёсной пары по результатам инструментального и неразрушающего контроля могут быть использованы при расчёте межремонтных пробегов для эксплуатирующихся электровозов ВЛ80С на полигонах сети железных дорог.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агапов, М.М. Совершенствование системы ремонта и повышение работоспособности оборудования подвижного состава метрополитена в условиях эксплуатации [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07/ Михаил Михайлович Агапов; Московский ин – т инж. железнодорож. транспорта. – М., 1992. – 178 с.
2. Аксенов, А.П. Разработка рациональных организационных форм технического обслуживания оборудования в машиностроительном производстве [Текст]: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.21/ А.П. Аксёнов; ин–т экон. пробл. комплексного развития нар. хоз. – М., – 1989. – 139 с.
3. Адлер, Ю.П. Управление качеством. Часть 1. Семь простых методов: учебное пособие [Текст]/ Ю.П. Адлер. – М.: МИСиС, 2001. – 138 с.
4. Алексеев, С.А. Анализ надежности и определение ресурса оборудования электропоездов ЭП1 в различных условиях эксплуатации [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.22.07/ Алексеев Сергей Александрович Московский гос. универ. путей сообщ. – М., 2010. – 136 с.
5. Алексеев, С.А. Новый подход к оценке надежности подвижного состава в эксплуатации [Текст]: / Воробьев А.А., Скребков А.В., Соколов С.А. // Безопасность движения поездов (VII научно-практическая конференция), МИИТ М. – 2006. – 312 с.
6. Алексеенко, Н.Н. Методика построения системы технического обслуживания электронного оборудования электропоездов однофазно-постоянного тока [Текст]: дис. ...канд. тех. наук: 05.22.03/ Алексеенко Николай Николаевич Московский гос. универ. путей сообщ. – М., 1989. – 147 с.
7. Алешин, Н.П. Методы акустического контроля металлов [Текст] / Алешин Н. П., Белый В. Е., Вopilкин А. Х. [и др.]; ред. Алешин Н. П. - М.: Машиностроение, 1989. – 455 с.: ил. – Библиогр.: С. 451–454. – ISBN 5-217-00492-4.

8. Артес, А.Э. Контроль качества продукции машиностроения [Текст]: учебное пособие /под ред. А.Э. Артеса – М.: изд – во стандартов, 1974. – 417 с. ил.. — Библиогр.: С. 441-443.
9. Архангельский, А.Я. Приемы программирования в Delphi [Текст] / А.Я. Архангельский – М.: ООО "Бином-Пресс", 2006. – 941 с.
10. Балакин, А.Ю. Прогнозирование технического состояния бандажей колёсных пар маневровых тепловозов [Текст]: дис. ...канд. тех. наук: 05.22.07 / Балакин Андрей Юрьевич Самарский ин – т инженеров ж.д. транспорта им. М.Т. Елизарова. Самара. – 2002. – 151 с.
11. Барышников, О.П. Разработка метода определения периодичности и объемов технического обслуживания и ремонта электрических машин специализированными предприятиями черной металлургии [Текст] дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03 /Барышников Олег Петрович Московский энергет. ин – т М. – 1991. – 167 с.
12. Бендерский, А.М. О стандарте на статистическое регулирование технологических процессов при нормальном распределении контролируемого параметра [Текст] / А.М. Бендерский Л.В. Баумгартен // Надежность и контроль качества. – 1977. – №8. – С. 66–74.
13. Беллман, Р. Прикладные задачи динамического программирования [Текст] / Р. Беллман, С. Дрейфус пер. с англ. – М.: Наука, 1965. – 460 с.
14. Биличенко, В.В. Комплексная организация технического обслуживания и текущего ремонта подвижного состава объединений автомобильного транспорта на основе централизации и специализации [Текст]: дис. ...канд. техн. наук: 05.22.10 / В.В Биличенко Киевский автомоб. – дор. ин–т им. 60 – лет Великой Окт. соц. Революции. – 1989. – 174 с.
15. Болотин М. М. Совершенствование технического уровня вагонных депо и вагонных конструкций [Текст]: дис. ... д – ра техн. наук: 05.22.07 /Моск. ун – т путей сообщения. – 1994. – 237с.
16. Буйносов, А. П. Методы повышения ресурсов бандажей колёсных пар тягового подвижного состава [Текст]: дис д – ра техн. наук: 05.22.07

- /Александр Петрович Буйносов. – Ур. гос. ун-т. путей сообщ. – Екатеринбург, 2011. – 456 с.
17. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей [Текст]: учеб. для вузов / Е.С. Вентцель – М.: Наука. – 1969. – 576 с.
18. Вербинский, М. Н. Организационно – экономический механизм снижения затрат на ремонтно – техническое обслуживание металлообрабатывающего оборудования [Текст]: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / М.Н. Вербинский. – Киевский ин – т народ. хоз – ва. – 1991. – 139 с.
19. Воробьев, А.А. Оптимизация периодичности и объемов плановых ремонтов ЭПС и прогнозирование его технического состояния [Текст]: дис. ... д – ра техн. наук: 05.22.07 / А.А. Воробьев Московский ин – т инженеров ж. д. транспорта. – 1992. – 267 с.
20. Воробьев, А.А. Надёжность подвижного состава: учебник для специалистов [Текст]: / А.А. Воробьев [и др.]. – М.: ФГБУ ДПО «Учебно – методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2017. – 301 с.
21. Воробьев, А.А. Анализ Парето для контроля качества деталей подвижного состава [Текст]:/ А.А. Воробьев, А.В. Скребков, В.А. Карпов // «Мир транспорта». – М.: 2012. – №5. – С. 24 – 26.
22. Воробьев, А.А. Определение ресурса узлов и деталей тягового подвижного состава по усеченной выборке наработок на отказ [Текст]:/ А.А. Воробьев, Р.А. Постников // Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте: труды III научно – практической конференции. МИИТ – М. – 2000. – С.89 – 93.
23. Воробьев, А.А. Повышение средств и методов неразрушающего контроля. Автоматизированная система контроля выполнения графика калибровки [Текст]:/ А.А Воробьев, В.А Карпов // Безопасность движения поездов: труды XIV научно-практической конференции. – МИИТ М.: 2012. – С. 214–216.
24. Воробьев, А.А. Неразрушающий контроль: анализ надежности ПС [Текст]:/ А.А. Воробьев, В.А. Карпов, С.А. Соколов // «Мир транспорта». – М.: – 2014. № 6. – С. 58 – 67.

