

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный университет путей сообщения
Императора Николая II»
МГУПС (МИИТ)

На правах рукописи



АБОЛМАСОВ Алексей Александрович

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ
ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В УСЛОВИЯХ
СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

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
ЛАКИН Игорь Капитонович

Москва – 2017 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	14
1.1 УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ТПС.....	14
1.2 РЕФОРМА ЛОКОМОТИВНОГО КОМПЛЕКСА.....	19
1.3 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	29
2 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ТПС.....	30
2.1 АНАЛИЗ МИРОВОЙ ПРАКТИКИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ	30
2.2 АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ЛОКОМОТИВОВ	48
2.3 ВСТРОЕННОЕ КАЧЕСТВО.....	61
2.4 СТРУКТУРА МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ЛОКОМОТИВОВ В УСЛОВИЯХ СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ.....	63
2.5 ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 2	67
3 РАЗРАБОТКА ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКОЙ ПОДСИСТЕМЫ МОДЕЛИ.....	69
3.1 ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	69
3.2 СТАТИСТИЧЕСКАЯ ПРОВЕРКА ДОСТОВЕРНОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ О РАБОТЕ И НАДЁЖНОСТИ ЛОКОМОТИВОВ.....	72
3.3 МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛОКОМОТИВОВ	81
3.4 ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 3	111
4 ЗАЩИТА СИСТЕМ ТЕПЛОВОЗОВ ОТ ОПАСНЫХ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	113
4.1 АНАЛИЗ НАРУШЕНИЙ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	113

4.2 ОПАСНЫЕ РЕЖИМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕПЛОВОЗОВ	115
4.3 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМИЧЕСКИХ ЗАЩИТ....	119
4.4 ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 4	123
5 ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ	124
5.1 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ЛОКОМОТИВОВ.....	124
5.2 РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА «ВСТРОЕННОЕ КАЧЕСТВО»	127
5.3 СТАТИСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТПС	129
5.4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ	139
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	143
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	145
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	147
ПРИЛОЖЕНИЕ А – ТЕКСТ VBA-ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	167

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Транспорт является одной из важнейших отраслей материального производства, связанной с перевозкой пассажиров и грузов. Железнодорожный транспорт – основной вид транспорта России, занимающий ведущее положение в единой транспортной системе. Он выполняет 89 % грузооборота (без учета трубопроводов) и 45 % пассажиро-оборота [92]. При протяжённости в 12 % мировой железнодорожной сети средняя грузонапряжённость на 1 км в 6 раз больше, чем в США. На отечественном железнодорожном транспорте последние 15 лет идет комплексная реформа, кардинально меняющая принципы управления транспортом, в т.ч. тяговым подвижным составом. Реформа направлена на повышение экономической эффективности перевозочного процесса [116].

В рамках реформы произошло разделение функции эксплуатации локомотивов (создана Дирекция тяги (ЦТ) – филиал ОАО «РЖД») и функции технического обслуживания и ремонта (ТОиР), для реализации которых создана Дирекция по ремонту тягового подвижного состава (ЦТР) – филиал ОАО «РЖД», а с 1 июля 2014 года бóльшая часть функций ТОиР локомотивов передана частным сервисным компаниям ООО «ТМХ-Сервис» и ООО «СТМ-Сервис», что позволило внедрить экономическую модель ТОиР с прямой зависимостью доходов сервисных компаний от фактически выполняемой локомотивами работы (километров пробега для магистральных и часов работы для маневровых локомотивов).

Реформа локомотивного комплекса предполагает повышение интенсивности использования тягового подвижного состава (ТПС), что достигается за счёт увеличения весовых норм, сокращения простоя на ТОиР за счёт внедрения перспективных технологий обслуживания и ремонта, увеличения межремонтного пробега и полигона обращения локомотивов. Эти и ряд других факторов привели к необходимости реализации новых подходов к управлению техническим состоянием ТПС. Актуальной становится задача разработки модели управления техническим состоянием локомотивов при полигонной системе эксплуатации и сервисной системе ТОиР.

Степень разработанности. Управление техническим состоянием ТПС неоднократно являлось предметом научного рассмотрения. Значительный научный и практический вклад внесли, как отечественные учёные — И.П. Исаев [87, 88, 89, 90, 174], В.Д. Кузьмич [105], А.В. Горский [51 – 57, 181], А.А. Воробьев [37, 38, 57,181],А.В. Воротилкин [39, 40, 41], В.А. Гапанович [42 – 45], А.Д. Глущенко [46], А.Т. Головатый [47, 48], А.Н. Головаш [49, 50], А.А. Грачёв [67], Ю.А. Давыдов [71 – 74], В.Н. Игин [82], А.М. Замышляев [79, 80], Ю.М. Иньков [85, 86], В.И. Киселев [94, 95], В.А. Козырев [96], А.С. Космодамианский [100, 101], Е.Е. Коссов [102, 103], С.М. Кузнецов [28], Ю.В. Митрохин [125, 126, 127], А.Т. Осяев [134, 135, 136], А.В. Плакс [139], А.Д. Пузанков [142, 143, 144], Е.Н. Розенберг [145], А.П. Семёнов [148], А.В. Скребков [51,150,151], В.Т. Стрельников [174], Э.Д.Тартаковский[176, 177], В.П. Феоктистов [181, 182], В.А.Четвергов [187], Н.Г. Шабалин [188,189,190], С.Г. Шантаренко [191, 192], Р. Burgwinkel и F. Rensmann [195], Н.W. Heinrich [196], J.P. Womak, D.T. Jones и D. Roos [197] и многие другие ученые.

В диссертации развиваются научные основы управления техническим состоянием тягового подвижного состава применительно к условиям их сервисного обслуживания и современного уровня развития информационных технологий.

Целью диссертационной работы является повышение надёжности и эффективности эксплуатации тягового подвижного состава применительно к сервисной системе технического обслуживания и ремонта с использованием современного уровня развития информационных технологий.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- выполнен анализ мирового и отечественного опыта управления техническим состоянием, надёжностью и качеством технических систем (в т.ч. применительно к системе сервисного обслуживания локомотивов) с целью дальнейшего использования этого опыта в локомотиворемонтном комплексе;
- для практической реализации описанных в международных стандартах принципов управления разработан метод «Встроенное качество» для обеспечения эффективности технического обслуживания и ремонта

- локомотивов путём инкапсуляции (встраивания в систему управления) вероятностно-статистических методов в области управления качеством, эксплуатационной надёжностью, бережливого производства с целью исключения ошибочных управляющих решений;
- выполнен многофакторный анализ информативности данных об эксплуатации и техническом состоянии локомотивов в информационных системах железнодорожного транспорта. Определена целесообразность инкапсуляции рассмотренных статистических методов в систему управления техническим состоянием локомотивов в условиях сервисного обслуживания;
 - разработана автоматизированная трёхконтурная модель управления техническим состоянием локомотивов в условиях сервисного обслуживания (Модель);
 - разработан метод автоматизации процессов технического диагностирования тепловозов серии ТЭ10 за счёт применения корреляционного анализа параметров дизель-генераторной установки;
 - разработаны алгоритмические защиты от превышения предельно допустимых режимов работы грузовых тепловозов серии ТЭ10 в рамках реализации метода «Встроенное качество» в автоматизированных системах управления локомотивов;
 - разработана методика практической реализации предложенной Модели применительно к отечественной системе сервисного обслуживания тягового подвижного состава;
 - предложенная Модель внедрена в системе ТОиР сервисной локомотивной компании ООО «ТМХ-Сервис».

Научная новизна. Разработана модель управления техническим состоянием тягового подвижного состава в виде трёхконтурной системы управления инцидентами, проблемами и уровнем сервисного обслуживания с инкапсулированными в неё по принципу «Встроенное качество» вероятностно-статистическими методами и алгоритмами международных стандартов.

Разработан метод автоматизированного диагностирования предотказных состояний однотипных узлов грузовых тепловозов, оборудованных аппаратно-программными комплексами контроля технического состояния.

Разработаны методы алгоритмических защит от превышения предельно допустимых режимов работы тепловозов.

Теоретическая и практическая значимость работы. Научно обоснована и разработана модель управления техническим состоянием локомотивов и пути её практической реализации применительно к структуре локомотивной компании ООО «ТМХ-Сервис».

Новизна и оригинальность Модели защищена патентом на изобретение и положена в основу организации работы групп диагностики сервисных локомотивных депо [137].

Разработан научно обоснованный алгоритм расследования инцидентов и методика оценки степени их влияния на техническое состояние локомотива.

Разработанные технические требования на программные модули «Управление инцидентами», «Статистическая обработка данных о техническом состоянии и эксплуатации локомотивов», «Статистические отчёты о надёжности локомотивов», «Конструктор статистических отчётов» реализованы в единой информационно-управляющей системе группы компаний «Локомотивные технологии». Разработаны соответствующие методические указания, инструкции и регламенты.

На основании вероятностно-статистических методов и теории надёжности выполнен многофакторный анализ эксплуатационных и технических показателей тепловозов Европейской части России и Восточного полигона ОАО «РЖД» (в т.ч. БАМ).

Разработан с использованием принципов «Встроенное качество» метод автоматизированного диагностирования тепловозов серии ТЭ10 с дизель-генераторной установкой 1А-9ДГ по данным бортовых систем управления и алгоритмические защиты от превышения предельно допустимых режимов работы.

Упомянутый «Способ контроля режимов эксплуатации локомотивов» защищён патентом на изобретение [138].

Методология и методы исследования. При разработке предложенной Модели использованы вероятностно-статистические методы и методы международных стандартов в области управления качеством, надёжностью и бережливым производством.

Расчёты и анализ выполнены с использованием авторских программ на языке программирования *Visual Basic for Applications (VBA) MS Excel*.

Положения, выносимые на защиту:

модель управления техническим состоянием локомотивов, основу которой составляют замкнутые контуры управления инцидентами, проблемами и уровнем сервисного обслуживания;

метод «Встроенное качество», согласно которому в информационно-управляющую систему сервисного технического обслуживания и ремонта тягового подвижного состава инкапсулируются вероятностно-статистические методы и положения международных стандартов;

алгоритм процесса расследования и устранения инцидентов на локомотивах в условиях сервисного обслуживания и ремонта;

автоматизированный метод технического диагностирования предотказных состояний дизель-генераторной установки тепловозов серии ТЭ10 по данным бортовых автоматизированных систем управления;

алгоритмические защиты грузовых тепловозов серии 2ТЭ10 и 3ТЭ10 от превышения предельно допустимых значений эксплуатационных параметров работы узлов.

Степень достоверности. Достоверность научных результатов и теоретических положений диссертационной работы достигнута с использованием вероятностно-статистических методов обработки данных. Исходные выборки тепловозов по режимам эксплуатации составили 15,2 млн эксплуатационных событий за 12 месяцев их эксплуатации в 23-х локомотивных депо.

Результаты исследований внедрены в работу сервисных локомотивных депо ООО «ТМХ-Сервис» в качестве регламентов и алгоритмов информационно-управляющих систем и подтверждены полученными результатами исследований. Алгоритмические защиты тепловозов реализованы на опытном тепловозе, что позволило уменьшить число отказов.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены, обсуждены и одобрены на 14-и научно-практических (НПК) и научно-технических (НТК) конференциях: XII - XIV НПК «Наука МИИТа - транспорту» (г. Москва, 2011 - 2013 гг.); IV Международная партнерская конференция EuroTrain «Современный подвижной состав: приоритеты, инновации, перспективы» (г. Ялта, Украина, 2013 г.); VI Международная конференция «Железнодорожное машиностроение. Перспективы, технологии, приоритеты» (г. Щербинка, 2013 г.); Международная НПК «Эксплуатационная надежность подвижного состава» (ОмГУПС, г. Омск, 2013 г.); Пятая международная НПК «Транспортная инфраструктура Сибирского региона» (ИрГУПС, г. Иркутск, 2014 г.); Первая и вторая международные НПК «Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов» (МИИТ, ТМХ-Сервис, г. Москва, 2014 – 2015 гг.); Всероссийская НПК с международным участием «120 лет железнодорожному образованию в Сибири» (КРИЖТ, г. Красноярск, 2014 г.); Вторая всероссийская НТК с международным участием «Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов» (ОмГУПС, г. Омск, 2014 г.); Третья всероссийская НТК с международным участием «Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава» (ОмГУПС, г. Омск, 2015 г.).

Диссертация доложена и одобрена на заседаниях кафедр «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» ОмГУПС (г. Омск, 2014 г.) и «Электропоезда и локомотивы» МГУПС (МИИТ) (2016 г.).

Публикации. Основные положения диссертационной работы и полученные результаты опубликованы в 32-х научных работах, из них 5 статей в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК. Две работы опубликованы в зарубежных изданиях.

На «Способ управления обслуживанием и ремонтом тягового подвижного состава железнодорожного транспорта и система для его осуществления» и «Способ контроля режимов эксплуатации локомотивов» получены патенты на изобретения.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений, списка литературы из 197 источников и содержит 166 страниц основного текста, включая 14 таблиц и 45 рисунков.

В первом разделе выполнен анализ объекта исследования – системы управления техническим состоянием тягового подвижного состава (ТПС) и существующей системы технического обслуживания и ремонта ТПС предполагающей в условиях реформирования локомотивного комплекса ОАО «РЖД» переход на сервисную систему.

В рамках реформы с 1 июля 2014 года бóльшая часть функций ТОиР локомотивов передана сервисным компаниям ООО «ТМХ-Сервис» и ООО «СТМ-Сервис» с прямой зависимостью доходов сервисных компаний от фактически выполняемой локомотивами работы. Одновременно повышается интенсивность использования локомотивов за счёт сокращения простоя на ТОиР, увеличения межремонтного пробега и протяжённости полигона эксплуатации локомотивов. Решение задачи повышения надёжности и эффективности эксплуатации ТПС с учётом современного уровня развития информационных технологий применительно к сервисной системе технического обслуживания и ремонта является актуальной задачей.

Во втором разделе диссертационной работы выполнен анализ мирового и отечественного опыта управления техническим состоянием локомотивов, с использованием возможностей информационных систем локомотивного комплекса (АСОУП, АСУТ, КАС АНТ, АСУ НБД-2 и др.) и одновременным переходом на сервисное обслуживание. Проанализирован опыт использования, на предшествующем этапе, вероятностно-статистических методов управления техническим состоянием ТПС.

В результате анализа мирового и отечественного опыта разработана модель управления техническим состоянием тягового подвижного состава (далее

- Модель), основу которой составляет трёхконтурная система управления инцидентами, проблемами и уровнем сервисного обслуживания. Реализован метод «Встроенное качество», согласно которому в информационно-управляющую систему сервисного обслуживания локомотивов инкапсулируются статистические методы и положения международных, национальных и отраслевых стандартов в области управления качеством, надёжностью и бережливого производства для обеспечения надёжной эксплуатации локомотивов.

Для использования Модели в условиях ограниченности технических и экономических ресурсов предложено учитывать степень влияния каждого из инцидентов на техническое состояние локомотивов, для чего введено понятие «Вес инцидента».

Третий раздел посвящён вероятностно-статистическому анализу данных о техническом состоянии и параметрах эксплуатации тепловозов для обоснования целесообразности и порядка использования математических методов в Модели. Выполнен анализ информативности источников данных локомотиворемонтного комплекса.

Достоверность полученных результатов обеспечена объёмом исследований. Анализ выполнен по более 15 млн исходных событий по тепловозам серии ТЭ10 23-х локомотивных депо за 12 месяцев 2015 - 2016 годов. Предложены алгоритмы использования информационных систем для анализа надёжности локомотивов и качества сервисного обслуживания. Предложен алгоритм процесса расследования инцидента и метод расчёта веса инцидента в условиях сервисного технического обслуживания и ремонта локомотивов.

В четвёртом разделе описана предлагаемая по методу «Встроенное качество» защита тепловозов серии ТЭ10 от опасных режимов эксплуатации за счёт применения алгоритмических защит, для чего дорабатывается защитными функциями алгоритмы работы бортовых автоматизированных систем управления.

Анализ диагностических данных тепловозов показал, что тепловозы серии ТЭ10 на Дальневосточной железной дороге зачастую эксплуатируются с

превышением предельно допустимых параметров работы, приводящих к повышенной интенсивности неплановых ремонтов. За 2013 - 2015 года на БАМ выявлено 18 тыс. нарушений режимов эксплуатации, из них большая часть по тяговым электрическим машинам и дизелю. Выявленные нарушения существенно снижают показатели надежности локомотивов.

В связи с этим разработаны алгоритмы защиты от превышения предельно допустимых параметров работы дизель-генераторной установки, которые возможно реализовать путём дополнения штатного программного обеспечения бортовых аппаратно-программных комплексов специальными алгоритмами. Разработанные алгоритмы реализованы совместно с «Научно-исследовательским и конструкторско-технологическим институтом подвижного состава» (АО «ВНИКТИ») на тепловозе 3ТЭ10МК-1267 приписки эксплуатационного локомотивного депо ТЧЭ-29 «Курск-Сортировочный» Московской ж.д.

В пятом разделе подведён итог выполненных исследований и приведены результаты практического внедрения научных разработок.

Модель управления техническим состоянием локомотивов положена в основу Автоматизированной системы управления надёжностью локомотивов (АСУНТ) сервисной локомотивной компании ООО «ТМХ-Сервис».

Для единой информационно-управляющей системы «ЕСМТ» разработаны алгоритмы работы модулей «Управление инцидентами», «Конструктор отчётов», «Статистическая обработка данных» [13], «Факторный анализ». В работу модулей инкапсулированы вероятностно-статистические методы, а также международные стандарты управления качеством, надёжностью и бережливым производством. В результате внедрения системы существенно повысилась достоверность используемой информации, сократились потери времени инженерно-технического персонала на обработку информационно-технической документации в сервисных локомотивных депо.

В заключении сформулированы основные научные и практические результаты диссертации, приведены выводы и предложения по дальнейшим исследованиям.

В списке использованных литературных источников приведены основные использованные источники, на которые есть ссылки в диссертации. Для удобства пользования источники приведены в алфавитном порядке.

Встречающиеся в документе названия программных продуктов, оборудования, изделий, фирм и др. являются зарегистрированными товарными знаками соответствующих компаний.

1 АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ТПС

1.1.1 Планово-предупредительная система обслуживания ТПС

Управление техническим состоянием машин и технических систем заключается в обосновании и назначении видов и периодичности их технического обслуживания, видов и методов ремонта, критериев предельного состояния, степени восстановления технического ресурса составных частей, продолжительности эксплуатации до списания и т.д. [114, 116]. Цель управления техническим состоянием – поддержание надёжности объекта на заданном в технических условиях уровне. Таким образом, управление техническим состоянием тягового подвижного состава непосредственно связано с системой технического обслуживания и ремонта.

ТООР отечественных локомотивов складывалась десятилетиями [117], но в настоящее время претерпевает существенные изменения. В процессе долголетней отечественной практики эксплуатации подвижного состава, широкое распространение получила планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта локомотивов. Плановой она называется потому, что сроки постановки ТПС на осмотры и ремонты планируются, а предупредительной – поскольку направлена, главным образом, на предупреждения возникновения неисправностей [14, 147, 149].

Техническое обслуживание и ремонт локомотивов проводятся с целью обеспечения устойчивой работы локомотивов, поддержания их технического состояния и повышения технического коэффициента эксплуатационной надёжности тягового подвижного состава. Принципиальная схема планово-предупредительной системы ремонта представлена на рисунке 1.1.

Система планово-предупредительного ремонта [21, 81, 94], действующая на сети железных дорог, предусматривает следующие виды планового технического обслуживания и ремонта [41, 93]:

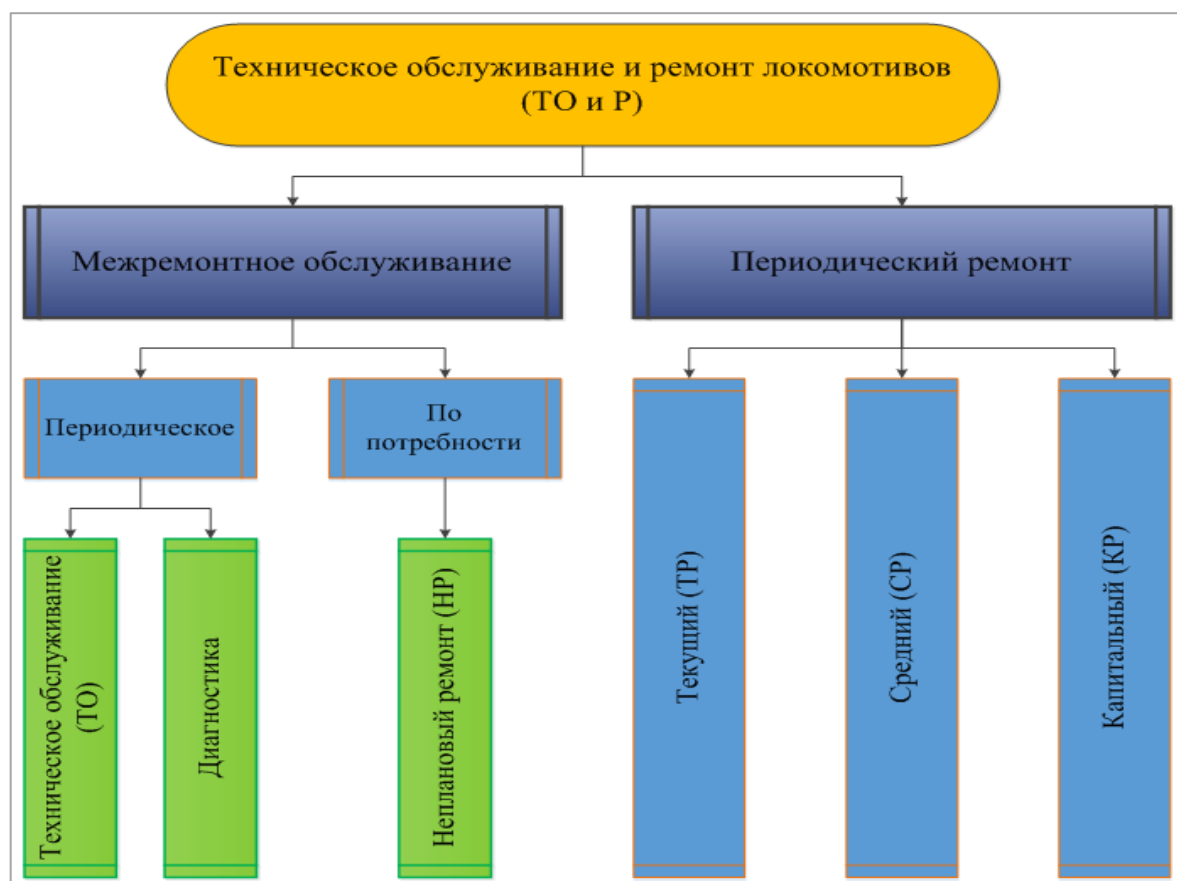


Рисунок 1.1 – Принципиальная схема планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта локомотивов

- техническое обслуживание: ТО-1, ТО-2, ТО-3, ТО-4, ТО-5а, ТО-5б, ТО-5в, ТО-5г, ТО-5д;
- ремонт: текущие ремонты ТР-1 и ТР-2, ТР-3, СР, КР.

Технические обслуживания ТО-1, ТО-2, ТО-3 проводятся периодически и предназначаются для контроля технического состояния в целях предупреждения отказов в эксплуатации. Технические обслуживания ТО-4, ТО-5а, ТО-5б, ТО-5в, ТО-5г, ТО-5д планируются при необходимости. Текущие ремонты, как правило, выполняют в депо приписки локомотивов (ТР-1), в специализированных депо (ТР-2) и базовых специализированных депо (ТР-3 и ДР). Средний (СР) и капитальный (КР) ремонты выполняют на локомотиворемонтных заводах [14, 41, 91].

Существующая система планово-предупредительного ремонта локомотивов является довольно затратной, т.к. техническое обслуживание и

ремонт выполняется вне зависимости от технического (физического) состояния узлов и агрегатов.

В мировой практике за счёт внедрения систем диагностирования перешли к системе ремонта с учётом фактического технического состояния локомотивов, что позволило существенно снизить издержки на содержание локомотивного парка. Однако полностью перейти на ремонт локомотивов по фактическому техническому состоянию не удалось пока еще никому [26].

При планово-предупредительной системе ТОиР финансово-экономические показатели формировались в зависимости от объёма и количества выполненных ремонтов: чем больше ремонтов, тем больше доход. При сервисной системе ТОиР финансово-экономические показатели формируются от фактического пробега и коэффициента технической готовности, а также времени нахождения локомотива в эксплуатации. Таким образом, у сервисных компаний появляется мотивация к повышению эффективности управления техническим состоянием локомотивов, поддержанию на заданном уровне коэффициента технической готовности (КТГ) и совершенствованию системы ТОиР с целью снижения её себестоимости на каждый локомотив [3, 128].

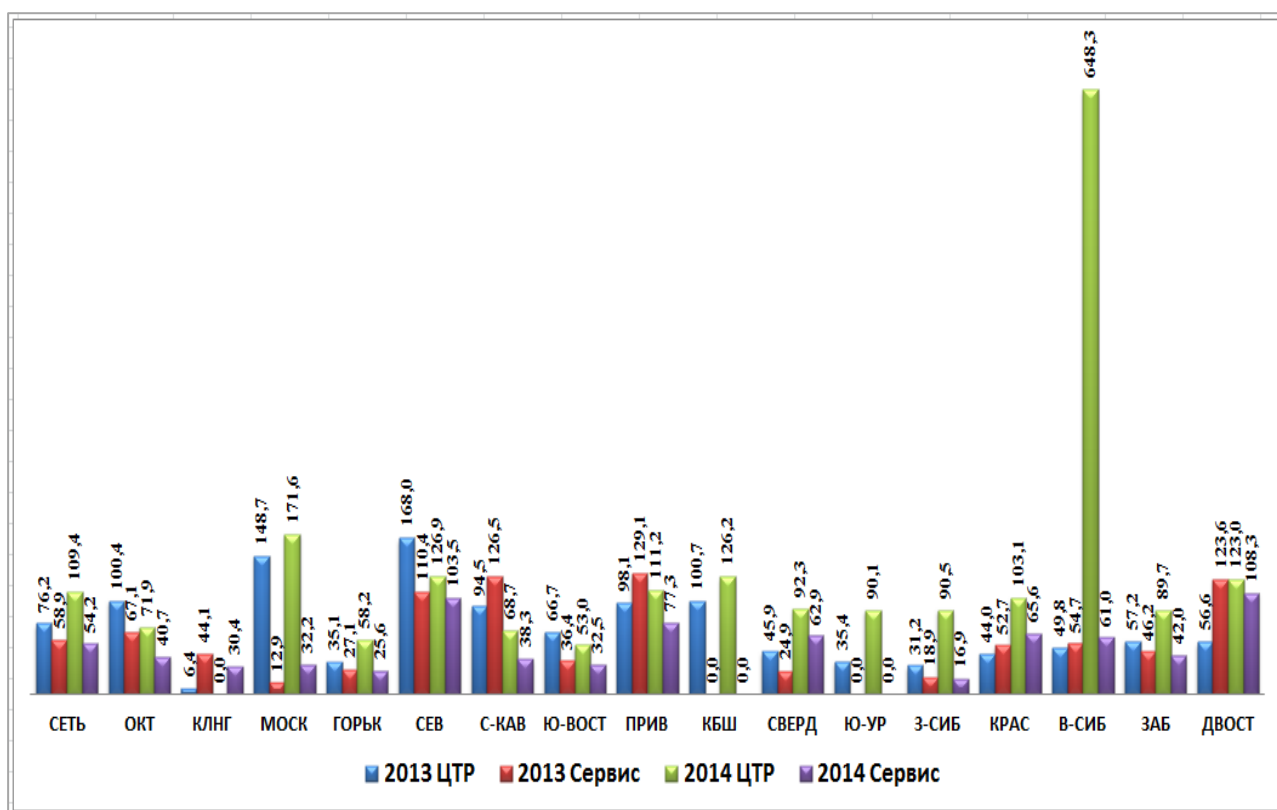
1.1.2 Техническое состояние локомотивного парка

Локомотивы работают в специфических условиях, которые оказывают решающее влияние на характер износа оборудования. К этим условиям относятся динамические нагрузки, вызываемые неровностями пути, тяговыми усилиями, изменением температурных режимов, в пределах от $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$, аэродинамическим воздействием при движении.

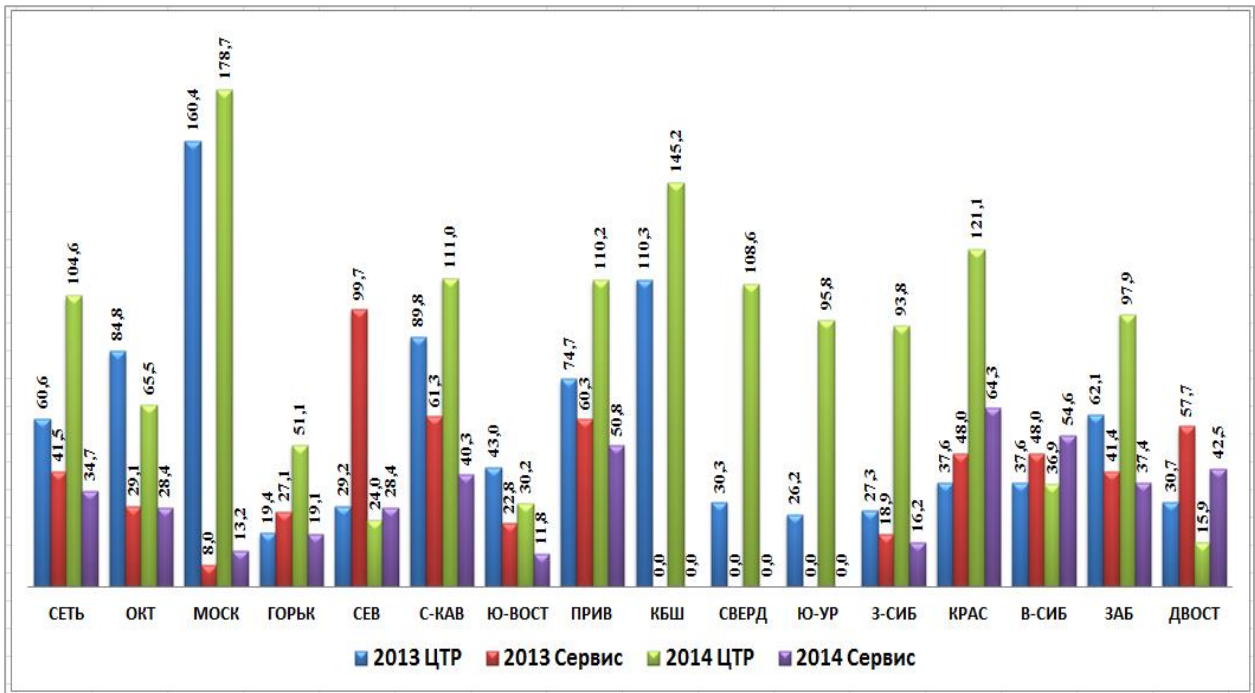
Специфические условия работы тягового подвижного состава предъявляют повышенные требования к его надежности. Элементы конструкции тягового подвижного состава (далее - ТПС), узлы, агрегаты, системы и локомотивы в целом эксплуатируются 30 – 40 лет и имеют низкую эксплуатационную надежность и требуют дополнительных затрат при обслуживании и ремонте [10, 11, 70].

Инвентарный парк локомотивов ОАО «РЖД» по состоянию на 2016 год составляет 20,9 тыс. единиц (11,7 тыс. грузовых локомотивов, 3,1 тыс. пассажирских локомотивов, 6,1 тыс. маневровых локомотивов), при этом большая часть из них закуплена более 20 лет назад. В период с 1995-го по 2003-й год закупка практически не производилась. В результате, износ парка (находящегося за сроком службы) электровозов составляет 70 %, тепловозов – 78 % при среднем сроке службы локомотивов – 27,6 лет и среднем нормативном сроке эксплуатации – 33 года.

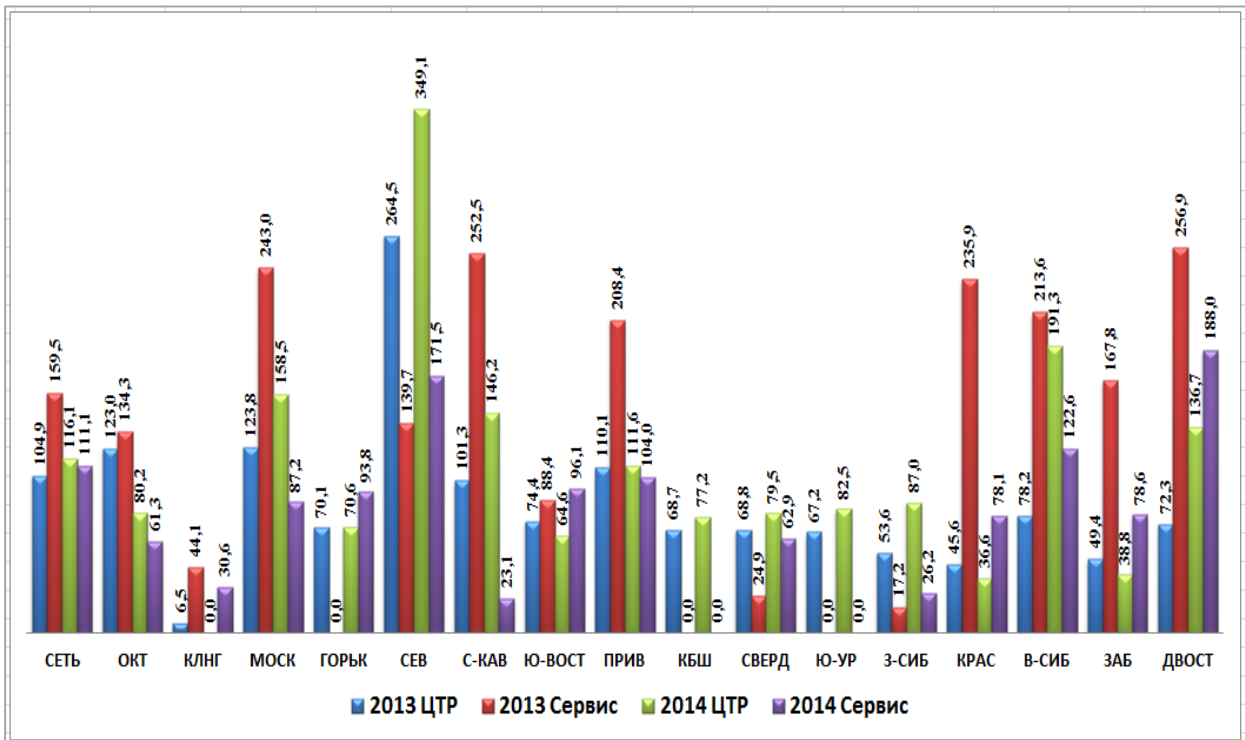
На рисунках 1.2 (а - в) представлен анализ отказов тягового подвижного состава по данным системы АСУТ с ответственностью между дирекцией тягового подвижного состава – филиала ОАО «РЖД» и сервисными компаниями за 12 месяцев 2013 и 2014 годов.



а – по локомотивам;



б – по электровозам;



в – по тепловозам;

Рисунок 1.2. – Удельное количество отказов на 1 млн км пробега за 12 месяцев 2013/2014 года по данным системы АСУТ

Из статистики, представленной по данным АСУТ, можно сделать вывод, что ситуация с отказами локомотивов только ухудшается.

Таким образом, повышение надежности локомотивов при реформировании локомотивного комплекса остается актуальной задачей.

1.1.3 Актуальность исследования

Реформа локомотивного хозяйства, начавшаяся с 1956 года, позволила перейти к новым формам и методам эксплуатации локомотивов – вождению поездов без отцепки локомотива на расстояние до 1000 км. В связи с этим изменилась система их ТОиР. С 2001 года продолжилось повышение интенсивности использования локомотивов за счёт увеличения весовых норм, сокращения простоя, увеличения межремонтного пробега и полигона обращения. В результате существующая система технического обслуживания и ремонта локомотивов требует существенного совершенствования, в т.ч. за счёт перехода на сервисное обслуживание [2, 3].

Новая экономическая модель локомотиворемонтного комплекса находится в прямой зависимости от фактически выполняемой локомотивами работы (от пробега или часов полезной работы). При этом технология сервисного ТОиР локомотивов недостаточно научно проработана. Задача разработки научно-обоснованной модели управления техническим состоянием локомотивов при переходе на сервисные формы технического обслуживания и ремонта и полигонные формы эксплуатации локомотивов – актуальная задача.

1.2 РЕФОРМА ЛОКОМОТИВНОГО КОМПЛЕКСА

1.2.1 Реформа отечественного железнодорожного транспорта

В 2001 году решением коллегии МПС России утверждена «Комплексная программа реорганизации и развития отечественного локомотивостроения, организации ремонта и эксплуатации тягового подвижного состава», в которой намечена стратегия перехода от преимущественно функционально-территориального к функциональному принципу организации депо по видам работы (выделение ремонтных и эксплуатационных депо), создание вертикали

управления ремонтным комплексом [39, 40, 175]. Таким образом, ответственность за предоставление исправных локомотивов, их техническое состояние, повышение надежности и модернизации в разные периоды жизненного цикла несли три независимых друг от друга центра:

- производители локомотивов – в гарантийный период эксплуатации;
- локомотивные депо – в период между заводскими видами ремонта;
- локомотиворемонтные заводы – при капитальных (заводских) ремонтах.

Реформирование комплекса осуществляется поэтапно и последовательно, чтобы минимизировать риски переходного периода, оценить правильность предпринятых шагов и решений, а также обеспечить устойчивую эксплуатационную работу [126].

На первом этапе, с целью объективного формирования бюджета локомотивного хозяйства посредством сопоставления его доходов и расходов в рыночных условиях было осуществлено разделение производственной деятельности на эксплуатационную и ремонтную составляющие.

В 2009 году на базе 10 локомотиворемонтных заводов сформировано дочернее общество ОАО «Желдорремаш», которое должно обеспечить всю потребность локомотивного хозяйства ОАО «РЖД» в заводском ремонте локомотивов, поставке запасных частей и линейного оборудования для ремонтных локомотивных депо [127].

Вторым этапом реформирования стало разделение локомотивных депо на две составляющие – эксплуатационную и ремонтную, создание вертикали управления – Дирекции по ремонту тягового подвижного состава. В ее состав с железных дорог было передано 16 территориальных дирекций, 111 ремонтных локомотивных депо, в которых работают почти 67 тыс. человек [140].

Структуру управления локомотивным комплексом ОАО «РЖД» после реформирования представлена на рисунке 1.3.

После полного организационного обособления в основу системы взаимодействия между дирекцией тяги (далее – ЦТ) и дирекцией по ремонту тягового подвижного состава (далее – ЦТР) положены договорные отношения,

которые обязывают ЦТР нести материальную ответственность за некачественное или несвоевременное проведение технического обслуживания и ремонта подвижного состава.



Рисунок 1.3 – Структура управления локомотивным комплексом ОАО «РЖД» после реформирования

На третьем этапе реализованы основные задачи по оптимизации локомотивного комплекса согласно целям, поставленным перед компанией ОАО «РЖД» [99, 132, 172, 173].

Тем не менее, негативным фактором в обеспечении перевозок по-прежнему являлась низкая надежность тягового подвижного состава и, как следствие, высокая интенсивность отказов. Финансирование осуществлялось за количество выполненных ремонтов, что компенсировалось избыточным парком. Дополнительно в период 2009 - 2012 годов для обеспечения растущих потребностей перевозок были введены в эксплуатацию более 3300 локомотивов из запаса ОАО «РЖД». Потребовался пересмотр организационно-функциональной структуры ремонта локомотивов.

Таким образом существовавшая система технического обслуживания и ремонта локомотивов не отвечает требованиям эффективного повышения эксплуатационной надежности локомотивов с одновременным снижением затрат на их ТОиР.

1.2.2 Сервисное обслуживание подвижного состава за рубежом

По мере того как зарубежные компании-операторы стремятся сократить расходы на эксплуатацию подвижного состава в расчете на весь срок службы и при этом обеспечить его высокую эксплуатационную готовность и надежность, они стараются переложить ответственность за техническое состояние на заводы-изготовители, которым поручается его фирменное обслуживание, причем все это предусматривается еще в процессе подготовки контракта на поставку нового ТПС [178].

Услуги по фирменному техническому обслуживанию и ремонту на контрактных началах постепенно становятся одним из определяющих факторов в меж- и внутривидовой конкуренции на транспорте. Во многих странах мира (прежде всего в Европе и США) дерегулирование и приватизация железнодорожного транспорта вынуждают операторов отдавать приоритет коммерческим, организационным и маркетинговым сторонам деятельности, а техническое обслуживание и ремонт ТПС делегировать компаниям, которые имеют достаточный опыт и компетенции в данной области.