25. Воробьев, А.А. Определение надежности ответственных деталей тягового подвижного состава на основе неразрушающего контроля [Текст]: / А.А. Воробьев, В.А. Карпов // Железнодорожный транспорт. – М.: – 2015. № 10. – С. 34 – 35.
26. Галиуллин, И.З. Формы организации ремонтно–технического обслуживания машинно–тракторного парка. На материалах Республики Башкортостан [Текст]: дис. канд. экон. наук: 08.00.05 / Санкт – Петербург. гос. аграр. ун – т, 2001. – 182 с.
27. Галкин. В.Г. Надежность тягового подвижного состава [Текст] / В.Г., Галкин, В.П. Парамзин, В.А. Четвергов. – М.: Транспорт, – 1981. – 184 с.
28. Газизова, Г.Г. Физические основы неразрушающего контроля: учебное пособие [Текст] / Г.Г. Газизова, Л. Н. Косарев, Н.И Олеференко [и др.]. – М.: Планета, 2005.–302 с.
29. Головатый, А.Т. Электроподвижной состав. Эксплуатация, надежность и ремонт [Текст]: учебник для вузов ж.–д. трансп. / А.Т. Головатый, И.П. Исаев, П.И. Борцов и др.; под ред. А.Т. Головатого и П.И. Борцова. – М.: Транспорт, 1983. – 350 с.
30. Горский, А.В. Методы оптимизации системы планово предупредительных ремонтов электровозов [Текст]: дис. ... д – ра техн. наук: 05.22.07 / А.В. Горский. – М. МИИТ, 1985. – 272 с.
31. Горский, А.В Надежность электроподвижного состава [Текст]: учебное пособие / А.В Горский, А.А. Воробьев. – М.: Маршрут, 2005, – 303 с.
32. Горский, А.В., Воробьев А.А. Оптимизация системы ремонта локомотивов [Текст]: учебное пособие / А.В Горский, А.А. Воробьев. – М.: Транспорт, 1994. – 208 с.
33. Горский, А.В. Сравнительный анализ использования ресурса бандажей колесных пар электровозов в разных условиях эксплуатации [Текст] / А.В Горский, А.А. Воробьев [и др.]// Локомотивы и локомотивное хозяйство. ЦНИИТЭИ МПС. – 1996, – № 2. – С.24–27.

34. Горский, А.В. Система ремонта локомотивов с учетом их фактического технического состояния [Текст] / А.В. Горский, А.А. Воробьев, А.К. Омарбеков, А.В. Скребков // Железнодорожный транспорт. – 2001. – №9. – С.51 – 55.
35. Горский, А.А. Технологические методы повышения показателей безотказности бандажей колесных пар [Текст] / А.В. Горский, А.А. Воробьев, А.В. Скребков, И.В. Симакин // Безопасность движения поездов: труды IV научно-практической конференции. – М.: МИИТ, 2003.
36. ГОСТ 15467 – 79 Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения [Текст]. – Москва: Стандартинформ, 2009. – 27 с.
37. ГОСТ 16504 – 81 Система государственных испытаний качества продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения [Текст]. – Москва: Стандартинформ, 2011. – 23 с.
38. ГОСТ 20911 – 89 Техническая диагностика. Термины и определения [Текст]. – Москва: Изд-во стандартов, 2009. – 11 с.
39. ГОСТ 23479 – 79 Контроль неразрушающий. Методы оптического вида устанавливает требования к методам контроля оптического вида. [Текст]. – Москва: Изд-во стандартов, 1985. – 10 с.
40. ГОСТ 23829 – 85. Контроль неразрушающий акустический. Термины и определения [Текст]. – Москва: Изд-во стандартов, 1986. – 16 с.
41. ГОСТ 27.002 – 2015 Надежность в технике (ССНТ). Термины и определения [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2016. – 24 с.
42. ГОСТ Р 55611 – 2013 Контроль неразрушающий вихретоковый. Термины и определения [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2014. – 12 с.
43. ГОСТ Р 56542 – 2015 Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов [Текст]. – Москва: Изд-во стандартов, 2015. – 23 с.
44. ГОСТ Р 55612 – 2013 Контроль неразрушающий магнитный. Термины и определения [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2014, – 8 с.
45. Деминг, Э. Лекция перед японскими менеджерами [Текст] /Э Деминг //Методы менеджмента качества. – 2000. – №10. – С.24 – 29

46. Денисов, А.С. Научные основы формирования структуры эксплуатационно-ремонтного цикла автомобилей [Текст]: дис. ... д – ра техн. наук: 05.20.03 / Саратовский гос. техн. ун – т. – 1999. – 284 с.
47. Дмитриенко, И.В. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта локомотивов [Текст]: дис. ... д – ра техн. наук Академия транспорта России. – 1996. – 273 с.
48. Девыкин, Ф.В. Дефектоскопия деталей локомотивов и вагонов [Текст] / Ф.В.Левыкин, И.М. Лысенко, А.Н. Матвеев [и др.] под ред. Ф.В.Левыкина. – М.: Транспорт, 1974. – 341 с.
49. Древаль, А.Е. Краткий справочник металлиста [Текст] / А.Е. Древаль, В.А. Скороходов. – М.: Машиностроение, 2005. – 960 с.
50. Ермолов, И.Н., Неразрушающий контроль. Общие положения [Текст] / А.К. Гурвич, И.Н. Ермолов, С.Г. Сажин. – М.: Высшая школа, 1992. – 287 с.
51. Ермолов, И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля [Текст] / И.Н. Ермолов. – М.: Машиностроение, 1981. – 240 с.
52. Ефимов, В.В. Статистические методы в управлении качеством [Текст]: учебное пособие./ В.В.Ефимов. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 134 с.
- 53.Жариков, И.В. Выбор рациональных межремонтных периодов тепловозов с гидropередачей [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Москва ин – т инж. железнодорож. транспорта, 1991. – 149 с.
54. Запунный, А. И. Эффективность использования методов неразрушающего контроля продукции [Текст] / А. И. Запунный. – Киев: Знание, 1981 – 23 с
55. Зорин, Ю. В. Системы качества и управление процессами [Текст] / Ю. В. Зорин, В. Т. Ярыгин. – Самара: Машиностроение, 1997. – 204 с.
56. Ильин, В.А., Кожевников Г.И. и др. Дефектоскопия деталей подвижного состава железных дорог и метрополитенов [Текст] / В.А. Ильин, Г.И. Кожевников, Ф.В. Левыкин. – М.: Транспорт, 1990. – 61 с.
57. Инструкция по ультразвуковому контролю деталей локомотивов и вагонов электропоездов на базе программируемого дефектоскопа УД2 – 102 (ЦТТ–18/3) [Текст]: изменение № 1. – утв. ЦТ. – 2001. – 31 с.

58. Инструкция по неразрушающему контролю деталей и узлов локомотивов и моторвагонного подвижного состава. Магнитопорошковый метод [Текст]: изменение № 1. ЦТТ-18/1 МПС России, Департамент локомотивного хозяйства. – 2006. – 23 с.
59. Инструкция Контроль неразрушающий приемочный. Колеса цельнокатаные, бандажи и оси колесных пар подвижного состава. Технические требования [Текст]: РД 32.144 – 2000. Изменение № 1, МПС России, Департамент локомотивного хозяйства. – 2004. – 37 с.
60. Илларионов, О. И. Расчет характеристик контрольных карт при неточной наладке технологического процесса [Текст] / О. И. Илларионов // Методы менеджмента качества. – 2005, №11. – С. 16 – 20.
61. Ильин, В.А., Кожевников Г.И. Дефектоскопия деталей подвижного состава железных дорог и метрополитенов [Текст] / В.А. Ильин, Г.И. Кожевников, – М.: Транспорт, 1990. – 19 с.
62. Инструкция по неразрушающему контролю узлов и деталей локомотивов и моторвагонного подвижного состава. Магнитопорошковый метод [Текст]: №ЦТТ – 18/1, 1999. – 21 с.
63. Инструкция по неразрушающему контролю узлов и деталей локомотивов и моторвагонного подвижного состава. Вихретоковый метод [Текст]: № ЦТТ-18/2: Департамент локомотивного хоз – ва: [ред. Г. Г. Газизова, Н. И. Олефиренко]. – Москва: Техинформ, 2007. – 17 с.
64. Инструкция по ультразвуковому контролю деталей локомотивов и вагонов электропоездов на базе программируемого дефектоскопа УД2 – 102 [Текст]: № ЦТТ – 18/3: Департамент локомотивного хозяйства, 2000. – 35 с.
65. Инструкция по ультразвуковому контролю деталей локомотивов и моторвагонного подвижного состава на базе программируемого дефектоскопа УД2 – 70 [Текст]: № ЦТТ – 36/1, Департамент локомотивного хозяйства, 2002. – 41 с.

66. Инструкция по формированию, ремонту и содержанию колесных пар тягового подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм [Текст]: № К-2273у. Департамент локомотивного хозяйства. – 329. – М.: Техинформ, 2000. – 136 с.
67. Исаев, И.П. Проблемы повышения надежности технических устройств железнодорожного транспорта [Текст]: / И.П. Исаев. М.: Транспорт, 1968. – 159 с.
68. Кадышкин, Б.А. Опыт применения неразрушающих методов контроля в машиностроении [Текст]: / Б.А. Кадышкин, Е.В. Трунина. – Л.: «Знание», 1968. – 23 с.
69. Кане, М.М. Системы, методы и инструменты менеджмента качества [Текст]: учебное пособие / М.М. Кане, Б.В. Иванов, В.Н. Корешков [и др.]. – СПб.: Питер, 2008. – 580 с.
70. Карпов, В.А. Высший пилотаж неразрушающего контроля на железнодорожном транспорте [Текст] / В.А. Карпов, А.Н. Смородин // Контроль Качества продукции. – РИА Стандарты и качество. – М.: 2010. №14. – С. 28 – 29.
71. Карпов, Л. А. Статистический контроль качества [Текст] / Л.А. Карпов, А. А. Воробьев, Д. В. Осипов, Е. В. Константинова // Железнодорожный транспорт. – М.: 2009. №2. – С. 34 – 36.
72. Карпов, Л.А. Оценка качества деталей тягового подвижного состава [Текст] / Л.А. Карпов, А. А. Воробьев, Д. В. Осипов, Т. А. Сосницкая // Железнодорожный транспорт. – М.: 2010. №7. – С. 54 – 55.
73. Ключев, В.В. Визуальный и измерительный контроль [Текст] / В.В. Ключев, Ф.Р. Соснин, В.Ф. Мужичкий. – Москва, РОНКТД, 1998. – С. 49 – 51.
74. Коссов, В.С. Снижение нагруженности ходовых частей локомотивов и пути [Текст]: дис. ... докт. техн. наук: 05.22.07 / Валерий Семенович Коссов – Коломна. 2001. – 339 с.
75. Козырев, В.А. Оптимизация системы эксплуатации и организации ремонта грузовых электровозов [Текст]: дис. ... д – ра тех. наук: 05.22.07 /Московский гос. ун – т путей сообщения, 1996. – 283 с.

76. Коншина, В. Н. Повышение достоверности ультразвукового контроля сварных соединений металлоконструкции железнодорожного транспорта [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.02.11 / Санкт–Петербург, 2000. – 203 с.
77. Ключев, В.В., Пархоменко П.П, Абрамчук В.Е. Клячкин В.Н. Технические средства диагностирования [Текст] / В.В. Ключев, П.П, Пархоменко, В.Е. Абрамчук, В.Н. Клячкин Справочник. – М.: Машиностроение, 1989. – 672 с
78. Кретов, Е.Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в машиностроении [Текст]: учебное пособие / Е.Ф. Кретов. СПб.: СВЕН, 2007. – 296 с.
79. Криворудченко, В. Ф. Современные методы технической диагностики и неразрушающего контроля деталей и узлов подвижного состава железнодорожного транспорта [Текст] / В. Ф. Криворудченко, Р. А. Ахмеджанов. – М.: «Маршрут», 2005 – 436 с.
80. Кузнецов, А.Г. Организация технического обслуживания и ремонта вагонов [Текст] / А.Г. Кузнецов // «Экономика и организация промышленного транспорта» под ред. Журавлева Н.П. и Беседина И.С. учебник для вузов ж.д. транспорта – М.: ИПК Желдориздат, 2001 – 440 с.
81. Лакин, И.К. Разработка теории и программно – технических средств комплексной автоматизированной справочно – информационной и управляющей системы локомотивного депо [Текст]: дис. ... д – ра техн. наук: 05.22.07 / И.К. Лакин. – Московский гос. ун – т путей сообщения, 1997. – 377 с.
82. Левин, Статистика для менеджеров с использованием Microsoft® Excel [Текст] / Д.М. Левин, Д. Стефан, Т.С., Кребиль, М.Л. Беренсон 4 изд.: пер. с англ. – М.: Вильямс, 2004. – 1312 с.
83. Липунцов, Ю.П. Управление процессами. Методы управления предприятием с использованием информационных технологий [Текст] / Ю.П. Липунцов. – М.: ДМК Пресс, 2003. – 224 с.
84. Макино, Т. Контроль качества с помощью персональных компьютеров [Текст] / Т., Макино, М., Охаси, Х., Докэ, К. Макино. – пер. с японск. А.Б. Орфенова; под ред. Ю.П. Адлера. – М.: Машиностроение. – 224 с.