Контракты на техническое обслуживание и другие связанные с ним услуги могут предусматривать как содействие по содержанию подвижного

состава в эксплуатации (когда завод-изготовитель оказывает помощь компании-оператору в работе, повышении квалификации ремонтного персонала и поставке запасных частей), так и осуществление технического обслуживания и ремонта ТПС в полном объеме на специализированных для этого предприятиях. В последнем случае компания несет всю ответственность за выдачу на линию необходимого количества единиц подвижного состава в обусловленное время в соответствии с запросами оператора, а также за его надежность в эксплуатации, самостоятельно определяя, какой должна быть система ТОиР и какие ресурсы для этого нужны [117, 178].

В настоящее время крупнейшие компании-изготовители тягового подвижного состава - это: Siemens Transportation Systems, Bombardier Transportation, Alstom Transport, General Electric. Эти компании в той или иной форме осуществляют техническое обслуживание и ремонт ТПС на контрактных условиях более чем в 20 странах мира [29, 117, 183].

Анализ мирового опыта ТОиР тягового подвижного состава показывает, что наиболее успешной является модель, при которой основную ответственность за исправное состояние на протяжении всего срока службы локомотива несёт его производитель (т.н. ответственность на протяжении всего жизненного цикла изделия). Данный подход позволяет комплексно решать следующие задачи [29]:

- совершенствование узлов и агрегатов локомотивов;
- повышение надёжности локомотивов в эксплуатации;
- поставка современного технологического оборудования и оснастки депо;
- мотивация персонала по предоставлению качественных услуг заказчику.

Таким образом, сервисная система технического обслуживания и ремонта тягового подвижного состава нашла широкое применение за рубежом, как основная форма хозяйствования в локомотиворемонтном комплексе.

1.2.3 Сервисная система обслуживания локомотивов

В рамках осуществления реформы российского железнодорожного транспорта утверждена концепция ОАО «РЖД» «Развитие системы сервисного

обслуживания и создание единого центра ответственности за техническое состояние локомотивов», которая направлена на реализацию Стратегических направлений научно-технического развития железнодорожного транспорта на период до 2015 г. Согласно п. 12 «Белой книги» ОАО «РЖД», к планируемым результатам реформирования относится «... развитие конкуренции в операторской, экспедиторской, логистической, ремонтной и сервисной деятельности, активное использование в отрасли рыночных механизмов финансирования инвестиций...» [125, 172, 163].

Концепция предполагает:

- переход на систему полного сервиса;
- переход на систему сервисного обслуживания на всем жизненном цикле;
- формирование единого центра ответственности за техническое состояние ТПС;
- сервисное обслуживание должно дополнять услугу по поставке ТПС;
- гарантии надежности системы сервисного обслуживания.

Для оценки правильности выбранного направления в ОАО «РЖД» принято решение внедрять модель частичного сервиса с решением только наиболее приоритетных задач: восполнения «пробелов» снабжения, функций независимого контроля сменяемости запасных частей и технологии ремонта.

Первый договор на оказание услуг сервиса заключён в 2010 году с ООО «ТМХ-Сервис». В качестве «пилотного» проекта на обслуживание были переданы 185 электровозов серии 2ЭС5К «Ермак». Впоследствии количество обслуживаемых локомотивов различных серий было увеличено до 4510 единиц по всей сети. В 2011 году образована компания ООО «СТМ-Сервис», входящая в состав холдинга ОАО «Синара–Транспортные Машины», которая приняла на сервисное обслуживание 145 единиц электровозов серии 2ЭС6. Практически сразу были получены основные преимущества перед традиционной схемой организации ремонта:

- более гибкая и оперативная интеграция сервисных компаний с производителями локомотивов и заводами ОАО «Желдорремаш»;

- оптимальная проработка транспортно-логистических вопросов, организация складов в местах проведения технических обслуживаний и ремонтов локомотивов;
- организация оперативного перераспределения запасных частей между складами с учетом изменяющейся потребности и контроля выполнения технологических операций;
- контроль выполнения технологии ремонта для повышения надежности локомотивов.

Следует отметить, что наполнение складов запасными частями и материалами давало результат только до определенного момента и явилось лишь частичным решением проблемы надёжности локомотива и её поддержания в процессе обслуживания и ремонта. Был сделан ещё один важный вывод, что одним только наращиванием номенклатуры и наполняемости складов невозможно решить все возникающие проблемы с обеспечением технически исправного состояния локомотива, в том числе и одну из основных проблем – это конструкционные недостатки. На основе полученного опыта стало понятно, что вариант частичного сервиса помимо преимуществ имеет и ряд недостатков [3]. Например:

- распространение услуг сервисных компаний только на отдельные серии локомотивов в рамках одного депо, обладающего разносерийным парком;
- пересечение ответственности сервисных компаний и дирекции по ремонту тягового подвижного состава, что не позволяет полноценно влиять на ремонтный персонал, его мотивацию и квалификацию, а также степень технологической оснащённости ремонтных депо.

Перечисленных недостатков лишен подход, при котором осуществляется полное сервисное обслуживание локомотивного парка – как совокупность технологий, системы контроля качества, склада и системы логистики по его наполнению запасными частями, персонала, мотивированного на качественный конечный результат. «Пилотный проект» новой модели организации в 2013 году был опробован на Восточно-Сибирской, Северной и Свердловской

дирекциях тяги. На основании успешной реализации «пилотных проектов» в октябре 2013 года на заседании координационного совета при президенте ОАО «РЖД» принято решение о переходе на полное сервисное обслуживание всего локомотивного парка компании.

Таким образом, переход отечественного железнодорожного транспорта на сервисную систему ТОиР отвечает общепринятой в развитых странах практике разделения локомотивного комплекса на эксплуатационную и ремонтную составляющие [69, 129]. При этом сразу же стала создаваться система управления жизненным циклом локомотива (рисунок 1.4). Сервисные компании обязаны обеспечивать надёжность локомотивов, поддерживать на заданном уровне коэффициент технической готовности (КТГ) локомотивов. Созданная модель сервисного обслуживания локомотивов, основанная на системе сдержек и противовесов, определяет необходимость оплаты выполненных работ только по факту обеспечения должного качества обслуживания и ремонтов. В результате перехода на полное сервисное обслуживание ожидается формирование эффективной экономической модели содержания локомотивного парка отрасли [69, 129].

В условиях новых отношений сервисные компании как самостоятельные бизнес-структуры заинтересованы в эффективной работе локомотиво-ремонтного комплекса, являющегося для них непосредственным объектом инвестирования и развития. Пути повышения эффективности использования локомотивов в основном лежат через снижение затрат на их содержание и они напрямую соприкасаются со сферой совершенствования системы технического обслуживания и ремонта [69, 129].

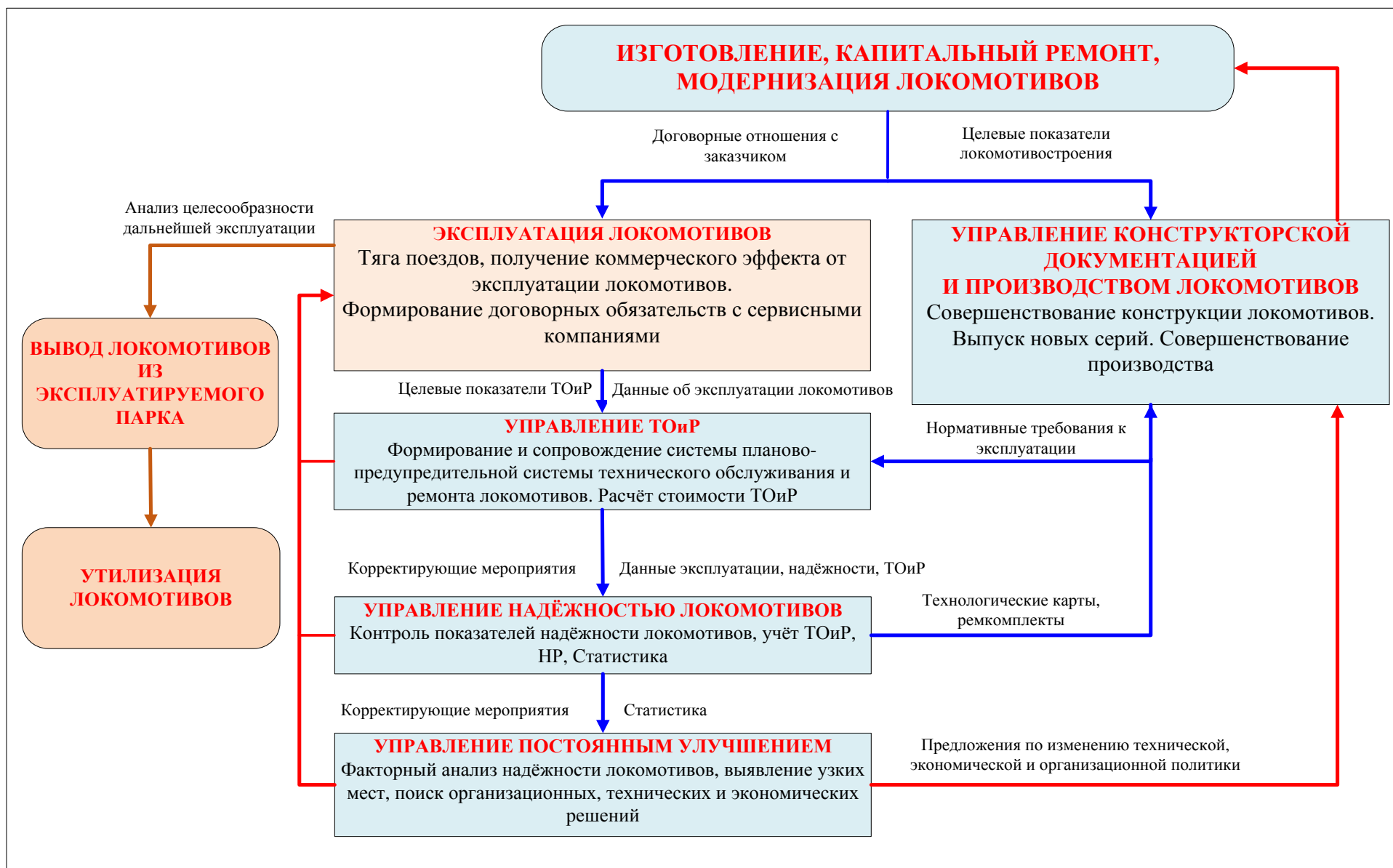


Рисунок 1.4 – Структура жизненного цикла локомотивов

Основными критериями оценки качества сервисного обслуживания локомотивов приняты следующие показатели:

- коэффициент технической готовности локомотива (КТГ);
- фактический пробег локомотива (для поездного движения);
- количество часов нахождения локомотива в состоянии эксплуатационной готовности (для хозяйственной и маневровой работы).

Повышение эффективности использования локомотивов в сервисных компаниях осуществляется по следующим направлениям:

- совершенствование конструкции отдельных узлов;
- повышение технической оснащённости ремонтной базы с внедрением методов и средств технического диагностирования;
- внедрение мониторинга технического состояния и режимов эксплуатации;
- переход от системы планово-предупредительного ремонта к ремонту по фактическому техническому состоянию.

Сервисные компании согласно договору:

- организуют, управляют и контролируют процесс ТОиР;
- организуют материально-техническое обеспечение запасными частями и материалами;
- устраняют отказы локомотивов на линии;
- обеспечивают гарантийные сроки обслуживания локомотивов;
- занимаются подготовкой и переподготовкой кадров.

Целью реформы локомотивного комплекса стал переход на полное сервисное обслуживание локомотивов, который, в свою очередь, позволил создать конкуренцию между сервисными компаниями на рынке услуг по техническому обслуживанию и ремонту тягового подвижного состава на всем жизненном цикле локомотива. Главной задачей деятельности сервисных компаний стало повышение коэффициента технической готовности локомотивов, снижение числа отказов и простоев, снижение затрат на проведение ТОиР, мотивация ремонтного персонала на повышение качества выполняемых работ.

1.3 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Переход на сервисную форму ТОиР локомотивов (с 1 июля 2014 года ТОиР) - это не просто смена исполнителя: принципиально поменялась мотивация сервисной компании. Если раньше ремонтные локомотивные депо получали финансирование за объем выполненных работ ТОиР (т.е. были бюджетными организациями), то сервисная компания получает доход за пробег локомотива или часы нахождения в эксплуатации. Это принципиально поменяло мотивацию. Появилась необходимость в научной проработке методов сервисного обслуживания, и, соответственно, поиске путей повышения эффективности. Для решения этой научно-практической задачи в диссертационной работе решаются следующие задачи:

1. Разработка структуры модели управления техническим состоянием локомотивов на основании анализа мирового и отечественного опыта в области управления техническим состоянием и надежностью технических систем (в т.ч. при сервисном обслуживании локомотивов), а также с привязкой к существующим информационным, автоматическим и автоматизированным системам локомотивного комплекса.
2. Разработка модели управления техническим состоянием локомотивов при сервисной системе ТОиР, а также алгоритмов её функционирования.
3. Разработка технологии использования существующих статистических методов и методов в области управления надежностью, качеством сервисного обслуживания в разработанной модели управления.
4. Оценка технико-экономической целесообразности реализации предложенной модели управления техническим состоянием локомотивов при сервисной системе ТОиР.

2 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ТПС

2.1 АНАЛИЗ МИРОВОЙ ПРАКТИКИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

2.1.1 Мировой и отечественный опыт управления качеством

Управление техническим состоянием тягового подвижного состава, как описано в разделе 1.1 диссертационного исследования, непосредственно связано с системой их технического обслуживания и ремонта (ТОиР), которая, в свою очередь, должна обеспечивать надёжность локомотивов в эксплуатации. При этом надёжность обеспечивается качеством выполняемых ТОиР ТПС.

В мировой практике глубоко научно и практически проработаны принципы управления надёжностью оборудования, систем и процессов согласно методологии системы менеджмента качества (СМК) и бережливого производства. Лучший опыт (Best Practice) закреплён на уровне международных (ISO), национальных (ГОСТ РФ) [60, 63, 64, 65, 66, 67, 111, 118] и корпоративных стандартов и методик ОАО «РЖД» (СТО, СТК) [179]. Общеизвестным основополагающим является принцип постоянного улучшения, имеющий место во всех видах документов по качеству [106, 107, 142, 163, 164, 165, 166].

Основателем научной теории управления предприятиями ("научного менеджмента") считается Фредерик Тейлор. В СССР о его трудах знали как о «научной системе выжимания пота», «порабощении человека машиной», хотя и признавалась необходимость научной организации труда. Ф.Тейлор сформулировал научную концепцию управления предприятием. В явном виде принцип постоянного улучшения у Ф.Тейлора отсутствовал. Основное внимание уделялось собственно организации производства. "Качество" как объект непрерывного управления появляется в промышленности США в 30-е годы в рамках развития систем "статистического контроля качества" благодаря трудам статистика из компании Bell Laboratories Уолтера Шухарта. За основу У.Шухарт взял уже применявшиеся к тому времени в Европе статистические методы, на основе которых он разработал "триаду первоочередных мер" [24, 75, 144, 184]:

- выработать специфические, математически обоснованные требования к изготовлению каждой части изделия;
- согласиться с неизбежностью "дефектов";
- совокупное количество "дефектов" в готовом изделии должно изначально закладываться в технологию производства.

Признание факта наличия дефектов поставило задачу их уменьшения как непрерывного технологического процесса. Включение принципа постоянного улучшения в систему управления предприятием – главная заслуга У.Шухарта.

Наиболее известный ученый в области качества Эдвард Деминг развил идеи У.Шухарта, создал теорию вариабельности в производстве. Э.Деминг предложил отделять “специальные причины” изменчивости продукции от “общих”. Э.Деминг применил системный подход, известный как «Цикл Э.Деминга», «Цикл У.Шухарта – Э.Деминга» или цикл PDCA (Plan, Do, Check, Act) – «планируй, осуществляй (исполняй), проверяй результат, действуй (корректировка результатов)». Иногда вместо «Check» (проверяй) используют термин Study (изучай). Методика цикла PDCA предполагает возобновление цикла действий по решению проблемы следующего уровня после завершения предыдущего в отношении проблемы более низкого порядка. Главная специфическая черта цикла PDCA – это требование обязательности обратных связей. Для реорганизации производства Э.Деминг предлагает план действий из семи шагов, в число которых входит и цикл PDCA [17, 24, 75]:

- вся деятельность компании разбивается на последовательные этапы. Постоянное улучшение методов работы должно осуществляться на каждом этапе, и каждый этап должен работать в направлении качества;
- выстраивается организационная структура, которая обеспечивает постоянное улучшение качества с обязательным использованием замкнутого цикла.

Необходимость реализации принципа постоянного улучшения определена в известном афоризме Э.Деминга «Вы можете не развиваться - выживание не является обязанностью». Интересно утверждение Норберта Винера, что главной отличительной чертой живой системы является именно способность развиваться, уменьшать энтропию и дезорганизацию окружающего мира, «нарушать второе

начало термодинамики». Таким образом, отсутствие постоянного развития - это не просто остановка – это разрушение [24, 34].

Принцип постоянного улучшения (цикл PDCA) входит в число 8 принципов управления международным стандарта качества ISO-9000, является основой систем менеджмента качества (стандарт ISO-9001). Принцип постоянного улучшения – основа основ любой системы управления качеством [92, 119, 120].

Практическая реализация цикла PDCA в системе сервисного обслуживания локомотивов может быть эффективно осуществлена с использованием положений международного стандарта ITIL (Information Technology Infrastructure Library), разработанного применительно к информационным системам, но применимым практически в любой области сервисного обслуживания, что отражено в международном стандарте ISO 20000 (есть проект соответствующего ГОСТ Р ИСО/МЭК 20000 «Управление услугами») [8, 17, 24, 30, 75].

ITIL представляет собой библиотеку рекомендаций (Best Practice), состоящую из 10 книг, главными из которых для сервисного обслуживания являются две: «Поддержка услуг» и «Предоставление услуг». Эти две книги объединены в общий раздел ITIL «Техническое сопровождение» (IT Service Management – ITSM) [122, 126].

В ОАО «РЖД» стандарт ITSM успешно внедрен в хозяйствах связи (ЦСС) и информационных технологий (ЦКИ). Использование положительного опыта реализации подходов стандарта существенно ускорит создание системы управления надежностью локомотивов. Имеются разработки применительно к локомотивному комплексу [12, 17].

Согласно разделу ITSM для обеспечения надежной работы системы необходимо реализовать десять процессов сервисного технического обслуживания, главными из которых являются [83] (название и описание процессов соответствуют стандарту ITSM).

Управление Инцидентами (Incident Management): реализует функции технической помощи. Направлен на быстрое восстановление обслуживания путем устранения неполадок. Задача процесса Управления инцидентами – свести к минимуму случаи прерывания обслуживания. Основные процессы: прием

обращений, регистрация инцидентов, классификация инцидентов, определение приоритетов, изоляция неполадок, эскалация инцидента (внутри процесса и/или на уровень руководителей), отслеживание истории инцидентов, устранение неполадок, уведомление клиентов, закрытие дела.

Применительно к локомотивам должна быть создана единая комплексная система управления техническим обслуживанием и ремонтом локомотивов, в которой каждый ремонт и обслуживание (плановое или внеплановое) рассматривается как Инцидент, жизненный цикл которого должен быть управляем и подконтролен.

Управление Проблемами (Problems Management): направлено на снижение числа неполадок и инцидентов. Реализуется путем изучения источников их возникновения (на основе информации о прошлых инцидентах). Также включает анализ тенденций и контроль известных ошибок с расчетом на устранение их источников в долгосрочной перспективе. Тесно связано с Управлением инцидентами. Основные процессы: анализ тенденций в возникновении проблем, регистрация проблем, выявление источника, отслеживание истории проблем, анализ известных ошибок, контроль известных ошибок, решение проблем, закрытие дел по проблемам/известным ошибкам.

Применительно к локомотивам должен быть реализован факторный комплексный анализ информации об инцидентах, выявление и устранение узких и затратных мест технологического процесса.

Управление Уровнем Сервиса (Service Level Management): позволяет организации устанавливать, обсуждать, вести мониторинг, составлять отчеты и контролировать уровни обслуживания потребителей в соответствии с показателями обслуживания. Важно взаимодействие процессов планирования услуг и управления уровнем сервиса. Процесс управления уровнем сервиса может определить измеримые цели уровней сервиса и их потенциальных потребителей, позволяя руководству со временем взять на себя обязательства по соглашениям об уровне сервиса (Service Level Agreement - SLA). Основные процессы: оценка специфических требований к услугам, сравнение требований со стандартными услугами, определение потребности в заказных услугах, переговоры и составление соглашения об уровне обслуживания, Установка

цикла исследования эффективности услуги, анализ эффективности услуги с ориентированным на потребителя уровнем, создание отчетов потребителей, проведение исследования эффективности услуги, выработка предложений об улучшении услуги.

Применительно к локомотивам необходимо исполнять договорные обязательства с ОАО «РЖД» в части обеспечения надежной работы тягового подвижного состава.

Другие процессы ITSM [12]:

Управление Конфигурациями (Configuration Management) обеспечивает централизованную регистрацию и контроль информации.

Применительно к системе управления техническим состоянием локомотивов - база данных по локомотивам, их оборудованию и системе ТОиР.

Управление Изменениями (Change Management): регистрирует все значительные изменения в производственной среде, координирует порядок работ, связанных с изменениями, задает приоритет запросам на их внесение, дает полномочия на производственные изменения и др.

Применительно к локомотивам должно быть налажено управление модернизациями, заменой узлов и агрегатов локомотива и др.

Управление Релизами (Release Management) - планирование и контроль развертывания обновлений программного и аппаратного обеспечения.

Применительно к локомотивам должен быть налажен учет совместимости оборудования (а у аппаратно-программных комплексов - и программного обеспечения) для различных серий и модификаций локомотивов.

Управление Затратами (Cost Management) – отслеживание фактических затрат в разрезе сервисов и категорий пользователей. Применительно к системе управления техническим состоянием локомотивов – это оценка себестоимости сервисного обслуживания, поиск путей снижения затрат.

Управление Мощностью (Capacity Management) позволяет определять, отслеживать и контролировать мощность служб. Применительно к системе управления техническим состоянием локомотивов, прежде всего, следует наладить контроль соответствия мощности ремонтного комплекса объемам ТОиР, а также допустимость загрузки работой самих локомотивов.

Управление Непрерывностью (Business Continuity Management, BCM) – поддержка функционирования сервиса при чрезвычайных обстоятельствах, восстановление сервисов, необходимых для продолжения работы бизнеса, в случае чрезвычайных обстоятельств (стихийное бедствие и пр.).

Управление Доступностью (Availability Management) позволяет организации определять, отслеживать и контролировать доступность услуг.

Таким образом, система управления техническим состоянием локомотивов, мониторинга их технического состояния должна реализовывать вышеописанные процессы и подпроцессы.

На рисунке 2.1 представлена разработанная автором научного исследования реализация цикла PDCA (Plan, Do, Check, Act) – “планируй, осуществляй (исполняй), проверяй результат, действуй (корректировка результатов)” применительно к процессу управления техническим состоянием подвижного состава при сервисном обслуживании.



Рисунок 2.1 – Цикл PDCA при управлении техническим состоянием локомотивов

Также в системе сервисного обслуживания локомотивов целесообразно применить методологию американского учёного Г. Гейнриха (Herbert William

Heinrich), которую он использовал при контроле производственного травматизма. Проанализировав 550 тыс. несчастных случаев, Г.Гейнрих статистически доказал закономерность ("Пирамида Гейнриха") [193], согласно которой на одну тяжелую травму приходится 29 - 30 несчастных случаев с менее тяжелыми последствиями и 300 - 330 «несущественных» инцидентов. Предложено анализировать не одиночные случаи травматизма, а работать с репрезентативной статистикой «основания пирамиды» [31, 32].

Соотношение 1:30:300 не является неизменным. Например, один из лидеров в области промышленной безопасности - фирма Дюпон (*DuPont*) использует другую пропорцию и число уровней пирамиды. Согласно методике Дюпон представленной на рисунке 2.2.а можно утверждать, что 10 тыс. случаев, когда человек наступил на головку рельса, приведет к 1 тыс. случаев падения, к 100 случаям травм с 50 случаями временной нетрудоспособности и к одному - постоянной. Пирамида Гейнриха нашла применение и в ОАО «РЖД» при управлении безопасностью движения поездов.

Предлагается использовать методологию пирамиды Гейнриха и при управлении техническим состоянием локомотивов: эксплуатация локомотива приводит к инцидентам (нарушения режимов эксплуатации и предотказные состояния), что приводит к появлению неисправностей (отказов), которые могут стать причиной нарушения перевозочного процесса (остановка локомотива на перегоне) с последующим возможным нарушением безопасности движения. Схема пирамиды Гейнриха применительно к локомотивному комплексу представлена на рисунке 2.2.б [17].

С конца XIX по конец XX века в период бурно развивавшейся промышленности пройден большой путь по повышению качества продукции. Важные наработки тех лет доведены до уровня стандартов - их необходимо положить в основу структуры модели управления техническим состоянием локомотивов при сервисной системе ТОиР.

Автором научного исследования применительно к сервисному обслуживанию локомотивов предлагается использовать следующее определение понятия «Инцидент» - это любая ситуация, отличная от нормальной эксплуатации локомотива: нарушение режима эксплуатации (превышение,

установленных заводом-изготовителем, предельно допустимых параметров эксплуатации узлов и деталей локомотивов), предотказное состояние (устранение которого гораздо дешевле, чем самого отказа), замечания машиниста (по данным бортового журнала ТУ-152) и др. [17].

Примечание: инцидент не является отказом, но при этом он может привести к отказу.



а – для управления безопасностью жизнедеятельности;



б – для управления техническим состоянием ТПС при сервисной системе ТОиР

Рисунок 2.2 – Вариации пирамиды Гейнриха

2.1.2 Теория вариабельности применительно к сервисному обслуживанию

Вариабельность (изменчивость) присуща всем природным явлениям, всем техническим и технологическим процессам, а также всем известным организационным структурам, другими словами на выходе любого процесса мы всегда получаем не строго одно и то же значение, а набор значений,

группирующихся вокруг некоторого значения (при условии, что с процессом все в порядке, это значение должно совпадать с номиналом) [144]. Эти отклонения называют вариациями, отсюда общее название, описывающее эту ситуацию – вариабельность. Вариации по своему происхождению вызываются двумя принципиально различными причинами, которые принято называть общими и специальными причинами вариаций.

Общими причинами вариаций называют те причины вариаций, при которых все отклонения параметров или характеристик процесса на подходящей контрольной карте находятся внутри контрольных границ. В этом случае процесс называют статистически управляемым (предсказуемым). Этот тип вариабельности всегда имеет место на железной дороге и обусловлен природой самого процесса перевозок грузов и пассажиров. Примерами источников таких причин могут быть нестыковки различного рода и отклонения во времени выполнения тех или иных операций, осуществляемых участниками перевозочного процесса. Для примера: длительный простой локомотивов на обслуживании и ремонте может быть вызван, в свою очередь, своими причинами, связанными с природой процесса организации ТОиР на предприятии. Это могут быть отклонения или нарушения установленного технологического процесса, некачественные запасные части или материалы повторного использования, применяемые при выполнении ТОиР локомотивов. Обеспеченность сервисных локомотивных депо качественными инструментами, квалифицированными кадрами влияют на количество допущенных отклонений, которые, в первую очередь, отражаются на эксплуатационной надёжности локомотивов и перевозочного процесса в целом. Э. Деминг утверждал, что подавляющее большинство всех источников вариабельности относится к общим причинам [24, 75, 121].

Следующий тип вариабельности обусловлен т.н. специальными причинами вариаций. Эти причины препятствуют нормальному функционированию процесса и реализации его потенциальных свойств. К подобным причинам на железнодорожном транспорте можно отнести грубые нарушения установленных правил и инструкций по безопасности движения, а также отказы подвижного

состава, возникающие случайным образом и вызывающие срыв графика движения поездов.

Инструмент, позволяющий разделять причины вариаций на общие и специальные контрольные карты, разработанные У. Шухартом в 1924 году. *Контрольная карта* — это временной график, показывающий расположение последовательных значений статистики (характеристики) процесса относительно центральной линии и одной или двух контрольных границ. Контрольная карта необходима для определения нахождения процесса в статистически управляемом состоянии (т.е. присутствуют только общие причины вариаций). Для поддержания этого состояния существует набор определенных правил, позволяющих по контрольной карте процесса обнаруживать присутствие специальных причин вариаций, либо процесс статистически неуправляем [24, 186].

Понимание различий между общими и специальными причинами вариаций является очень важным для результативности усилий организации в достижении улучшений в своей деятельности.

Таким образом, теорию вариабельности следует использовать в сервисных локомотивных депо при выполнении ТОиР локомотивов, т.к. в депо сочетаются многочисленные технические, технологические и логистические факторы и процессы, которые, в конечном счете, влияют на предоставляемые услуги и получение конечного продукта – надежного локомотивного парка.

2.1.3 Научно-практический опыт управления техническим состоянием локомотивов

Отдельно следует отметить труды ученых кафедры «Электрическая тяга» МИИТ (И.П. Исаев, А.В. Горский, А.А. Воробьев, А.В. Скребков и др.) [13, 58]. Совместно с Московской железной дорогой (В.Т. Стрельников, Ю.П. Попов – локомотивное депо Рыбное) накоплен уникальный научно-практический [174]. Мировые подходы статистического управления были реализованы в локомотивном депо Рыбное в виде комплексной системы оценки качества ТОиР, позволяющей не только прогнозировать надёжность электровозов в различных

условиях эксплуатации, но и вырабатывать объективные принципы определения потребности в различных ресурсах.

В депо Рыбное были решены проблемы, связанные с повышением качества технического обслуживания и ремонта электровозов с проведением комплексной оценки их эксплуатационной надежности. Также применены научные подходы для организации ремонтного производства, а именно: разработана система целенаправленной координации материальных и трудовых ресурсов производства, при которой обеспечивается наиболее эффективное использование основных и вспомогательных звеньев технологического процесса с целью высококачественного выполнения ТОиР.

В депо Рыбное был налажен статистический учёт отказов. С одной стороны, это позволяло прогнозировать потребность ресурсов для ремонта локомотивов: число слесарей, необходимые запасные части и др. С другой стороны - качественная статистика позволяла выполнять факторный анализ и выявлять первопричины отказов, формировать мероприятия по устранению причин отказов. Важно также отметить, что факторный анализ касался и качества выполнения ТОиР: оснащенность производства, квалификация и число слесарей, наличие и качество запасных частей и др. Эффективность внедрения системы подтверждена технико-экономическими показателями. Несмотря на то, что в то время в депо обслуживалась устаревшая серия электровозов постоянного тока ВЛ8, депо было одним из лучших в МПС СССР.

В депо Рыбное решались и оптимизационные задачи с использованием вероятностно-статистических методов анализа. В частности, были выведены зависимости между коэффициентом использования локомотива, коэффициентом простоя локомотива на восстановлении, стоимостью восстановления после отказа, наработкой на отказ и другими показателями надёжности. Также было выявлено, что увеличение коэффициента готовности ВЛ8 с 0,74 до 0,91 позволяет сократить рабочий парк на 45 – 50 %.

Факторный анализ по результатам анализа надёжности электровозов позволил вывести закономерности числа дефектов от дефицита рабочей силы, от квалификации персонала и других факторов. В качестве основных причин низкого качества ТОиР определены следующие: некачественный монтаж

(крепление) деталей (29 % брака), невыполнение всего предусмотренного объема работ (26 %), некачественные комплектующие (15 %), отсутствие осмотра (диагностики скрытых дефектов) – 14 %, несоблюдение размеров (13 %), личные качества исполнителей (5 % - что соответствует принципу Э.Деминга 5/95), отсутствие оборудования и приспособлений (5 %) и др. Следует отметить, что в то время не было компьютеров, в т.ч. бортовых средств контроля соблюдения режимов эксплуатации локомотивов [174].

В депо Рыбное была реализована методика числовой оценки качества и стабильности технологических процессов ТОиР по эксплуатационным данным о надёжности локомотивов. Прежде всего, анализировались интервалы пробегов локомотивов (шаг разбиения на интервалы был выбран 20 тыс. км).

В депо была решена важная оптимизационная задача: на основании затрат депо на ТОиР электровозов ВЛ8 определялся оптимальный межремонтный пробег. Также были выполнены статистические исследования ресурса изнашиваемых деталей с последующей оптимизацией работ по их обслуживанию и ремонту.

В депо было реализовано управление технологическим процессом, представлена система статистического контроля качества выполнения ТОиР. В основу этой системы положена теория надёжности локомотивов, в которой одно из важнейших мест занимают такие понятия как отказ и дефект. Последствиями отказа приняты затраты времени на восстановление работоспособного состояния локомотива на перегоне, неплановые работы, увеличение объема и времени простоя локомотива на плановых работах. Надёжность локомотива существенно влияет на эксплуатационные затраты. Также подтверждено, что принципы установления показателей качества ТОиР основаны на статистических методах, как наиболее полно отвечающих задачам научного управления качеством. Показатели контроля качества технологического процесса основаны на известном из теории вероятностей положении о том, что сумма независимых случайных величин, каждая из которых представляет собой обнаруженный в ходе ТОиР дефект узла локомотива, подчиняется нормальному закону распределения случайной величины. Опираясь на это положение, практическая реализация разработанной системы контроля состояния технологического

процесса ТОиР и использование статистических показателей его качества заключается в сопоставлении по ходу ремонта запланированных и фактически достигнутых показателей качества.

Принципиальные особенности бездефектной системы качества ТОиР локомотивов заключаются в следующем:

1. Качество ремонта оценивается в ходе технологического процесса до выхода локомотива из локомотивного депо;
2. Оценка качества ТОиР производится с учетом влияния случайных факторов, проявляющихся как в ходе технического обслуживания и ремонта, так и в процессе эксплуатации локомотива;
3. Оценка качества ТОиР устанавливается на основании его статистического эталона, который определяет нижнюю и верхнюю границы качества ремонта;
4. Количественно оцениваются возможные отклонения качества от этих границ и принимаются необходимые меры по предупреждению появления этих отклонений в дальнейшем;
5. На основании анализа результатов контроля разрабатываются предложения и рекомендации, направленные на дальнейшее совершенствование технологии и повышение качества ТОиР.

Для оценки качества технологического процесса ТОиР любого вида используется коэффициент обнаружения дефектов k отказов, под которым понимается отношение числа дефектов и отказов, выявленных и устраненных в процессе ТОиР данного вида, к суммарному числу выявленных и устраненных дефектов и отказов на плановых ТОиР за рассматриваемый период эксплуатации локомотивов:

$$k = \frac{n_{об}}{(n_{об} + n_{н})}, \quad (2.1)$$

где $n_{об}$ – число обнаруженных дефектов и отказов оборудования данного вида;

$n_{н}$ – число необнаруженных дефектов и отказов этого же вида оборудования.

При выполнении теоретико-вероятностного анализа коэффициента обнаружения дефектов и отказов k выяснилось, что число обнаруженных

дефектов и отказов $n_{об}$, приходящихся на локомотив и выявленных в процессе контроля качества технического обслуживания и ремонта, имеет нормальное распределения. Плотность распределения можно записать в аналитическом виде:

$$f(n_{об}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{об}} \exp \frac{-(n_{об}-\overline{n_{об}})^2}{2\sigma_{об}^2}, \quad (2.2)$$

где $\overline{n_{об}}$ – среднее число обнаруженных дефектов и отказов, приходящихся на локомотив;

$\sigma_{об}$ – среднее квадратичное отклонение числа обнаруженных дефектов и отказов от их среднего значения.

Основа системы управления техническим состоянием локомотивов уже заложена, получен практический эффект и это при том, что внедрение системы в локомотивном депо Рыбное происходило в 70-е годы XX века, в «докомпьютерную эпоху», весь учет производился вручную, что в свою очередь существенно ограничивало возможности функционирования и дальнейшего развития системы.

Система управления техническим состоянием локомотивов при сервисном обслуживании, наряду с созданием соответствующей информационной инфраструктуры, должна включать себя и подсистемы математического анализа с использованием методов теории вероятности и математической статистики, современных методов факторного анализа.

2.1.4 Процесс управления инцидентами при сервисном обслуживании

Для оценки технического состояния локомотивного парка и качества услуг по ТОиР выполняемых сервисной компанией используется показатель отказ на 1 млн км, что в существующей финансово-экономической модели взаимодействия сервисной компании и ОАО «РЖД» некорректно. Например: если резко возросло число отказов лампочек буферного фонаря локомотива, что с точки зрения показателя отказ на 1 млн км будет выглядеть критично, то с точки зрения затратной (финансовой) составляющей не выглядит критично. При этом один отказавший тяговый электродвигатель с затратной (финансовой) стороны будет существенен [4, 5, 9].

В связи с этим в модели управления техническим состоянием локомотивов при сервисной системе технического обслуживания и ремонта предлагается перейти от анализа отказов к анализу инцидентов.

Как уже было сказано в предыдущих разделах **Инцидент** – это любая ситуация, отличная от нормальной эксплуатации локомотива: нарушение режима эксплуатации (превышение, установленных заводом-изготовителем, предельно допустимых параметров эксплуатации узлов и деталей локомотивов), предотказное состояние (устранение которого гораздо дешевле, чем самого отказа), замечания машиниста (по данным бортового журнала ТУ-152). Непланный ремонт также является частным случаем инцидента. С целью реализации процесса управления инцидентами при сервисной системе ТОиР локомотивов разработан классификатор инцидентов включающий в себя:

- *Конструктивный инцидент* — инцидент, связанный с конструктивными недостатками, заложенными ранее или требующими изменения или доработки конструкции локомотива;
- *Производственный инцидент* — инцидент, возникающий по причине необеспечения в исправном состоянии и в необходимом количестве технологического оборудования;
- *Эксплуатационный инцидент* — инцидент, произошедший по причине нарушения режимов ведения поезда, аварийные режимы превышения/снижения напряжения в контактной сети, обрыв контактного провода, неисправность железнодорожного полотна и иные нарушения, допущенные структурами ОАО «РЖД», в т.ч. локомотивными бригадами;
- *Деградационный инцидент* — инцидент, обусловленный естественными процессами старения, изнашивания, коррозии и усталости при соблюдении всех установленных правил и норм проектирования, изготовления, ремонта и эксплуатации;
- *Технологический инцидент* — инцидент, возникший по причине недостатков технологического процесса ремонта (ошибка в выборе размеров, допусков, операций и режимов);
- *Комплектационный (снабжение)* — инцидент, возникший по причине отсутствия в необходимом количестве и соответствующего качества запасных частей и материалов;

- *Форс-мажор* — инцидент, произошедший по причине стихийных бедствий, катастроф (природных условий и происшествий);
- *Не установлена* — инцидент, причина которого не определена и требует дополнительного исследования и экспертизы, или инцидент, в ходе которого поврежденный узел полностью уничтожен (сгорел).

Алгоритм расследования и устранения инцидентов представлен на рисунке 2.3. Он состоит из двух этапов: этап 1 включает в себя сбор первичной (оперативной) информации об инциденте и этап 2 на котором выполняется анализ материалов, полученных по результатам расследования инцидента в СЛД.

В связи с тем, что ресурсы сервисной компании (в т.ч. финансовые) ограничены, в диссертации предложено учитывать степень влияния каждого из инцидентов на техническое состояние локомотивов, для чего введено понятие «Вес инцидента» $P_{инц}$. «Вес инцидента» - это степень влияния инцидентов на техническое состояние локомотивов .

В диссертации предлагается использовать следующую формулу для расчета веса инцидента:

$$P_{инц} = \Sigma((T_{тех} + T_{аиз}) \cdot S_{прост}) + S_{ст.раб} + S_{ст.рем} + S_{накл.депо}, \quad (2.3)$$

где: $T_{тех}$ – технологическое время, затраченное на выполнение ремонта, ч;

$T_{аиз}$ – административные издержки времени на ожидание маневровой работы, свободной ремонтной позиции, ремонтного персонала, запасных частей, ч;

$S_{прост}$ – стоимость простоя локомотива (упущенная выгода), руб./час. Для маневрового локомотива это стоимость часа маневровой работы; для магистрального локомотива необходимо привести стоимость одного часа путем пересчёта через среднесуточный пробег для данной серии по филиалу/полигону;

$S_{ст.раб}$ – стоимость выполнения работ (без учета стоимости затраченных запасных частей и материалов), руб.

$S_{ст.рем}$ – стоимость использованных при ремонте запасных частей и материалов, руб.

$S_{накл.депо}$ – стоимость накладных расходов на выполнение ремонта, руб.