85. Методические указания по приемочному ультразвуковому неразрушающему контролю осей колесных пар подвижного состава [Текст] // Введено в действие распоряжением от 22.11.2005г. № 1843р СТО РЖД 1.11.001 – 2005. – 36 с.
86. Наговицын, В.С. Совершенствование системы ремонта тягового подвижного состава железных дорог с учетом фактического технического состояния [Текст]: дис. ... док. техн. наук: 05.22.07 / В.С. Наговицын. Росс. гос. откр. техн. унив. пут. сообщ., 2006. – 250 с.
87. Наговицын, В.С. Совершенствование системы технического содержания и ремонта электровозов постоянного тока. По опыту Свердловской железной дороги [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / В.С. Наговицын. Уральская акад. путей сообщения, 1996. – 172 с.
88. Нив, Г. Пространство доктора Деминга. Принципы построения устойчивого бизнеса [Текст] / Г. Нив. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. – 370 с.
89. Новиков, М.А. Повышение эффективности функционирования самоходных уборочных машин на основе обеспечения их долговечности в условиях эксплуатации методами и средствами технического диагностирования [Текст]: дис. ... д – ра техн. наук: 05.20.03 / М.А. Новиков. Санкт – Петербург. гос. аграрный ун – т, 1998. – 525 с.
90. Омарбеков, А.К. Организация ремонта и управление техническим состоянием колесных пар тягового подвижного состава [Текст]: дис. ... д – ра техн. наук: 05.02.22 / А.К. Омарбеков. Московский гос. ун – т путей сообщ. МПС РФ, 2002. – 300 с.
91. Осяев, А.Т. Повышение эффективности эксплуатации магистральных электровозов методами управления их техническим состоянием [Текст]: дис. ... д – ра техн. наук : 05.22.07 / А.Т. Осяев. Всерос. науч. – исслед. ин – т ж. д. трансп. МПС РФ., 2002. – 371 с.
92. Пономарев, С.В., Мищенко В.Я. Управление качеством продукции. Инструменты и методы менеджмента качества [Текст]: учебное пособие / С.В., Пономарев, В.Я. Мищенко. – М: Большая библиотека, 2006. – 248 с.

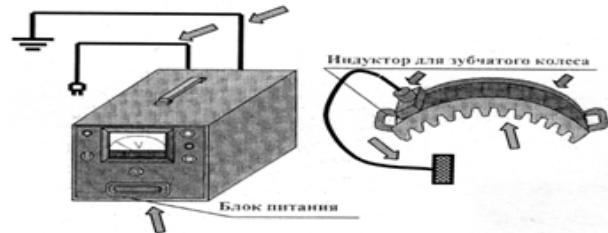
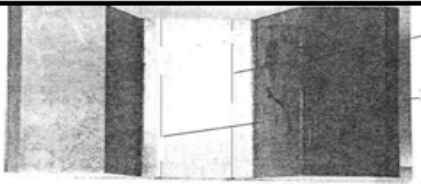
93. Постников, Р.А. Влияние условий эксплуатации на надежность оборудования электроподвижного состава [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Р.А. Постников. – М.:МИИТ, 2004. – 158 с.
94. Просветов, Г. И. Теория вероятностей и математическая статистика: задачи и решения [Текст] / Г. И. Просветов. – М.: Альфа – Пресс, 2009. – 272 с.
95. РД 50 – 204 – 87 Методические указания. Надежность в технике. Сбор и обработка информации о надежности изделий в эксплуатации. Основные положения [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 15 с.
96. РД 50 – 690 – 89 Методические указания. Надежность в технике. Методы оценки показателей надёжности по экспериментальным данным [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 134 с.
97. Распоряжение №1493р Комплексная автоматизированная система учета, контроля устранения отказов технических средств и анализа их надежности» (КАСАНТ) [Текст]. – М.: ОАО РЖД – 2010. – 150 с.
98. Руководящий документ. Неразрушающий контроль деталей и узлов локомотивов и мотор-вагонного подвижного состава. Общие положения [Текст]. – М.: ЦТтех– 36/5. – 2006. – 37 с.
99. Русин, А.Ю. Имитационное моделирование процессов возникновения отказов электрооборудования с целью повышения эффективности системы технического обслуживания и ремонта [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.16/ А.Ю. Русин. – М.,1999. – 214 с.
100. Селиванов, А.А. Техничко-экономическое обоснование форм и методов технического обслуживания и ремонта лесозаготовительной техники [Текст]: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / А.А. Селиванов. – Московский гос. ун – т леса, 2001. – 198 с.
101. Сидоренко, С.М. Методы контроля качества изделий в машиностроении [Текст] / С.М., Сидоренко, В.С. Сидоренко. – М.: Машиностроение, 1989 – 216 с.

102. Смагина, М.Н. Процессы системы менеджмента качества [Текст] / М.Н Смагина, Б.И., Герасимов, Л.В. Пархоменко.– Тамбов: изд. – во Тамбовский гос. техн. ун–та, 2006. – 100 с.
103. Система неразрушающего контроля в ОАО «РЖД». Детали колёсных пар локомотивов, мотор-вагонного и специального железнодорожного подвижного состава Типовые методики ультразвукового контроля [Текст]. СТО РЖД 11.009-2012 НИИ Мостов. – 2012. – 31 с.
104. Стандартные образцы предприятия (СОП) для ультразвукового контроля деталей и элементов тепловозов (серий 2М62, 2ТЭ116, 2ТЭ10, ТЭМ2, ЧМЭЗ), электровозов (серий ВЛ и ЧС), а также вагонов электропоездов [Текст]. ЦТрт-17/1.М., ВНИИЖТ – 1999. – 47 с.
105. Стрельников, В.Т. Система повышения эффективности профилактического обслуживания и использования электровозов постоянного тока [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07 / В.Т. Стрельников. –Московский ин-т инженеров ж.-д. трансп., 1985. – 286 с.
106. Скребков, А.В. Определение оптимальной структуры ремонтного цикла электровозов в конкретных условиях эксплуатации [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / А.В. Скребков. – М., МИИТ, 2003. – 137 с.
107. Скребков, А.В. Влияние условий эксплуатации на ресурс оборудования тягового подвижного состава [Текст] // Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте: труды IV научно – практической конференции. – М.: МИИТ, 2001. – С.151 – 155.
108. Скребков, А.В. Выбирай рациональные сроки ремонта [Текст] / А.В. Скребков, И.В., Симакин, С.В. Филимонов // Локомотив. – 2002. – №4. – С.37-41.
109. Стельмашенко, В.Г. Разработка и исследование алгоритмов оптимизации стратегий технического обслуживания и ремонта машин и агрегатов комплекса коммунально – бытовых услуг в районах чрезвычайных ситуаций [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13 / Всерос. науч.исслед. ин – т по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций (ВНИИ ГОЧС), 2000. – 132 с.

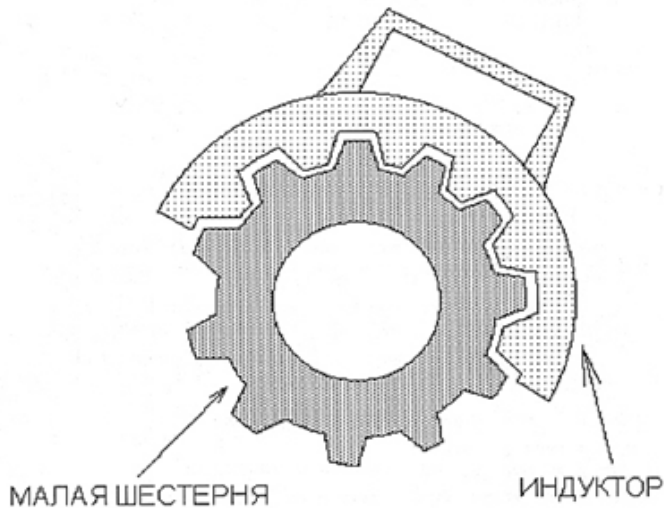
110. Устич, П.А. Работоспособность и надежность грузового вагона [Текст]: дис. д – ра техн. наук: 05.22.07 / П.А. Устич – Московский ин– т инж. жел. тран – та им. Ф.Э. Дзержинского, 1992. – 337 с.
111. Устич, П.А. Надежность рельсового нетягового подвижного состава [Текст]: учебное пособие для студентов вузов ж. – д. транспорта / П.А. Устич, В.А., Карпычев, М.Н. Овечников – М.: Транспорт, 1991. – 411 с.
112. Филимонов, С.В. Определение технического ресурса узлов колесных пар на основе бинарных параметров [Текст] / С.В., Филимонов, А.В., Скребков, И.В. Симакин // Безопасность движения поездов: труды III научно-практической конференции. – М.: МИИТ, 2002. – С.341-344.
113. Хмельницкая, З.Б. Организация и управление производственно-техническим обслуживанием машиностроительных предприятий [Текст]: дис. ... д – ра экон. наук: 08.00.05 / З.Б. Хмельницкая. – Уральский политехн. ин – т им. С.М. Кирова, 1992. – 215 с.
114. Четвергов, В.А. Надёжность локомотивов [Текст]: учебное пособие / В.А. Четвергов, А.Д. Пузанков. – М.: Транспорт, 2003. – 415 с.
115. Функциональная стратегия обеспечения гарантированной безопасности перевозочного процесса в ОАО «Российские Железные Дороги» [Текст] // – М., ОАО РЖД. – 2007. – 154 с.
116. Чуприн, В.А. Исследование и разработка методов и средств контроля вязкости и плотности жидких сред с применением ультразвуковых нормальных волн [Текст]: дис. ... докт. техн. наук: 05.11.13 / Владимир Александрович Чуприн. М. – 2016. – 263 с.
117. Шабалин Н.Г. Организация эксплуатации и технического обслуживания тягового подвижного состава с использованием современных информационных технологий [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 08.00.28 / Н.Г. Шабалин. – 1999. – 171 с.
118. Шелихов, Г.С. Магнитопорошковая дефектоскопия в рисунках и фотографиях [Текст] / Г.С. Шелихов.– Москва: ДНТЦ «Дефектоскопия», 2002. – 324 с.

119. Шторм, Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества [Текст] / Р. Шторм пер. с нем. Н. Н. и М. Г. Федоровых; под ред. Н. С. Райбмана. – М.: Издательство Мир, 1970. – 368 с.
120. EB: Elektrische Bahnen – Elektrischer Betrieb bei der Deutschen Bahn im Jahre [Текст] // Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 110(2012) Heft 3. – 76 с.
121. Cantini S. Structural reliability assessment of railway axles / S. Cantini, S. Beretta; Luccini RS. – 2011. – 208 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Технологическая карта № КО.01.32			Контроль неразрушающий	Метод магнитопорошковый	
Предприятие: ремонтное локомотивное депо Приволжской железной дороги – филиала ОАО «РЖД»			КОНТРОЛЬ ШЕСТЕРНИ ТЭД		На листах: 4 Лист: 1
УТВЕРЖДАЮ: ЗАМЕСТИТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА ДЕПО ПО КАЧЕСТВУ « » 2013 г.	Тип подвижного состава: ВЛ80С, Т, ТЭ10, 116 Узел: колесная пара. Деталь: шестерня ТЭД Обозначение (№ черт.): ДТЖИ 721433.001(8ТН.240.217) Материал: сталь 20ХН3А ГОСТ4543-71 Шероховатость: R _a 3,2 НRC -59+/-3 Поверхность: светлая	Средства контроля		Нормативная документация	
		Дефектоскоп: УМДЗ, МД-12 ПЭ Магнитный индикатор: ПДКВ 5-71 Устройства, приспособления: стенд для контроля КП, стандартный образец предприятия		Инструкции: «Инструкция по неразрушающему контролю деталей и узлов локомотивов и мотор-вагонного подвижного состава» ПКБ ЦТ25.0163 «Инструкция по охране труда для дефектоскопистов» ИОТ-ТЧ-6-058-10	
Вид ремонта: перед монтажом шестерни на ТЭД	Место проведения контроля: РМ №1	разряд дефектоскописта: 5, 6		Норма времени t _{тех} , мин: 20	
№ операции перехода	Наименование технологической операции, перехода	Инструмент, расходные материалы	Технологические требования, порядок проведения операции	Способ контроля – СОН Н, а/см, не менее 160 Освещенность не менее 1000 лк	Зона контроля – Поверхность зубьев и меж зубных впадин, торцы части Критерии браковки – трещины направленные вдоль зубьев не допускаются
1	Подготовительные операции			Эскиз	
1.1	Осмотреть визуально блок питания, индуктор, сетевой и соединительный кабели дефектоскопа	Магнитопорошковый дефектоскоп УМДЗ	Не допускается нарушение целостности корпуса блока питания, корпуса индуктора, разъемов и изоляционных покрытий сетевого и соединительного кабелей. Отдельно проверить надежность крепления и целостность заземляющей шины. Эскиз №1		
1.2	Приготовить магнитный индикатор (суспензию). Примечание: Операция выполняется в начале рабочей смены	ПДКВ 5-71 керосин; емкость для суспензии; ветошь	Приготовить магнитную суспензию из расчета 180±20г. магнитного порошка на 1л. керосина. Общее количество суспензии приготовить в соответствии с планируемым объемом контроля. Емкость для суспензии должна быть изготовлена из немагнитного материала		
1.3	Проверить работоспособность магнитного дефектоскопа и выявляющую способность магнитного индикатора.	Магнитопорошковый дефектоскоп УМДЗ; магнитный индикатор; СОП; ветошь, журнал учета проверки работоспособности средств контроля	Включить дефектоскоп, Установить СОП в индуктор, намагнитить, не менее 3 импульсов тока. Нанести магнитный индикатор на СОП и убедиться в выявлении искусственных дефектов. Индикаторный рисунок должен соответствовать дефектограмме, приведенной в паспорте СОП. Эскиз №2. В журнале учета проверки работоспособности средств контроля указать дату и результат проверки (исправен, негоден)		