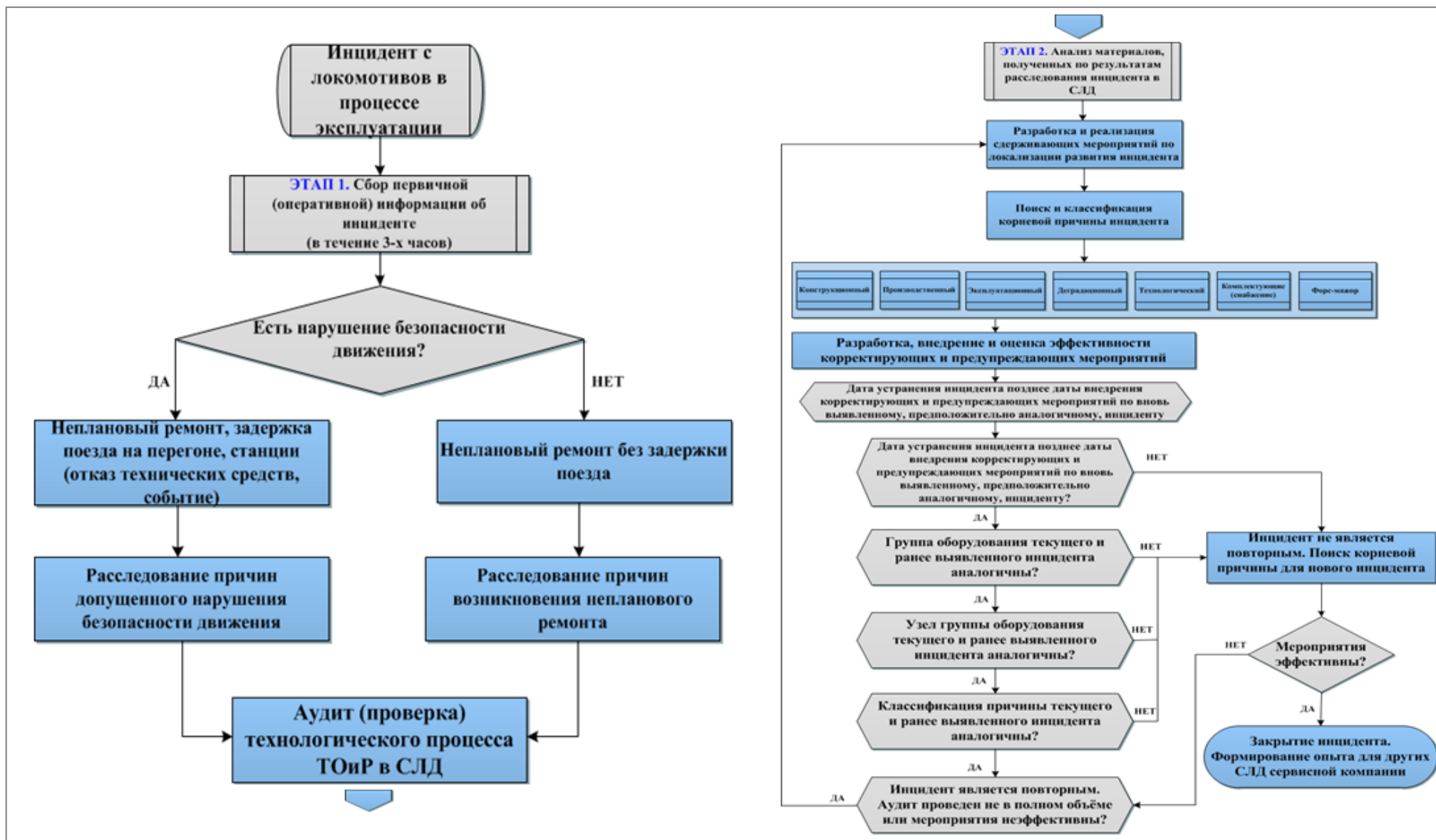


Рисунок 2.3 – Алгоритм процесса работы с инцидентами

При неоднократном выявлении однотипных инцидентов формируется их группа, которая считается проблемой. Предлагается следующая формула расчета «Веса проблемы»:

$$P_{проб} = \sum X_i \cdot P_{инц}, \quad (2.4)$$

где: X_i – i -ый инцидент, шт.

По результатам расчета веса проблемы необходимо по каждому сервисному локомотивному депо, филиалу, вести рейтинг проблем, в котором они будут ранжированы в порядке убывания, т.е. сначала нужно заниматься теми проблемами, которые имеют наибольший вес (значимость). Пример формирования таблицы рейтинга проблем представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1– Таблица формирования рейтинга проблем

№п/п	Наименование проблемы	Кол-во инцидентов, шт.	Вес одного инцидента, руб.	Вес проблемы, руб.	Рейтинг проблем
1	Проблема 1	X_1	$P_{инц1}$	$P_{проб1}$	$P_{проб1} > P_{проб2}$
2	Проблема 2	X_2	$P_{инц2}$	$P_{проб2}$	$P_{проб2} > P_{проб3}$
3	Проблема 3	X_3	$P_{инц3}$	$P_{проб3}$	$P_{проб3} > P_{пробn}$
n	Проблема n	X_n	$P_{инцn}$	$P_{пробn}$	$P_{пробn} > P_{пробn+1}$

Примечание: в практике сервисного обслуживания повсеместно используются термины «вес инцидента», «вес проблемы».

2.1.5 Использование накопленного опыта для применения в модели

Исходя из анализа мировой и отечественной практики управления ТОиР локомотивов, можно сделать вывод:

1. В мировой практике глубоко проработаны и доведены до уровня стандартов (ISO, ГОСТ, СТК и др.) принципы управления надёжностью оборудования, систем и процессов. Принципы, которые возможно использовать в модели управления техническим состоянием локомотивов: 5W2H, 8D, 5Why, Барьер и др.
2. В отечественной практике есть опыт успешного использования статистического управления при ТОиР локомотивов (опыт депо Рыбное),

- который необходимо использовать в модели управления техническим состоянием локомотивов.
3. Система управления техническим состоянием должна строиться на базе информационных систем как уже существующих (см. раздел 2), так и вновь создаваемых (см. разделы 3 и 5).
 4. В диссертации необходимо обосновать применимость статистических методов в модели управления техническим состоянием локомотивов при сервисной системе ТОиР.

2.2 АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ЛОКОМОТИВОВ

2.2.1 Место АСУЖТ в структуре локомотиворемонтного комплекса

АСУЖТ – это комплексная многофункциональная и многоуровневая система, включающая в себя все разрабатываемые и эксплуатирующиеся автоматизированные информационные системы отечественного железнодорожного транспорта. Единым информационным пространством АСУЖТ не является, хотя она задумывалась её автором академиком А.П. Петровым именно как совокупность информационных и информационно-управляющих систем, работающих в единой сети передачи данных (далее – СПД) [97, 106, 181].

Многообразие информационных систем АСУЖТ вызвано как комплексностью задачи управления железнодорожным транспортом, так и скачкообразным развитием информационных технологий в конце 80-х – в 90-е годы XX века. На сегодняшний день задача комплексного объединения информационных систем не решена. АСУЖТ в целом удовлетворяет потребности транспорта в информационных технологиях, но не является АСУ с позиций теории автоматического управления (далее – ТАУ), т.к. не реализует технологические процессы по замкнутому контуру [77, 97, 101].

Одной из основных систем по объему и достоверности данных является – автоматизированная система оперативного управления перевозками (далее - АСОУП). Система включает в себя пакет программ, связанный с управлением движением поездов, работой сортировочных станций и маршрутами движения поездов. Именно с этого направления в 70-е годы началась создаваться АСУЖТ.

В основе лежит пакет программ АСОУП, созданный для сбора данных о движении поездов [107].

В локомотивном хозяйстве имеются те же проблемы внедрения информационных технологий, что и во всех остальных автоматизированных системах управления АСУЖТ, а именно: отсутствие единого информационного пространства. В настоящее время в локомотивном комплексе насчитывается около 200 различных систем и подсистем, которые создавались самостоятельно и разными коллективами. Отдельно разрабатывались системы обработки маршрутов машинистов (причем несколько вариантов), расшифровки скоростемерных лент, учета замечаний машинистов и др. [22]. Только в начале 2000-х годов была начата работа над автоматизированной системой управления локомотивного хозяйства как целостной системой – АСУТ [97, 106, 110, 111].

Для контроля дислокации тягового подвижного состава на сервере Восточно-Сибирской железной дороги был создан АРМ локомотивного диспетчера, который в 2001 году был принят в качестве сетевой системы под названием АСУТ-Т. В настоящее время АСУТ-Т функционирует на нескольких региональных серверах (АСУТ-Юг, АСУТ-Восток, АСУТ-Центр и др.) и одном центральном (АСУТ-ЦТ).

Функциональность АСУТ-Т за последнее десятилетие существенно расширилась. Наряду с дислокацией локомотивов имеется комплекс сопроводительной информации, в том числе по заходу локомотивов в депо и причинах этого захода. Внедрен электронный учет отказов и выполненных ремонтов, имеется расширенный набор настраиваемых отчетов (суточных, недельных, месячных, годовых) различного назначения.

Информация АСУТ-Т очень важна для функционирования системы управления надежностью локомотивов.

В «КАСАНТ» введено понятие «критерий отказа»: признак или совокупность признаков нарушения работоспособного состояния объекта, установленные в нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации [98]. Критичность отказа определена как совокупность признаков, характеризующих последствия отказа. Нарушения безопасности движения в поездной и маневровой работе раньше классифицировались как

крушения поездов; аварии; особые случаи брака в работе; случаи брака в работе, теперь термин «брак» официально не используется. Отказ определен в соответствии с ГОСТ [58, 59, 61] как событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта. Объектом определен перевозочный процесс. Поэтому отказ локомотивов может не являться отказом перевозочного процесса – появляется определенная неточность в понятиях. Также существует классификация отказов как эксплуатационных, производственных, конструктивных, технологических деградационных и др., введены категории отказов.

В локомотивном комплексе информационные системы для учёта и управления создавались разными коллективами разработчиков: отдельно разрабатывалась система интегрированной обработки маршрутов машинистов [101, 102], система расшифровки скоростемерных лент, учета замечаний машинистов и др. В начале 2000-х годов была начата работа над АСУ локомотивного хозяйства как целостной системой – АСУТ [106, 107], основу которой составляют: подсистема учёта работы и эксплуатации локомотивов (АСУТ-Т), автоматизированные рабочие места (АРМ) работников локомотивных депо (нарядчика локомотивных бригад, дежурного по депо, техника-замерщика, диспетчера и др.). Имеются и информационные подсистемы такие как учёт замечаний машинистов по бортовому журналу локомотива формы ТУ-152 (АСУ ЗМ) [84], система учёта расшифровки данных приборов безопасности (АСУ НБД) [25], система учета расхода топлива (ЕСМ БС) [76, 179] и др.

Одной из первых информационных систем, внедрённых в депо, была система интегрированной обработки маршрутов машинистов формы ТУ-3 (ИОММ), создание системы начато более 30 лет назад [106, 107, 120, 122]. В настоящее время логическим развитием ИОММ стало создание единой системы централизованной обработки маршрутов машиниста – ЦОММ.

В эксплуатационных локомотивных депо созданы группы расшифровки скоростемерных лент, которые используют данные с механических скоростемеров типа ЗСЛ-2М. По мере замены этих скоростемеров на электронные (КПД и др.) и приборы безопасности типа КЛУБ-У [141], ручная расшифровка лент заменяется на автоматизированную, что в свою очередь

заметно увеличивает объёмы информации для расшифровки, а также качество самой расшифровки. Создается единая автоматизированная система по расшифровке данных электронных накопителей информации приборов безопасности АСУ НБД [25].

Задачи, поставленные ОАО «РЖД», связанные с оптимизацией расходов на содержание инфраструктуры, потребовали новых подходов к управлению надёжностью, рисками, стоимостью жизненного цикла, обеспечения безотказности, готовности, ремонтпригодности и безопасности в соответствии с международными стандартами RAMS [35, 42, 43, 44, 45, 168, 169, 170, 171].

В настоящее время разработаны показатели надёжности и безопасности, увязанные с объёмами эксплуатационной работы. Создана объектно-элементная модель железнодорожного направления, основанная на специально введённом понятии эталонного элемента. Дополнительно для обеспечения перехода от назначенного срока службы к оценке объектов по предельному состоянию были введены показатели долговечности. Методология RAMS трансформирована в российскую серию стандартов УРРАН - управление ресурсами, рисками на всех этапах жизненного цикла на основе анализа надёжности. УРРАН обеспечивает переход от традиционных для RAMS показателей надёжности и безопасности конкретных технических средств к показателям, отражающим эксплуатационную деятельность компании и её хозяйств. УРРАН ориентирован на управление надёжностью перевозочного процесса [35, 42, 43, 44, 45, 190, 194].

По результатам выполненного анализа получается, что исходные данные для управления техническим состоянием локомотивов в условиях сервисного обслуживания на основе статистической обработки есть в информационных системах АСУЖТ (АСОУП, АСУТ и др.).

2.2.2 Информационные системы сервисных компаний

В сервисных компаниях наряду с АСУЖТ существуют дополнительные источники информации о техническом состоянии локомотивов. Например, в ТМХ-Сервис создана собственная ERP-система (Enterprise Resource Planning, планирование ресурсов предприятия) [133], в которой фиксируется работа по ТОиР локомотивов, трудозатраты, расход запасных частей, расход других ресурсов: Единая информационная система группы компаний

ООО «Локомотивные технологии» (ЕИС ЛТ) содержит комплексную информацию: пробег и время работы локомотивов (из АСОУП и АСУТ), время захода и выхода из СЛД, время нахождения на различных этапах ремонта, выполненные цикловые и сверхцикловые работы, посекционный расход материалов и трудовых ресурсов, наличие материалов на складе, потребность в закупке товарно-материальных ценностей (ТМЦ), наличие материалов повторного использования. Основой ERP-системы является «1С: Предприятие». За счет своей универсальности система «1С: Предприятие» может быть использовано для автоматизации самых разных участков экономической деятельности: учета товарных и материальных средств, взаиморасчетов с контрагентами, расчета заработной платы, расчета амортизации основных средств и т.д.

Основной особенностью системы «1С: Предприятие» является ее конфигурируемость, т.е. набор объектов, структур информационных массивов, алгоритмов обработки информации позволяющих сделать программу именно под конкретные задачи предприятия.

Таким образом, при управлении техническим состоянием локомотивов в условиях сервисного обслуживания необходимо использовать данные информационных и информационно-управляющих систем ОАО «РЖД», основными из которых являются: АСОУП, КАСАНТ, АСУТ, включая АСУ ЗМ, АСУ НБД, ЕСМ БС, АС РБ и др. Кроме того, следует использовать данные информационных систем сервисных локомотивных компаний.

2.2.3 Анализ системы учетных и отчетных форм в локомотиворемонтном комплексе

В диссертации проведен анализ существующей отчетности о работе локомотивов и эффективность использования этой информации в сервисной системе ТОиР. По результатам рассмотрения ситуация следующая:

1. Анализ эффективности сервисного обслуживания (в сервисных компаниях) выполнен только по интенсивности отказов (количество отказов на 1 млн км пробега локомотивов). Отказы фиксировались по данным модуля «Учет отказов оборудования» АСУТ, при этом официальный учет отказов в ОАО «РЖД» ведется по данным информационной системы «КАСАНТ».

Выбранная методика оценки надежности по интенсивности отказов носит существенно субъективный характер, т.к. при выполнении обслуживания сервисными организациями нет ограничений на внесение в АСУ информации об отказе. Таким образом, данные получаются несопоставимыми.

2. В аналитическом отчете ПКБ ЦТ приведена таблица коэффициентов готовности локомотивов, переданных на сервисное обслуживание в ТМХ-Сервис, однако нет сравнения с аналогичными показателями локомотивов, обслуживаемых в ЦТР ОАО «РЖД».
3. Анализ надежности локомотивов по количеству отказов и их интенсивности не является показательным для хозяйственно-коммерческой деятельности ОАО «РЖД», т.к. отказы технических средств непосредственно не влияют на объем перевозок и получение дохода. Именно поэтому в ОАО «РЖД» в Департаменте безопасности движения (ЦРБ), Центральной дирекции управления движением (ЦД) и в ряде других подразделений учет влияния отказов идет в потерянных поезда-часах (или хотя бы в задержанных поездах). Как вторичный используется показатель «Участковая скорость поездов» $V_{уч}$. При этом первичными документами являются данные электронной формы «ДО-14ВЦ». К сожалению, показатель «Потерянные поезда-часы» также обладает субъективностью - еще более достоверным показателем мог бы стать показатель «Потерянные т*км брутто», но такого показателя в ОАО «РЖД» пока нет. Но и показатель «Потерянные поезда-часы» достаточно наглядно показывают реальные хозяйственно-коммерческие потери ОАО «РЖД» от технических и технологических отказов.
4. В аналитическом отчете также отсутствуют такие важные показатели надежности локомотивов как «Простой на ремонте», «Потребность в комплектующих деталях и материалах», «Трудозатраты», «Общие затраты ОАО «РЖД» на ТО и ТР локомотивов» и др., без которых нельзя комплексно оценить уровень надежности локомотивов.
5. Из анализа ПКБ ЦТ также нельзя сделать вывод о системных проблемах, на которых следует сосредоточить усилия сервисной компании. Статистических данных явно недостаточно.

6. Нет экономической оценки эффективности сервисного обслуживания, что, в конечном счете, является основным показателем целесообразности новой формы хозяйствования.
7. Методологически в аналитическом отчете не применены методы факторного анализа, статистического управления надежностью, предусмотренные в т.ч. стандартами управления качеством, бережливого производства и управления рисками ОАО «РЖД». Отсутствует статистическая обработка данных. Нет рекомендаций по корректирующим мероприятиям (по приведенным данным принимать какие-либо управляющие решения практически невозможно).

В связи с этим, существующая аналитическая отчетность, имеющаяся в локомотиворемонтном комплексе, является недостаточной для качественного управления техническим состоянием локомотивов при сервисной системе ТОиР.

В диссертации выполнен анализ существующих форм статистической отчетности существующих в ОАО «РЖД» и форм используемых в сервисном обслуживании локомотивов. При этом автор принимал личное участие в разработке аналитических форм, что позволяет ему, квалифицировано судить о потребности в той или иной информации при управлении сервисным ТОиР локомотивов.

Важным источником информации о надежности локомотивов, замене отказавших деталей, узлов и агрегатов являются бумажные журналы, которые ведут в ремонтных локомотивных депо, основными из которых являются:

- ТУ-28: Книга записи ремонта локомотивов;
- ТУ-29: Книга повреждений и неисправностей локомотивов, моторвагонного подвижного состава и их оборудования;
- ТУ-30: Книга записи работ по устранению повреждений и отказов по модернизации локомотивов.

Информация перечисленных журналов является очень важной для работы системы управления надежностью – информация должна обязательно вводиться в систему.

Анализ, выполненный автором научного исследования, показал, что в сервисных локомотивных депо сложилась такая же, как и была в ремонтных локомотивных депо система учета и анализа надежности локомотивов. Ее схема представлена на рисунке 2.4.

В ремонтных локомотивных депо сложилась определенная система учета и анализа надежности локомотивов, которая в процессе автоматизации и реинжиниринга работы депо заменяется на безбумажную, её схема представлена на рисунке 2.5.

В процессе эксплуатации ТПС происходят отказы (блок 1). Основным хранилищем информации об отказах технических средств железнодорожного транспорта является информационно-управляющая система КАС АНТ. Кроме отказов по классификации КАС АНТ на локомотиве могут возникать другие инциденты (ситуации, отличные от нормальной работы), которые фиксируются в бортовом журнале формы ТУ-152. В ремонтном локомотивном депо обнаруженные неисправности фиксируются в журналах формы ТУ-28 при неплановых ремонтах (блок 4) и формы ТУ-29 при плановых ремонтах (блок 5). По каждой неисправности составляются соответственно Акты технического осмотра (блок 8) или дефектная ведомость (блок 6). На основании перечисленных документов ведется журнал неисправностей ТУ-30 (блок 7).

На основании информации, хранящейся в описанных журналах и актах в депо ежемесячно, ежеквартально и по итогам работы за год формируется отчетно-аналитический документ «Факторный анализ» (блок 12).

Контроль и управление дислокацией поездов и ТПС в ОАО «РЖД» осуществляется с использованием информационно-управляющей системы АСОУП (блок 9.1), на базе которой построена информационно-управляющая система «График исполненного движения» - ГИД (блок 9.2) [19]. Обе системы являются базовыми системами для дорожных центров управления движением поездов (ДЦУП). На базе взаимодействия с АСОУП (блок 9.1) реализована информационно-управляющая система управлением локомотивами на полигоне АСУТ-Т (блок 10).

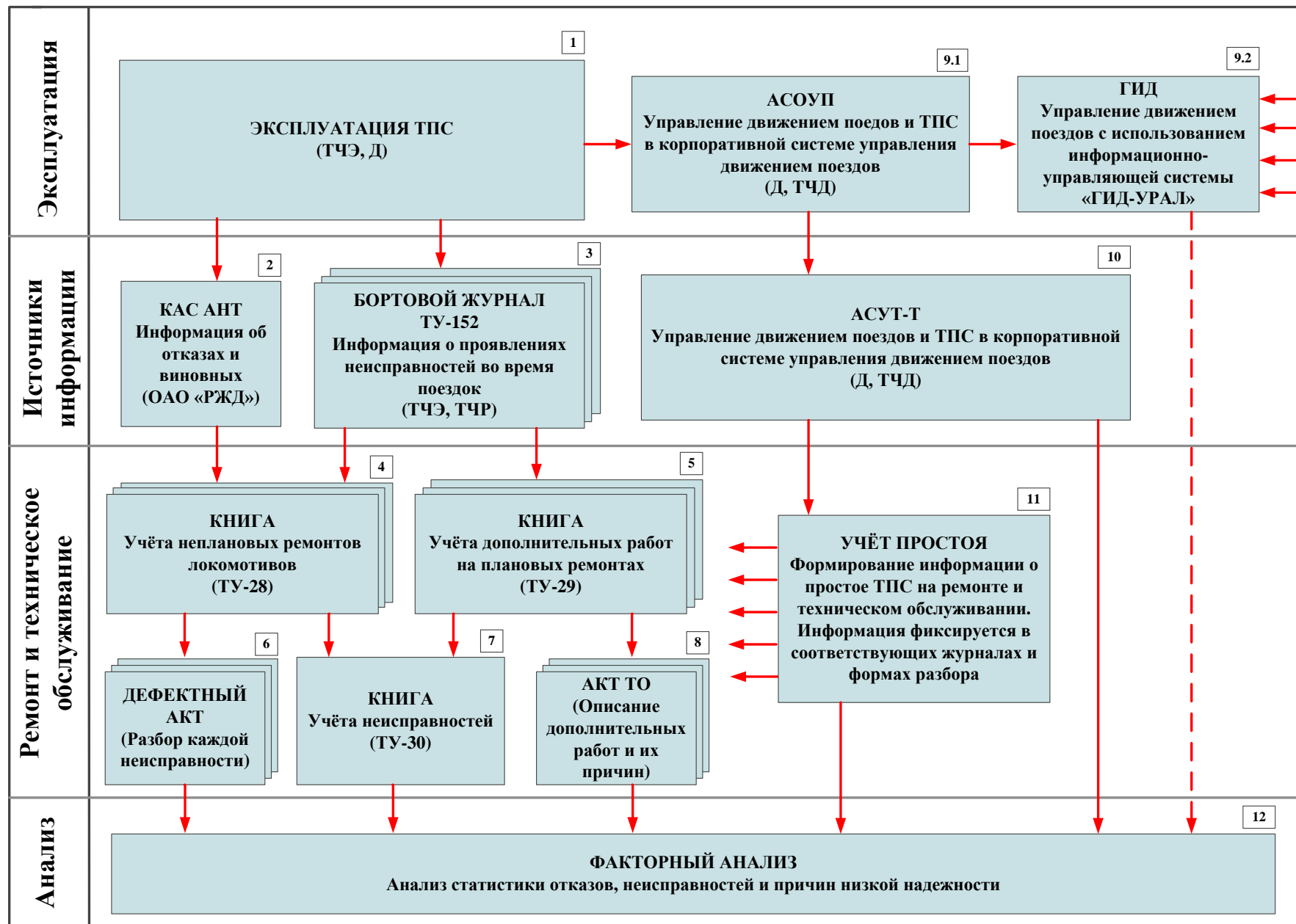


Рисунок 2.4 - Существующая в ТЧР-СЛД технология управления надежностью локомотивов

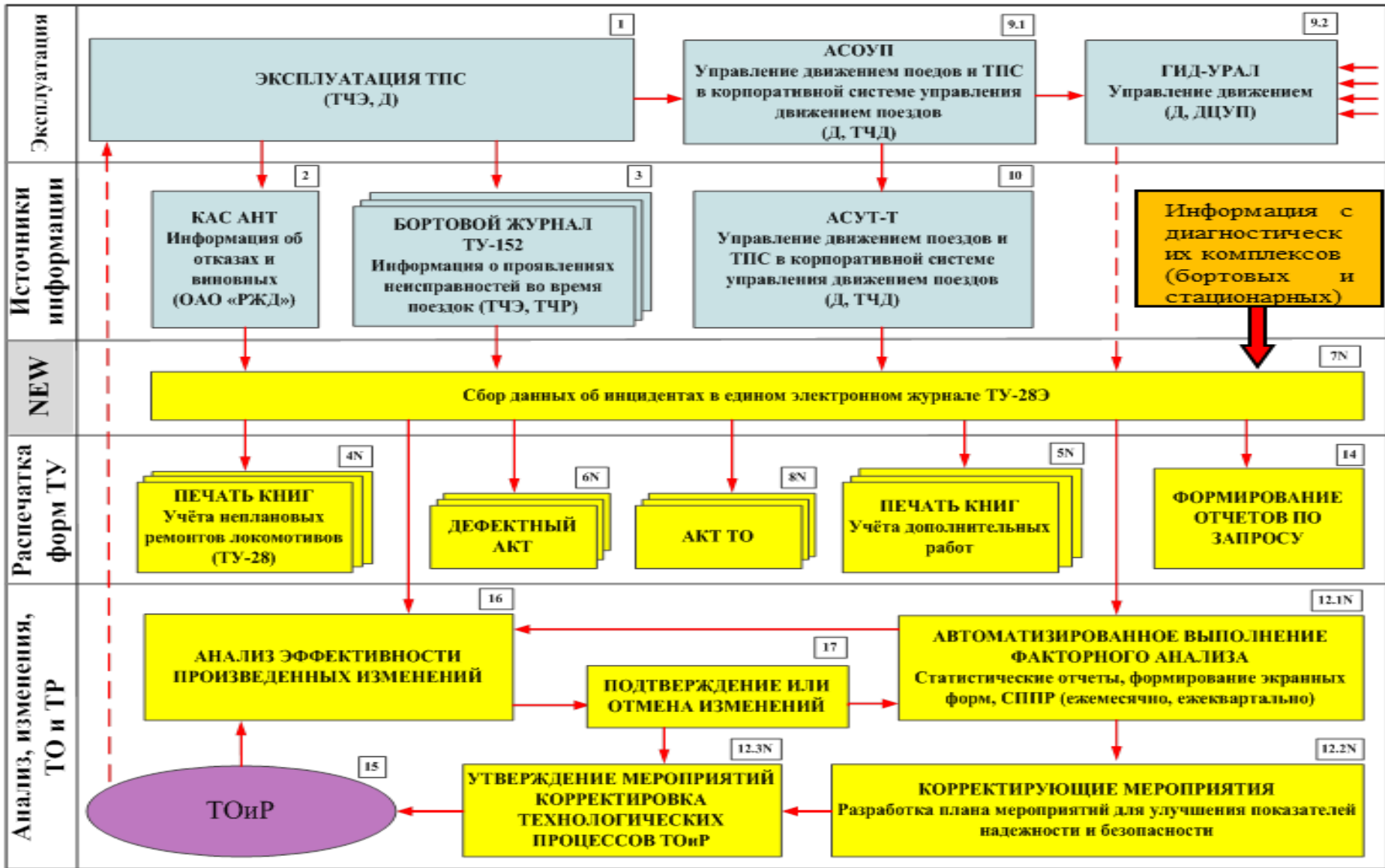


Рисунок 2.5 – Реинжиниринг системы управления надежностью ТПС применительно к условиям сервисного обслуживания

Информация о дислокации локомотивов и обобщенные справочные данные комплексно используются в работе депо (блок 11), в т.ч. в описанных выше формах (блоки 4 – 8). Информация АСУТ-Т также используется при факторном анализе в явном виде и через другие учетные формы [20].

При факторном анализе (блок 12) также возможно использование информации непосредственно из «ГИД-Урал» (блок 9.2) – как это делается, например на Красноярской ж.д. [19].

Существующая неавтоматизированная технология управления надежностью обладает рядом недостатков, главными из которых являются:

- **Отсутствие замкнутого цикла постоянного улучшения.** Существующая схема управления не реализует принцип постоянного улучшения. Документы «Факторный анализ» отправляются в филиалы (управления) сервисной компании. Никаких дальнейших мероприятий по результатам факторного анализа не производится. Система управления оказывается разомкнутой. Имеют место корректирующие действия по отдельным актам разбора, но система управления надежностью как постоянно действующая система постоянного улучшения отсутствует.
- **Использование бумажных учетных форм** приводит к существенным потерям времени при обработке информации. Любое изменение условия запроса (новая аналитическая форма) приводит к существенным дополнительным трудовым и временным затратам.
- **Отсутствие единой электронной учетной формы.** Отказ от использования бумажных учетных форм затрудняется отсутствием универсальной единой учетной электронной формы.
- **Использование при анализе устаревших методов.** В депо имеет место формирование отчетов с построением таблиц в текстовом редакторе Word и расчетом показателей вручную (на калькуляторе). Это приводит как к существенным временным затратам, так и к повышению вероятности появления ошибок в расчетах.
- **Отсутствие автоматизации поддержки принятия решений.** В депо все анализы производятся вручную без использования средств автоматизации

инженерной деятельности. Документ «Факторный анализ» формируется вручную в текстовом редакторе Word или Excel. В результате аналитическая деятельность технологической группы главного технолога находится на недостаточном уровне: у технологов депо практически нет времени на интеллектуальную деятельность по анализу причин низкой надежности локомотивов.

- **Низкий аналитический уровень факторного анализа.** Аналитический документ «Факторный анализ» является в основном описательным: констатируются имевшие место браки и неисправности. Анализ сводится к сравнению с аналогичными предыдущими периодами времени, представлению материала в виде диаграмм. В анализе не используются рекомендованным стандартами качества методы анализа: диаграммы Парето и Исикавы [90], методики 8D, 5W-2H, 5W+1H+1S и др. [152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165]. Также не используются рекомендованные методы статистического анализа. Например, Стандарт качества ОАО «РЖД» СТК 1.10.004 устанавливает методы решения задач улучшения качества: диаграммы Исикавы и Парето, методы мозгового штурма, расслоения, «семь вопросов», «8 шагов». Предлагаются блок-схемы применения корректирующих мероприятий для устранения уникальных и системных несоответствий. Приводится типовой перечень наиболее вероятных причин несоответствий, форма документа плана корректирующих и предупреждающих мероприятий. Другой пример – методика М 1.05.001, где применительно к «Гемба» (предприятие, цех, участок, место, где непосредственно создаётся ценность для потребителя; применительно к СЛД – это цех ТР-1, ПТОЛ и другие цеха основного ремонта) описаны методы «Кайдзен» [91, 124], «Канбан», «Красные ярлыки», «Пока-йокэ» и др. Рекомендованы методики (инструменты) Пять «С», Пять «почему?», «Точно вовремя», «Штурм-прорыв» и др. Не используются согласно СТК 1.05.001 методики «Барьер», 8 шагов согласно СТК 1.10.005. Эти и другие методы стандартов качества должны быть задействованы в технологическом процессе постоянного улучшения [91, 124].

Таким образом, в сервисных депо необходимо кардинальное изменение технологии управления качеством сервисного обслуживания локомотивов для устранения перечисленных в настоящем разделе недостатков доставшихся «по наследству» при реформировании локомотиворемонтного комплекса.

Также автором выполнен анализ статистических форм верхнего уровня (для руководителей) управления техническим состоянием локомотивов.

Основные из них:

- отчет формы ТО-15. Данная форма отчета является очень востребованной у производственного блока сервисной компании. Преимущества ТО-15 заключается в том, что она быстро формируется и дает общую картину по неплановым ремонтам локомотивов. Недостатками этой формы отчетности являются отсутствие разбивки по узлам и деталям.
- отчет формы ТО-32 ВЦ «Отчет о наличии и состоянии парка магистральных локомотивов грузовых серий по их приписке». Преимущества формы ТО-32 ВЦ заключается в том, что руководители видят ситуацию по локомотивному комплексу в целом, в части имеющегося эксплуатируемого парка и неэксплуатируемого парка локомотивов. Недостатками этой формы отчетности является то, что не ясны причины нахождения локомотивов в эксплуатируемом или неэксплуатируемом парке.
- отчет из информационных систем сервисной компании о неплановых ремонтах локомотивов. Преимущества отчеты заключается в том, что руководителю видят причину непланового ремонта по каждому локомотиву. Недостатком этой формы является то, что отсутствует «глубинность» (с точностью до отказавшей детали) информации.
- отчет по системе КАСАНТ показывает расследование случаев отказов ТПС 1, 2, и 3-ей категории по видам оборудования. Недостатком этой формы отчетности является сложность его использования при сервисном обслуживании, т.к. разбиение идет только по типу оборудования, что в свою очередь не позволяет сервисной компании выявлять «узкие» (проблемные) места в процессе работы.

2.3 ВСТРОЕННОЕ КАЧЕСТВО

В настоящее время в локомотиворемонтном комплексе используется большое число взаимодополняющих (в ряде случаев дублирующих) информационных систем и отчетных форм, формирующихся из этих систем, в которых содержатся данные о работе и обслуживании локомотивов, их надёжности и ремонте: АСОУП [20], ГИД «Урал» [19], КАСАНТ, КАСАТ, АСУТ [106] и др. Информация этих систем является основой для принятия управленческих решений в локомотиворемонтном комплексе. Так же выполненный автором научного исследования анализ показывает, что в мировой и отечественной практике глубоко проработаны методы и стандарта управления надёжностью с использованием статистических методов управления (теория вероятностей и математическая статистика). Но в отечественном локомотиворемонтном комплексе они используются крайне редко, либо не используются совсем. Анализ показал, что достоверность данных имеющихся в информационных системах не всегда очевидна, особенно при использовании усредненных показателей [6, 15, 18]. К сожалению, аналогичная ситуация с использованием данных имеет место и в статистике по локомотивам: большинство отказов по локомотивам устраняются в течение суток, два – три локомотива стоят в течение года, – в результате средний простой в депо получается месяцы. И такие данные озвучивают на различных совещаниях, используют при принятии управленческих решений. Неправильное использование данных касается большинства статистических показателей: средняя масса поезда, среднесуточный пробег, простой в ожидании ремонта и т.д.

На основании вышеизложенного необходимо выполнять проверку среднестатистической информации на достоверность с помощью законом распределения случайной величины (прежде всего на соответствие нормальному закону распределения).

При рассмотрении нескольких показателей, которые прямо или косвенно влияют, либо зависят друг от друга, не выполняется корреляционный анализ, который позволяет оценить степень влияния одного показателя на другой. При анализе двух конкретных показателей не выполняется оценка вероятности

равенства их средних, благодаря которой можно было бы сделать вывод, с определенной долей вероятности, о том, что это дублирующие друг друга показатели или, наоборот, о том, что у них нет ничего общего [108].

Таким образом, практическое использование существующих методов и стандартов крайне затруднено из-за недостаточной квалификации инженерно-технического персонала, отсутствия навыка проведения расчётов, недоступности исходных для расчёта данных, поэтому большинство управленческих решений принимается субъективно (подсознательно) на основании имеющегося опыта, что в свою очередь влияет на конечный результат того или иного решения.

Для решения проблемы, связанной с управлением техническим состоянием тягового подвижного состава в условиях сервисного обслуживания, предложено реализовать принцип «Встроенное качество» в информационно-управляющих системах сервисного обслуживания и ремонта локомотивов, тем самым защитить процессы от ошибок и некорректных действий [8, 15, 27].

По принятой в настоящее время общемировой терминологии «Встроенное качество» - это система мероприятий, как технического, так и организационного характера, направленных на недопущение изготовления некачественной продукции: качество повышается не путем усиления контроля готовой продукции, а методом предотвращения появления брака в процессе. В мире известен ряд методов реализации встроенного качества: система «ноль дефектов», устранение источников возникновения ошибок, автономизация, применение стандартов менеджмента качества, «ноль дефектов», всеобщее управление качеством (TQM) [114], защита от ошибок, контроль, методы и средства защиты от ошибок, система 5С, визуальный контроль, обучение персонала, диаграмма Исикавы (причины и результат), рейтинг причин появления дефектов, постоянное улучшение (Кайдзен). На японских предприятиях встраивание качества в производственный процесс известно под термином «Дзидока». Одновременно следует рассматривать и принцип Пока-ёкэ (Рока-юке) — защита от ошибок - метод, благодаря которому операцию можно сделать только одним, правильным способом и дефект просто не может возникнуть [18, 27].

Для решения описанных выше проблем мною предложено осуществить построение модели управления техническим состоянием локомотивов при сервисном обслуживании с использованием стандартов системы менеджмента качества (методики 8D, 5W2H, 5Why). Кроме того, инкапсулировать (встроить) все сложные математические расчёты в информационную систему сервисной компании. При этом пользователь будет получать конечный результат не вдаваясь в особенности того или иного метода математической статистики и теории надежности. Также предлагается разбить отчетные формы на два типа: аналитические (для квалифицированных пользователей) и цветовые (для всех остальных).

2.4 СТРУКТУРА МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ЛОКОМОТИВОВ В УСЛОВИЯХ СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

В результате анализа мирового и отечественного опыта управления сервисным обслуживанием и современного уровня развития информационных систем АСУЖТ (прежде всего АСУТ) мною разработана следующая модель управления техническим состоянием локомотивов при сервисном ТОиР, которая представлена на рисунке 2.6.

На основании данных из всех доступных источников информации выявляются инциденты: нарушения режимом эксплуатации (приводящее к возможному возникновению отказа), предотказные состояния (устранение которого гораздо дешевле, чем самого отказа), замечания машиниста (по данным бортового журнала локомотива формы ТУ-152) по которым выполняется работа для их дальнейшего устранения. Понятие инцидент является ключевым в предлагаемой, автором научного исследования, модели управления системой сервисного ТОиР локомотивов [121, 122, 166, 167].

Первый автоматизированный источник информации об инцидентах – это АСУЖТ: в ОАО «РЖД» имеется ряд информационных систем, фиксирующих события с локомотивом: пробег, заходы в депо (АСОУП, ГИД «Урал», АСУТ и др.) [19, 20], отказы (КАС АНТ), замечания машинистов, события нарушения безопасности (АСУ НБД).

Второй автоматизированный источник информации – автоматизированные рабочие места (АРМ) расшифровки диагностических данных бортовых микропроцессорных систем управления (АРМ МСУ). Для автоматизации передачи диагностических сообщений необходима доработка АРМ МСУ, прежде всего, в части автоматизации поиска инцидентов и передачи диагностических сообщений [7, 8].

Третий источник диагностических сообщений – переносные и стационарные автоматизированные системы технического диагностирования (АСТД): АРМ станций реостатных испытаний и испытаний оборудования, переносные системы серий «Доктор» и «Око», системы виброиспытаний «Прогноз» и «Вектор» и др. Если система диагностирования не автоматизирована (например, системы неразрушающего контроля), то следует разрабатывать соответствующие автоматизированные терминалы.

По выявленным инцидентам реализуется первый, оперативный контур управления. По результатам анализа статистики инцидентов осуществляется управление проблемами – второй контур. Третий контур (верхнего уровня управления) – управление уровнем сервиса. Последние два контура управления используют базу данных «Аналитика» и базу данных возможных технических решений «Варианты решений». Требования стандартов и методик реализуются на алгоритмическом уровне в Единой информационно-управляющей системе мониторинга технического состояния (ЕСМТ) локомотивов с использованием метода «Встроенного качества» [8, 15, 27].

В трехконтурной модели управления техническим состоянием локомотивов при сервисном ТОиР программно встраиваются основные принципы управления по принципу защиты от ошибки по методикам «Барьер», 8D, 5W2H предусмотренными корпоративными стандартами ОАО «РЖД», ГОСТ, ISO.

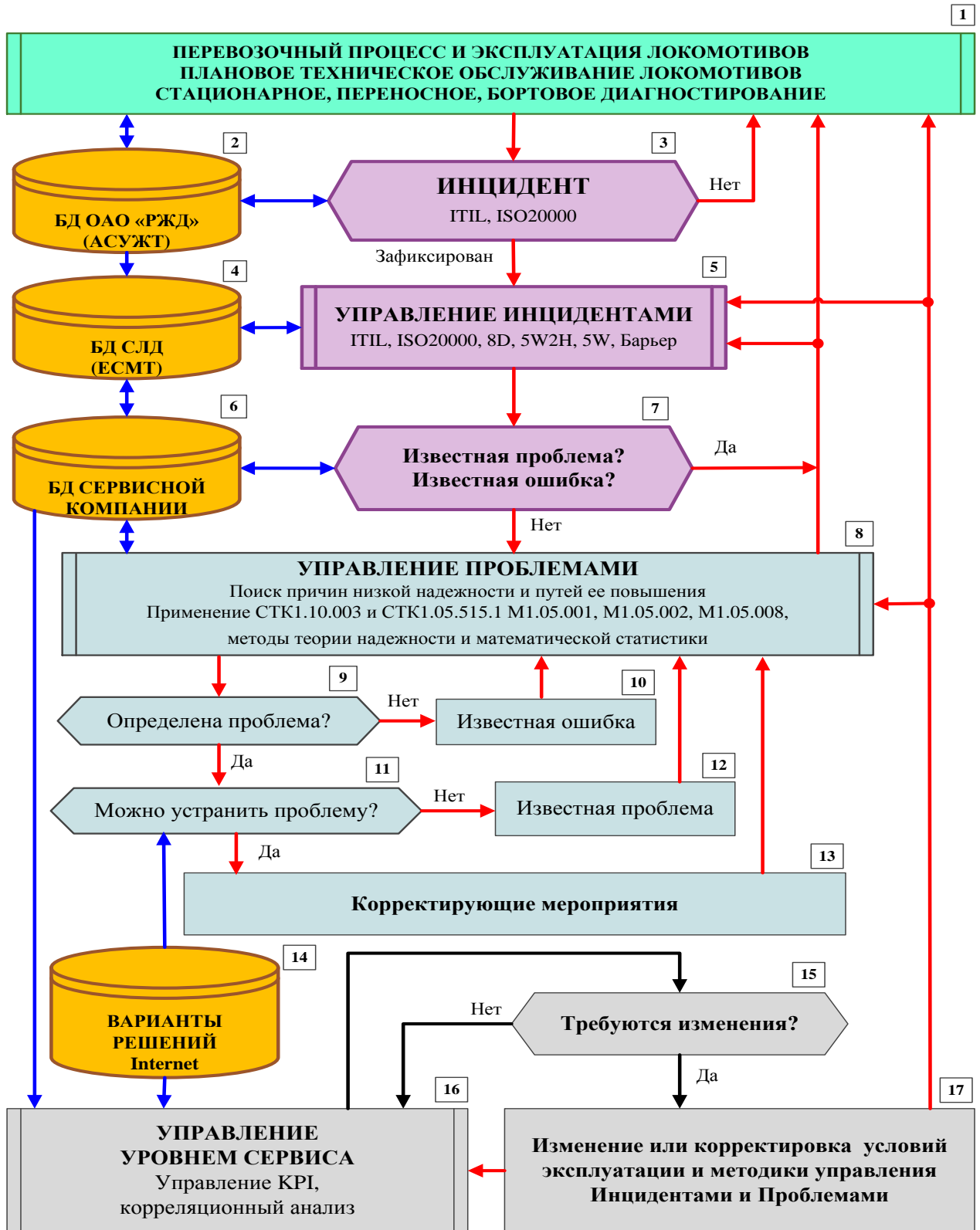


Рисунок 2.6 – Трёхконтурная модель управления техническим состоянием тягового подвижного состава при сервисной системе технического обслуживания и ремонта

Система включает в себя:

- этап управления инцидентами;
- этап управления проблемами;
- этап управления уровнем сервиса.

На рисунке 2.7 представлен процесс поэтапного алгоритма работы с инцидентами в соответствии со стандартом 8D.



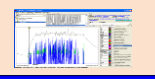








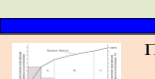



	Накопление информации в МСУ, АСУТ и др.	Нормальная эксплуатация локомотива	
Тн: ИНЦИДЕНТ			
	Накопление информации в МСУ, АСУТ, ТУ-152, КАСАНТ и др.	Локомотив полностью или частично неработоспособен	
Тд: Начало диагностирования			
	Диагностирование с использованием АРМ МСУ, АСТД, анализ ТУ-152, работа с АСУЖТ и др.	Диагностирование технического состояния локомотива	
То: Обнаружение Инцидента			
	Передача в ЕСМТ диагностического сообщения	Передача диагностического сообщения	
Тлр: Инициализация работ			
	Создание ЛР Ввод исходных данных вручную и автоматически	Создание ЛР. Идентификация инцидента	Шаг 0
Т0: ЛР Инцидента создан			
	Ввод в ЛР информации об участниках работ по ролям	Создание команды	Шаг 1
Т1: Начало устранения Инцидента			
	Ввод в ЛР информации об Инциденте	Описание Инцидента	Шаг 2
Т2: Инцидент идентифицирован			
	Устранение Инцидента. Работа со складом. Эскалация информации. Приостановка работ (пауза). Ввод в ЛР информации о ходе работ.	УСТРАНЕНИЕ ИНЦИДЕНТА	Шаг 3
Т3: Инцидент устранен			
	Накопление информации в МСУ, АСУТ и др.	Процесс эксплуатация локомотива	
	Анализ. Ввод в ЛР информации о причинах Инцидента	АНАЛИЗ	Шаг 4
Т4: Причины установлены			
	Ввод в ЛР плана мероприятий	Разработка корректирующих мероприятий	Шаг 5
Т5: Мероприятия разработаны			
	Реализация мероприятий. Ввод в ЛР отметок о выполнении	Реализация мероприятий	Шаг 6
Т6: Мероприятия реализованы			
	Привязать ЛР к известной ошибке. Ввести свое мнение о проблеме. Остальные данные вводятся позже	Управление проблемами	Шаг 7
Т7: Проблема определена			
	Проверка введенных данных и оценка участников процесса Менеджером процесса	Окончание работы	Шаг 8
Т8: ЛР Инцидента закрыт			
	Технический аудит качества устранения Инцидента Владелецм процесса	АУДИТ	
ТА: Инцидент проверен			
ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИИ С ВЫЯВЛЕНИЕМ СИСТЕМНЫХ ПРОБЛЕМ ДЛЯ ИХ ДАЛЬНЕЙШЕГО УСТРАНЕНИЯ			

Рисунок 2.7 – Этапы устранения инцидента по методике 8D

На этапе управления инцидентами происходит сбор данных со всех возможных источников информации, в т.ч. систем диагностирования [137]. В качестве данных диагностирования используют данные с бортовых систем управления и диагностики локомотивов, со стационарных и переносных систем технического диагностирования, а также данные о выполняемом ТОиР [6].

На этапе управления проблемами осуществляется обработка инцидентов с помощью методов математической статистики и факторного анализа. В процессе управления проблемами выявляют причины возникновения инцидентов и определяют методы их устранения при проведении корректирующих мероприятий.

На этапе управления сервисом анализируются ключевые показатели эффективности предоставляемых услуг, т.е. выполняемых ТОиР, их взаимосвязь с выявленными инцидентами и проблемами.

Таким образом, третий контур повышает общую эффективность процесса сервисного обслуживания и ремонта локомотивов за счет изменения (корректировки) ключевых показателей эффективности сервисного обслуживания локомотивов. На Модель получен патент на изобретение [137].

2.5 ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 2

По результатам выполненного автором научного исследования, анализа мирового и отечественного опыта в области сервисного обслуживания выяснилось, что вся система ТОиР должна строиться на основе статической обработки данных о техническом состоянии локомотивов и обратных связях для оценки эффективности принимаемых управленческих решений. Поэтому предложена трёхконтурная модель управления техническим состоянием локомотивов при сервисном ТОиР, которая описана в предыдущем разделе. Кроме того, существует большое количество методов для выполнения вероятностно-статистического анализа, которые применимы для научных расчетов, но при практическом использовании их применимость затруднительна. Поэтому при разработке Модели необходимо определить место и практическую целесообразность использования наиболее

распространенных математических методов применительно к сервисной системе технического обслуживания и ремонта локомотивов.

Кроме того, применимые, при сервисном обслуживании, математические методы необходимо «инкапсулировать» (встраивать) в программное обеспечение информационно-управляющей системы сервисной компании по предложенному, автором научного исследования, методу «Встроенное качество».

Реализация предложенной Модели позволит выполнять следующие задачи:

- быстро и достоверно оценивать оперативную обстановку в локомотиворемонтном комплексе;
- устанавливать контроль выявления и устранения инцидентов (внештатных ситуаций) связанных с локомотивами;
- устанавливать причины и последствия этих инцидентов;
- вырабатывать технические мероприятия, разработанные в результате анализа статистических данных зафиксированных в системе;
- проводить проверку эффективности вырабатываемых технических мероприятий с последующей их корректировкой.

В связи с этим, выполняемая автором научного исследования работа позволит повысить надёжности локомотивов и впервые в отечественной практике внедрить статистические методы и положения международных, национальных и отраслевых стандартов в области управления качеством, надёжностью и бережливого производства в производственный процесс сервисного ТОиР локомотивов.

При этом статистические методы будут «инкапсулированы» (встроены) внутрь программного обеспечения и используются в режиме on-line непосредственно на рабочих местах специалистов и руководителей как внутри сервисных локомотивных депо, так и на уровне центрального аппарата сервисной компании.

3 РАЗРАБОТКА ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКОЙ ПОДСИСТЕМЫ МОДЕЛИ

3.1 ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С целью исследования применимости наиболее распространенных статистических и вероятностных математических методов написана программа с использованием встроенных статистических функций и языка программирования Visual Basic for Application (VBA). Программа прошла тестирование в МИИТ (А.В.Горский, А.А.Воробьев, А.В.Скребков). Таким образом, полученные и проверенные согласно предложенной методике приведенные ниже данные и соответствующие выводы следует считать статистически достоверными [13, 57, 62, 186].

Разработанный алгоритм работы программы представлен в виде блок-схемы (рисунок 3.1), а текст программы приведён в Приложении А. В дальнейшем разработанный алгоритм стал основой программного модуля статистической обработки данных сервисной компании (см. раздел 5).

Входные данные программы:

1. Один или два массива исходных числовых данных (выборки), полученные из информационных систем локомотивного комплекса. Массив 1 находится в столбце *B*, массив 2 – в столбце *C*. Признаком конца массива является пустая ячейка. Исходные массивы переписываются в рабочий Лист в столбцы *B* и *C*. В тестовой программе обращение к данным осуществляется с использованием оператора $x = Cells(r, c)$, где r – номер ряда (с третьего и до максимального), а c – номер столбца: $c=2$ для первого массива и $c = 3$ для второго массива.
2. Заданное число массивов: 1 или 2. Записывается в ячейку *I3*. В программе далее используются логическая переменная *ScndL* (*True* – если два массива) и целочисленная переменная *Scnd*, принимающая соответственно значения 0 или 1.

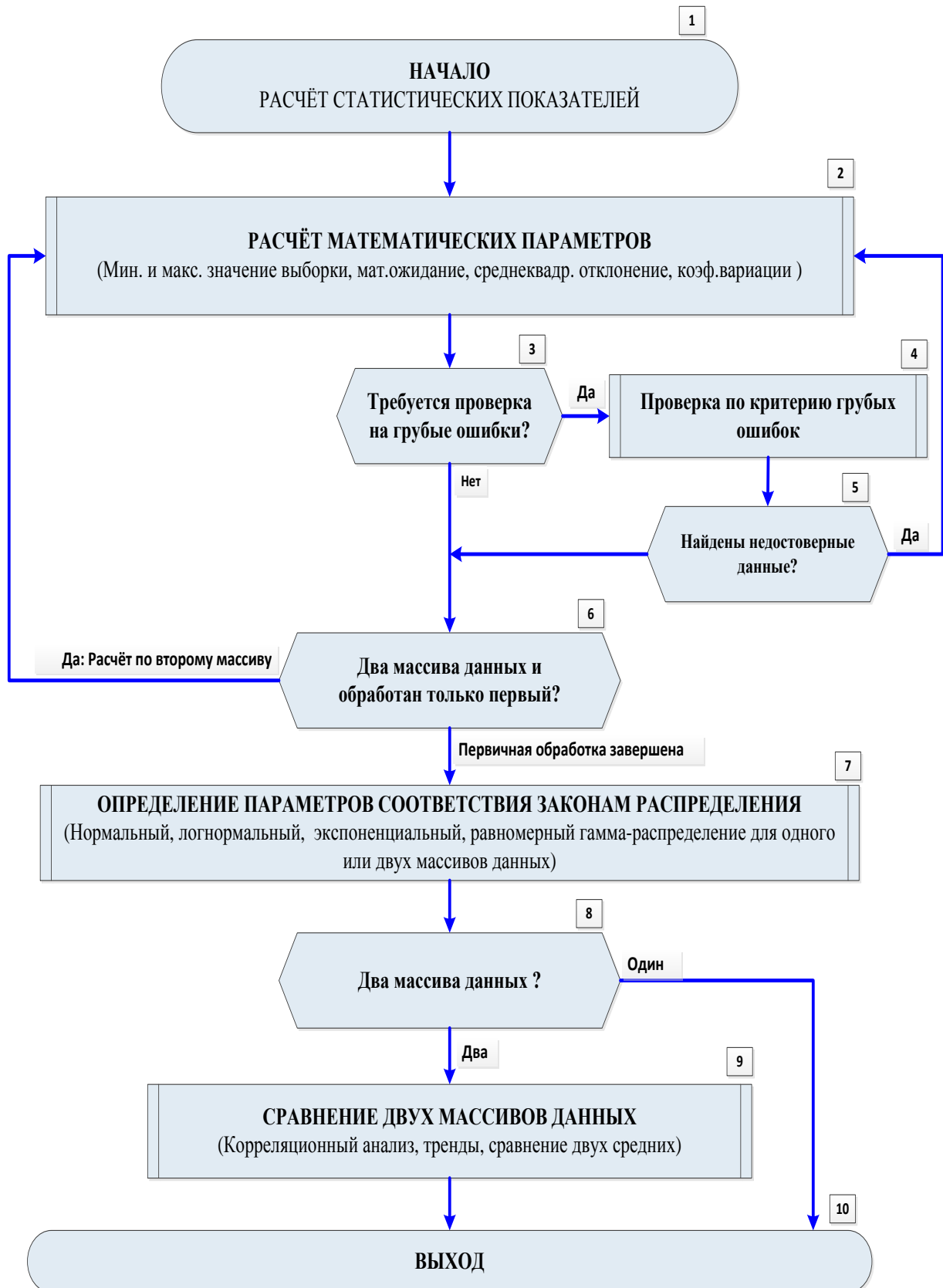


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритма работы программы для статистической обработки данных информационных систем локомотивного комплекса

3. Задание на чистку массива: 0 – чистить, 1 – нет. Записывается в ячейку *I4*. В программе используется внутренняя логическая переменная *Chistka* (*True*, если чистка нужна).
4. Заданная доверительная вероятность *Beta*, которая может принимать значения от 0 до 1. По умолчанию $Beta = 0,95$.
5. Заданная относительная погрешность *Delta*, которая может принимать значения от 0 до 1. По умолчанию $Delta = 0,05$.
6. Число интервалов гистограмм *Smaxzd1*, *Smaxzd2*. По умолчанию задание отсутствует.
7. Минимальное и максимальное допустимые значения в исходных массивах *MinX1*, *MinX2*, *MaxX1*, *MaxX2*, которые следует выбирать. По умолчанию задание отсутствует.
8. Ширина интервала гистограмм *Int1*, *Int2*. По умолчанию задание отсутствует.

Примечание: при использовании заданий по пунктам 6 - 8 пользователь сам отвечает за их совместимость для исключения возможного некорректного результата.

Выходные данные:

1. Очищенные от грубых ошибок массивы данных 1 и/или 2 хранятся на рабочем листе соответственно в столбцах *Q* и *R*.
2. Фактическая доверительная вероятность *PF1* и *PF2* рассчитывается в процентах и выводится в ячейки *I7* и *J7*.
3. Фактическая относительная погрешность *DF1* и *DF2* рассчитывается в процентах и выводится в ячейки *I8* и *J8*.
4. Рассчитываемые статистические показатели: математическое ожидание, среднеквадратическое отклонение, количество данных в выборке, минимально допустимый объём выборки, ширина интервалов группирования случайной величины, коэффициент вариации, минимальное и максимальное значение случайной величины, число исключённых недостоверных данных, $\chi_{\text{факт}}^2$ (Хи-квадрат фактический), $\chi_{\text{теор}}^2$ (Хи-квадрат теоретический), *P* (вероятность соответствия закону распределения случайной величины).

3.2 СТАТИСТИЧЕСКАЯ ПРОВЕРКА ДОСТОВЕРНОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ О РАБОТЕ И НАДЕЖНОСТИ ЛОКОМОТИВОВ

Основным источником информации об эксплуатации локомотивов является система АСОУП, а о техническом состоянии локомотивов - система АСУТ ОАО «РЖД» [20] и система ЕСМТ сервисной компании. В этих системах фиксируется информация о перемещении локомотивов по полигону ОАО «РЖД» с указанием их пробега, времени начала и конца нахождения в том или ином эксплуатационном состоянии, а также информация об отказах, неплановых ремонтах, нарушениях режимов эксплуатации локомотивов. В настоящем разделе выполнен соответствующий анализ эксплуатационных и технических показателей локомотивов методом проверки на соответствие законам распределения случайной величины, в т.ч. с использованием общеизвестных критериев: критерия согласия Пирсона и критерия Колмогорова-Смирнова [78].

Главной причиной несоответствия известным законам распределения является мультимодальность выборок (наличие в одном массиве данных разных процессов). Например, средний простой локомотивов в депо не может использоваться как достоверный показатель, т.к. есть простой на ТО-2, ТО-3, ТР-1, ТР-2, ТР-3 и других видах ремонта, где существует своя средняя продолжительность простоя. Следовательно, использование среднего простоя в депо для оценки его загруженности или возможности одновременного проведения технических мероприятий, направленных на повышение надежности отдельной группы локомотивов, может привести к ошибочным выводам. При выборе параметров для анализа не всегда очевидна унимодальность анализируемого процесса.

Унимодальность процессов оценивается общепринятым методом проверки соответствия полученных распределений случайных величин параметров эксплуатационной работы и надежности локомотивов законам распределения случайных величин. При отсутствии закономерностей следует изменить принципы формирования исходных выборок случайных величин, например, разбив выборку по отдельным полигонам, депо, сериям

локомотивов, видам ремонта и др. Таким образом, в начале из АСОУП, АСУТ, ЕСМТ автором берутся максимальные выборки параметров, а затем последовательно накладываются ограничения (фильтры) до тех пор, пока не будет достигнута унимодальность [4, 5].

Расчёт статистических характеристик производится по формулам теории вероятности и математической статистики. Далее приводится описание результатов и вывод о возможности использования методов в процессе управления техническим состоянием локомотивов при сервисной форме ТОиР.

Для проверки достоверности исходных данных по каждому рассматриваемому показателю рассчитываются математическое ожидание m_x выборки данных x_i АСОУП, АСУТ, ЕСМТ в объёме N и среднее квадратичное отклонение σ_x по принятым формулам [13, 57]:

$$m_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad (3.1)$$

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

После расчёта математического ожидания и среднее квадратичное отклонения оценивается достаточность выборки: $N \geq N_{min}$, где

$$N_{min} = \left(\frac{t_{\beta} \cdot v_x}{\delta} \right)^2, \quad (3.3)$$

где v_x - коэффициент вариации: мера относительного разброса случайной величины x , показывающая, какую долю среднего значения этой величины составляет её средний разброс [13]:

$$v_x = \frac{\sigma_x}{m_x}. \quad (3.4)$$

В диссертации приняты стандартное значение точности $\delta = 0,05$ и доверительной вероятности $\beta = 0,95$, а квантиль распределения Стьюдента выбран из таблицы для выбранной доверительной вероятности $t_{\beta} = 1,96$. Если

выборка оказалась недостаточной ($N < N_{min}$), то её необходимо увеличить за счёт новых статистических данных.

Предварительно унимодальность проверяется визуально по гистограмме распределения. Если обнаружен «эффект гребёнки» (последовательное чередование высоких и низких столбцов гистограммы), то меняется шаг разбиения диапазона случайной величины, т.к. этот эффект обычно возникает из-за неудачного выбора числа интервалов группирования случайной величины. Изначально число диапазонов разбиения K определяется по правилу Старджесса [13, 57, 58]:

$$K = [1 + 3,3 \cdot \lg N]. \quad (3.5)$$

Примечание: исследования показали, что формула Старджесса не всегда даёт положительный результат: на гистограмме может быть «гребёнка», поэтому в отдельных случаях число диапазонов разбиения задавалось вручную, что также предусмотрено в программе для анализа данных.

Достоверность данных также оценивается по критерию для проверки гипотезы о принадлежности наблюдаемой выборки некоторому теоритическому закону распределения (критерию Пирсона), для чего по построенной гистограмме распределения случайной величины рассчитывается хи-квадрат (χ_p^2) по формуле:

$$\chi_p^2 = \sum_{j=1}^K \frac{(\Delta n_j - \Delta n_j^*)^2}{\Delta n_j}, \quad (3.6)$$

где: Δn_j^* и Δn_j – практическое и теоретическое число попаданий в j -й диапазон (в идеальном случае должны совпадать); K – число выбранных интервалов разбиения в гистограмме.

Практическое число попаданий Δn_j^* в диапазон $j \in K$ в формуле 3.7 определяется из обработки статистической информации, а теоретическое Δn_j^* по формуле [13]:

$$\Delta n_j^* = N \cdot P_j, \quad (3.7)$$

где P_j - теоретическая вероятность попадания случайной величины в j -й интервал в диапазоне значений от $x_j^{\text{Л}}$ до $x_j^{\text{П}}$:

$$P_j = \int_{x_j^{\text{Л}}}^{x_j^{\text{П}}} f(x) dx, \quad (3.8)$$

где $f(x)$ – функция плотности распределения случайной величины.

В диссертации достоверность данных проверяется по критерию Пирсона и критерию Колмогорова-Смирнова на принадлежность к одному из законов распределения случайной величины согласно таблице 3.1 [13, 57, 58].

Гамма-функция рассчитывается по формуле Ланцоша [13, 57, 58]:

$$\Gamma(z) = \frac{\sum_{n=0}^6 q_n \cdot z^n}{\prod_{n=0}^6 (z+n)} \cdot (z+5,5)^{z+0,5} \cdot e^{-(z+5,5)}, \quad (3.9)$$

где q_n - константы, определяемые в соответствии с таблицей 3.2.

После расчёта значения хи-квадрат (χ_p^2) вычисляется число степеней свободы:

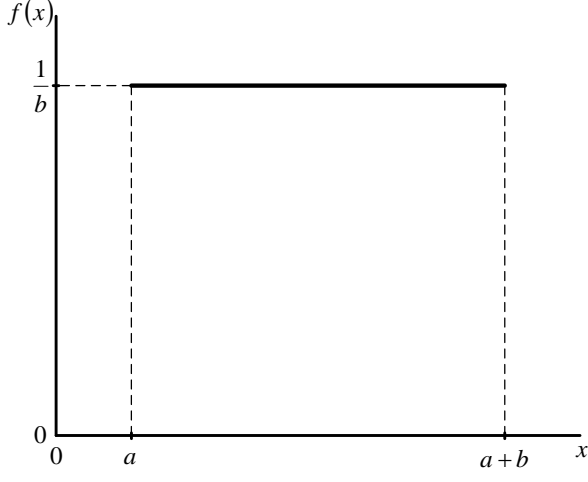
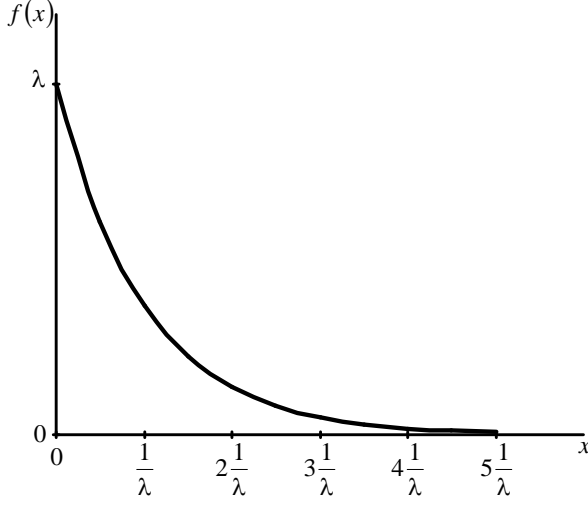
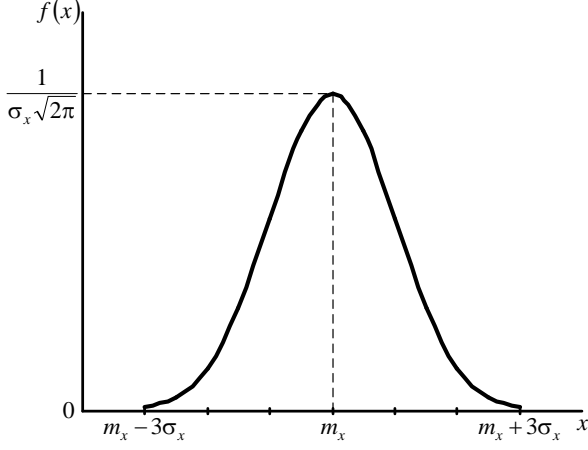
$$r = K - s, \quad (3.10)$$

где s — число связей, накладываемых на частоты P_j^* .

На однопараметрическое распределение, к которому относится экспоненциальное распределение, накладывается 2 связи: $s = 2$. На двухпараметрические распределения, к которым относится равномерное, нормальное, логнормальное, гамма-распределение, накладываются 3 связи: $s = 3$.

Значения χ_p^2 и r используют для определения границ вероятности соответствия α гистограммы теоретическому распределению в соответствии с таблицей значений критерия согласия Пирсона [5, 13, 57, 58].

Таблица 3.1 – Основные распределения случайных величин

Наименование распределения	Вид функции плотности распределения	Функция плотности распределения и оценка ее параметров
Равномерное		$f(x) = \frac{1}{b}$ $a = m_x - \sigma_x \sqrt{3}$ $b = \sigma_x \sqrt{12}$
Экспоненциальное		$f(x) = \lambda \cdot \exp(-\lambda x)$ $\lambda = \frac{1}{m_x}$
Нормальное		$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(x - m_x)^2}{2\sigma_x^2}\right)$

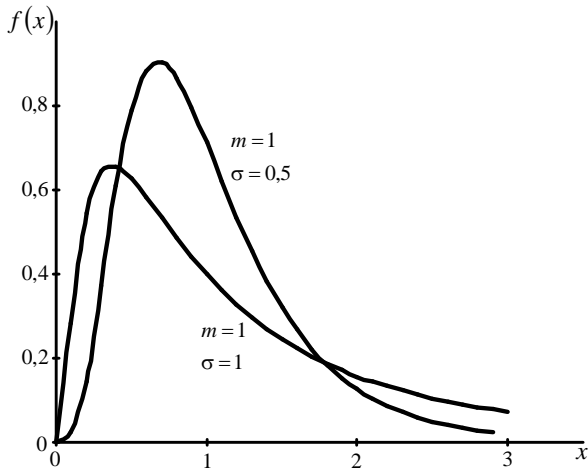
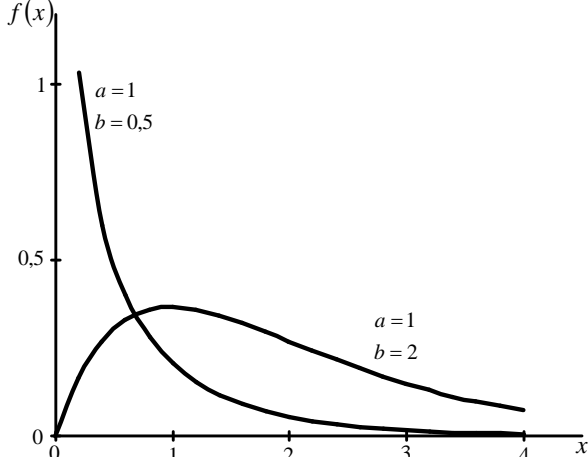
Наименование распределения	Вид функции плотности распределения	Функция плотности распределения и оценка ее параметров
Логнормальное		$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{\left(\ln\left(\frac{x}{m}\right)\right)^2}{2\sigma^2}\right)$ $\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln x_i$ $\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\ln x_i - \mu)^2}$ $m = \exp\left(\mu - \frac{\sigma^2}{N}\right)$
Гамма-распределение		$f(x) = \frac{x^{b-1}}{a^b \Gamma(b)} \cdot \exp\left(-\frac{x}{a}\right)$ <p>$\Gamma(\)$ — гамма-функция</p> $a = \frac{\sigma_x^2}{m_x}$ $b = \left(\frac{m_x}{\sigma_x}\right)^2$

Таблица 3.2 – Значения констант для формулы Ланцоша

n	q_n
0	75 122,6331530
1	80 916,6278952
2	36 308,2951477
3	8 687,24529705
4	1 168,92649479
5	83,8676043424
6	2,50662827511

Также для проверки согласия наблюдаемого и теоретического распределений используется критерий Колмогорова-Смирнова, при котором проверяется нуль-гипотеза. Выборка относится к известному распределению $F(x)$ или альтернативная гипотеза - выборка не относится к этому распределению. Для определения критерия Колмогорова-Смирнова используется формула [78]:

$$D_n = \sup_x |F_n(x) - F(x)|, \quad (3.11)$$

где $F_n(x)$ - кумулятивное распределение выборки;

$F(x)$ – ожидаемое кумулятивное распределение.

При $D_{таб} > D_n$, то нуль-гипотеза не отклоняется.

Если выборка не проходит проверку по критериям согласия Пирсона или Колмогорова-Смирнова (вероятность соответствия одному из законов распределения случайной величины оказалась слишком низкой), то следует оценить однородность информации, представленной в выборке, по критерию грубых ошибок (приводящих к очевидному искажению результата).

Для исключения из выборки исходных данных отдельных значений случайной величины x_j , которые приводят к неоднородности, необходимо использовать критерий трёх сигм (3σ) [13, 57, 58]:

$$x_j - m_x > 3\sigma_x. \quad (3.12)$$

На практике это означает, что, если разность между значением случайной величины и математическим ожиданием превышает 3σ , то вероятность того, что отклонение является следствием случайных причин, не превышает 0,0027 и в соответствии с принципом практической невозможности возникновения маловероятных событий, значение x_j следует исключить. Поскольку исключение значения может быть не единственным в рассматриваемой выборке, то его следует включить в альтернативную выборку, которую в дальнейшем так же проверяют по критерию грубых ошибок на предмет однородности [13, 57, 58].

Также необходимо контролировать физический смысл этого действия, чтобы не была искажена действительная картина мультимодальности: исключая значения, которые «искажают» гистограмму распределения случайной величины, можно исказить фактическую информацию и впоследствии сделать неправильные выводы, которые, в свою очередь, снизят эффективность управления техническим состоянием локомотивов.

Если полученное распределение не соответствует ни одному из рассматриваемых законов распределения случайной величины, то необходимо изменить порядок формирования исходной информации. Например: если выборка взята по всем тепловозам, то следует уменьшить её до отдельных серий, железных дорог, депо и т.д.

Для реализации принципа «Встроенное качество» предлагается графически представлять статистически обработанные данные и, в зависимости от их статистической достоверности, менять фон представляемой числовой информации. Это позволит оперативно визуализировать информацию о текущем техническом состоянии локомотивного парка (по депо, по филиалу, по сети в целом) с последующим принятием корректных (с минимизацией ошибок) управленческих решений: исследования различной направленности в области психологического восприятия свидетельствуют, что визуальный образ воспринимается человеком гораздо лучше, чем таблица [7, 18, 108, 109, 146]. Пример возможной цветовой гаммы приведен на рисунке 3.2.

№ п/п	Показатель	Значение	Цвет	Пример
1	Вероятность соответствия одному из законов распределения случайной величины (максимальная) P_f	$P_f < 0.3$	красный	0.1
2		$0.3 \leq P_f < 0.5$	оранжевый	0.4
3		$0.5 \leq P_f < 0.7$	жёлтый	0.6
4		$0.7 \leq P_f < 0.9$	серо-зелёный	0.8
5		$0.9 \leq P_f < 0.95$	салатовый	0.9
6		$P_f > 0.95$	зелёный	0.99

Рисунок 3.2 – Визуальное отображение достоверности данных

При практическом исследовании был выявлен парадокс: логика критерия Пирсона заключена в особенностях применения закона больших чисел, согласно которому эмпирическое среднее арифметическое увеличивающейся выборки из рассматриваемого распределения приближается к теоретическому среднему (математическому ожиданию) этого распределения, погрешность уменьшается. На практике «Зашумленность» данных о техническом состоянии локомотива остаётся на постоянном уровне не зависимо от объёма выборки. Например, из-за наличия в выборке наработки на отказ приработочных отказов (типичная ситуация, например, для дизель-генераторных установок тепловозов). В этом случае при увеличении объёма выборки вероятность соответствия процесса нормальному закону уменьшается.

Выявленный парадокс привёл к тому, что в результате расчётов вероятность унимодальности выборки зависит не от собственно её унимодальности, а от объёма выборки: критерий Пирсона перестаёт работать как метод оценки достоверности выборки случайной величины [7, 15, 108]. Более эффективным оказался критерий Колмогорова-Смирнова, не чувствительный к наличию постоянной погрешности при изменении объёма выборки.

Для проверки унимодальности статистических параметров, обладающих постоянной погрешностью, по соответствию законам распределения случайной величины целесообразно использовать наряду с критерием Пирсона критерий Колмогорова-Смирнова. В диссертации достоверными (унимодальными) данными будут считаться выборки, подчиняющиеся одному из законов распределения случайной величины по одному из критериев согласия.

3.3 МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛОКОМОТИВОВ

3.3.1 Метод многофакторного анализа

Метод многофакторного анализа - это статистический метод анализа результатов наблюдений с одновременной оценкой степени влияния действующих факторов. Метод полезен при необходимости оценки влияния двух или более условий на распределение изучаемого процесса [119]. Многофакторный анализ позволяет оценить картину состояния исследуемого процесса даже без большого числа наблюдений: неполнота отдельных наблюдений во многих случаях дополняется материалами изучения внутренних связей между несколькими признаками. Для этого необходимо разнородные группы наблюдений объединить в многофакторный комплекс или другую структуру с учетом целей исследования. При этом для выполнения многофакторного анализа необходимо знать специфику объекта исследования, понимать закономерности протекающих в нем процессов и характеристики конкретных факторов [104, 119, 129].

Использование многофакторного анализа в системе сервисного технического обслуживания и ремонта локомотивов является актуальным при той вариабельности (см. п.2.1.2), которая существует в локомотивном комплексе [119, 129].

При рассмотрении надежности локомотива часто используют показатель «Количество неплановых ремонтов на пробег локомотива», что можно представить в виде функции двух переменных:

$$Y=F(X), \quad X \in [0, n] \quad (3.13)$$

Техническое состояние локомотивов характеризуется множеством параметров и процессов с различной степенью влияния: среднесуточный пробег, выполненная работа (т·км), пробег от последнего ТОиР, полигон обращения, профиль пути, климатические условия, профессионализм машинистов и др. Результат рассмотрения отдельных факторов влияющих на надёжность локомотивов представлен в исследованиях автора [8, 12, 112].

3.3.2 Обработка исходных статистических данных

В диссертации выполнена обработка данных информационных систем об эксплуатации тепловозов серий 2ТЭ10, 3ТЭ10 и 4ТЭ10 всех индексов (далее – ТЭ10), эксплуатируемых на всей сети железных дорог ОАО «РЖД» (Северная, Дальневосточная, Московская, Забайкальская, Восточно-Сибирская и Горьковская железные дороги) за период в 12 месяцев 2015 - 2016 годов. Всего обработано 15,2 млн данных. В таблице 3.3 приведён объём экспортированных исходных данных с разбивкой по железным дорогам.

Для обработки данных информация экспортирована в *Microsoft Excel*, где была обработана с использованием специально написанных программ (см. Приложение А) на алгоритмическом языке программирования *VBA* и встроенных статистических функций.

В таблице 3.4 представлен скриншот экранной формы с исходными экспортированными данными. Каждый элемент выборки содержит в себе следующую информацию: дорога приписки, депо приписки, серия и номер тепловоза, состояние тепловоза (применительно к эксплуатационной работе), время нахождения в каждом состоянии, дислокация, масса поезда, пробег от последнего ТОиР (ТО-2, ТО-3, ТР-1, ТР-2, ТР-3).

По каждой железной дороге (см. таблицу 3.3) по специально разработанной на *VBA* программе выполнен расчёт эксплуатационных показателей тепловозов. Далее обработанные данные по простоям тепловозов серии ТЭ10 в/и на неплановых ремонтах проверены на соответствие законам распределения случайной величины. В результате, сделаны выводы об информативности тех или иных данных и целесообразности их использования в системе управления техническим состоянием локомотивов.

Таблица 3.3 – Объем исходный данных из информационных систем для исследования

Год	2015				2016								НР, шт.
	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	
СЕВ	422 094	404 466	381 100	412 535	355 561	415 716	384 504	333 895	363 747	319 388	342 221	338 825	8 315
ДВОСТ	561 009	554 797	549 395	542 525	518 500	592 675	572 055	520 117	559 379	495 175	528 180	535 604	20 429
МСК	124 602	119 577	121 151	125 385	98 850	115 429	116 847	105 915	111 051	92 152	95 844	96 540	3 574
ЗАБ	62 526	67 359	54 587	58 932	49 754	54 604	55 424	47 772	51 377	43 417	44 160	46 236	1 108
ВСИБ	85 770	78 160	78 747	82 452	71 394	78 597	80 965	75 925	91 649	72 320	81 326	74 789	1 292
ГОРЬК	124 435	122 415	118 193	121 057	100 722	112 530	105 092	97 560	101 701	92 538	102 950	103 647	1 261
ВСЕГО	1 380 436	1 346 774	1 303 173	1 342 886	1 194 781	1 369 551	1 314 887	1 181 184	1 278 904	1 114 990	1 194 681	1 195 641	35 979
ИТОГО	15 217 888												

Таблица 3.4 – Скриншот экранной формы Excel-таблицы с примером исходных данных, экспортированных из информационной системы для дальнейших расчётов в VBA Microsoft Excel

Дорога приписки	Депо приписки	Серия	Номер	Код секции	Время операции	Код состояния	Состояние	Тип состояния	Продолжительность нахождения в состоянии	Операция	Дислокация	Номер поезда	Масса поезда	Пробег от ТО-2, км	Пробег от ТО-3, км	Пробег от ТР-1, км	Пробег от ТР-2, км	Пробег от ТР-3, км	Пробег, км
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	0	09-30 23:11:00	4	СПЛТК	Исправное	244	ПС С ПР ОТ	Хингуй	4992	0	860	8869	8869	8869	138558	60
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	1	09-30 23:11:00	4	СПЛТК	Исправное	244	ПС С ПР ОТ	Хингуй	4992	0	860	8869	8869	8869	138558	60
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	0	10-01 03:15:00	4	СПЛТК	Исправное	487	ПБ.Б ПР ДО	Будагово	4992	0	860	8869	8869	8869	138558	8
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	1	10-01 03:15:00	4	СПЛТК	Исправное	487	ПБ.Б ПР ДО	Будагово	4992	0	860	8869	8869	8869	138558	8
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	1	10-01 11:22:00	4	СПЛТК	Исправное	111	ОТ.Б СД ДО	Будагово	4992	0	860	8869	8869	8869	138558	33
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	0	10-01 11:22:00	4	СПЛТК	Исправное	111	ОТ.Б СД ДО	Будагово	4992	0	860	8869	8869	8869	138558	33
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	0	10-01 13:13:00	4	СПЛТК	Исправное	128	ПБ.Б ПР ДО	Тулун	4992	0	860	8869	8869	8869	138558	2
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	1	10-01 13:13:00	4	СПЛТК	Исправное	128	ПБ.Б ПР ДО	Тулун	4992	0	860	8869	8869	8869	138558	2
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	1	10-01 15:21:00	4	СПЛТК	Исправное	176	ОТ.Б СД ДО	Тулун	4992	0	860	8869	8869	8869	138558	139
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	0	10-01 15:21:00	4	СПЛТК	Исправное	176	ОТ.Б СД ДО	Тулун	4992	0	860	8869	8869	8869	138558	139
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	0	10-01 18:17:00	4	СПЛТК	Исправное	3	ПБ.Б ПР ДО	Зима	4992	0	860	8869	8869	8869	138558	0
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	1	10-01 18:17:00	4	СПЛТК	Исправное	3	ПБ.Б ПР ДО	Зима	4992	0	860	8869	8869	8869	138558	0
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	0	10-01 18:20:00	102	ПРОСТ.ПРИБ	Исправное	16	ПРОСТ.ПРИБ	Зима	0	0	860	8869	8869	8869	138558	0
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	1	10-01 18:20:00	102	ПРОСТ.ПРИБ	Исправное	16	ПРОСТ.ПРИБ	Зима	0	0	860	8869	8869	8869	138558	0
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	0	10-01 18:36:00	112	АВТ.ЗАХ.ТЧ	Исправное	714	АВТ.ЗАХ.ТЧ	ТЧЭ-3 В-СИБ	0	0	860	8869	8869	8869	138558	12
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	1	10-01 18:36:00	112	АВТ.ЗАХ.ТЧ	Исправное	714	АВТ.ЗАХ.ТЧ	ТЧЭ-3 В-СИБ	0	0	860	8869	8869	8869	138558	12
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	1	10-02 06:30:00	105	ОЖ.РАБОТЫ	Исправное	1	ОЖ.РАБОТЫ	ТЧЭ-3 В-СИБ	0	0	1007	9016	9016	9016	138705	0
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	0	10-02 06:30:00	105	ОЖ.РАБОТЫ	Исправное	1	ОЖ.РАБОТЫ	ТЧЭ-3 В-СИБ	0	0	1007	9016	9016	9016	138705	0
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	1	10-02 06:31:00	636	СТАЦ.УСТАН.	Не учитывается	7414	СТАЦ.УСТАН.	ТЧЭ-3 В-СИБ	0	0	1007	9016	9016	9016	138705	618
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	0	10-02 06:31:00	636	СТАЦ.УСТАН.	Не учитывается	7414	СТАЦ.УСТАН.	ТЧЭ-3 В-СИБ	0	0	1007	9016	9016	9016	138705	618
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	0	10-07 10:05:00	105	ОЖ.РАБОТЫ	Исправное	4	ОЖ.РАБОТЫ	ТЧЭ-3 В-СИБ	0	0	1158	9167	9167	9167	138856	0
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	1	10-07 10:05:00	105	ОЖ.РАБОТЫ	Исправное	4	ОЖ.РАБОТЫ	ТЧЭ-3 В-СИБ	0	0	1158	9167	9167	9167	138856	0
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	0	10-07 10:09:00	106	ОЖ.ТО2	Исправное	37	ОЖ.ТО2	ТЧР-23 В-СИБ	0	0	1158	9167	9167	9167	138856	0
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	1	10-07 10:09:00	106	ОЖ.ТО2	Исправное	37	ОЖ.ТО2	ТЧР-23 В-СИБ	0	0	1158	9167	9167	9167	138856	0
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	0	08-09 06:25:00	4	СПЛТК	Исправное	5	ГОТ К ОТП	Коршунка	4992	0	533	1842	20116	20116	149805	0
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	1	08-09 06:25:00	4	СПЛТК	Исправное	5	ГОТ К ОТП	Коршунка	4992	0	533	1842	20116	20116	149805	0
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	0	08-09 06:30:00	4	СПЛТК	Исправное	27	ОТ.Б СД ДО	Коршунка	4992	0	533	1842	20116	20116	149805	21
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	1	08-09 06:30:00	4	СПЛТК	Исправное	27	ОТ.Б СД ДО	Коршунка	4992	0	533	1842	20116	20116	149805	21
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	1	08-09 06:57:00	4	СПЛТК	Исправное	25	ПБ.Б ПР ДО	Хребтовая	4992	0	533	1842	20116	20116	149805	0
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	0	08-09 06:57:00	4	СПЛТК	Исправное	25	ПБ.Б ПР ДО	Хребтовая	4992	0	533	1842	20116	20116	149805	0
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	1	08-09 07:22:00	1	ГОЛ.П	Исправное	1	ГОТ К ОТП	Хребтовая	8352	3783	533	1842	20116	20116	149805	0
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	0	08-09 07:22:00	1	ГОЛ.П	Исправное	1	ГОТ К ОТП	Хребтовая	8352	3783	533	1842	20116	20116	149805	0
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	0	08-09 07:23:00	4	СПЛТК	Исправное	91	ОТ.Б СД ДО	Хребтовая	4992	0	533	1842	20116	20116	149805	2
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	1	08-09 07:23:00	4	СПЛТК	Исправное	91	ОТ.Б СД ДО	Хребтовая	4992	0	533	1842	20116	20116	149805	2
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	1	08-09 08:54:00	1	ГОЛ.П	Исправное	75	ОТ.Б СД ДО	Хребтовая	8352	3783	533	1842	20116	20116	149805	69
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	0	08-09 08:54:00	1	ГОЛ.П	Исправное	75	ОТ.Б СД ДО	Хребтовая	8352	3783	533	1842	20116	20116	149805	69
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	0	08-09 10:09:00	1	ГОЛ.П	Исправное	11	ПБ.Б ПР ДО	Игирма	8352	3783	533	1842	20116	20116	149805	0
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	1	08-09 10:09:00	1	ГОЛ.П	Исправное	11	ПБ.Б ПР ДО	Игирма	8352	3783	533	1842	20116	20116	149805	0
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	1	08-09 10:20:00	1	ГОЛ.П	Исправное	328	ОТ.Б СД ДО	Игирма	8352	3783	533	1842	20116	20116	149805	5
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	0	08-09 10:20:00	1	ГОЛ.П	Исправное	328	ОТ.Б СД ДО	Игирма	8352	3783	533	1842	20116	20116	149805	5
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	0	08-09 15:48:00	1	ГОЛ.П	Исправное	2472	ПБ.Б ПР ДО	Игирма	8351	3783	533	1842	20116	20116	149805	110
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	1	08-09 15:48:00	1	ГОЛ.П	Исправное	2472	ПБ.Б ПР ДО	Игирма	8351	3783	533	1842	20116	20116	149805	110
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	0	08-11 09:00:00	105	ОЖ.РАБОТЫ	Исправное	1	ОЖ.РАБОТЫ	Среднилимск.	0	0	385	2227	20501	20501	150190	0
ВСБ	ГЧЭ-3 В-СИБ	2ТЭ10М	2102	1	08-11 09:00:00	105	ОЖ.РАБОТЫ	Исправное	1	ОЖ.РАБОТЫ	Среднилимск.	0	0	385	2227	20501	20501	150190	0

На рисунках 3.3 - 3.5 представлен анализ простоя тепловозов ТЭ10 на неплановых ремонтах за 12 месяцев по шести железным дорогам.

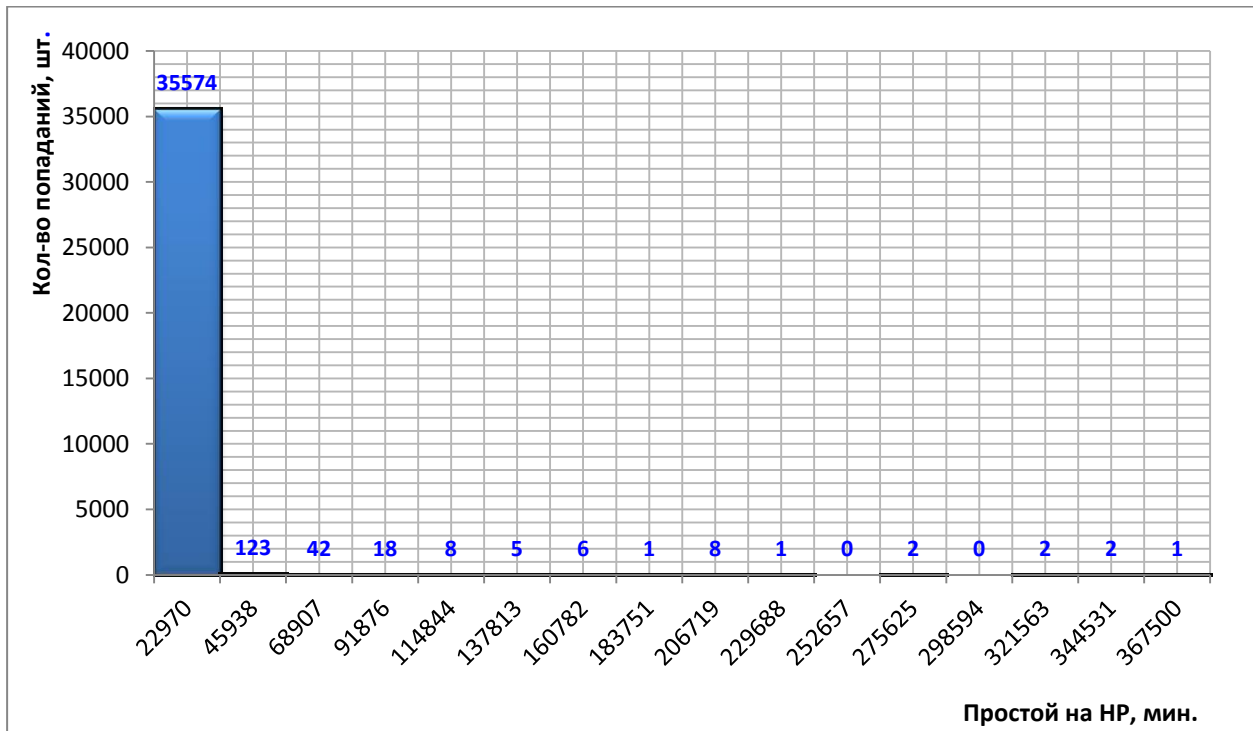


Рисунок 3.3 – Время простоя на неплановых ремонтах тепловозов серии ТЭ10 за 12 месяцев (35793 наблюдения)

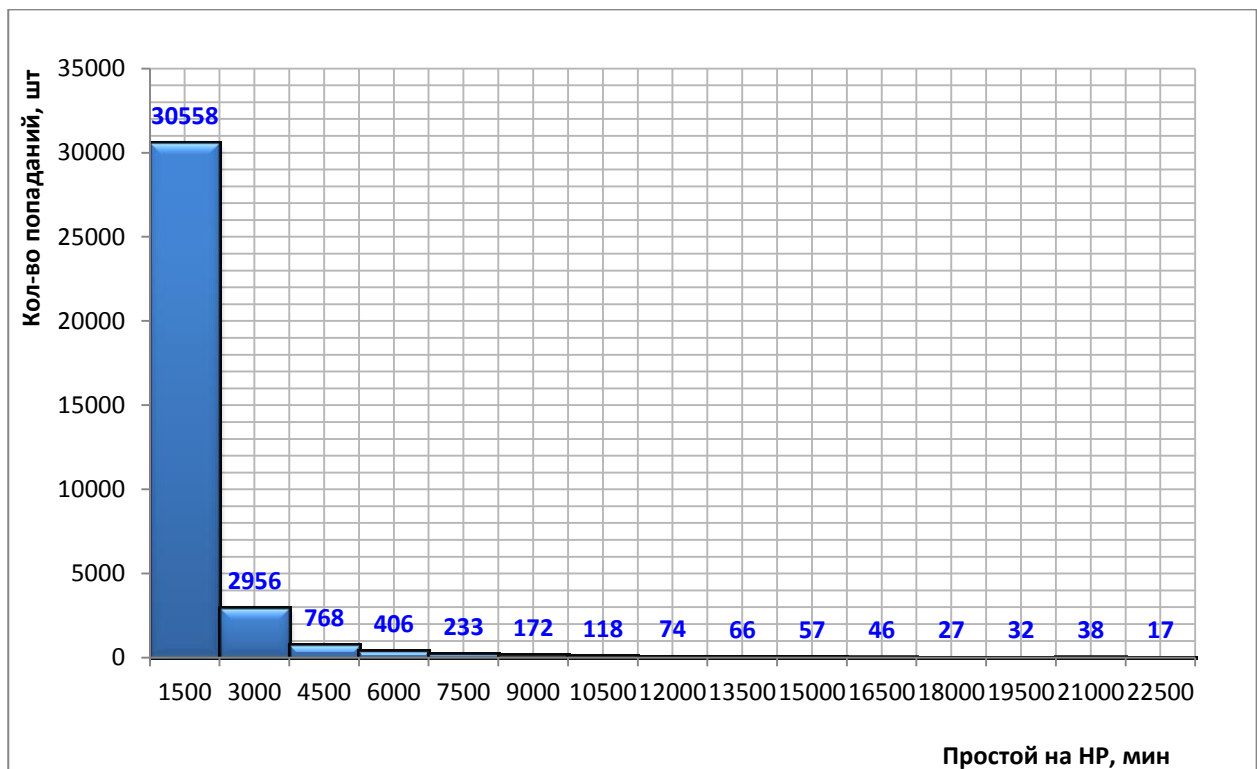
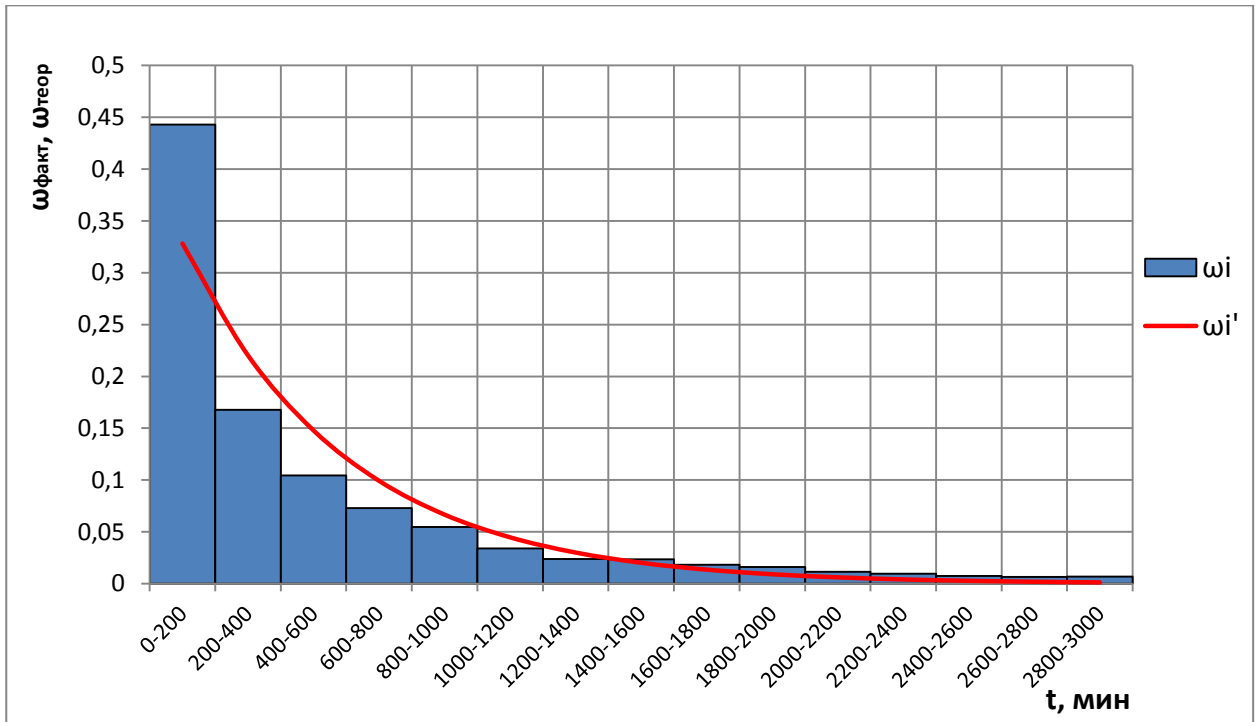


Рисунок 3.4 – Время простоя на неплановых ремонтах тепловозов серии ТЭ10 за 12 месяцев (35568 наблюдений) в диапазоне до 22500 мин.



Проверка по критерию Пирсона на соответствие экспоненциальному закону распределения случайной величины		
Доверительная вероятность	α	0,05
Хи-квадрат фактический	χ^2	4784,3
Хи-квадрат теоретический	$\chi^2_{\text{ТЕОР}}$	22,4
Проверка по критерию Колмогорова-Смирнова на соответствие экспоненциальному закону распределения случайной величины		
Уровень значимости	α	0,20
К-С критерий фактический	$D^{\wedge}_{\text{расч}}$	$3,48 * 10^{-6}$
К-С критерий табличный	$D^{\wedge}_{\text{табл}}=1,07/\sqrt{n}$	$5,85 * 10^{-3}$

Рисунок 3.5 – Время простоя на неплановых ремонтах тепловозов серии ТЭ10в/и за 12 месяцев. Объём выборки 33514 наблюдений (диапазон разбиения до 3000 мин.)

В результате выполненного анализа простоя тепловозов серии ТЭ10 на неплановых ремонтах за 12 месяцев сделан вывод, что объективная ситуация простоя получается в интервале группирования до 2880 минут, что соответствует двум суткам. Более длительно простаивают тепловозы по причине отсутствия запчастей и других форс-мажорных обстоятельств.

Для удобства расчётов вся обработка выполнена в едином интервале простоя до 3000 минут. В таблице 3.4 – 3.5 приведены результаты расчёта представленные на рисунке 3.5.

Таблица 3.4 – Результаты расчёта при проверки по критерию Пирсона на соответствие закону распределения случайной величины

Кол-во интервалов группирования	Ширина интервала группирования		Фактическое число попаданий	Фактическая вероятность	Теоретическое число попаданий	Теоретическая вероятность
	Левый X_i	Правый X_j				
1	0	200	14845	0,442949215	10 998	0,328146935
2	200	400	5621	0,167720952	7 382	0,220251655
3	400	600	3501	0,104463806	4 954	0,14783253
4	600	800	2445	0,072954586	3 325	0,099224939
5	800	1000	1828	0,05454437	2 232	0,066599607
6	1000	1200	1138	0,033955959	1 498	0,044701541
7	1200	1400	798	0,023810945	1 006	0,030003597
8	1400	1600	784	0,023393209	675	0,020138363
9	1600	1800	616	0,018380378	453	0,013516834
10	1800	2000	541	0,016142508	304	0,009072476
11	2000	2200	379	0,011308707	204,081158	0,00608943
12	2200	2400	324	0,009667602	136,9789204	0,004087215
13	2400	2600	250	0,007459569	91,9400146	0,002743332
14	2600	2800	218	0,006504744	61,70997886	0,001841319
15	2800	3000	226	0,00674345	41,41963113	0,00123589

Таблица 3.5 – Результаты расчёта при проверке по критерию Колмогорова-Смирнова на соответствие закону распределения случайной величины

Число интервалов группирования	Ширина интервалов	Частота	Середина	Факт сорт	Факт накопленный	Теор. сорт	Теор. накопл	Разность между факт и теор
1	0-200	14845	100	0,443	0,443	0,326309	0,326309	0,1166
2	200-400	5621	300	0,168	0,611	0,219236	0,546	0,0651
3	400-600	3501	500	0,104	0,715	0,147151	0,693	0,0224
4	600-800	2445	700	0,073	0,788	0,098767	0,791	0,0034
5	800-1000	1828	900	0,055	0,843	0,066293	0,858	0,0151
6	1000-1200	1138	1100	0,034	0,877	0,044495	0,902	0,0257
7	1200-1400	798	1300	0,024	0,900	0,029865	0,932	0,0317
8	1400-1600	784	1500	0,023	0,924	0,020046	0,952	0,0284
9	1600-1800	616	1700	0,018	0,942	0,013455	0,966	0,0234
10	1800-2000	541	1900	0,016	0,958	0,009031	0,975	0,0163
11	2000-2200	379	2100	0,011	0,970	0,006061356	0,981	0,0111
12	2200-2400	324	2300	0,010	0,979	0,004068372	0,985	0,0055
13	2400-2600	250	2500	0,007	0,987	0,002730684	0,988	0,0008
14	2600-2800	218	2700	0,007	0,993	0,00183283	0,989	0,0039
15	2800-3000	226	2900	0,007	1,000	0,001230193	0,991	0,0094

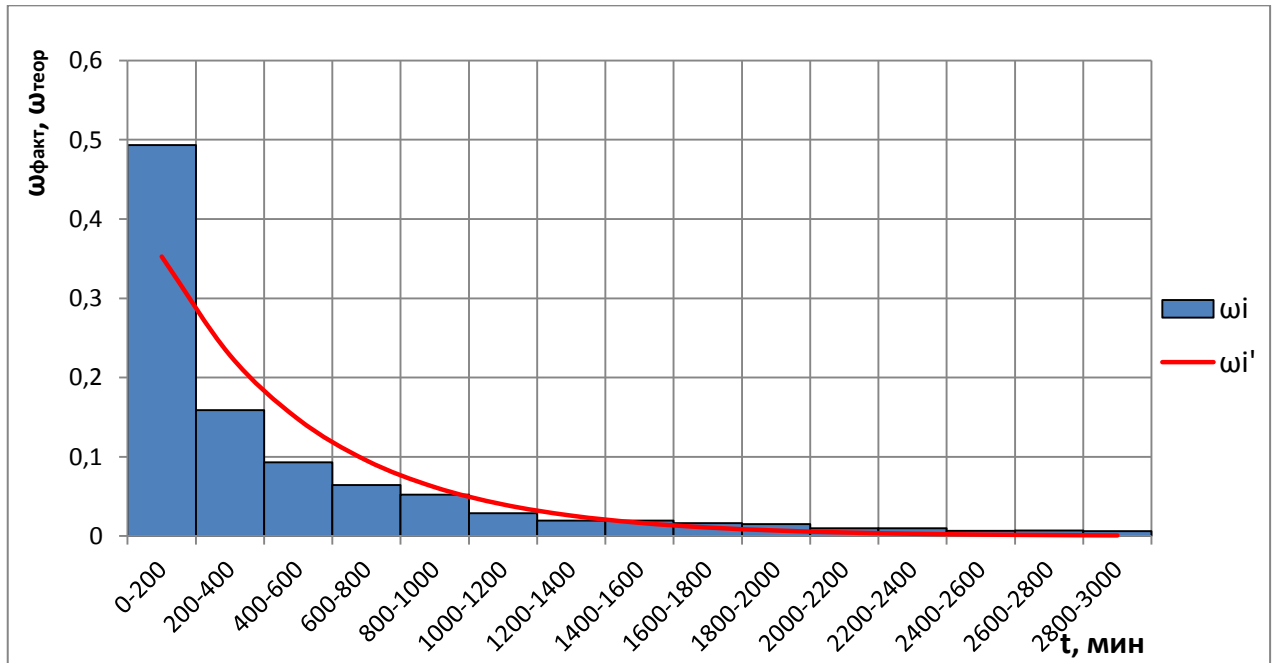
На рисунке 3.6 представлены гистограммы распределения простоя на неплановых ремонтах тепловозов серии ТЭ10 по Дальневосточной и Северной железным дорогам (ж.д.). Аналогичный анализ выполнен по шести железным дорогам, на которых эксплуатируются тепловозы серии ТЭ10. Анализ показал, что время восстановления тепловозов после отказа оборудования подчиняется экспоненциальному закону распределения случайной величины по всем полигонам, кроме полигона Забайкальской ж.д., где существенное искажение распределения связано с привязкой выдачи локомотива к 12-и (смена) и 24-м (сутки, две смены) часам.

Таким образом, получается, что такой фактор, как железная дорога оказывает незначительное влияние на выборку.

На рисунках 3.7 – 3.8 представлены гистограммы распределения случайных величин по двум железным дорогам (Дальневосточная и Московская) с разбиением по депо приписки тепловозов.

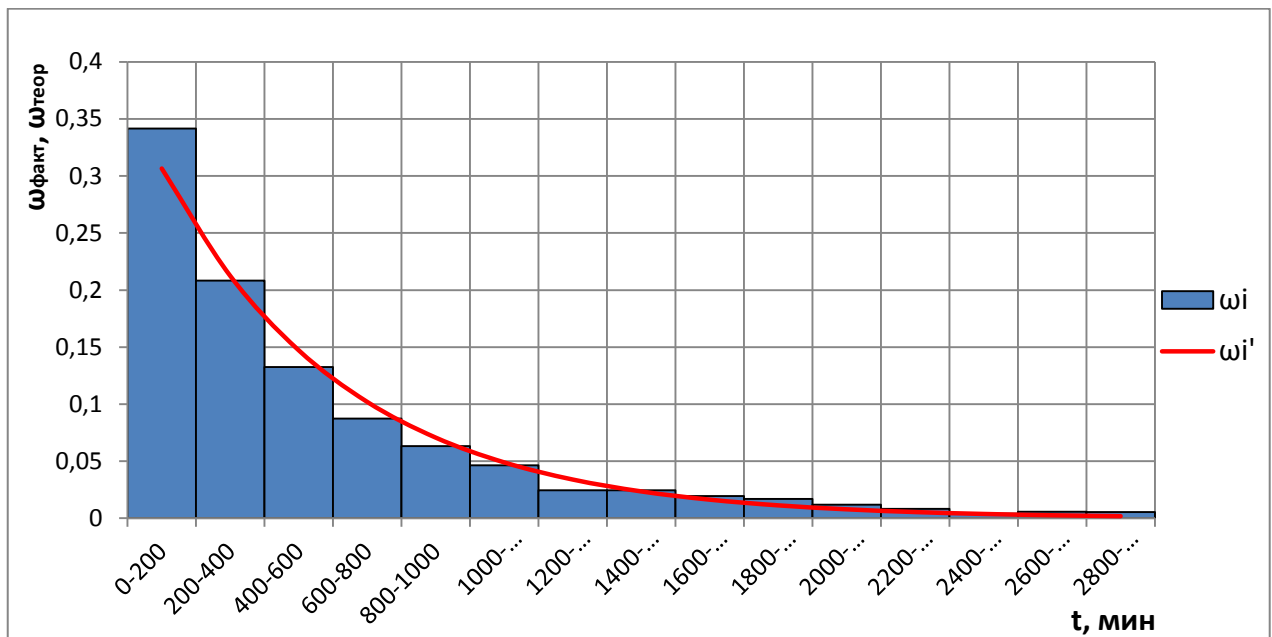
Из рисунка 3.8.а видно, что получилась «гребёнка», в связи с этим влияние на время простоя тепловозов ТЭ10 на НР в ТЧЭ-29 будет рассмотрено со стороны ещё одного фактора - секционности тепловозов (разбиение простоя 2-х и 3-х секционных тепловозов). Из рисунка 3.8 видно, что при разбиении выборки по секционности тепловозов «гребёнка» не исчезла, это означает, что фактор секционности оказывает незначительное влияние на распределение времени простоя на неплановом ремонте. Также из рисунка 3.9 видно, что основные «пики» (высокие столбцы гистограммы) распределения находятся в диапазоне до 800 минут, что соответствует примерно 12 часам и это связано с тем, что сервисное локомотивное депо «Курск» работает с 08:00 до 20:00, т.е. тепловозы заходят на неплановый ремонт в тот временной период, когда СЛД не работает.

В диссертации также выполнена обработка данных для полигона БАМ по тепловозам серий ТЭ10, 2ТЭ25А и ТЭП70: всего по 283-м тепловозам за пять месяцев их эксплуатации (1,23 млн событий).



Проверка на Экспоненциальный закон распределения		
Лямбда	LM	0,002
Хи-квадрат фактический	χ^2	4375,7
Хи-квадрат теоретический	$\chi^2_{\text{ТЕОР}}$	22,4

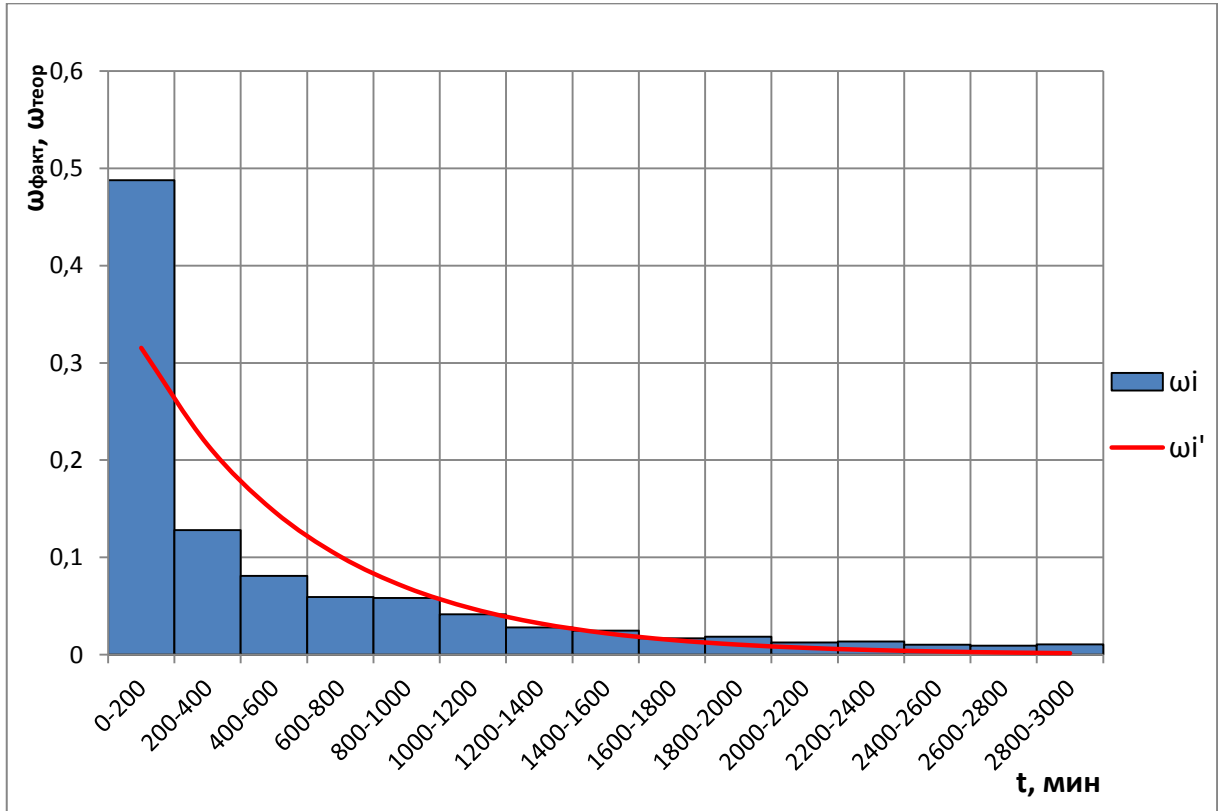
а – Дальневосточная ж.д. (19171 наблюдение)



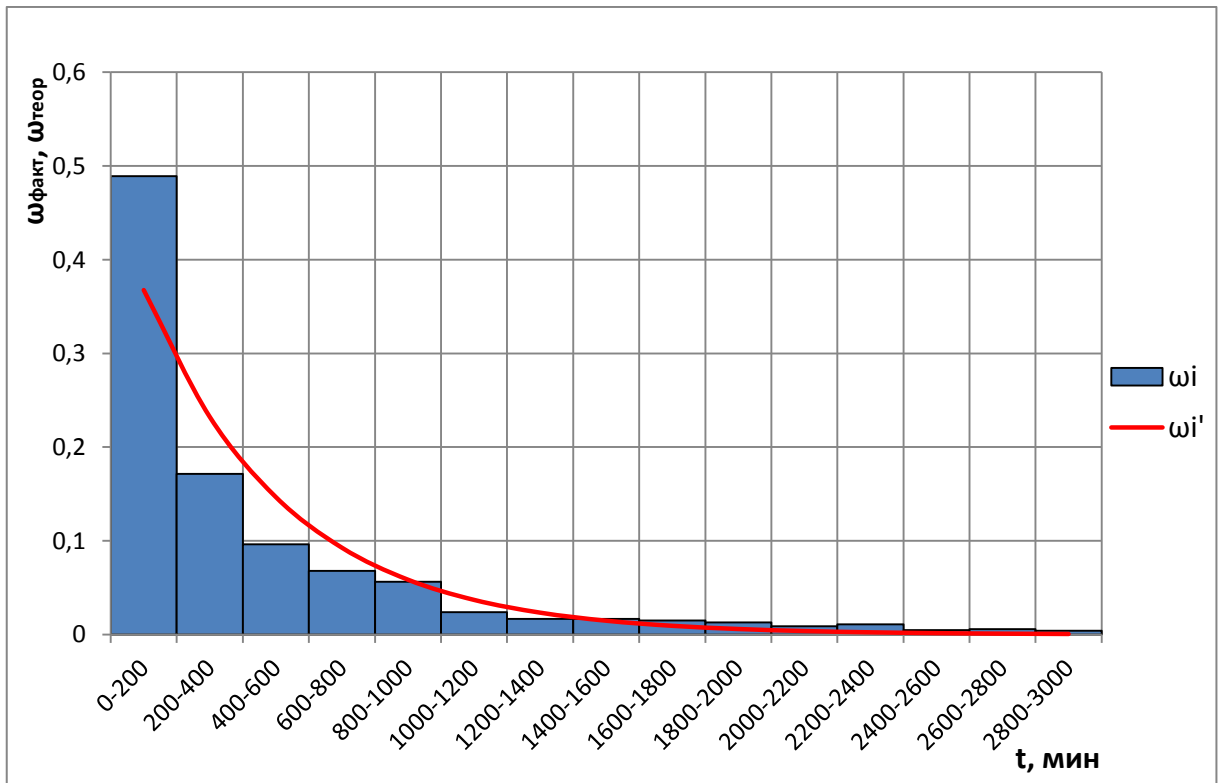
Проверка на Экспоненциальный закон распределения		
Лямбда	LM	0,002
Хи-квадрат фактический	χ^2	224,7
Хи-квадрат теоретический	$\chi^2_{\text{ТЕОР}}$	22,4

б – Северная ж.д. (7805 наблюдений)

Рисунок 3.6 – Время простоя на неплановых ремонтах тепловозов серии ТЭ10 за 12 месяцев с разбивкой по железным дорогам

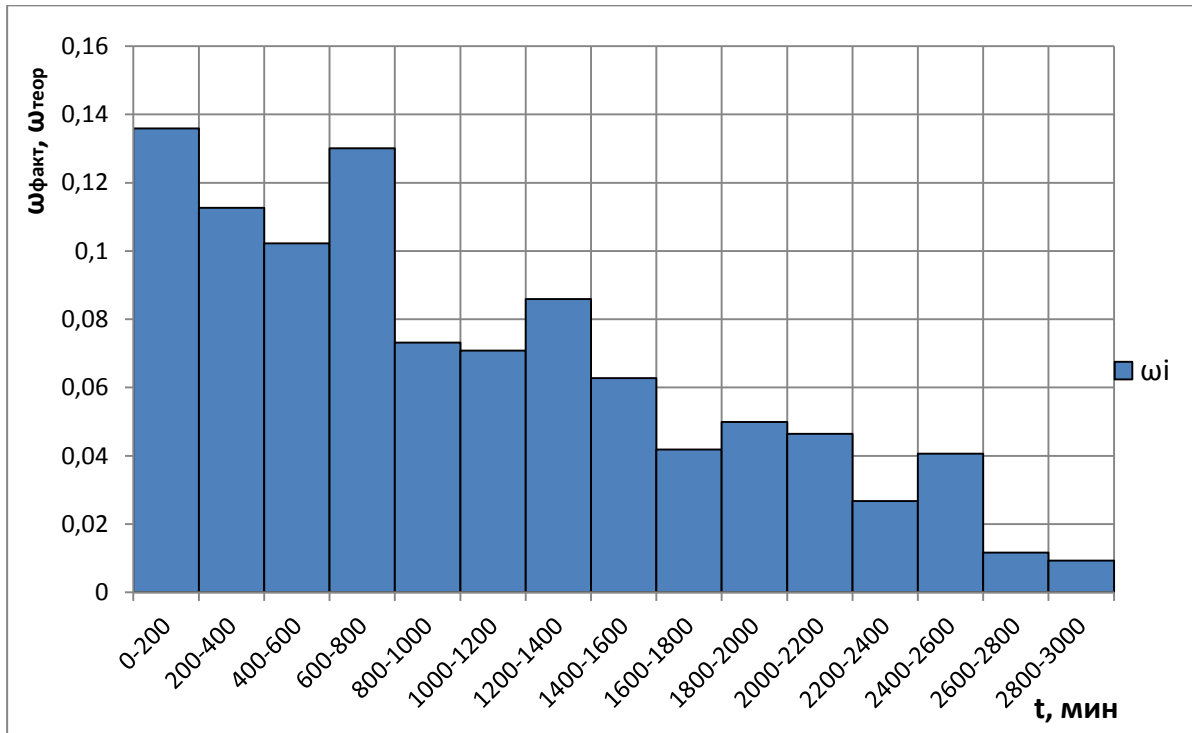


а – ТЧЭ-11 Тында (4831 наблюдение)

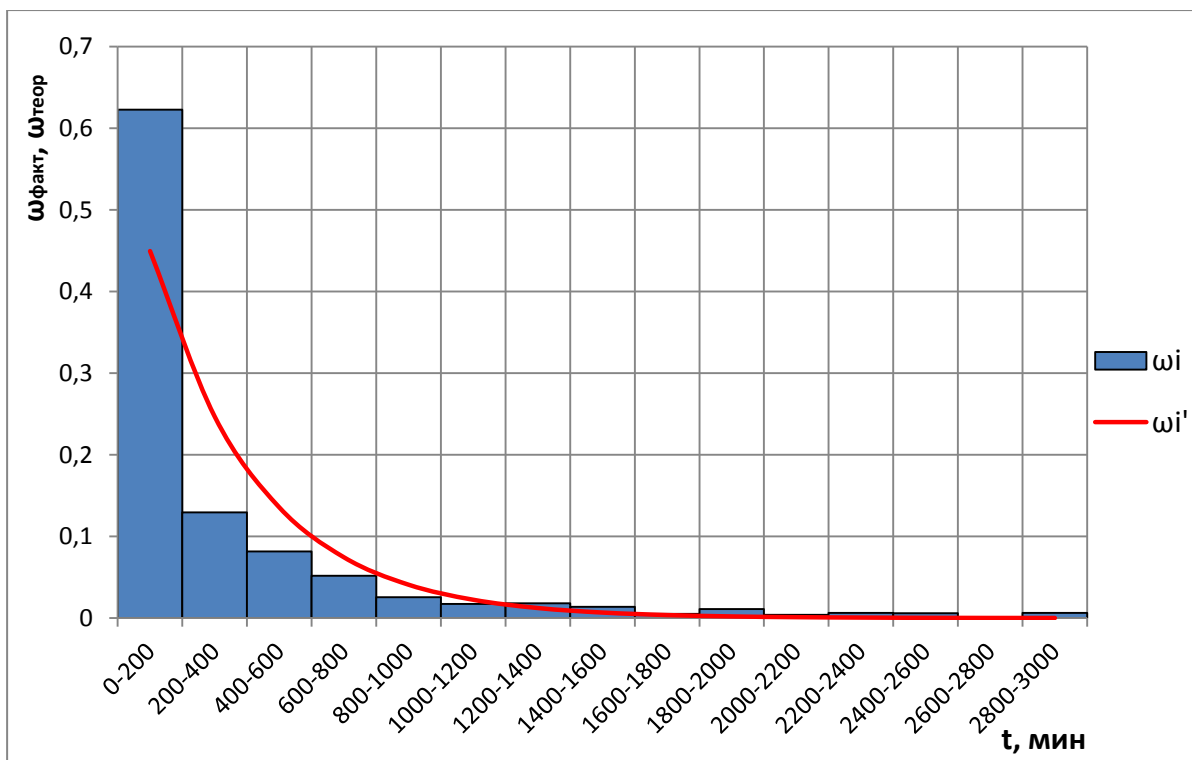


б – ТЧЭ-9 Комсомольск-на-Амуре (9934 наблюдение)

Рисунок 3.7 – Время простоя на неплановых ремонтах тепловозов серии ТЭ10 за 12 месяцев на Дальневосточной ж.д. с разбивкой по депо приписки

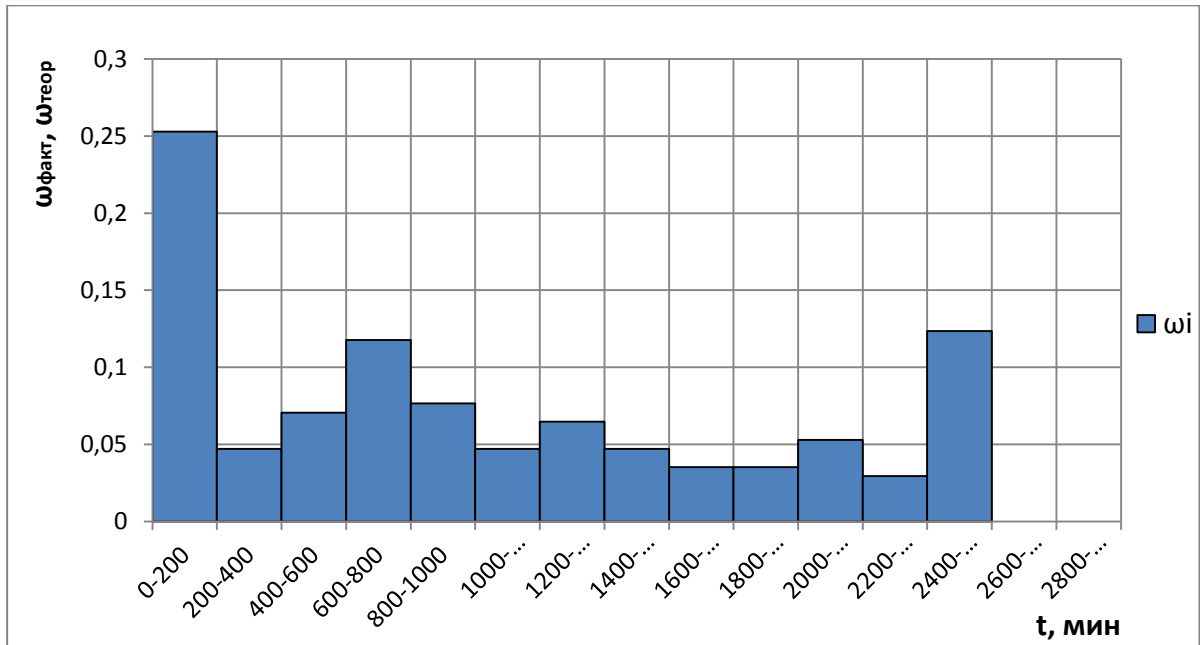


а – ТЧЭ-29 Курск (861 наблюдение)

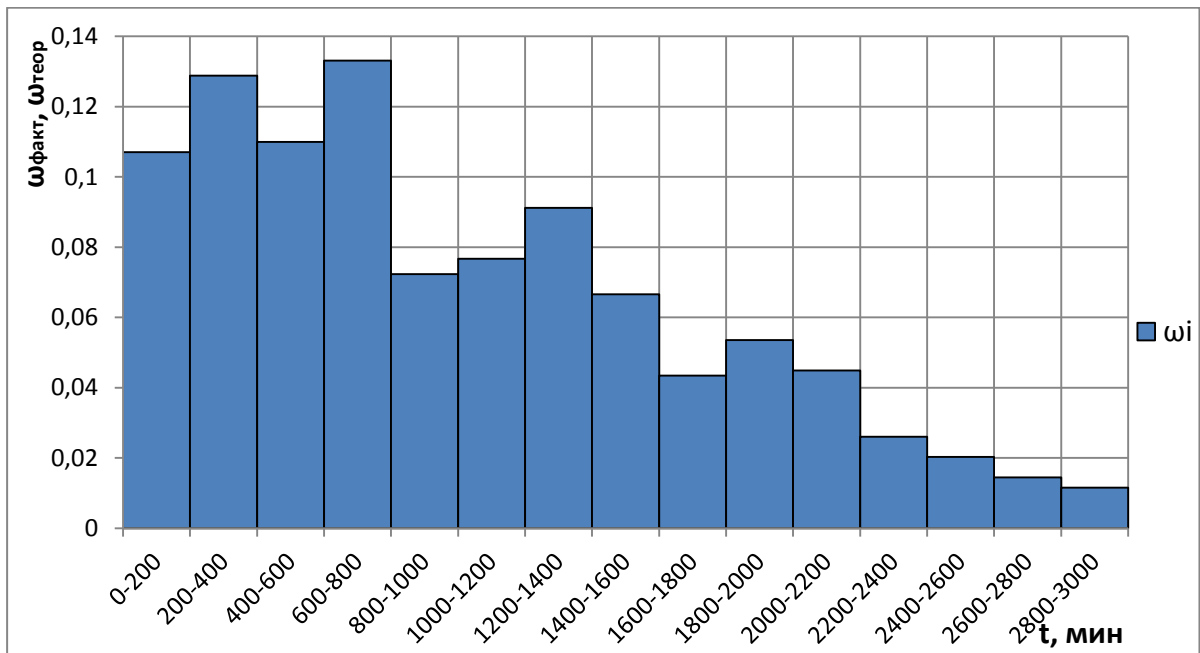


б – ТЧЭ-36 Новомосковск (2405 наблюдений)

Рисунок 3.8 – Время простоя на неплановых ремонтах тепловозов серии ТЭ10 за 12 месяцев на Московской ж.д. с разбивкой по депо приписки



а – 2ТЭ10 (135 наблюдений)



б – 3ТЭ10 (691 наблюдение)

Рисунок 3.9 – *Время простоя на неплановых ремонтах тепловозов серии ТЭ10 за 12 месяцев на Московской ж.д. приписки ТЧЭ-29 с разбивкой по секционности*

На рисунке 3.10 представлено распределение времени нахождения в различных состояниях тепловозов серии ТЭ10 эксплуатирующихся на полигоне БАМ.

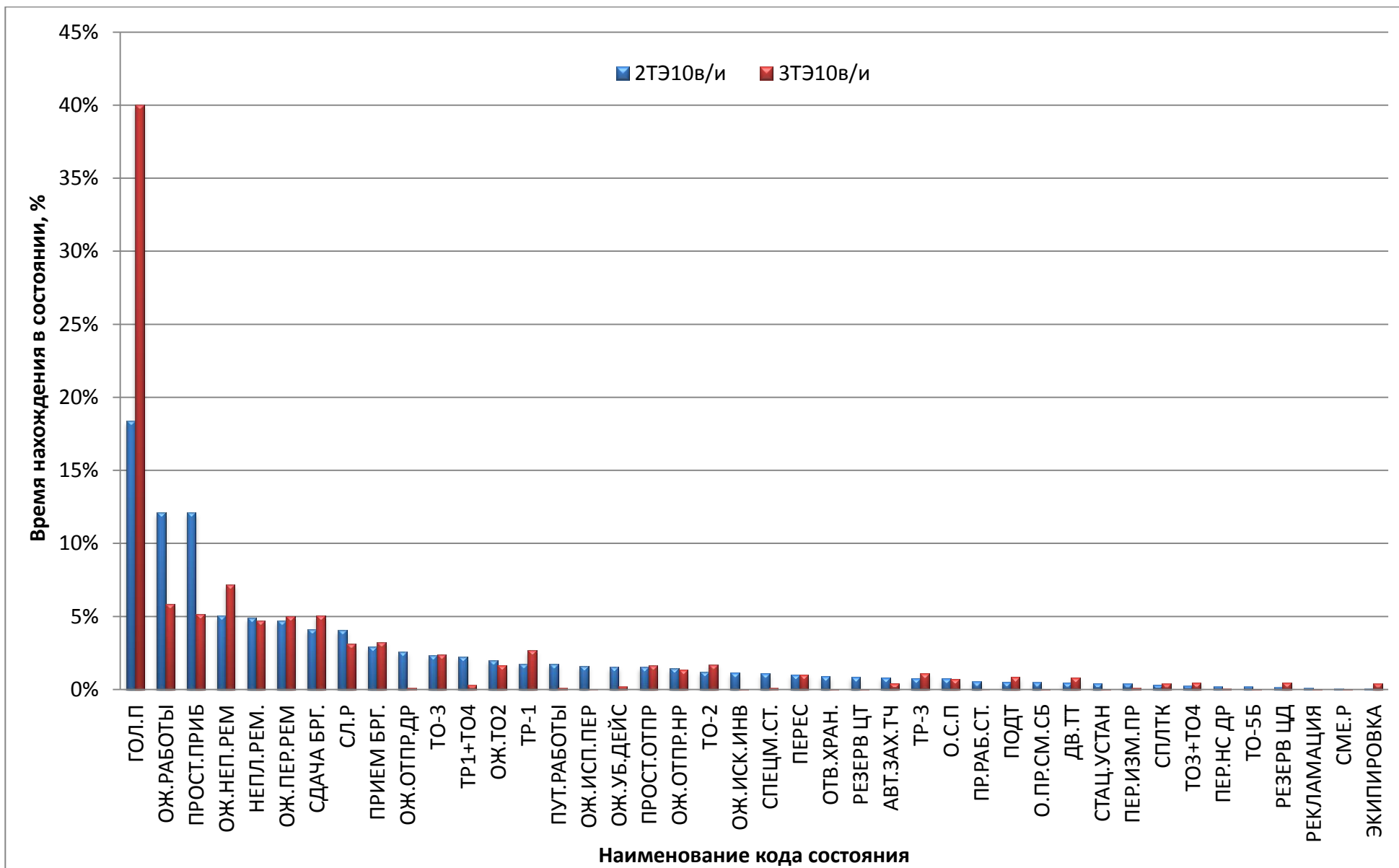


Рисунок 3.10 – Гистограмма распределения времени нахождения в различных эксплуатационных состояниях (согласно классификатору информационной системы АСОУП) тепловозов серии ТЭ10

По полученным гистограммам распределения видно, что тепловозы наибольшую часть времени находятся в эксплуатации (тяга поездов в голове поезда). При этом 2ТЭ10 - 18,38 %, 3ТЭ10 - 40,02 %. Такое распределение объясняется тем, что на БАМ для транзитных тяжеловесных составов используются трехсекционные тепловозы, а двухсекционные тепловозы больше задействованы в пассажирском, вывозном и хозяйственном видах движения. Вывод подтверждается еще и тем, что в состоянии «ОЖ.РАБОТЫ» тепловозы 2ТЭ10 находятся в 2,5 раза дольше, чем тепловозы 3ТЭ10. Полученные результаты представлены в таблице 3.6, из которой видно, что значительные потери у тепловозов 2ТЭ10 имеют место из-за ожидания работы (12,11%), простоя по прибытии (12,09 %), ожидании непланового ремонта (5,05 %), простоя на НР (4,88 %), ожидания передачи в ремонт (4,68 %). Тепловозы серии 2ТЭ10 имеют большой непроизводительный порожний пробег, что связано в основном с их работой в вывозном движении.

Значительные потери у тепловозов 3ТЭ10 имеют место из-за ожидания работы (5,85 %), простоя по прибытии (5,13 %), ожидании непланового ремонта (7,18 %), простоя на НР (4,71 %), ожидания передачи в ремонт (5 %).

Примечание: использованы принятые в АСОУП сокращения наименований состояний локомотива.

На рисунке 3.11 показана гистограмма распределения массы поезда при тяге тепловозами серии ТЭ10 в/и (процент взят от пробега с указанной массой). Очевидно, что масса поезда является мультимодальным распределением: тяга с весовой нормой, тяга вывозных и порожних поездов и порожний пробег.

Таблица 3.6 – Распределение времени нахождения в различных состояниях

Код	Название кода	2ТЭ10в/и	3ТЭ10в/и
1	ГОЛ.П	18,38%	40,02%
105	ОЖ.РАБОТЫ	12,11%	5,85%
102	ПРОСТ.ПРИБ	12,09%	5,13%
532	ОЖ.НЕП.РЕМ	5,05%	7,18%
308	НЕПЛ.РЕМ.	4,88%	4,71%
535	ОЖ.ПЕР.РЕМ	4,68%	5,00%
113	СДАЧА БРГ.	4,09%	5,04%
5	СЛ.Р	4,06%	3,13%
114	ПРИЕМ БРГ.	2,91%	3,24%
528	ОЖ.ОТПР.ДР	2,56%	0,10%
306	ТО-3	2,32%	2,39%
309	ТР1+ТО4	2,21%	0,30%
106	ОЖ.ТО2	2,00%	1,64%
305	ТР-1	1,77%	2,67%
86	ПУТ.РАБОТЫ	1,74%	0,10%
633	ОЖ.ИСП.ПЕР	1,61%	0,04%
637	ОЖ.УБ.ДЕЙС	1,54%	0,19%
103	ПРОСТ.ОТПР	1,52%	1,65%
543	ОЖ.ОТПР.НР	1,42%	1,34%
107	ТО-2	1,22%	1,71%
526	ОЖ.ИСК.ИНВ	1,13%	0,00%
90	СПЕЦМ.СТ.	1,09%	0,10%
3	ПЕРЕС	1,01%	1,02%
536	ОТВ.ХРАН.	0,90%	0,00%
640	РЕЗЕРВ ЦТ	0,85%	0,00%
112	АВТ.ЗАХ.ТЧ	0,79%	0,41%
303	ТР-3	0,74%	1,07%
7	О.С.П	0,74%	0,70%
97	ПР.РАБ.СТ.	0,53%	0,03%
6	ПОДТ	0,51%	0,85%
632	О.ПР.СМ.СБ	0,50%	0,01%
2	ДВ.ТТ	0,47%	0,79%
636	СТАЦ.УСТАН	0,44%	0,03%
635	ПЕР.ИЗМ.ПР	0,38%	0,11%
4	СПЛТК	0,32%	0,41%
312	ТО3+ТО4	0,25%	0,47%
525	ПЕР.НС ДР	0,19%	0,07%
522	ТО-5Б	0,19%	0,01%
117	РЕЗЕРВ ЦД	0,17%	0,48%
801	РЕКЛАМАЦИЯ	0,11%	0,01%
8	СМЕ.Р	0,07%	0,02%
108	ЭКИПИРОВКА	0,05%	0,40%

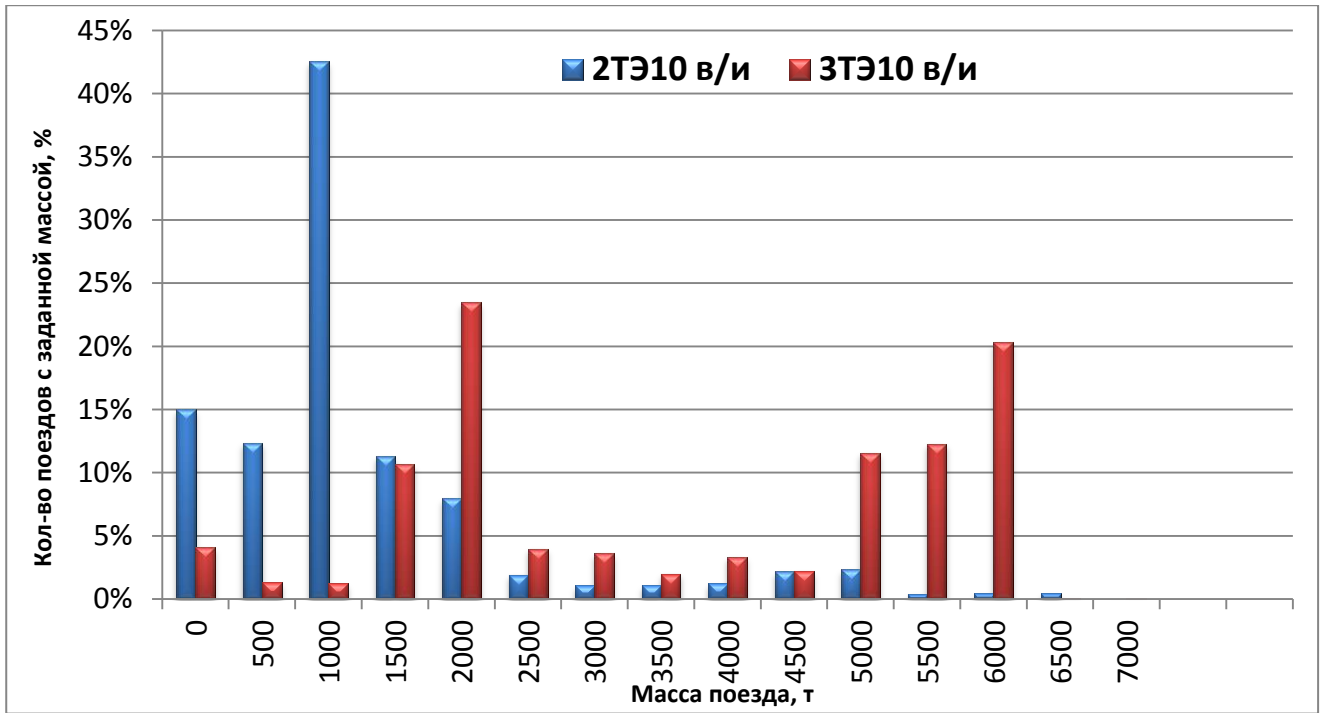


Рисунок 3.11 – Гистограмма распределения массы поезда при тяге тепловозами ТЭ10в/и на БАМ

На рисунке 3.12 приведена гистограмма распределения времени нахождения в различных эксплуатационных состояниях тепловозов серии 2ТЭ25А эксплуатирующихся на полигоне БАМ. Из представленной диаграммы видно, что наибольшую часть времени (53 %) тепловозы находятся в эксплуатации.

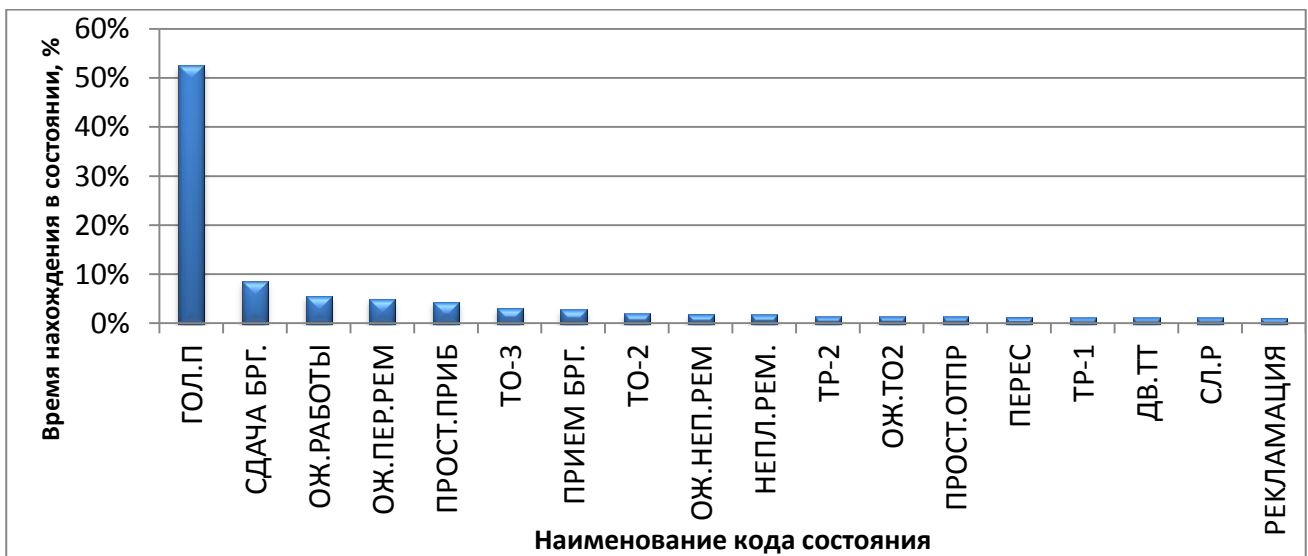


Рисунок 3.12 – Гистограмма распределения времени нахождения в различных эксплуатационных состояниях (согласно классификатору информационной системы АСОУП) тепловозов серии 2ТЭ25А «Витязь»

Из таблицы 3.7 видно, что значительные потери имеют места из-за сдачи локомотивной бригадой (9 %), ожидания работы (25 %), ожидания перемещения в ремонт (5 %), простой по прибытию (4 %), техническое обслуживание ТО-3(ТО-15) (3 %) и др.

Таблица 3.7 – Распределение времени тепловозов 2ТЭ25А по состояниям (согласно классификатору информационной системы АСОУП)

Код	Наименование состояния	Время, %
1	ГОЛ.П	53%
113	СДАЧА БРГ.	9%
105	ОЖ.РАБОТЫ	5%
535	ОЖ.ПЕР.РЕМ	5%
102	ПРОСТ.ПРИБ	4%
306	ТО-3	3%
114	ПРИЕМ БРГ.	3%
107	ТО-2	2%
532	ОЖ.НЕП.РЕМ	2%
308	НЕПЦ.РЕМ.	2%
304	ТР-2	1%
106	ОЖ.ТО2	1%
103	ПРОСТ.ОТПР	1%
3	ПЕРЕС	1%
305	ТР-1	1%
2	ДВ.ТТ	1%
5	СЛ.Р	1%
801	РЕКЛАМАЦИЯ	1%

На рисунке 3.13 показана гистограмма распределения массы поезда при тяге тепловозами серии 2ТЭ25А «Витязь» (процент взят от пробега с указанной массой). Очевидно, что масса поезда является бимодальным распределением: тяга с весовой нормой, составляющей для тепловозов 2ТЭ25А эксплуатирующихся на БАМ 5600 - 6200 тонн и порожний пробег.

Таким образом, масса грузового поезда не является унимодальной.

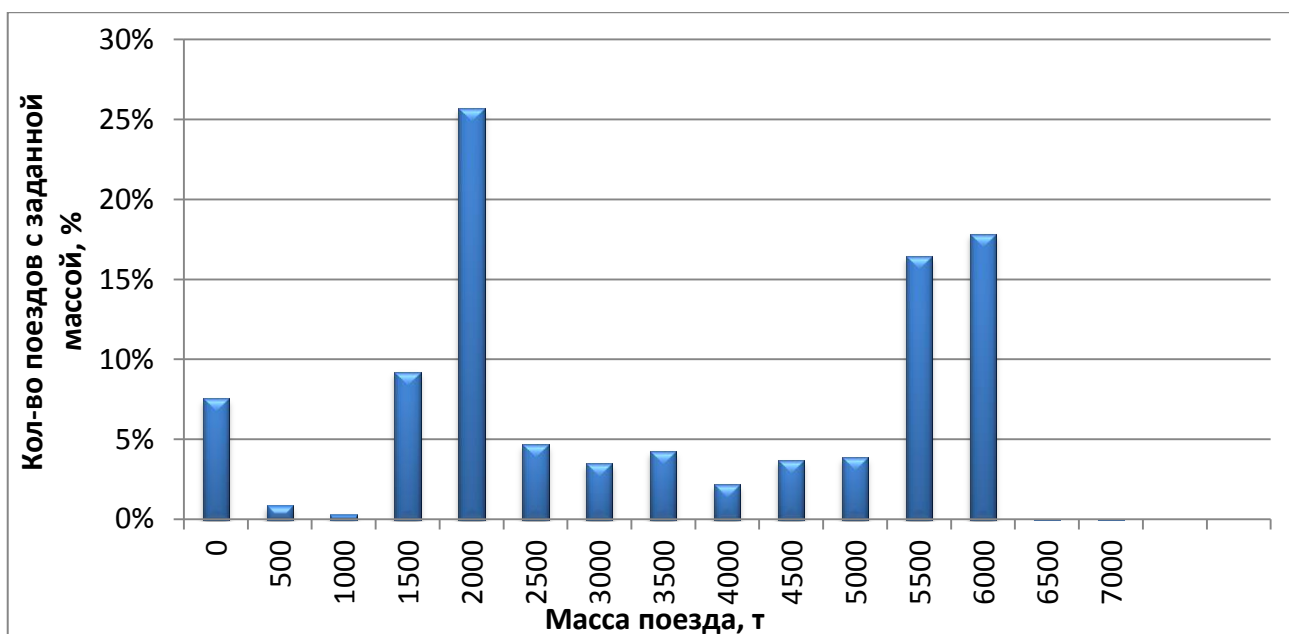


Рисунок 3.13 – Гистограмма распределения массы поезда при тяге тепловозами 2ТЭ25А на БАМ

На рисунке 3.14 приведена гистограмма распределения времени нахождения в различных эксплуатационных состояниях (согласно классификатору информационной системы АСОУП) тепловозов серии ТЭП70, эксплуатирующихся на полигоне БАМ. Из представленной гистограммы видно, что наибольшую часть времени (24,3 %) тепловозы находятся в эксплуатационном состоянии «Тяга в голове поезда».



Рисунок 3.14 – Гистограмма распределения времени нахождения в различных состояниях (согласно классификатору информационной системы АСОУП) тепловозов серии ТЭП70в/и

Из таблицы 3.8 видно, что значительные потери из-за ожидания непланового ремонта (17,9 %), сдачи тепловоза локомотивной бригадой (12,5 %), ожидания работы (7,7 %), простой на НР (8,4 %), техническое обслуживание ТО-3 (5 %), текущий ремонт ТР-1 (3,7 %).

Таблица 3.8 – Распределение времени тепловозов ТЭП70 по состояниям (согласно классификатору информационной системы АСОУП)

Код	Наименование состояния	Время, %
1	ГОЛ.П	24%
532	ОЖ.НЕП.РЕМ	18%
113	СДАЧА БРГ.	12%
308	НЕПЛ.РЕМ.	8%
105	ОЖ.РАБОТЫ	8%
306	ТО-3	5%
535	ОЖ.ПЕР.РЕМ	4%
305	ТР-1	4%
102	ПРОСТ.ПРИБ	3%
304	ТР-2	2%
107	ТО-2	2%
106	ОЖ.ТО2	2%
524	ПЕР.НС ЗР	1%
114	ПРИЕМ БРГ.	1%
5	СЛ.Р	1%
103	ПРОСТ.ОТПР	1%
3	ПЕРЕС	1%

На рисунке 3.14 показана гистограмма распределения массы поезда пассажирских тепловозов серии ТЭП70 (процент взят от пробега с указанной массой). Таким образом, масса пассажирского поезда является унимодальным распределением.

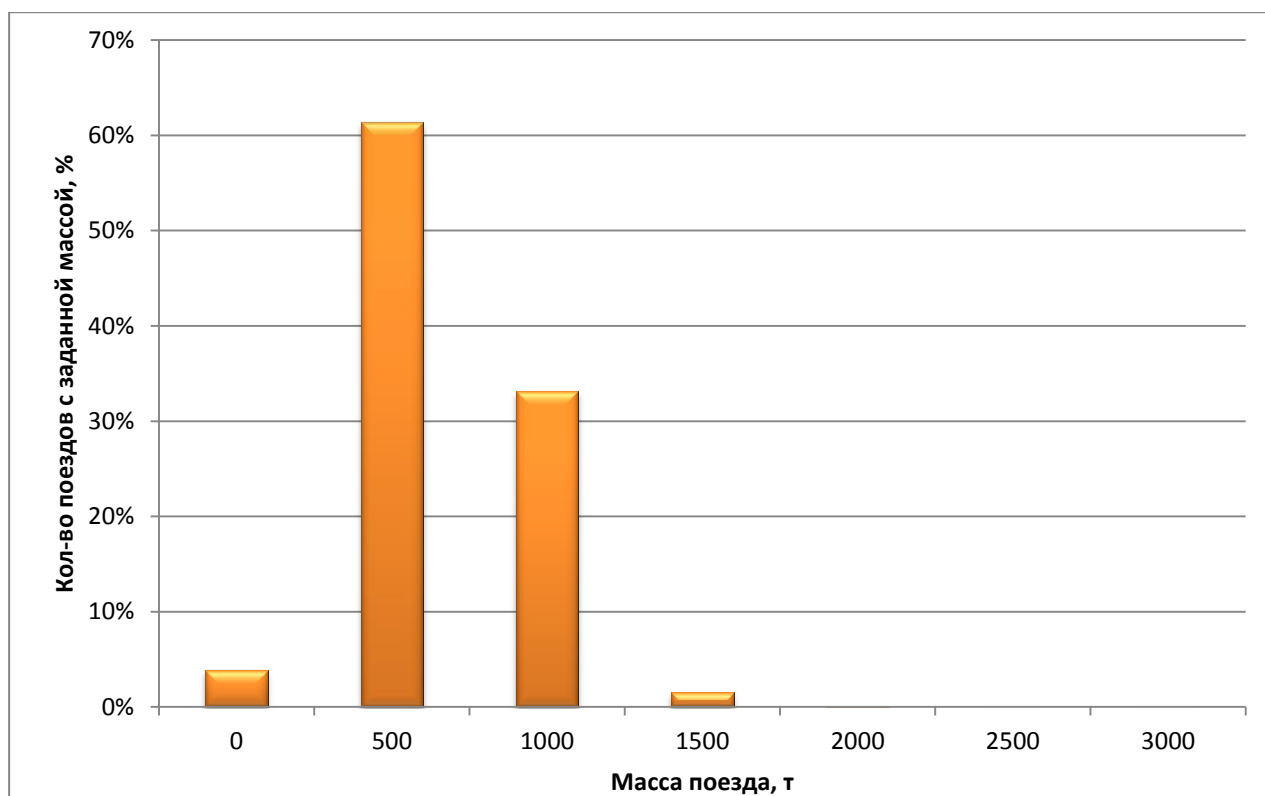


Рисунок 3.14 – Гистограмма распределения массы поезда при тяге тепловозами серии ТЭП70 на БАМ

3.3.3 Корреляционный анализ

В диссертации выполнен корреляционный анализ взаимного влияния эксплуатационных и технических параметров тепловозов.

Корреляционный анализ характеризуется коэффициентом корреляции r_{yx} , который определяет силу влияния случайной величины x на значение случайной величины y . Коэффициент корреляции принимает значения из диапазона $-1 \leq r_{yx} \leq 1$ и определяется как [8, 13, 30, 57, 58]:

$$r_{yx} = \frac{\alpha_{11}(y, x) - m_y m_x}{\sigma_y \sigma_x}, \quad (3.13)$$

где $\alpha_{1,1}(y, x)$ – второй смешанный начальный момент, характеризующий математическое ожидание попарного произведения случайных величин x_i и y_i , составляющих выборки исходных данных объёма N [8, 13, 30, 57, 58]:

$$\alpha_{11}(y, x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \cdot x_i. \quad (3.14)$$

Сила корреляционной связи между величинами определяется по величине коэффициента корреляции. Сила связи не зависит от ее направленности и определяется по абсолютному значению коэффициента корреляции.

В технике принята следующая классификация корреляционных связей:

$|r_{yx}| > 0,70$ – сильная корреляционная связь; $0,50 < |r_{yx}| < 0,69$ – средняя корреляционная связь; $0,30 < |r_{yx}| < 0,49$ – умеренная корреляционная связь; $0,20 < |r_{yx}| < 0,29$ – слабая корреляционная связь; $|r_{yx}| < 0,19$ – очень слабая корреляционная связь.

По тепловозам серии 2ТЭ10 (70 тепловозов), 3ТЭ10 (142 тепловоза), 2ТЭ25А (44 тепловоза), ТЭП70 (27 тепловозов), эксплуатирующихся на полигоне БАМ, по специально разработанной на VBA программе выполнен расчёт эксплуатационных показателей. Пример таблицы с обработанными исходными данными представлен на рисунке 3.15.

Для повышения точности анализа из обработанных таблиц исключены данные для длительно простаивающих локомотивов. В результате осталось 55 тепловозов 2ТЭ10, 107 тепловозов 3ТЭ10, 43 тепловоза 2ТЭ25А, 23 тепловоза ТЭП70. Результаты анализа приведены в таблице 3.9.

№ п/п	Локомотив	Общее время в АСОУП, мин	Время работы, (kd=1), мин.	Рабочий пробег, км	Начало наблюдения, дата	Конец наблюдения, дата	Время наблюдения, дни	Работа, т*км	Удельная работа т*км / мин.общ	Удельная работа т*км / мин.раб.	Удельная работа т*км / км	НР, шт.	Ожидание НР, мин.	НР, мин.	Исправное	Обслуживание	Гарантийный ремонт/Обслуживание непредвиденное	Административные издержки	Гарантийный ремонт	Отсутствует	Не учитывается	КТГ
1	3ТЭ10М №6	311307	180 083	67 720	08.06.2015 14:38	10.01.2016 18:46	216	11168776	36	62	165	14	6782	12 292	265 467	20 363	19 074	-	-	-	1 820	0,578
2	3ТЭ10М №11	311012	174 614	67 318	08.06.2015 17:00	10.01.2016 18:01	216	10641593	34	61	158	15	3584	8 105	260 544	32 818	11 689	-	37	-	2 379	0,561
3	3ТЭ10М №11А/11Б	148	-	-	10.09.2015 10:35	10.09.2015 12:50	0	0	-	-	-	-	0	-	148	-	-	-	-	-	-	-
4	3ТЭ10М №17	311462	203 303	75 505	08.06.2015 17:43	11.01.2016 0:30	216	12689789	41	62	168	10	1247	1 316	282 152	21 439	2 563	-	-	-	2 103	0,653
5	3ТЭ10М №29	311174	180 676	68 170	08.06.2015 16:43	10.01.2016 18:05	216	11422143	37	63	168	11	1826	4 231	272 654	27 935	6 057	-	-	-	3 382	0,581
6	3ТЭ10М №15А	565821	297 036	132 556	08.06.2015 17:38	10.01.2016 22:10	216	18123756	32	61	137	16	3656	9 080	496 127	50 572	12 736	-	-	-	3 322	0,525
7	3ТЭ10М №15А/15Б	28401	9 443	4 592	15.09.2015 11:20	05.10.2015 1:46	20	735732	26	78	160	-	0	-	19 167	9 234	-	-	-	-	0,332	
8	3ТЭ10М №15Б	28404	-	-	15.09.2015 11:17	05.10.2015 1:44	20	0	-	-	-	-	0	-	181	28 223	-	-	-	-	-	
9	3ТЭ10М №1105	607013	253 922	118 798	08.06.2015 14:25	10.01.2016 19:24	216	18664682	31	74	157	64	32658	43 926	441 842	82 829	76 564	-	-	-	3 102	0,418
10	3ТЭ10М №1105А/1105Б	7834	2 123	712	06.08.2015 22:51	24.08.2015 4:30	17	205253	26	97	288	2	2337	187	5 179	131	2 524	-	-	-	-	0,271
11	3ТЭ10М №1105В	7837	-	-	06.08.2015 22:49	24.08.2015 4:58	17	0	-	-	-	2	2542	5 284	11	-	7 826	-	-	-	-	-
12	3ТЭ10М №13А7	313815	62 543	15 461	08.06.2015 17:15	09.12.2015 17:56	184	3463620	11	55	224	4	5198	103 966	128 084	61 695	109 164	-	-	-	13 986	0,199
13	3ТЭ10М №1438	187454	32 130	18 004	19.06.2015 4:10	24.08.2015 6:28	66	2677750	14	83	149	12	2498	17 740	86 400	16 660	20 238	19 912	-	-	36 942	0,171
14	3ТЭ10М №1438А/1438Б	204969	52 186	28 550	21.07.2015 17:15	13.12.2015 16:26	145	3839390	19	74	134	6	8483	6 169	108 244	33 691	14 652	-	-	-	44 655	0,255
15	3ТЭ10М №1438А	62	-	-	24.08.2015 16:32	24.08.2015 16:51	0	0	-	-	-	-	0	-	19	43	-	-	-	-	-	-
16	3ТЭ10М №1438Б	205035	-	-	21.07.2015 17:11	13.12.2015 16:31	145	0	-	-	-	1	86411	209	214	40 344	86 620	-	31 180	-	43 139	-
17	3ТЭ10У №16	311073	156 937	70 361	08.06.2015 17:48	10.01.2016 18:17	216	10219867	33	65	145	13	1181	3 845	258 425	37 496	5 026	1 180	3 619	-	1 954	0,505
18	3ТЭ10УК №3	311369	113 140	51 796	08.06.2015 16:31	10.01.2016 21:44	216	7510505	24	66	145	14	1631	7 385	195 772	99 862	9 016	-	-	-	2 010	0,363
19	3ТЭ10УК №4	311235	145 893	52 229	08.06.2015 17:25	10.01.2016 20:33	216	8931244	29	61	171	7	5568	3 252	266 989	23 727	8 820	-	-	-	1 975	0,469
20	3ТЭ10УК №7	12463	2 824	1 200	12.06.2015 19:54	17.06.2015 2:54	4	259916	21	92	217	2	3122	728	8 510	103	3 850	-	-	-	-	0,227
21	3ТЭ10УК №39А/39Б	450598	34 958	13 546	17.06.2015 3:46	28.09.2015 13:20	103	2092276	5	60	154	6	337756	2 930	107 744	2 113	340 686	-	-	-	55	0,078
22	3ТЭ10УК №7А/7Б/39Б	147941	54 425	24 985	17.06.2015 3:47	27.09.2015 20:55	103	3581032	24	66	143	8	7467	3 784	96 726	38 641	11 251	-	-	-	237	0,368
23	3ТЭ10УК №7А/7Б	153722	37 111	14 791	27.09.2015 21:28	11.01.2016 10:50	106	1768892	12	48	120	3	0	6 260	120 325	7 273	6 260	-	-	-	19 864	0,241
24	3ТЭ10УК №7Б	4	-	-	17.06.2015 3:45	17.06.2015 3:45	-	0	-	-	-	-	0	-	4	-	-	-	-	-	-	-
25	3ТЭ10УК №9	311159	178 658	66 463	08.06.2015 17:59	10.01.2016 19:53	216	10725720	34	60	161	18	3465	6 427	257 369	37 507	9 892	-	-	-	1 583	0,574
26	3ТЭ10УК №11	268018	123 583	47 367	08.06.2015 17:11	10.01.2016 18:43	216	7127082	27	58	150	18	8328	7 799	191 417	32 771	16 127	-	-	-	2 860	0,461
27	3ТЭ10УК №11А	58	-	-	29.06.2015 10:10	29.06.2015 10:10	-	0	-	-	-	-	0	-	58	-	-	-	-	-	-	-
28	3ТЭ10УК №11А/11Б	43156	-	-	29.06.2015 11:08	29.07.2015 7:07	30	0	-	-	-	1	18178	24 780	198	-	42 958	-	-	-	-	-
29	3ТЭ10УК №12	311383	128 522	56 663	08.06.2015 13:01	10.01.2016 18:19	216	7287770	23	57	129	12	8468	5 821	246 745	46 476	14 289	28	-	-	1 421	0,413
30	3ТЭ10УК №17	312287	105 434	47 453	08.06.2015 16:30	11.01.2016 8:11	217	8713069	28	83	184	20	31529	12 609	204 969	58 811	44 138	955	-	-	1 851	0,338
31	3ТЭ10УК №19	311072	148 584	66 337	08.06.2015 17:44	10.01.2016 18:10	216	8995862	29	61	136	14	4948	5 378	263 857	31 256	10 326	38	-	-	2 118	0,478
32	3ТЭ10УК №28	268648	144 967	54 196	08.06.2015 16:45	14.06.2015 3:20	5	8375859	31	58	155	23	7877	8 446	214 399	32 647	16 323	204	-	-	2 123	0,540
33	3ТЭ10УК №40	308989	160 721	59 478	14.06.2015 3:20	10.01.2016 18:19	211	9362344	30	58	157	14	883	4 949	265 689	29 090	5 832	-	-	-	8 081	0,520
34	3ТЭ10УК №28А	42515	-	-	19.11.2015 1:20	18.12.2015 12:45	29	0	-	-	-	-	0	-	186	42 329	-	-	-	-	-	-
35	3ТЭ10УК №30	307820	133 093	47 674	08.06.2015 17:10	10.01.2016 21:42	216	8058917	26	61	169	33	8128	15 005	211 717	55 188	23 133	734	-	-	3 784	0,432
36	3ТЭ10УК №30А/30Б	3495	696	239	28.08.2015 6:50	30.08.2015 5:50	2	40889	12	59	171	-	29	-	2 791	-	29	-	-	-	-	0,199
37	3ТЭ10УК №35	311122	177 222	69 529	08.06.2015 16:43	10.01.2016 18:02	216	10819279	35	61	156	13	6662	18 591	258 944	19 594	25 253	582	-	-	2 555	0,570
38	3ТЭ10УК №36	310406	144 262	54 526	08.06.2015 9:20	10.01.2016 18:41	216	8851936	29	61	162	20	13010	22 349	231 382	30 666	35 359	-	-	-	1 604	0,465
39	3ТЭ10УК №36А/36Б	1212	633	578	30.06.2015 19:17	01.07.2015 14:30	1	48660	40	77	84	-	0	-	1 212	-	-	-	-	-	-	0,522

Рисунок 3.15 – Скриншот таблицы VBA MS Excel с обработанными данными

Таблица 3.9 – Значения коэффициента корреляции показателей надежности и эксплуатации по данным информационных систем ОАО «РЖД»

Сравниваемые параметры	Коэффициент корреляции			
	2ТЭ10	3ТЭ10	2ТЭ25А	ТЭП70
Общее время и рабочее время	0,254	0,875	0,978	0,141
Общее время и рабочий пробег	0,163	0,871	0,977	0,135
Рабочее время и рабочий пробег	0,928	0,984	0,9997	0,99854
Рабочее время и работа т*км	0,916	0,974	0,993	0,957
Рабочее время и удельная работа т*км/мин. раб.	0,507	-0,113	0,029	-0,01
Рабочее время и удельная работа т*км/км	0,045	-0,177	0,052	-0,042
Рабочее время и число НР	0,288	0,712	0,247	0,311
Рабочее время и простой в ожидании НР	-0,292	-0,077	-0,031	-0,564
Рабочее время и простой на НР	-0,311	0,327	0,171	-0,245
Рабочее время и время обслуживания	-0,002	0,535	0,701	-0,155
Рабочее время и время админ.издержек	-0,127	-0,044	0,132	-0,063
Рабочее время и гарантийный ремонт	0,023	0,028	0,048	-0,627
Рабочее время и КТГ	0,98993	0,556	-0,069	0,997
Рабочий пробег и работа т*км	0,9255	0,9903	0,9955	0,9695
Число НР и время работы	0,288	0,712	0,247	0,311
Число НР и пробег	0,333	0,726	0,245	0,298
Число НР и работа	0,250	0,741	0,277	0,318
Число НР и удельная работа на т*км/мин. раб.	0,165	0,021	0,077	0,098
Число НР и удельная работа на т*км/км	-0,121	-0,110	0,095	0,107
Число НР и время НР	0,054	0,502	0,904	0,286
Число НР и время НР с ожиданием НР	0,016	0,181	0,599	0,149
Число НР и ожидание НР	-0,023	0,025	0,278	0,01
Число НР и время обслуживания	-0,107	0,528	0,649	-0,416
Число НР и гарантийный ремонт	0,221	-0,002	0,599	0,149
КТГ и число НР	0,305	0,266	-0,481	0,334
КТГ и время НР	-0,310	-0,025	-0,448	-0,229
КТГ и время ожидания НР	-0,287	-0,373	-0,701	-0,575
КТГ и время обслуживания	-0,011	0,048	-0,394	-0,155
КТГ и админ.издержки	-0,125	-0,158	-0,099	0,042
КТГ и пробег	0,919	0,525	-0,067	0,996
КТГ и работа	0,896	0,533	-0,072	0,953
Интенсивность НР и Работа	-0,357	-0,138	-0,027	-0,495
Интенсивность НР и удельная Работа	-0,241	0,255	-0,082	0,197
Интенсивность НР и пробег	-0,328	-0,155	-0,05	-0,551
Интенсивность НР и КТГ	-0,403	-0,198	-0,498	-0,548
Средняя скорость локомотива в голове поезда, км/ч	18,4	17,8	17,6	23,9

В таблице 3.10 представлены результаты корреляционного анализа работы дизель-генераторной установки (ДГУ) по данным аппаратно-программных комплексов тепловозов 3ТЭ10МК эксплуатирующихся на полигоне БАМ по 15 3-х секционным тепловозам за 461 час эксплуатации [23, 68].

Таблица 3.10 – Корреляционный анализ параметров ДГУ тепловозов 3ТЭ10МК

№ т/в	Корреляция мощности ДГУ секции со средним значением			Корреляция мощности ДГУ секций между собой			Примечание
	Секция А	Секция Б	Секция В	А-Б	Б-В	А-В	
1112	0,998	-0,008	0,999	-0,009	-0,009	0,994	Неисправность датчика
1113	0,249	0,996	-	0,158	-	-	Неисправность датчика
1221	0,893	0,287	0,818	0,052	-0,174	0,667	Неисправность датчика
1268	0,995	-	0,994	-	-	0,977	Неисправность датчика
1298	0,998	0,988	0,998	0,976	0,975	0,999	Работоспособный ДГУ
1312	0,968	0,656	0,953	0,537	0,433	0,921	Малая мощность ДГУ
1317	0,944	0,972	0,952	0,870	0,899	0,850	Работоспособный ДГУ
1319	0,973	0,908	-	0,786	-	-	Неисправность датчика
1327	0,971	0,976	0,789	0,982	0,647	0,633	Работоспособный ДГУ
1329	0,901	0,903	-	0,626	-	-	Неисправность датчика
1333	0,850	0,615	-	0,107	-	-	Неисправность датчика
1340	0,897	-	0,941	-	-	0,695	Неисправность датчика
1398	0,807	0,612	0,934	0,237	0,487	0,619	Малая мощность ДГУ
1400	0,916	0,984	0,985	0,832	0,998	0,836	Работоспособный ДГУ
1409	0,934	-	0,980	-	-	0,934	Неисправность датчика

По результатам исследований составлена таблица 3.11 допусков по значению коэффициента корреляции для анализа исправности ДГУ применительно к тепловозам серии ТЭ10, эксплуатирующихся на Северном широтном ходу Дальневосточной железной дороги (БАМ).

Таблица 3.11 – Значения корреляций показателей надежности и эксплуатации по данным информационных систем ОАО «РЖД».

Диагностическое заключение в зависимости от значения r_{yx} :	Значение r_{yx} при сравнении со средним значением	Значение r_{yx} при сравнении между секциями
Работоспособный ДГУ	$r_{yx} > 0,95$	$r_{yx} > 0,9$
Незначительные отклонения в работе ДГУ	$0,8 < r_{yx} < 0,95$	$0,6 < r_{yx} < 0,9$
Значительные отклонения в работе ДГУ/нестабильная работа датчиков	$0,6 < r_{yx} < 0,8$	$0,15 < r_{yx} < 0,6$
Отсутствует сигнал с датчиков на протяжении поездки	$r_{yx} < 0,6$	$r_{yx} < 0,15$

Корреляционный анализ взаимного влияния эксплуатационных показателей тепловозов позволяет объективно выбрать способ учёта работы локомотива (по часам эксплуатации или километрам пробега) согласно коэффициенту корреляции r_{yx} между временем нахождения в эксплуатации и пробегом тепловозов. На БАМ у тепловозов серий 3ТЭ10 ($r_{yx}=0,871$) и 2ТЭ25А ($r_{yx}=0,977$) учёт следует осуществлять в километрах пробега, а у серий 2ТЭ10 ($r_{yx}=0,163$) и ТЭП70 ($r_{yx}=0,135$) – в часах работы.

Анализ 0,5 млн наблюдений работы дизель-генераторных установок (ДГУ 1А-9ДГ) тепловозов серии 3ТЭ10МК за 461 час эксплуатации доказал эффективность применения корреляционного анализа для автоматизированного технического диагностирования (выявления предотказных состояний) по коэффициентам корреляции r_{yx} параметров однотипного оборудования и узлов.

Таким образом, корреляционный анализ показал свою эффективность и целесообразность использования при управлении техническим состоянием локомотивов при сервисном обслуживании.

3.3.4 Метод сравнения двух средних

Для анализа эффективности мероприятий может возникать необходимость сравнения параметров двух независимых выборок случайных величин x и y с целью оценить их различность или однотипность по достоверности разности математических ожиданий (средних значений) m_x и m_y . Если эта разность получается незначительной, то величины m_x и m_y могут относиться к одной и той же генеральной совокупности. Если разность значима, то величины m_x и m_y относятся к разным генеральным совокупностям. Такое сравнение необходимо, например, для оценки эффективности модернизации локомотива.

Для оценки вероятности равенства двух средних значений для заданных параметров используется критерий Стьюдента, расчетное значение которого определяется по формуле [8, 13, 30, 57]:

$$t_p = \frac{|m_x - m_y|}{\sqrt{\frac{\sigma_x^2}{N_1} + \frac{\sigma_y^2}{N_2}}}. \quad (3.15)$$

При этом число степеней свободы при решении этой задачи составляет [13]:

$$r = N_1 + N_2 - 2. \quad (3.16)$$

Значения критерия Стьюдента t_p и числа степеней свободы r используют для оценки границ вероятности равенства β математических ожиданий в соответствии с таблицей значений критерия Стьюдента.

Практическое использование метода сравнения двух средних на примере токов исправных тяговых электродвигателей (ТЭД) одной и той же секции тепловозов показало, что даже при незначительном разбросе токов ТЭД (до 20 - 25 А) значения критерия Стьюдента получаются близкими к нулю, при том, что коэффициент корреляции этих токов ТЭД $r_{yx} = 0,997$.

Применение метода сравнения двух средних в модели управления техническим состоянием локомотивов не целесообразно из-за высокой чувствительности метода к незначительным расхождениям параметров процесса.

3.3.5 Тренды

Под линейным трендом понимается тенденция изменения случайной величины y под влиянием случайной величины x , описываемая линейной функцией вида [13, 30, 57]:

$$y = a \cdot x + b, \quad (3.17)$$

где a – параметр зависимости характеризует скорость изменения случайной величины y под влиянием случайной величины x и определяется [13, 30, 57]:

$$a = r_{yx} \frac{\sigma_y}{\sigma_x}, \quad (3.18)$$

где r_{yx} – коэффициент корреляции между случайными величинами y и x , рассчитывается по формуле (3.13), а коэффициент b определяется как [13]:

$$b = m_y - a \cdot m_x. \quad (3.19)$$

Анализ трендов эффективен при анализе динамики изменения параметров, прогнозировании работоспособности оборудования. Например, рост или снижение числа неплановых ремонтов, рост или снижение числа дополнительных работ, рост срабатываний защит, изменение температуры и др.

На рисунках 3.16 – 3.17 представлена динамика изменения температуры выхлопных газов на выходе шестого цилиндра дизеля тепловоза 3ТЭ10МК-1281 (секция А) приписки ТЧЭ-9 «Комсомольск-на-Амуре». Считывание файлов выполнялось на каждом ТО-2 (для серии ТЭ10 периодичность каждые 72 ч). Наблюдение проводились от последнего ТО-3.

По результатам расчета выявлено постепенное снижение температуры выхлопа ($a < 0$), что свидетельствует о предотказном состоянии топливной системы (топливный насос высокого давления, форсунка). Можно спрогнозировать превентивное обслуживание тепловоза, например смена форсунки и проверка качества распыления топлива на стенде: при среднесуточном пробеге в 300 км тепловоз зайдёт на очередной ТО-3 (15 тыс. км +10%) через 50-55 суток, что соответствует 18-и ТО-2. В приведённом

примере видно, что внеочередное обслуживание цилиндра следует произвести на ближайшем ТО-3.

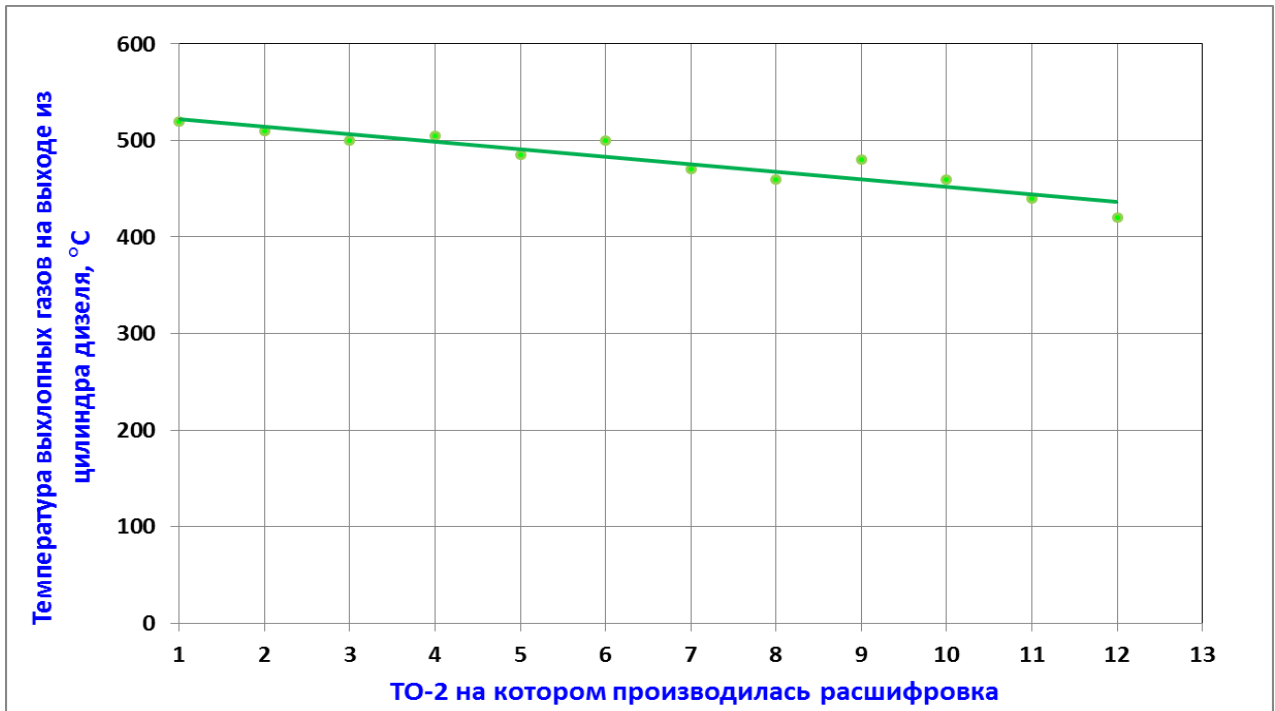


Рисунок 3.16 – Динамика изменения температуры выхлопных газов на выходе из 6-го цилиндра тепловоза 3ТЭ10МК-1281 (секция А) на 13-й позиции контроллера машиниста

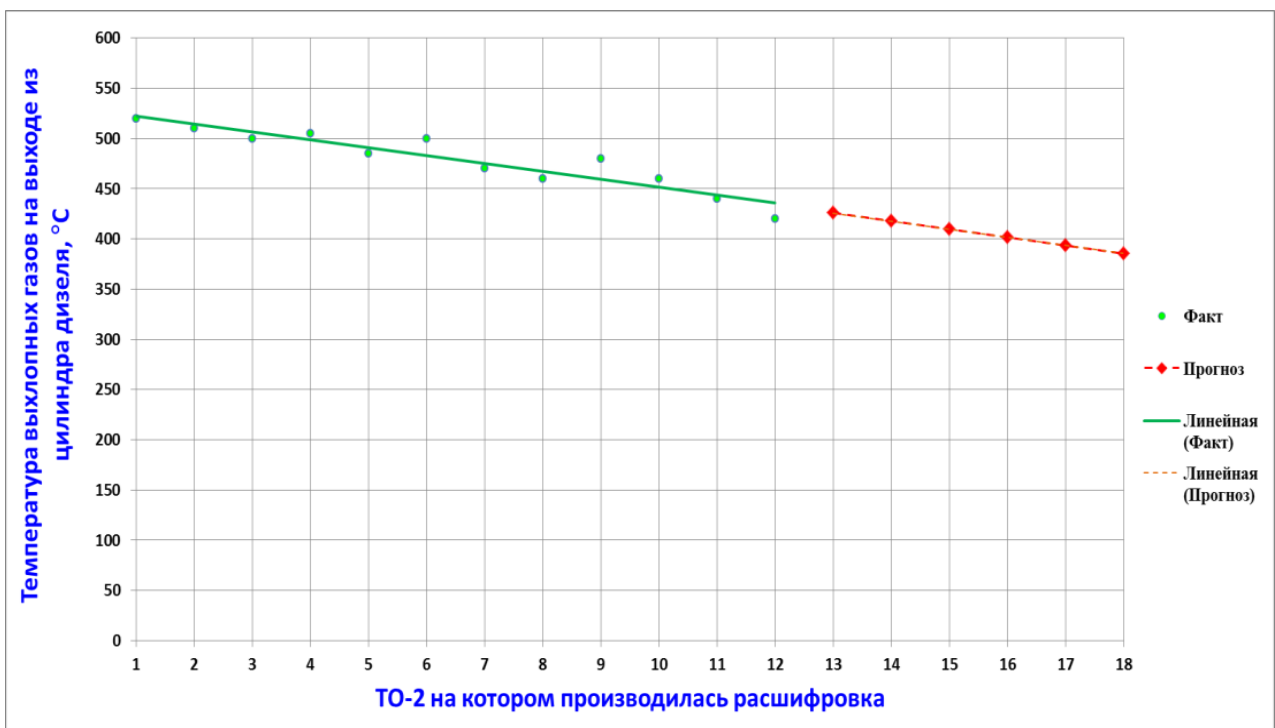


Рисунок 3.17 – Динамика и прогноз изменения температуры выхлопных газов на выходе из 6-го цилиндра тепловоза 3ТЭ10МК-1281 (секция А)

По результатам расчёта получено уравнение линейного тренда:

$$y = -8,077 \cdot x + 530,83.$$

Использование математического аппарата расчёта трендов необходимо в модели управления техническим состоянием ТПС при прогнозировании работоспособности оборудования. Наличие тренда или его изменение само по себе может быть признаком предотказного состояния локомотива.

3.3.6 Показатель отказов на млн км

Для оценки анализа надёжности тепловозов в ОАО «РЖД» используется показатель «Количество отказов на 1 млн км пробега». На рисунке 3.18 представлен анализ надёжности на 1 млн км пробега тепловозов серии 2ТЭ25А, эксплуатирующихся на полигоне БАМ, за 4 месяца 2016 года в сравнении с 2015 годом.

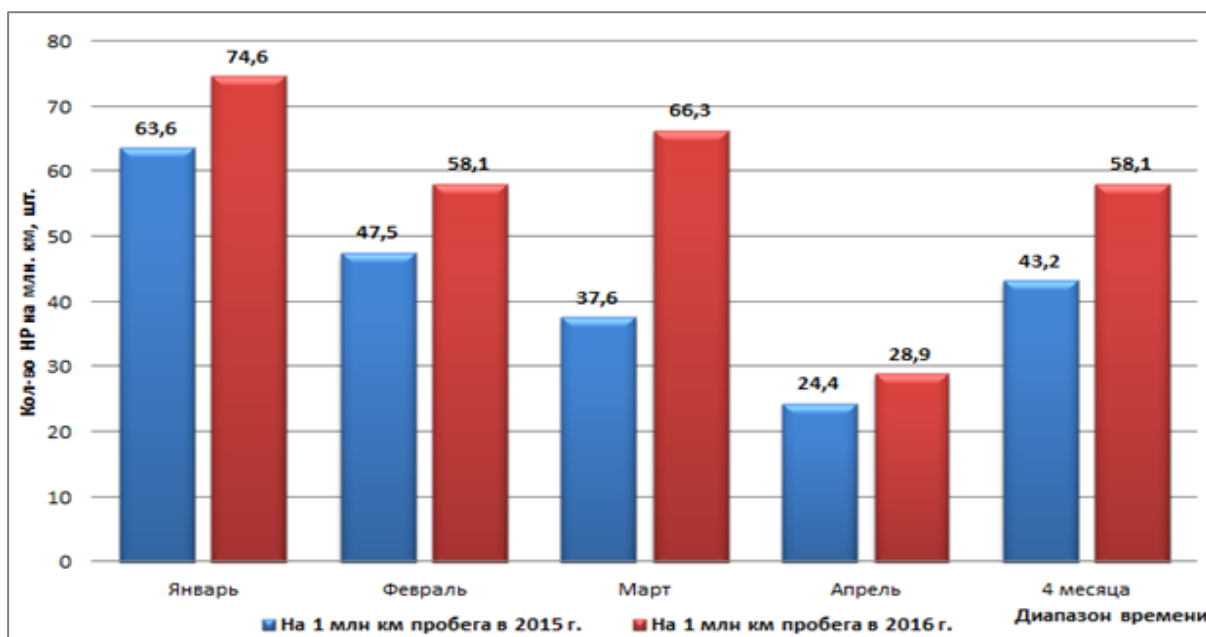


Рисунок 3.18 – Анализ надёжности на 1 млн км пробега тепловозов 2ТЭ25А в период 4 месяцев 2016 и 2015 годов

Анализ показал, что надёжность тепловозов 2ТЭ25А в 2016 году снизилась по отношению к 2015 году в 1,4 раза. Однако оценить изменение стоимости жизненного цикла нельзя, т.к. стоимость ремонта различных видов оборудования локомотив существенно отличается: из роста числа отказов не следует увеличение времени простоя локомотивов в депо, увеличение стоимости ремонта, что при сервисной форме обслуживания является критическим. Показатель «Число отказов на 1 млн км пробега» при сервисной

системе ТОиР ограничен в своём применении. Более актуальными становятся показатели «Коэффициент технической готовности» и «Стоимость жизненного цикла».

3.4 ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 3

1. Использование вероятностно-статистических методов Модели позволяет существенно повысить эффективность управления за счёт повышения прозрачности информации, принятия правильных управляющих решений, сокращения числа управленческих ошибок. Выполненный анализ позволяет считать целесообразным применение в Модели управления техническим состоянием локомотивов при сервисной системе ТОиР следующих вероятностно-статистических методов:

- защита Модели от использования недостоверных средне-статистических данных через проверку их унимодальности по соответствию законам распределения случайной величины с использованием критерия Пирсона и Колмогорова-Смирнова;
- факторный анализ влияния факторов на техническое состояние локомотивов по коэффициентам их корреляции;
- выявление предотказных состояний дизель-генераторных установок (ДГУ) и другого оборудования тепловозов по коэффициентам корреляции параметров их однотипного оборудования;
- анализ эффективности корректирующих мероприятий, модернизаций, смене комплектующих и др. по изменению трендов и коэффициентов корреляции контролируемых параметров оборудования и эксплуатационных показателей локомотива (в т.ч. рост или снижение числа unplanned ремонтов, числа дополнительных работ, срабатываний защит, времени простоя в депо и др.);
- прогнозирование работоспособного состояния оборудования локомотивов по трендам параметров оборудования тепловозов;
- анализ качества технического состояния локомотива не только по показателю «Число отказов на 1 млн км пробега», но и по стоимости

жизненного цикла и коэффициенту технической готовности локомотива.

2. Использование метода сравнения двух средних в Модели не эффективно.
3. Достоверные (унимодальные) статистические данные о техническом состоянии локомотива можно получить при выполнении следующих ограничений при формировании выборок:
 - рассматривать отдельно каждую серию тепловозов;
 - рассматривать самостоятельно каждый полигон (железную дорогу), в отдельных случаях – депо.
 - следить за участием всех локомотивов одной серии во всех видах движения.

Таким образом, встраивание выбранных вероятностно-статистических методов в Модель позволяет повысить достоверность используемой информации, сократились потери времени инженерно-технического персонала на обработку информационно-технической документации в сервисных локомотивных депо, совместить преимущества планово-предупредительной системы ремонта и информационного потенциала, имеющегося в локомотивном комплексе.

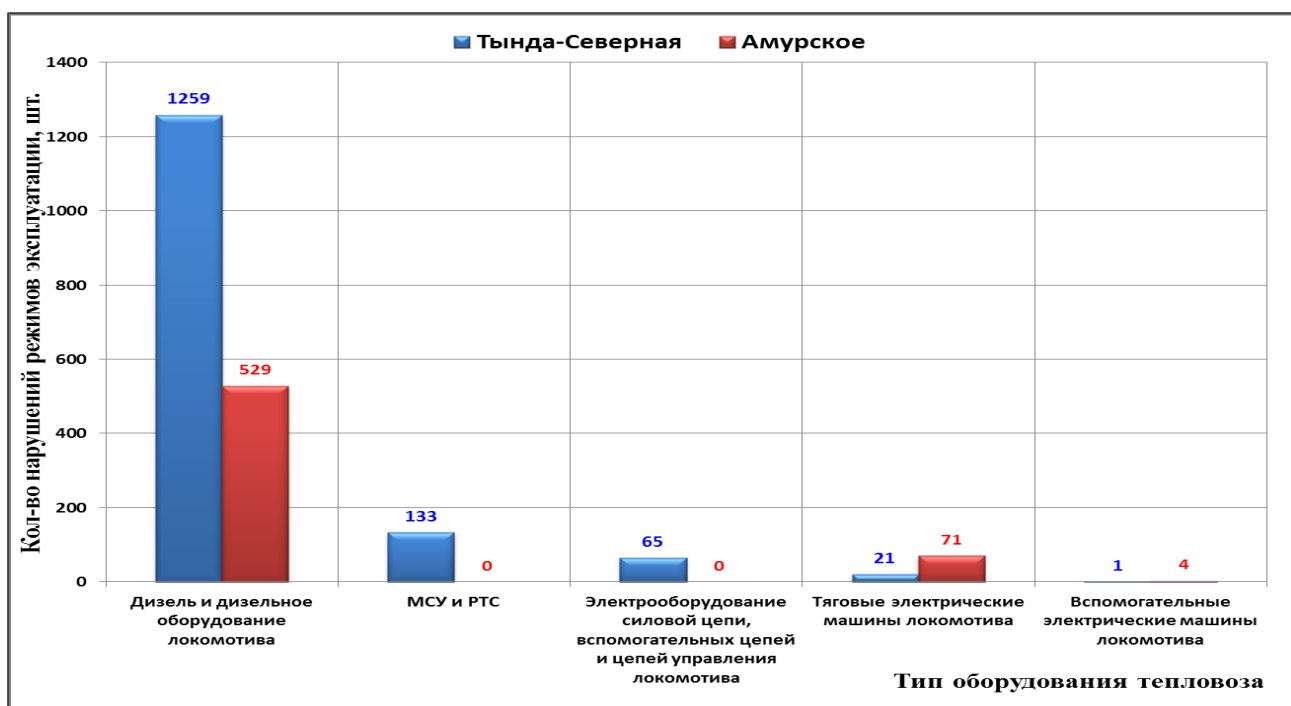
4 ЗАЩИТА СИСТЕМ ТЕПЛОВОЗОВ ОТ ОПАСНЫХ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ

4.1 АНАЛИЗ НАРУШЕНИЙ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ

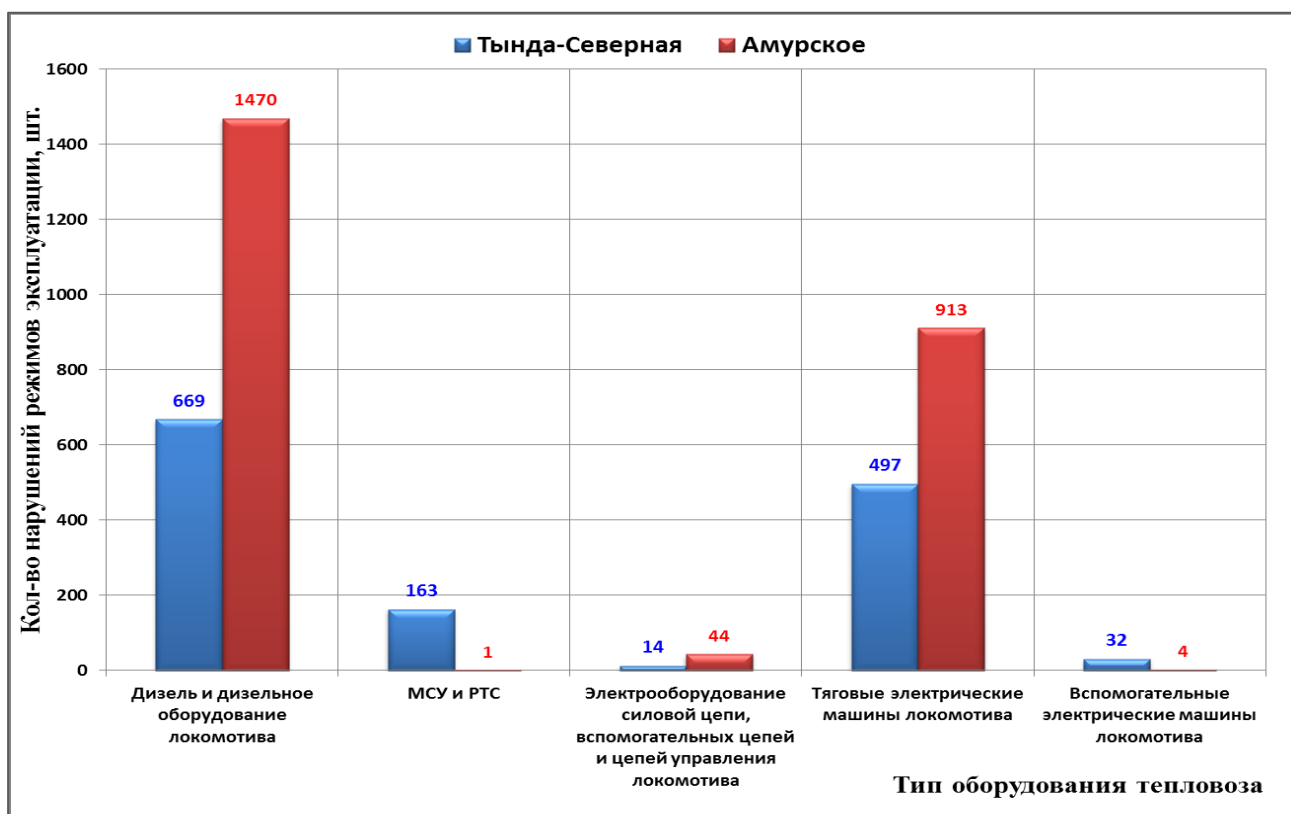
В процессе реализации метода «Встроенное качество» выполнен крупномасштабный анализ данных бортовых аппаратно-программных комплексов (АПК) тепловозов серий 2ТЭ10МК и 3ТЭ10МК Дальневосточной железной дороги (прежде всего – БАМ) на наличие инцидентов. Наряду с выявлением предотказных состояний обнаружено, что тепловозы эксплуатируются с превышением предельно допустимых параметров работы, приводящих к повышенной интенсивности отказов и unplanned ремонтов: за 2013 – 2015 годы зафиксировано 17 980 нарушений режимов эксплуатации, из них бóльшая часть нарушений по тяговым электрическим машинам и дизелю [113, 115, 131].

Анализ unplanned ремонтов при наличии или отсутствии нарушений режимов эксплуатации показал (рисунок 4.1), что отказы в значительной степени происходят именно из-за нарушений режимов эксплуатации. Коэффициент корреляции между нарушениями и отказами по тепловозам БАМ составил $r_{yx} = 0,4$. Таким образом, нарушения существенно снижают надежность локомотивного парка БАМ.

Анализ функциональности систем управления оборудования тепловозов показал, что по технологии «Встроенное качество» локомотивы с бортовыми аппаратно-программными комплексами (микропроцессорными системами управления - МСУ) можно защитить от многих нарушений режимов эксплуатации. Из часто встречающихся нарушений можно исключить: превышение температуры воды и масла при работе и при остановке дизеля, перевод дизеля под нагрузку при заниженной температуре теплоносителей, длительная работа дизеля на холостом ходу, превышение температуры выхлопных газов на выходе из цилиндров, превышение допустимого тока тягового генератора и др.



а – 2014 год



б – 2015 год

Рисунок 4.1 – Анализ нарушений режимов эксплуатации на БАМ

Защита тепловозов от опасных режимов эксплуатации не требует модернизации оборудования локомотивов – достаточно добавить в программное обеспечение МСУ специальные алгоритмы – «Алгоритмические

защиты», после чего переустановить (инсталлировать) в МСУ доработанное и заново скомпилированное программное обеспечение [16]. Применительно к тепловозам серий 2ТЭ10МК и 3ТЭ10МК следует доработать программное обеспечение бортовой системы управления УПУ (на базе промышленного компьютера GERSYS) и МСУ типа УСТА-5.

4.2 ОПАСНЫЕ РЕЖИМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕПЛОВОЗОВ

На рисунке 4.2 показан общий алгоритм работы защит секций тепловозов 2ТЭ10МК и 3ТЭ10МК от опасных режимов эксплуатации. Порядок работы алгоритма следующий: локомотивная бригада (машинист) осуществляет управление мощностью локомотива через контроллер машиниста изменением позиций контролера. Сигнал поступает в МСУ тепловоза, которая даёт управляющий сигнал на оборудование тепловоза (возбуждение тягового генератора и электронный регулятор частоты оборотов дизеля). Далее при работе тепловоза сигналы с датчиков поступают на бортовой компьютер УПУ (GERSYS), который, исполняя заложенные в программное обеспечение алгоритмы, формирует сигнал на блок УСТА (блок электронный локомотива (БЭЛ) и/или на блок управления широтно-импульсной модуляцией - ШИМ). При необходимости уменьшения/недопущения набора позиции контроллера машиниста, БЭЛ формирует сигнал на электропневматические клапаны РЧО, имитируя задающий сигнал контроллера машиниста. Частота вращения коленчатого вала дизеля при этом контролируется напрямую через управляющую плату УСТА.

При необходимости снижения мощности тягового генератора дополнительный сигнал подаётся на блок управления ШИМ, задавая требуемый коэффициент снижения мощности. На основании этого коэффициента, блок управления ШИМ формирует сигнал на ключи ШИМ, управляющие током возбуждения возбудителя. Частота вращения коленчатого вала дизеля и ток тягового генератора при этом контролируются через управляющую плату УСТА и соответствующие датчики.

Таким образом, любая угроза нарушения режимов эксплуатации приводит к снижению нагрузки дизель-генераторной установки.

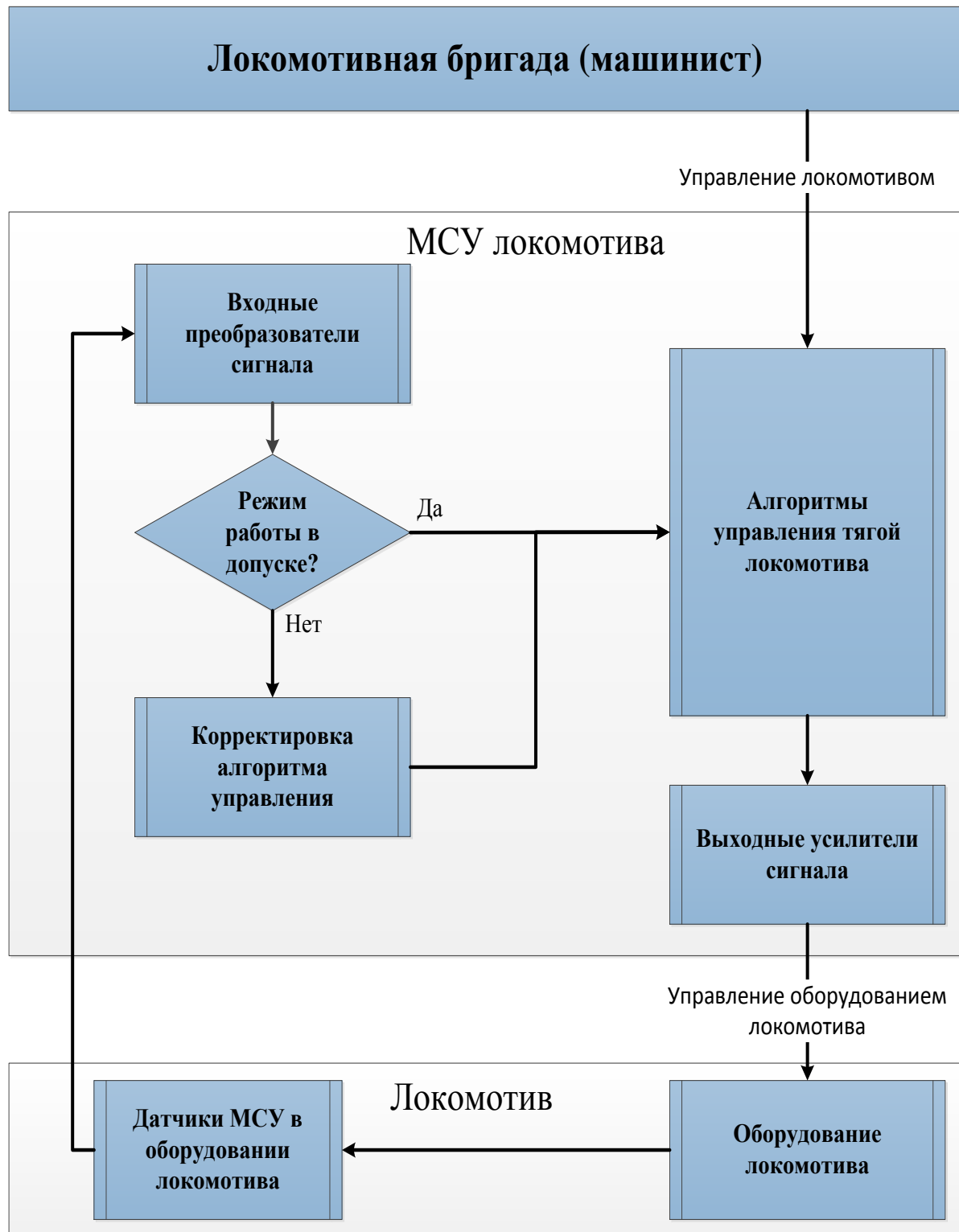


Рисунок 4.2 – Блок-схема алгоритмических защит

В таблице 4.1 описаны защиты от превышения предельно допустимых параметров работы дизель-генераторной установки, которые предложено реализовать на тепловозах серий 2ТЭ10МК и 3ТЭ10МК полигона БАМ Дальневосточной железной дороги [16].

Таблица 4.1 – Защиты от превышения предельно допустимых параметров работы ДГУ

№ п/п	Наименование нарушения	Параметр	Требуемые значения	Возможные последствия	Управляющее воздействие
1	Остановка дизеля без прокачки масла	Время прокачки масла перед остановкой	Не менее 180 сек.	Приводит к закрутке торсионного вала вертикальной передачи и другими	На дисплейный модуль выдается предупреждение
2	Запуск дизеля при низких значениях температуры воды	Температура воды	Менее 8°C	Повреждение элементов цилиндропоршневой группы	На дисплейный модуль выдается предупреждение
3	Запуск дизеля при низких значениях температуры масла	Температура масла	Менее 8°C	Повреждение элементов цилиндропоршневой группы	На дисплейный модуль выдается предупреждение
4	Превышение 4-ой позиции контроллера машиниста при заниженной температуре теплоносителей	Температура воды и масла	Менее 45°C	Повреждение элементов цилиндропоршневой группы	Позиция контроллера машиниста не 4-ой не увеличивается, на дисплейный модуль выдается предупреждение
5	Превышение температуры воды в движении	Температура воды	Более 95°C	Повреждение элементов цилиндропоршневой группы	Снижение Р ДГУ на 20%, на дисплейный модуль выдается предупреждение

№ п/п	Наименование нарушения	Параметр	Требуемые значения	Возможные последствия	Управляющее воздействие
6	Превышение температуры масла в движении	Температура масла	Более 85°С	Повреждение элементов цилиндропоршневой группы	Снижение Р ДГУ на 20%, на дисплейный модуль выдается предупреждение
7	Превышение допустимой температуры газов на выходе из цилиндра	Температура выхлопных газов	Более 580°С	Повреждение элементов цилиндропоршневой группы	Снижение Р ДГУ на 20%, на дисплейный модуль выдается предупреждение
8	Превышение допустимой температуры газов на входе турбокомпрессор	Температура выхлопных газов	Более 650°С	Повреждение элементов цилиндропоршневой группы	Снижение Р ДГУ на 20%, на дисплейный модуль выдается предупреждение
9	Снижение давления масла	Давление масла	Менее 0,6 кг/см ²	Повреждение элементов цилиндропоршневой группы, коленвала	На дисплейный модуль выдается предупреждение
10	Длительное превышение допустимого тока генератора	Ток тягового генератора	6300А – недопустимо; 6000А – 1 мин; 5500А – 3 мин; 5000А – 5 мин.	Повреждение изоляции тягового генератора	Снижение тока генератора в пределах разрешенного диапазона, на дисплейный модуль выдается предупреждение

В защите от превышения допустимого тока тягового генератора I_{Γ} (см.п.10 таблицы 4.1) ($I_{\Gamma} > 6300\text{А}$; $I_{\Gamma} > 6000\text{А}$, $t > 1$ мин.; $I_{\Gamma} > 5500\text{А}$, $t > 3$ мин.; $I_{\Gamma} > 5000\text{А}$, $t > 5$ мин) контролируется объём выделяемой энергии Q с допущением, что за небольшое время t достаточного отвода тепла не будет:

$$Q = I_{\Gamma}^2 \cdot r \cdot t, \quad (4.1)$$

где I_{Γ} – ток тягового генератора; r – сопротивление обмоток главного генератора; t – время работы с этой величиной тока.

Накапливаемое в генераторе тепло не должно превышать максимально допустимое значение $Q_{\text{МАХ}}$. Например, для одноминутного режима:

$$Q_{\text{МАХ}} = 6000 \cdot 6000 \cdot 0,1 \cdot 60 = 216 \text{ МДж}. \quad (4.2)$$

Примечание: за сопротивление r принимается среднее значение сопротивления цепи главного (тягового) генератора - 0,1 Ом.

Таким образом, предлагается следующий алгоритм работы защиты:

- подготавливается сумматор выделенного тепла $Q = 0$;
- с момента превышения током значения часового тока начинает суммироваться накапливаемое тепло $Q = \sum I^2 \cdot \Delta t$;
- данные суммируются за последние 10 минут; по достижении времени наблюдения 10 минут начинают вычитаться первые значения:

$$Q = Q - \sum I_1^2 \cdot \Delta t;$$

- по мере достижения критического значения Q к $Q_{\text{МАХ}}$ происходит снижение мощности тягового генератора на 20%.

4.3 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМИЧЕСКИХ ЗАЩИТ

Предложенные алгоритмические защиты были реализованы на тепловозе 3ТЭ10МК-1267 приписки эксплуатационного локомотивного депо ТЧЭ-29 «Курск-Сортировочный» Московской ж.д. (рисунок 4.3). Разработанные в диссертации алгоритмы программно реализованы разработчиками УСТА+УПУ – «Научно-исследовательским и конструкторско-технологическим институтом подвижного состава» (АО «ВНИКТИ») на базе сервисного локомотивного депо (СЛД) «Курск» (руководитель работ – С.И.Ким, М.В.Федотов) [93, 180].



а – тепловоз 3ТЭ10МК-126 во время испытаний алгоритмов в СЛД «Курск»

б – дисплейный модуль в кабине машиниста для контроля

Рисунок 4.3 – Тепловоз 3ТЭ10МК-1267 с алгоритмическими защитами

Для реализации алгоритмических защит на тепловозе 3ТЭ10МК-1267 установлено доработанное программное обеспечение в блок УСТА-5 (рисунок 4.4 а) и в дисплейный модуль GERSYS BC4101 (BC4401) (рисунок 4.4 б).



а – Блок УСТА-5

б – Дисплейный модуль GERSYS BC 4101

Рисунок 4.4 – Устройства тепловоза 3ТЭ10МК-1267 с новым программным обеспечением (с алгоритмическими защитами)

Примечание: программное обеспечение для различных номеров одной серии тепловоза может отличаться из-за особенностей цепей управления.

Испытания алгоритмических защит показали их высокую эффективность. На рисунке 4.5 представлена расшифровка файла поездки тепловоза

ЗТЭ10МК-1267: мощность тепловоза $P=1515$ кВт до момента срабатывания защиты, затем температура выхлопа 6 левого цилиндра возросла до $T_{\text{вых}}=582^{\circ}\text{C}$, после обработки информации по соответствующему алгоритму (п.7 таблицы 4.1) блок УСТА-5 снизил мощность генератора на 20 % до 1212 кВт, после чего температура снизилась.

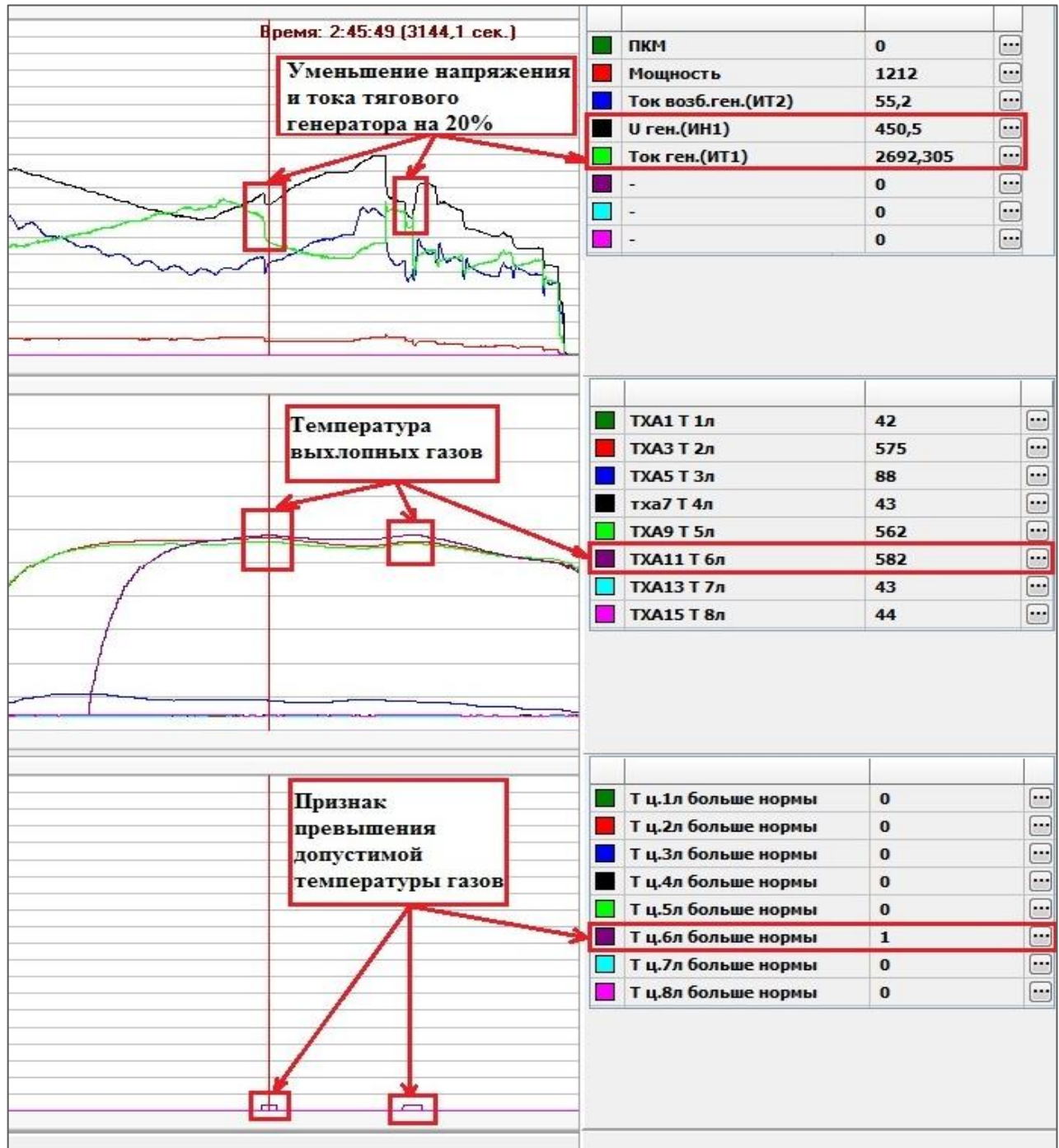


Рисунок 4.5 – Скриншот осциллограммы срабатывания защиты с ограничением мощности при превышении температуры выхлопных газов на выходе из цилиндра дизеля

На рисунке 4.6 представлена запись, сделанная машинистом в бортовом журнале формы ТУ-152 тепловоза 3ТЭ10МК-1267 о том, что приходит тревожное сообщение «Температура газов в 6 левом цилиндре выше нормы, снижение мощности на 20 %».

Дата, время (час, мин.), станция смены локомотивной бригады	Фамилия машиниста		Наличие топлива в момент приема в кг		Замечания и неисправности, обнаруженные в пути следования и при осмотрах (в конце записи подпись машиниста и принимающего)	Дата у
	принявшего (сдающего), станция, откуда прибыл и № поезда	отправляющегося (принимающего)	Показания счетчика электроэнергии в момент приема	Показания счетчика электроэнергии в момент приема		
1	2	3	4	5	6	7
19/10.01.16	Сорокин	7-60	1969	1969	Требуется ежедневный контроль масла в ДВС.	
№ 4401	Сорокин	А 2350	1969	1969	При приеме в 3 ⁰ обнаружены проблемы	
№ 845		В 2250	1969	1969	и обнаружена 9/1000 проб с ДВС.	
№ 920		Б 2350	1969	1969	и далее по маршруту. Вали, муфта	
	Машинист ДВ				будет ВДК санатория в пути будите	
21.02.13	А 1350-1750	Б 5932			№ 1-2 1116 № 112, 116, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125.	
21.02.13	В 1750	В-25 км/ч			116, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134.	
19.01.13	В 1750	из Благосудит № 10			116, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134.	
	Машинист ДВ	Вода			116, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134.	
30.6.10	40/00	А. макс	30%		Постоянно фиксирует СМС	
30.6.10	35/60	В. макс	90%		Сорокин в 5/1000 > норма, снижение мощности на 20%	

Рисунок 4.6 – Скриншот фотографии записи в бортовом журнале ТУ-152 тепловоза 3ТЭ10МК-1267

После испытаний алгоритмических защит тепловоз 3ТЭ10МК-1267 был отдан в опытную подконтрольную эксплуатацию. Считывание и анализ данных осуществлялся группой диагностики сервисного локомотивного депо «Курск» филиала «Московский» ООО «ТМХ-Сервис». Контроль показателей надёжности осуществлялся по данным информационных систем.

Внедрение предложенных алгоритмических защит позволило существенно повысить надёжность тепловоза: число неплановых ремонтов было снижено на 26 %.

В рамках программы повышения надёжности тепловозов БАМ в ОАО «РЖД» запланировано тиражирование защит.

4.4 ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 4

- 4.4.1 При эксплуатации тепловозов допускаются случаи нарушения режимов эксплуатации, прежде всего связанные с работой дизель-генераторной установки. Типовые нарушения приведены в таблице 4.1.
- 4.4.2 Анализ показал влияние нарушений режимов эксплуатации локомотивов на их техническое состояние. Коэффициент корреляции между числом нарушений режимов эксплуатации и числом неплановых ремонтов составил для тепловозов БАМ $r_{yx} = 0,4$.
- 4.4.3 От нарушений режимов эксплуатации можно защититься применением специальных защитных алгоритмов в программном обеспечении микропроцессорных систем управления тепловозов – алгоритмических защит.
- 4.4.4 Разработаны алгоритмы защиты тепловозов серий 2ТЭ10МК и 3ТЭ10МК, которые реализованы в виде программного обеспечения специалистами ВНИКТИ.
- 4.4.5 Экспериментальные исследования и опытная эксплуатация локомотива 3ТЭ10МК-1267 с алгоритмическими защитами показали, что алгоритмические защиты являются одним из эффективных способов управления техническим состоянием локомотивов в условиях сервисного обслуживания.
- 4.4.6 С целью повышения надёжности тепловозов серий 2ТЭ10МК и 3ТЭ10МК с ДГУ типа 1А-9ДГ необходимо дополнить программное обеспечение их МСУ типа УСТА-5 и УПУ алгоритмическими защитами от превышения предельно допустимых режимов эксплуатации.

5 ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

5.1 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ЛОКОМОТИВОВ

В настоящем разделе описана практическая реализация теоретических разработок автора в группе компаний «Локомотивные технологии», в т.ч. в сервисной компании ООО «ТМХ-Сервис». Прежде всего – это автоматизированная система управления надёжностью локомотивов (АСУНТ) и её информационно-управляющая единая система мониторинга технического состояния локомотивов (ЕСМТ). На рисунке 5.1 представлено описание структуры и модулей ЕСМТ, в основу которой положена Модель управления техническим состоянием локомотивов при сервисной системе ТОиР. На основании выполненного системного анализа требований стандартов и предложенных способов их реализации в локомотиворемонтном комплексе (см. разделы 2 и 3) разработана соответствующая структура модулей ЕСМТ, основными блоками в которой являются [120, 121, 122, 123]:

1. *Блок 1: модуль «Управление инцидентами».* Каждый инцидент должен быть зафиксирован в ЕСМТ и устранён, при этом фиксируется информация всего жизненного цикла инцидента. На основании этой информации производится разбор причин возникновения инцидента, выявляются проблемы, которые устраняются через систему мероприятий с использованием принципа постоянного улучшения (цикла Э.Деминга). Данный модуль является основным модулем системы, в нем накапливается информация о техническом состоянии локомотивов со всех возможных источников. В результате формируется исходная база данных о неплановых ремонтах, нарушениях режимов эксплуатации, предотказных состояниях и др. Скриншот окна модуля представлен на рисунке 5.2.
2. *Блок 3: модуль «Мониторинг эксплуатации локомотивов».* В функции модуля входит контроль пробега локомотивов, оперативное и прогнозное планирование, управление восстановлением локомотивов после отказов, контроль выдачи локомотивов в эксплуатацию.
3. *Блок 4: модуль «Управление проблемами».* В системах управления всеми стандартами предусматривается наличие обратных связей для

корректировки процессов системы управления. В стандарте ITIL этот процесс назван «Управление проблемами». Данный модуль ЕСМТ реализован именно в идеологии ITIL. Он используется в системе для выполнения анализа причин инцидентов, поиска узких мест, разработки и принятия корректирующих мероприятий и воздействий.

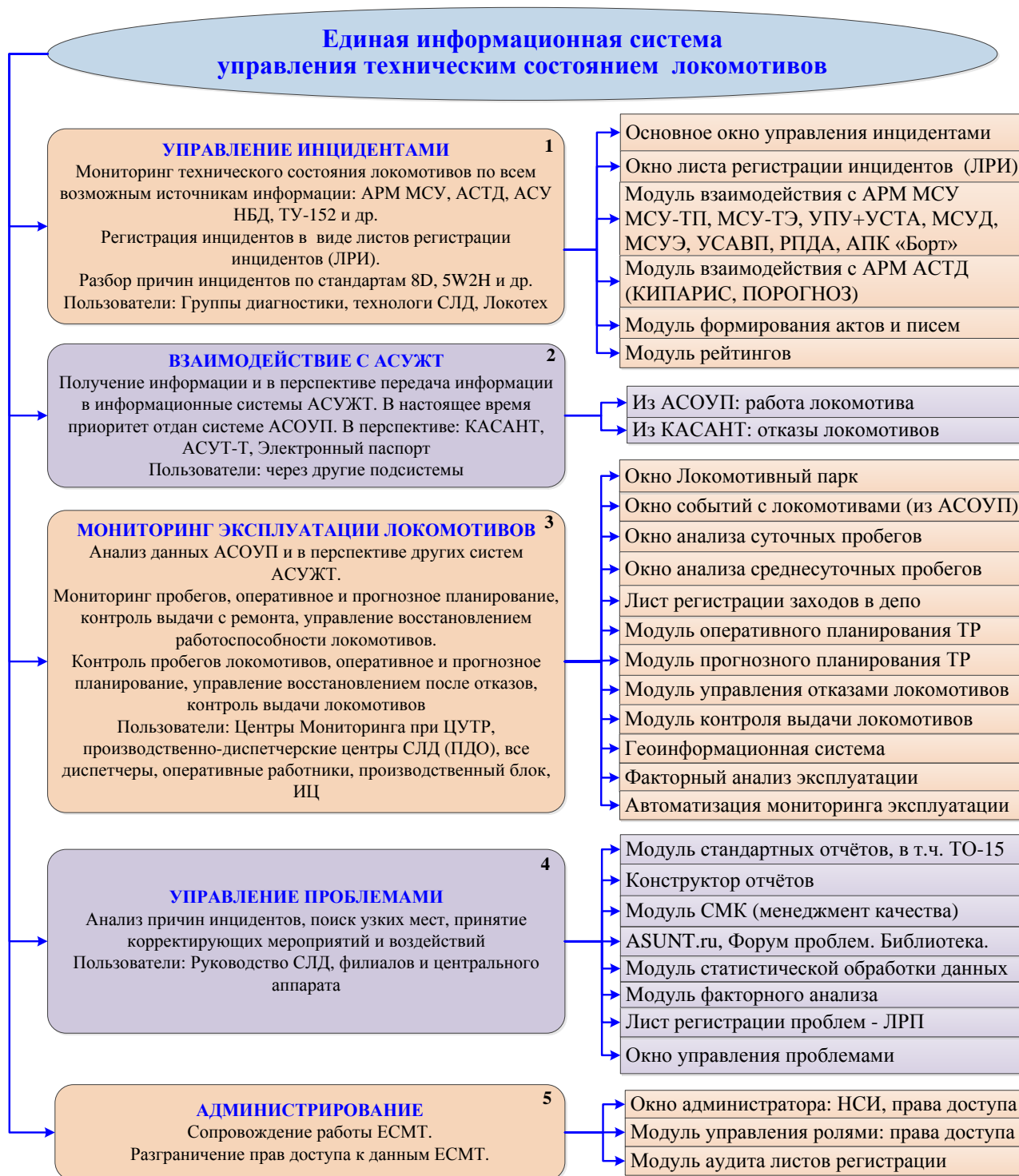


Рисунок 5.1 – Описание структуры и модулей единой системы управления техническим состоянием локомотивов

Управление Проблемами Локомотивный парк Модуль мониторинга Заказы в дело Управление Инцидентами Система Менджмента Качества Аналитика Сервис Web-портал ЕСМТ Контроль

ООО "ТМХ-Сервис" (СРВ) Период 01.08.2015 29.08.2015 Активные Обновить Экспорт Лист регистрации Новый инцидент Удалить Сохранить шаблон Список шаблонов

ООО "ТМХ-Сервис" (СРВ) : 01.08.2015 - 29.08.2015

Статус

Отметки				Локомотив														
Иконка	Иконка	Иконка	Тип источника	Критичность	Тяга	Дорога	Приписка	Серия	Номер ТПЕ	Секция	Филиал	СЛД	Время возникновения	№ ЛР	Статус	Ответств. за заполнение	Зарегистрирован	Время закрытия
		1	АСОУП	✗	Э	С-КАВ	БАТАЙСК [ТЧ3-6]	ВЛ80С	1477А/14...	1477Б	ЗАП	КРАСНОУФИМСК-УР...	27.08 20:02	426658	Закрыт	КРАСНОУФ...	27.08 21:44	28.08 07:25
			АСОУП	✗	Т	МОСК	БРЯНСК-2 [ТЧ3-46]	2ТЭ10М	3150А/31...	3150Б	МОСК	БРЯНСК-ЛЫГОВ	27.08 16:51	426621	Закрыт	БРЯНСК-Ль...	27.08 17:44	28.08 10:50
			АСОУП	✗	Т	ДВОСТ	ТЫНДА [ТЧ3-11]	3ТЭ10МК	1414А/14...	1414Б	АМУРСКИЙ	ТЫНДА-СЕВ	27.08 16:46	426629	Закрыт	ТЫНДА-СЕВ	27.08 17:44	28.08 08:10
			АСОУП	✗	Т	МОСК	СМОЛЕНСК [ТЧ3-42]	2М62	0943А/09...	943Б	МОСК	СМОЛЕНСК	27.08 12:09	426521	Закрыт	СМОЛЕНСК	27.08 13:44	28.08 14:06
	1	1	АСОУП	✗	Т	С-КАВ	КРАСНОДАР-1 [ТЧ3-12]	ТЭП70БС	0109	109	Северо-Кавказ...	КРАСНОДАР	27.08 10:57	426483	Закрыт	КРАСНОДАР	27.08 11:44	28.08 15:30
	5	1	АСОУП	✗	Т	ОКТ	СПБ ВАРШАВСКИЙ [ТЧ...	2ТЭ116У	0109А/01...	109Б	С-ЗАП	СПБ-СОРТ.-ВИТ.	27.08 09:23	426433	Закрыт	СПБ-СОРТ....	27.08 10:43	27.08 19:19
	1		АСОУП	✗	Э	ДВОСТ	СМОЛЯНИНОВО [ТЧ3-8]	2ЭС5К	0107А/01...	107Б	Д-ВОСТ	ПРИМОРСКОЕ	27.08 06:32	426326	Закрыт	ПРИМОРСК...	27.08 07:43	27.08 11:33
	1		АСОУП	✗	Э	ДВОСТ	СМОЛЯНИНОВО [ТЧ3-8]	3ЭС5К	0001А/00...	1Б	Д-ВОСТ	ПРИМОРСКОЕ	27.08 06:31	426325	Закрыт	ПРИМОРСК...	27.08 07:43	27.08 11:31
	2	1	БОРТ	✗	Т	В-СИБ	ЗИМА [ТЧ3-3]	ТЭМ18ДМ	0797	797	Восточно-Сиб...	УЛАН-УДЭНСКОЕ	27.08 05:00	426939	Закрыт	УЛАН-УДЭ...	28.08 13:21	28.08 13:28
	1	1	МСУ	✗	Э	В-СИБ	ВИХОРЕВКА [ТЧ3-9]	35К	0007	7	Восточно-Сиб...	БРАТСКОЕ	27.08 03:00	426333	Закрыт	БРАТСКОЕ	27.08 08:29	27.08 08:35
	1	1	МСУ	✗	Э	В-СИБ	ВИХОРЕВКА [ТЧ3-9]	3ЭС5К	0129А/01...	129А	Восточно-Сиб...	БРАТСКОЕ	27.08 01:00	426334	Закрыт	БРАТСКОЕ	27.08 08:37	27.08 09:47
			АСОУП	✗	Э	Ю-ВОСТ	ЛИСКИ-УЗЛОВАЯ [ТЧ3-4]	ВЛ80С	1921А/19...	1921Б	Северный	НЯНДОМА-СЕВ	26.08 18:51	426185	Закрыт		26.08 19:42	27.08 10:32
	1	1	АСУТ	✗	Т	3-СИБ	КАРАСУК [ТЧ3-10]	2ТЭ10М	3578А/35...	3578Б	3-СИБ	КАРАСУК	26.08 17:55	426968	Закрыт	КАРАСУК	28.08 13:58	29.08 08:23
	1	1	АСОУП	✗	Т	ОКТ	СПБ ВАРШАВСКИЙ [ТЧ...	2ТЭ116У	0105А/01...	105А	С-ЗАП	СПБ-СОРТ.-ВИТ.	26.08 14:41	426097	Закрыт	СПБ-СОРТ....	26.08 15:42	27.08 19:21
			АСОУП	✗	Э	Ю-ВОСТ	ЛИСКИ-УЗЛОВАЯ [ТЧ3-4]	ВЛ80С	1921А/19...	1921Б	Северный	НЯНДОМА-СЕВ	26.08 13:22	426052	Закрыт		26.08 14:42	27.08 10:33
	1	1	АСОУП	✗	Э	3-СИБ	КАРАСУК [ТЧ3-10]	ВЛ80С	0143А/01...	143Б	3-СИБ	КАРАСУК	26.08 09:56	425981	Закрыт	КАРАСУК	26.08 12:56	29.08 08:00
			АСОУП	✗	Э	ОКТ	СПБ-ПАСС.-МОСК. [ТЧ...	ЧС6	0028А/00...	28Б	С-ЗАП	САНКТ-ПЕТЕРБУРГ	26.08 09:02	425956	Закрыт	САНКТ-ПЕ...	26.08 12:56	27.08 14:20
	1	1	АСОУП	✗	Э	3-СИБ	КАРАСУК [ТЧ3-10]	ВЛ80С	0099А/00...	99Б	3-СИБ	КАРАСУК	26.08 07:32	425872	Закрыт	КАРАСУК	26.08 08:41	27.08 16:25
	1	1	АСОУП	✗	Э	3-СИБ	КАРАСУК [ТЧ3-10]	ВЛ80С	0030А/00...	30Б	3-СИБ	КАРАСУК	26.08 06:12	425861	Закрыт	КАРАСУК	26.08 07:41	29.08 07:49
	1	1	АСОУП	✗	Э	3-СИБ	КАРАСУК [ТЧ3-10]	ВЛ80С	0006А/00...	6Б	3-СИБ	КАРАСУК	26.08 06:11	425862	Закрыт	КАРАСУК	26.08 07:41	29.08 08:21
	1	1	АСОУП	✗	Т	3-СИБ	КАРАСУК [ТЧ3-10]	2ТЭ10М	3611А/36...	3611Б	3-СИБ	КАРАСУК	26.08 06:11	425860	Закрыт	КАРАСУК	26.08 07:41	28.08 15:59
			АСОУП	✗	Т	В-СИБ	ЗИМА [ТЧ3-3]	ТЭМ18Д	0204	204	Восточно-Сиб...	ИРКУТСКОЕ	26.08 04:50	425810	Закрыт	ИРКУТСКОЕ	26.08 05:41	28.08 06:03
	1	1	Прочее	✗	Э	КРАС	БОГОТОЛ [ТЧ3-1]	ВЛ80Р	1522А/16...	1522А	Восточно-Сиб...	БОГОТОЛ-СИБ	26.08 04:00	425788	Закрыт	БОГОТОЛ-...	26.08 04:46	26.08 04:49
	1	1	Прочее	✗	Э	КРАС	БОГОТОЛ [ТЧ3-1]	ВЛ80Р	1577А/15...	1577А	Восточно-Сиб...	БОГОТОЛ-СИБ	26.08 04:00	425791	Закрыт	БОГОТОЛ-...	26.08 04:55	26.08 04:58
	1	1	Прочее	✗	Э	КРАС	БОГОТОЛ [ТЧ3-1]	ВЛ80Р	1802А/18...	1802А	Восточно-Сиб...	БОГОТОЛ-СИБ	26.08 04:00	425792	Закрыт	БОГОТОЛ-...	26.08 05:00	26.08 05:03
	1	1	АСОУП	✗	Э	3-СИБ	КАРАСУК [ТЧ3-10]	ВЛ80С	0142А/01...	142Б	3-СИБ	КАРАСУК	26.08 03:56	425781	Закрыт	КАРАСУК	26.08 04:41	29.08 07:55
			АСОУП	✗	Э	Ю-УР	КАРТАЛЫ [ТЧ3-5]	ВЛ80С	0530А/05...	530Б	ЗАП	ЛЯНГАСОВО-ЗАП	26.08 03:08	425772	Закрыт		26.08 04:41	26.08 07:17
	1	1	АСОУП	✗	Э	3-СИБ	КАРАСУК [ТЧ3-10]	ВЛ80С	1381А/13...	1381Б	3-СИБ	КАРАСУК	26.08 01:08	425749	Закрыт	КАРАСУК	26.08 02:40	29.08 07:43
			АСОУП	✗	Э	С-КАВ	БАТАЙСК [ТЧ3-6]	ВЛ80С	1308А/13...	1308Б	ЗАП	ЛЯНГАСОВО-ЗАП	25.08 23:24	425728	Закрыт		26.08 00:40	26.08 07:17
			АСОУП	✗	Т	Ю-УР	ОРЕНБУРГ [ТЧ3-14]	2ТЭ10В	4052А/40...	4052Б	Д-ВОСТ	ЧЕРНЫШЕВСК	25.08 21:43	425706	Закрыт	ЧЕРНЫШЕВС...	25.08 22:40	26.08 06:16
	3	2	АСОУП	✗	Э	ГОРЬК	МУРОМ [ТЧ3-2]	ВЛ60К	0331	331	ЗАП	МУРОМ-ВОСТ	25.08 20:58	425702	Закрыт	МУРОМ-ВО...	25.08 21:40	28.08 09:48
	1	1	АСОУП	✗	Т	3-СИБ	КАРАСУК [ТЧ3-10]	2ТЭ10М	3390А/33...	3390А	3-СИБ	КАРАСУК	25.08 19:33	425693	Закрыт	КАРАСУК	25.08 20:40	28.08 15:41
			АСОУП	✗	Т	СЕВ	ПЕЧОРА [ТЧ3-22]	2ТЭ10М	2697А/26...	2697Б	Северный	ПЕЧОРА	25.08 19:32	425687	Закрыт		25.08 20:40	28.08 13:53
	1	1	АСОУП	✗	Т	С-КАВ	КРАСНОДАР-1 [ТЧ3-12]	ЧМЭЗ	4757	4757	Северо-Кавказ...	КРАСНОДАР	25.08 19:27	425690	Закрыт	КРАСНОДАР	25.08 20:40	27.08 17:23
	2	1	АСУТ	✗	Т	ОКТ	СПБ-ФИНЛЯДСКИЙ [Т...	ТЭМЗ	0017	17	С-ЗАП	КЕМСКОЕ	25.08 17:42	426033	Закрыт	КЕМСКОЕ	26.08 14:02	29.08 15:00
Всего:														10046				

Рисунок 5.2 – Скриншот Основного окна системы управления техническим состоянием локомотивов в сервисной компании

5.2 РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА «ВСТРОЕННОЕ КАЧЕСТВО»

В диссертации доказано, что внедрение современных вероятностно-статистических методов управления в работу сервисных локомотивных депо для управления техническим состоянием локомотивов сдерживается уровнем квалификации инженерно-технического персонала. Предложенный метод «Встроенное качество» предполагает инкапсуляцию методов и методик в программное обеспечение информационно-управляющих распределенных систем. Применительно к сервисной компании ООО «ТМХ-Сервис» группы компаний «Локомотивные технологии» - это система ЕСМТ. Именно там предложенная в диссертации Модель управления техническим состоянием локомотивов была реализована на практике в виде модулей системы ЕСМТ.

На рисунке 5.3 представлен скриншот окна листа регистрации инцидента, в основу которого положены стандарты системы менеджмента качества: 8D, 5W2H и др. [15,152,153,157]. Система электронных закладок построена таким образом, что пользователю системы необходимо в установленном порядке заполнить соответствующие графы с использованием соответствующих классификаторов (НСИ), в т.ч. специально разработанного четырёхуровневого классификатора оборудования локомотивов. Согласно методике 8D, пользователь не может заполнить поля более поздних действий по 8D, пока не заполнены предыдущие поля. Также нельзя прекратить работу с листом регистрации инцидентов (ЛРИ), пока не заполнены обязательные поля.

В настоящее время программное обеспечение апробировано и внедрено в опытную эксплуатацию в 92-х сервисных локомотивных депо ООО «ТМХ-Сервис». Аналитическими данными ЕСМТ пользуются центральный аппарат компании, на локомотиворемонтных заводах АО «Желдорремаш» и заводах-изготовителях локомотивов входящих в структуру ЗАО «Трансмашхолдинг».

Таким образом, метод «Встроенное качество» по мере развития информационных технологий (в т.ч. ЕСМТ) и бортовых МСУ локомотивов, становится реальным инструментом управления техническим состоянием локомотивов при сервисной системе технического обслуживания и ремонта [15,18].

Лист регистрации инцидента

Приложить файл В работу Склад Пауза Эскалация

Документ, акт, письмо: Сформировать

Локомотив	ЗТЭ10МК ...	Критичность	Критический	Закрыт		КАСАНТ
Филиал	АМУРСКИЙ	Категория	Потеря ра...	Время в статусе	1дн 10:10	Приложено файлов
№ ЛРИ	557445	Дата/время инц.	07.06.201...	Общая продолжительность	5	Последнее изменение
Статус	Анализ - ...	Создан	07.06.16 ...	Подчиненность	ОСНОВНОЙ	Иваныкин ...

D.1 - Исх. данные D.0.1 - Пробеги D.3 - Команда / Работа D.2 - Атрибуты D.4 - Пауза / Эскалация D.5 - Анализ / D.6 - Меры D.0.6 - Вес D8. Закрытие

Локомотив, секция ЗТЭ10МК - 1435Б : ТЧЭ-11 ТЫНДА (ДВОСТ) Выбрать секцию локомотива Сменить секцию

Базовое предприятие СО АМУРСКИЙ : ТЫНДА-СЕВ : ТЫНДА-СЕВ

Ответственный за заполнение ЛРИ АМУРСКИЙ : ТЫНДА-СЕВ : ТЧР-36 ТЫНДА-СЕВЕРНАЯ

Инцидент

Дата/время инцидента 07.06.2016 9:13:00

Дата/время диагностического сообщения 07.06.2016 9:16:01

Обстоятельства по данным АСУ АСОУП: Заход на неплановый ремонт

Обстоятельства инцидента Сек .Б смена ТК,ВОХ (нет наддува).

Место возникновения (дислокация) СЛД-36 ТЫНДА-СЕВЕРНАЯ Выбрать

Локомотив на момент времени инцидента Заполнить автоматически

№ ТПЕ	1435А/1435Б/1435В
№ поезда	0
Масса поезда, т.	0
Вагонов	0
Осей	0
ФИО ТЧМ	
Таб. № ТЧМ	0
Депо приписки ТЧМ	
Критичность	Критический
Категория	Потеря работоспособности
Причина захода в депо	НР

Источник

Тип АСОУП

Предприятие СЛД-36 ТЫНДА-СЕВЕРНАЯ Выбрать

КАСАНТ

Сохранить Отмена

CAPS NUM OVR Нередатируемые поля - поля, обязательные для заполнения , * - несохраненные изменения

Рисунок 5.3 – Скриншот окна листа регистрации инцидента в системе ЕСМТ

5.3 СТАТИСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТПС

5.3.1 Модуль статистической обработки данных

Впервые в информационную систему локомотивного комплекса внедрён модуль статистической обработки данных, позволяющий анализировать с помощью статистических методов накапливаемую в процессе эксплуатации информацию об эксплуатационных и технических параметрах тягового подвижного состава [13, 58].

Этот модуль позволяет существенно повысить эффективность управления техническим состоянием локомотивов в условиях сервисного обслуживания за счет: оценки полноты и достоверности информации, минимизации ошибок в процессе анализа, получения аналитической оценки средних показателей, проведения анализа изменения технического состояния узлов и компонентов локомотивов.

Для анализа достоверности накапливаемой в ЕСМТ информации о техническом состоянии локомотивов, пользователь в основном окне системы выбирает пункт меню «*Web-портал ЕСМТ*», затем нажимает на пункт «*Статистическая обработка данных*» и переходит в окно запроса, скриншот окна которого показан на рисунке 5.4.

Формирование выборок 1 и 2 производится по следующему алгоритму:

1. В окне запроса Пользователь устанавливает порядок выполнения анализа:
 - 1.1 Пользователь отмечает в Блоке 1; после проставления «галочки» во втором столбце этого же блока можно поставить численные значения, либо выбрать по умолчанию (*число выборок – 1; чистка массива – 0 (чистка не производится); доверительная вероятность – 0,95; относительная погрешность – 0,05*) для автоматического заполнения данных.
 - 1.2 В Блоке 2 выполняются аналогичные действия, описанные в пункте 1.1, либо выбирается значение по умолчанию (*число интервалов гистограммы – 10; минимальное значение – 100; максимальное значение 1000; ширина интервала – 0-100*).

1.3 В Блоке 3 пользователь выбирает те параметры, которые нужно рассчитать. Также в списке параметров указан параметр «Проверка на закон распределения», при нажатии на значок «+» появляется список законов распределения случайной величины. В этом списке пользователь отмечает, на соответствие какому закону распределения случайной величины будет проводиться проверка выборки.

1.4 Если пользователь ставит «галочку» в Блоке 4 «ВЫБОРКА 2», то должен появиться раскрывающийся список аналогично списку «ВЫБОРКА 1».

ОКНО НАСТРОЙКИ ЗАПРОСА

1

<input type="checkbox"/> Число массивов (выборок)	2
<input type="checkbox"/> Чистка массива (выборки)	1
<input type="checkbox"/> Доверительная вероятность	0,95
<input type="checkbox"/> Относительная погрешность	0,05
<input type="checkbox"/> По умолчанию	

2

<input type="checkbox"/> Число интервалов гистограммы	10
<input type="checkbox"/> Минимальное значение	100
<input type="checkbox"/> Максимальное значение	1000
<input type="checkbox"/> Ширина интервала	0-100
<input type="checkbox"/> По умолчанию	

ВЫБОРКА 1

3

ВЫБОРКА 2

4

СПИСОК ПАРАМЕТРОВ
<input type="checkbox"/> Математическое ожидание
<input type="checkbox"/> СКО
<input type="checkbox"/> Число данных в расчётной выборке
<input type="checkbox"/> Мин.допустимая выборка
<input type="checkbox"/> Коэффициент вариации
<input type="checkbox"/> Минимальное значение
<input type="checkbox"/> Максимальное значение
<input type="checkbox"/> Исключено артефактов
<input type="checkbox"/> Исходный массив данных
<input type="checkbox"/> ГАММА-Функция a
<input type="checkbox"/> ГАММА-Функция b
<input type="checkbox"/> ГАММА-Функция G(b)
<input checked="" type="checkbox"/> ПРОВЕРКА НА ЗАКОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Сформировать

Рисунок 5.4 – Скриншот окна настройки запроса модуля статистической обработки данных

2. После установки задания следует нажать кнопку «Расчёт», после чего будет выполнен расчёт заданных параметров. Скриншот окна с результатом расчета представлено на рисунке 5.5.

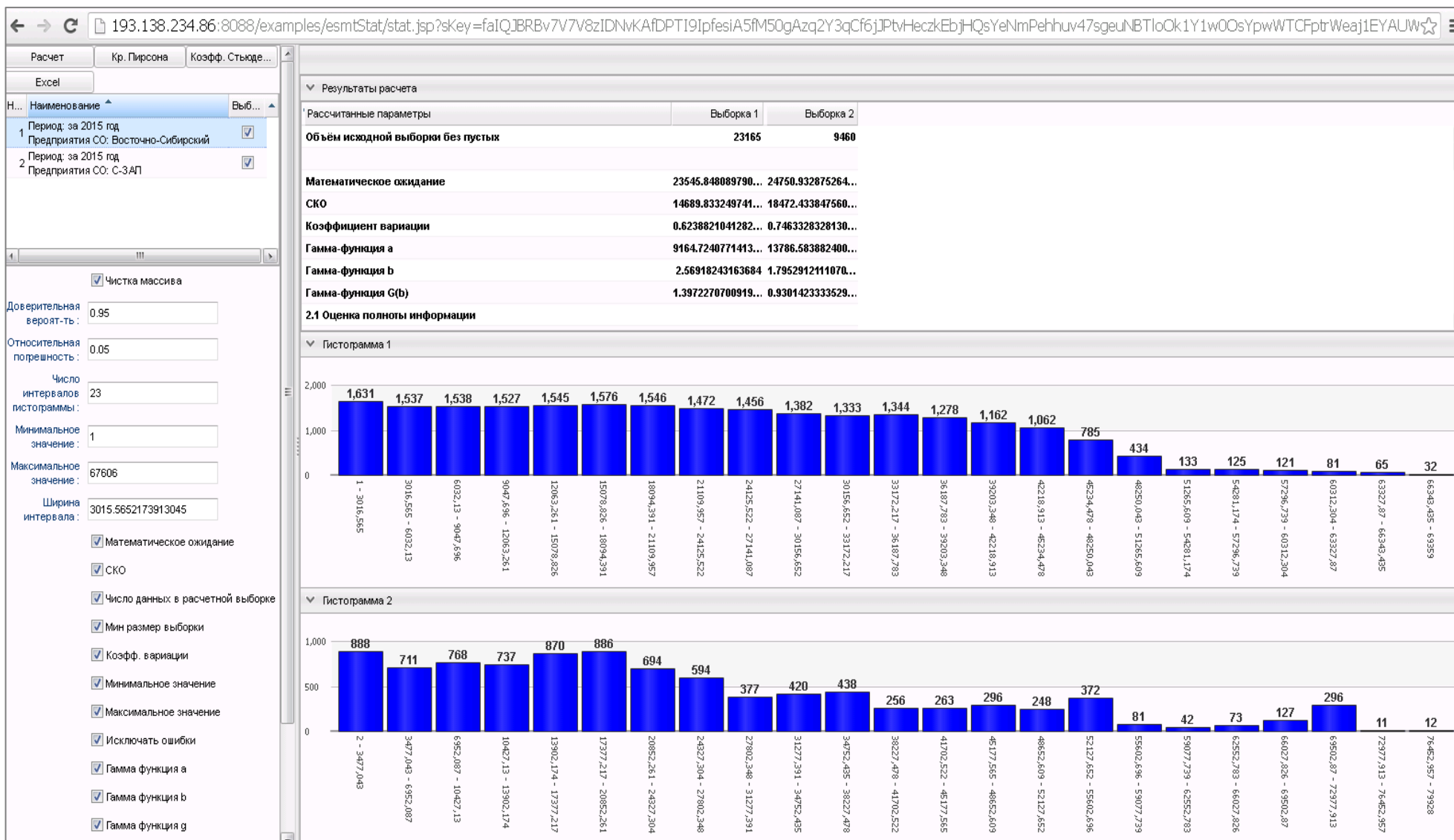


Рисунок 5.5 – Скриншот окна с результатами статистической обработки данных по неплановым ремонтам тепловозов

Дополнительно в модуле статистической обработки данных возможно графически представлять обработанные данные и, в зависимости от их статистической достоверности, менять фон числовой информации, что позволяет оперативно анализировать информацию с целью быстрого принятия управленческих решений и минимумом ошибок. Также предусмотрена возможность просмотра статистических параметров исходных данных («проваливание»). Пример отображения степени достоверности исходных данных представлен на рисунке 5.6.

Объём исходной выборки	N	961
Математическое ожидание	M	730,9021852
СКО	SKO	716,1357899
К-т вариации	Vx	0,979797029
Проверка на Нормальный закон		
Число интервалов	K	15
Ширина интервала	DeltaX	200
Начальное значение диапазона	MinX	1
Конечное значение диапазона	MaxX	3000
Хи-квадрат фактический	Hisumma	945,2064739
Хи-квадрат теоретический	HiT	21
Вероятность соответствия	Pфакт	0

Рисунок 5.6 – Скриншот области экрана с результатами оценки степени достоверности исходных данных

Модуль статистической обработки данных рассчитан на инженерный состав, имеющий начальные знания о вероятностно-статистических методах управления. Но при этом все расчёты выполняются автоматически по апробированным алгоритмам. Поэтому Пользователю следует только следить за корректностью исходных выборок и собственно анализировать результаты.

Таким образом, модуль «Статистическая обработка данных» позволяет постоянно анализировать накапливаемую информацию о техническом состоянии локомотивов, находящихся на сервисном обслуживании, с использованием «инкапсулированных» методов теории вероятностей и математической статистики. На основе полученных результатов следует осуществлять управление техническим состоянием тягового подвижного состава.

5.3.2 Модуль стандартных отчётов

Стандартные отчёты используются в повседневной работе локомотиворемонтного хозяйства и являются результатом многолетнего накопления опыта управления техническим состоянием локомотивов. Эти формы позволяют руководителям различного уровня управления работать с данными одного вида представления. Очень важны унифицированные формы при взаимодействии балансодержателя локомотивов (ОАО «РЖД») и сервисных компаний (ТМХ-Сервис, СТМ-Сервис и др.). Поэтому, наряду с модулями статистической обработки данных (см.п. 5.3.1) и конструктором отчётов (см.п. 5.3.3), позволяющими работать больше в рамках процессов «Управление проблемами» и «Управление уровнем сервиса», стандартные отчёты предназначены в основном для работы в рамках процесса «Управление инцидентами».

В разделе 2.2.3 диссертации показано, что вся существующая система учёта, разработанная в своё время для ручного ведения, должна стать системой отчётов (ТО), формируемой автоматически или по запросу по данным информационной системы управления техническим состоянием локомотивов. Такая система отчётов разработана и реализована в информационно-управляющей системе ЕСМТ ООО «ТМХ-Сервис». Стандартные отчёты имеют настройку (фильтрацию) по региону, сериям локомотивов, периоду времени и др. На рисунке 5.7 представлен скриншот отчета по нарушениям режимов эксплуатации локомотивов. На рисунке 5.8 – отчёт о неплановых ремонтах локомотивов стандартной формы ТО-15.

Следует отметить, что большинство стандартных отчётов в сервисных локомотивных депо ведутся вручную с использованием программы MS Excel и даже MS Word, что непроизводительно занимает много рабочего времени специалистов. Автоматизация формирования стандартных отчётных форм позволяет существенно сократить непроизводительные интеллектуальные потери (восьмой вид потерь Бережливого производства). Модуль «Стандартные отчёты» важен для реализации процесса «Управление инцидентами» и существенно снижает интеллектуальные потери специалистов сервисных локомотивных депо.