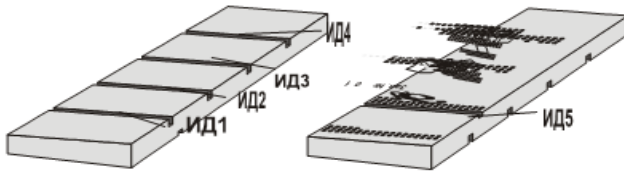
продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

	Проведение контроля			
2.1	Выполнить намагничивание шестерни ТЭД	Магнитопорошковый дефектоскоп УМДЗ	Включить блок питания дефектоскопа. Установить индуктор на венец зубчатого колеса так, чтобы зубья индуктора входили в межзубные впадины колеса. Отметить мелом первую и последнюю впадины, закрытые индуктором. Пропустить не менее трех импульсов тока по индуктору. Переставить индуктор на соседние впадины зубчатого колеса так, чтобы первый зуб индуктора входил во впадину, следующую за отмеченной мелом. Последнюю закрытую впадину отметить мелом. Намагнитить все зубья. Снять индуктор. Нажать кнопку «Сброс» на блоке питания, выключить блок питания.	Эскиз №4 
2.2	Нанести магнитный индикатор на контролируемую поверхность	Магнитный индикатор (суспензия); емкость для суспензии; ветошь.	Включить устройство вращения колесной пары. Размешать суспензию и нанести на венец зубчатого колеса, при этом необходимо следить, чтобы поверхность зубьев, межзубных впадин и торцов была смочена суспензией.	
2.3	Осмотреть контролируемую поверхность	Переносная лампа (не более 36в); лупа 4-х кратного увеличения; мел; краска; ветошь	Осмотреть поверхность зубьев, межзубных впадин и торцов, освещая их переносной лампой. Выключить вращение колесной пары.	
2.4	Размагнитить зубчатое колесо	МД12ПЭ	Для размагничивания шестерни установить соленоид дефектоскопа МД-12ПЭ над венцом по возможности ближе. Включить соленоид. После того как колесо сделает полный оборот, плавно отвести соленоид от колеса на расстояние не менее 0,5 м. После размагничивания уровень остаточной намагниченности на проконтролированных участках не должен превышать 5 А/см. Выключить соленоид. Эскиз №5	

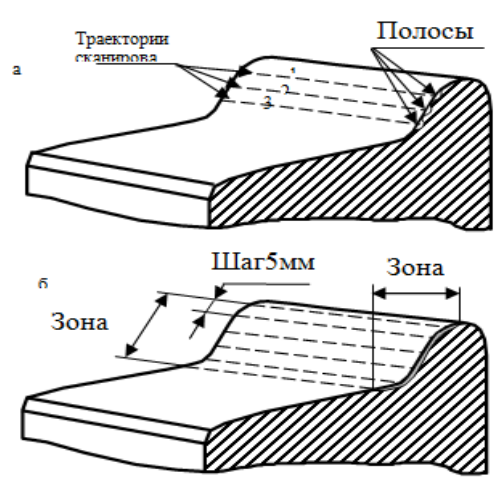
продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

Технологическая карта № КО.01.32			Контроль неразрушающий	Метод магнитопорошковый
Предприятие: локомотивное депо железной дороги – филиала ОАО «РЖД»			КОНТРОЛЬ ШЕСТЕРНИ ТЭД	На листах:4 Лист:4
3	Оценка и оформление результатов контроля			Эскиз №5
3.1.	Оценка результатов контроля.	Мел, краска.	При появлении на контролируемой поверхности скопления магнитного порошка в виде характерного индикаторного рисунка деталь следует протереть ветошью, размагнитить и повторить контроль, местоположение дефекта отметить краской, мелом. В спорных случаях окончательная оценка результатов контроля проводится с участием лица ответственного за НК на предприятии. Шестерню ТЭД браковать и направить в накопитель брака. Эскиз №5	Эскиз №5 
3.2	Оформить результат контроля	Форма ТУ-138 Форма ТУ-132	Годные детали занести в журнал формы ТУ-138 Бракованные – в журнал формы ТУ-132	
4	Требования охраны труда	Инструкция по охране труда ИОТ-ТЧ-6-058-10.	Все работы по обслуживанию и эксплуатации дефектоскопов и других средств магнитопорошкового контроля должны выполняться с соблюдением требований охраны труда согласно инструкции по охране труда для дефектоскописта ИОТ-ТЧ-6-058-10.	
РАЗРАБОТАЛ:		СОГЛАСОВАНО:		
ТЧНК		ТЧГТ	ТЧИтб	ТЧИмет

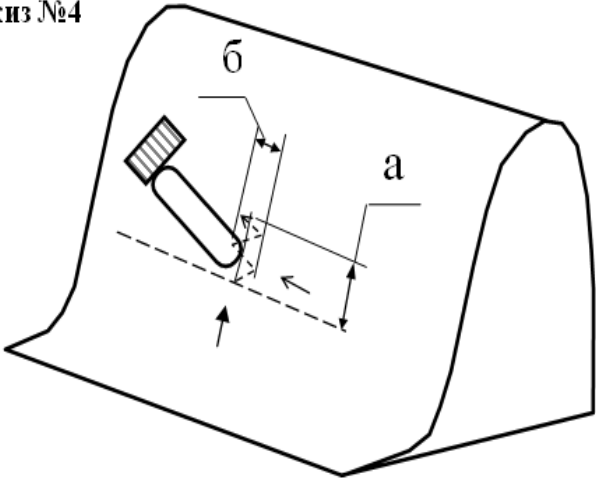
ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Технологическая карта № КО.01.32		Контроль неразрушающий		Метод вихретоковый	
Предприятие: ремонтное локомотивное депо железнодорожной – филиала ОАО «РЖД»		Контроль гребня бандажа до и после упрочнения			На листах: 3 Лист: 1
УТВЕРЖДАЮ: ЗАМЕСТИТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА ДЕПО ПО КАЧЕСТВУ | «___» _____ 20__ г.		Тип подвижного состава: ВЛ80 ТЭ10, 116 Узел: колесная пара. Деталь: бандаж Обозначение (№ черт.): ДТЖИ 712586.002(4Тн.229.045) Материал: ст. Осл ГОСТ4728-96 Шероховатость: R _a не более 2,5 мкм твердость НВ 269 Поверхность: светлая		Средства контроля Дефектоскоп: ВД12НФМ, ВД70 Преобразователь: Иа.125.031 тип1 (*) Устройства, приспособления: СОП Иа8.896.034 Стенд для контроля КП	
Вид ремонта: до и после упрочнения		Место проведения контроля: РМ №1		разряд дефектоскописта: 5, 6 Норма времени t _{тех} , 24 мин:	
№ операции	Наименование технологической операции, перехода	Инструмент, расходные материалы	Технологические требования, порядок проведения операции	Зона контроля – поверхность гребня в зоне упрочнения Критерии браковки – трещины косые, поперечные независимо от размера, количества и места расположения	
1	Подготовительные операции			Эскиз	
1.1	Осмотреть средства ВТК	Дефектоскоп, преобразователь, кабели	Не допускается нарушение целостности корпуса электронного блока, преобразователя, разъемов и изоляционных покрытий сетевого и соединительного кабелей. Эскиз №1		
1.2	Проверить работоспособность дефектоскопа и установить порог чувствительности	Дефектоскоп, преобразователь, СОП Иа8.896.034 форма ЦТ18/2 (прил. И4), ветошь, безворсовая салфетка	Включить дефектоскоп. Подключить к дефектоскопу преобразователь. Проверить работоспособность дефектоскопа и установить уровень чувствительности по СОП Иа8.896.034 зазор 0,5мм, занести в журнал согласно ЦТ18/2(прил. И4) результат проверки		
				поверхность А поверхность Б 	
				Эскиз №2	

продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ Б

1.3	Осмотреть визуально поверхность проверяемой детали	Переносная лампа (не более 36 в); лупа 4-х кратного увеличения; мел; краска; ветошь. линейка металлическая	Обеспечить доступ к поверхности гребня бандажа. поверхность должна быть очищена от загрязнений и не иметь вмятин, выступов и заборин. При обнаружении видимых дефектов отметить их положение мелом или краской, деталь контролю не подлежит.	На листах: 3 лист 2
2.	Проведение контроля			
2.1	Контроль гребня бандажа до и после упрочнения	Дефектоскоп, преобразователь, ветошь, безворсовая салфетка	Произвести сканирование зоны упрочнения согласно эскизу №3. Скорость сканирования 0,02 - 0,1 м/с. Угол отклонения преобразователя от нормали к поверхности не более 30° При срабатывании светового и звукового индикаторов в каком-либо месте на поверхности колесного центра необходимо просканировать этот участок не менее трех раз. Отметить мелом все места, в которых наблюдается повторные срабатывания светового и звукового индикаторов. Очистить от краски и грязи отмеченные места, просканировать их повторно не менее трех раз и, при необходимости, внимательно осмотреть с применением лупы.	Эскиз №3 схема сканирования  В случае, если зона отклонения стрелки имеет форму пятна шириной более 10 мм, то возможно наличие сетки трещин или локальная неоднородность металла, вызванная местным наклепом. Для того, чтобы определить причину срабатывания на отмеченном участке, необходимо проверить это место магнитопорошковым методом, при намагничивании приставным магнитом (Инструкция ЦТТ-18/1-99).
2.2	Оценка результатов контроля.	Мел, краска. Линейка металлическая В случае если повторных срабатываний сигнализации на отмеченном участке не наблюдалось, то на данном участке имел место отрыв датчика от контролируемой поверхности. В случае, если наблюдается четкое стабильное срабатывание сигнализации на одном и том же месте, то это место необходимо отметить как дефектное. В случае, если срабатывание сигнализации носит случайный характер (срабатывание сигнализаций наблюдается не при каждом проходе по отмеченному участку), то необходимо переключить дефектоскоп в ручной режим работы и, при медленном перемещении преобразователя по траектории, на которой наблюдается срабатывание, найти положение, при котором стрелка будет иметь максимальное отклонение, и отметить его мелом. Смещая преобразователь вверх и вниз по гребню (эскиз №4), необходимо отметить мелом область, на которой наблюдается отклонение стрелки от одной линии. Если эта зона имеет длину более 3 мм и ширину не более 10 мм, то имеет место короткая трещина. а) Длина зоны максимального отклонения сигнала примерно равна длине трещины. б) Ширина зоны максимального отклонения сигнала (при наличии одиночной трещины) должна быть от 5 до 10 мм).		

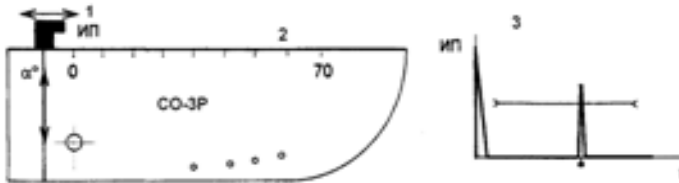
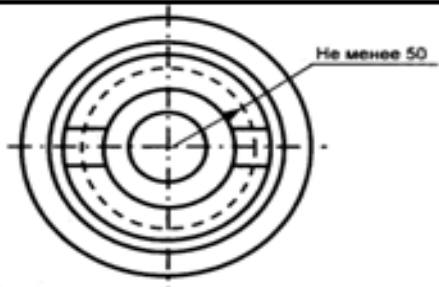
продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Технологическая карта № КО.01.32			Контроль неразрушающий	Метод вихретоковый
Предприятие: локомотивное депо железной дороги – филиала ОАО «РЖД»			Контроль гребня бандажа до и после упрочнения	На листах:3 Лист:3
3	Оценка и оформление результатов контроля			эскиз №4 
3.1	Оформить результат контроля	ЦТг18/2 (прил. И4)	При обнаружении дефекта записать и сохранить в памяти дефектоскопа протокол дефекта, с параметрами настройки, и характеристиками выявленного дефекта. Результаты контроля занести в журнал формы ЦТг18/2 (прил. И4) Забракованный бандаж отметить краской, мелом. В спорных случаях окончательная оценка результатов контроля проводится с участием лица ответственного за НК на предприятии.	
4	Требования охраны труда	Инструкция по охране труда ИОТ-ТЧ-6-133-09.	все работы по обслуживанию и эксплуатации дефектоскопов и других средств ультразвукового контроля должны выполняться с соблюдением требований охраны труда согласно инструкции по охране труда для дефектоскописта ИОТ-ТЧ-6-133-09.	
РАЗРАБОТАЛ:		СОГЛАСОВАНО:		
ТЧНК		ТЧГТ	ТЧИтб.	ТЧИмет.

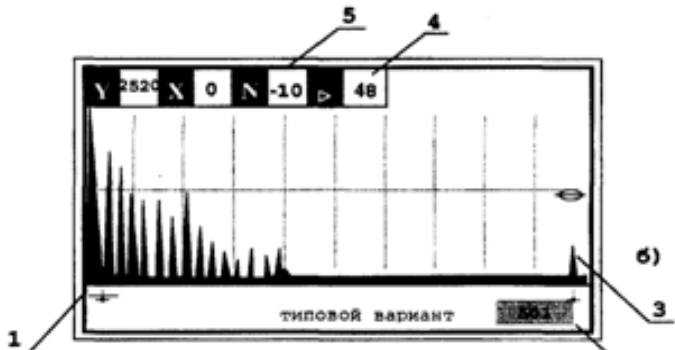
ПРИЛОЖЕНИЕ В

Технологическая карта № КО			Контроль неразрушающий	Метод ультразвуковой	
Предприятие: ремонтное локомотивное депо Дирекции по ремонту ТПС – филиала ОАО РЖД			Контроль оси на «прозвучиваемость»		На листах: 3 Лист: 1
УТВЕРЖДАЮ: ЗАМЕСТИТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА ДЕПО ПО КАЧЕСТВУ ЖУКОВ Д. А. «___» _____ 20__ г.		Тип подвижного состава: ВЛ80 Узел: колесная пара. Деталь: колесная ось Обозначение (№ черт.): ДТЖИ 715733.005(8Тн.205.813) Материал: ст. ГОСТ4728-96		Средства контроля Дефектоскоп: УД2-102 Преобразователь П111-2,5 Устройства, приспособления: СО-3Р (СО-2), стенд для контроля КП	Нормативная документация Инструкции: «Инструкция по ультразвуковому контролю деталей и узлов локомотивов и МВПС на базе дефектоскопа УД2-102 ЦТ-18/3, ЦТ-329, «Инструкция по охране труда для дефектоскопистов» ИОТ-ТЧ-6-057-13
Вид ремонта: при всех видах освидетельствования		Место проведения контроля: РМ №1		разряд дефектоскописта: не ниже 5-го	Норма времени $\tau_{\text{тех}}$, мин: 12
		Освещенность не менее 500лк		Метод УЗК зеркально-теневой метод $f=2.5\text{Мгц}$ $\alpha=0\text{град}$	$G_{\text{до}}$ устанавливается по СО-3Р, донная поверхность +4-6ДБ
№ операции перехода	Наименование технологической операции, перехода	Инструмент, расходные материалы	Технологические требования, порядок проведения операции		Зона контроля – торец оси Критерии браковки – амплитуда донного сигнала в зоне контроля меньше браковочного уровня.
1	Подготовительные операции				Эскиз
1.1	Осмотреть средства УЗК	Дефектоскоп, преобразователь, кабели	Не допускается нарушение целостности корпуса электронного блока, преобразователя, разъемов и изоляционных покрытий сетевого и соединительного кабелей. Эскиз №1		Эскиз №1 
1.2	Проверить работоспособность дефектоскопа и установленный порог чувствительности (браковочный уровень)	Дефектоскоп, преобразователь, СО-3Р Журнал ТУ-138, ПЭВМ контактная смазка (масло ОСп), кисть, ветошь, безворсовая салфетка	Включить дефектоскоп и вызвать рабочую настройку, созданную на основе типового варианта контроля, для проверки прозвучиваемости КП. Подключить к дефектоскопу ПЭП. Проверить работоспособность дефектоскопа и установленный уровень брак, чувствительности по СО-3Р, занести результат проверки в журнал.		

продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ В

				Эскиз №2 1 – прямой преобразователь; 2 – стандартный образец СО-3Р; 3 – типовая дефектограмма настройки. Эскиз 2 
1.3	Осмотреть визуально поверхность проверяемой детали	Переносная лампа (не более 36 в); лупа 4-х кратного увеличения ГОСТ 25706-83; мел, краска; ветошь линейка металлическая ГОСТ 427-75 рулетка металлическая	Обеспечить доступ к торцевой поверхности колесной оси. торцевая поверхность должна быть очищена от загрязнений и не иметь вмятин, выступов и забоин. При обнаружении видимых дефектов отметить их положение мелом или краской, деталь контролю не подлежит.	Эскиз №3  1 – прямой преобразователь; 2 – ось ультразвукового луча; 3 – "боковые" лучи Рисунок П.В.3.4 – Акустическая схема контроля дальней доступной части оси колесной пары электровагона серии ВЭ1 в режиме осевого "прозвучиваемости"
2.	Проведение контроля		Эскиз 3: акустическая схема контроля оси на «прозвучиваемость»	Эскиз №4 схема сканирования
2.1	Контроль оси на прозвучиваемость	Дефектоскоп, преобразователь, контактная смазка (масло ОСП), кисть, ветошь, безворсовая салфетка	Нанести контактную смазку на сканируемую поверхность согласно эскизам №3. провести сканирование (перемещение ПЭП) в соответствии с эскизом №4 ПЭП устанавливать не менее чем в шести точках в различных секторах по окружности. Наблюдать за амплитудой донного сигнала. При контроле оси на прозвучиваемость режим поисковой чувствительности не используется.	 Не менее 50 Траектория сканирования при вводе ультразвука с торца оси

продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ В

Технологическая карта № КО			Контроль неразрушающий	Метод ультразвуковой
Предприятие: ремонтное локомотивное депо Дирекции по ремонту ТПС – филиала ОАО РЖД			Контроль оси на «прозвучиваемость»	На листах:3 Лист:3
3	Оценка и оформление результатов контроля			Эскиз 6 Типовая дефектограмма подлежащей браковке оси при контроле на «прозвучиваемость»
3.1.	Оценка результатов контроля.	Мел, краска.	Колесная ось подлежит браковке, если в режиме браковочной чувствительности амплитуда донного сигнала менее 0,5 ВШ экрана дефектоскопа или отсутствует. Эскиз №6	 1 – передний фронт зондирующего импульса; 2 – "донный" сигнал; 3 – зона контроля; 4 – браковочный уровень; 5 – разность уровней донного эхо-сигнала и браковочного
3.2	Оформить результат контроля	Журнал ТУ-132, ТУ-138, ПЭВМ	При обнаружении дефекта записать и сохранить в памяти дефектоскопа протокол с кадром А-развертки, параметрами настройки, и характеристиками выявленного дефекта с последующим занесением в компьютерную базу данных. Результаты контроля занести в журнал ТУ-132. Дефект отметить краской, мелом. Годные детали занести в журнал ТУ-138 Проверенную ось отметить соответствующим указателем «проверенная деталь», «изолятор брака».	
4	Требования охраны труда	Инструкция по охране труда ИОТ-ТЧ-6-057-13.	все работы по обслуживанию и эксплуатации дефектоскопов и других средств ультразвукового контроля должны выполняться с соблюдением требований охраны труда согласно инструкции по охране труда для дефектоскописта ИОТ-ТЧ-6-057-10.	
РАЗРАБОТАЛ:		СОГЛАСОВАНО:		
ТЧНК		ТЧГТ	ТЧИтб	ТЧИмет

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2014611464

**«Автоматизированная система контроля выполнения
графика калибровки средств неразрушающего контроля и
диагностики»**

Правообладатель: *Открытое акционерное общество «Российские
железные дороги» (RU)*

Автор: *Карнов Валерий Александрович (RU)*



Заявка № **2013661246**

Дата поступления **05 декабря 2013 г.**

Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **03 февраля 2014 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов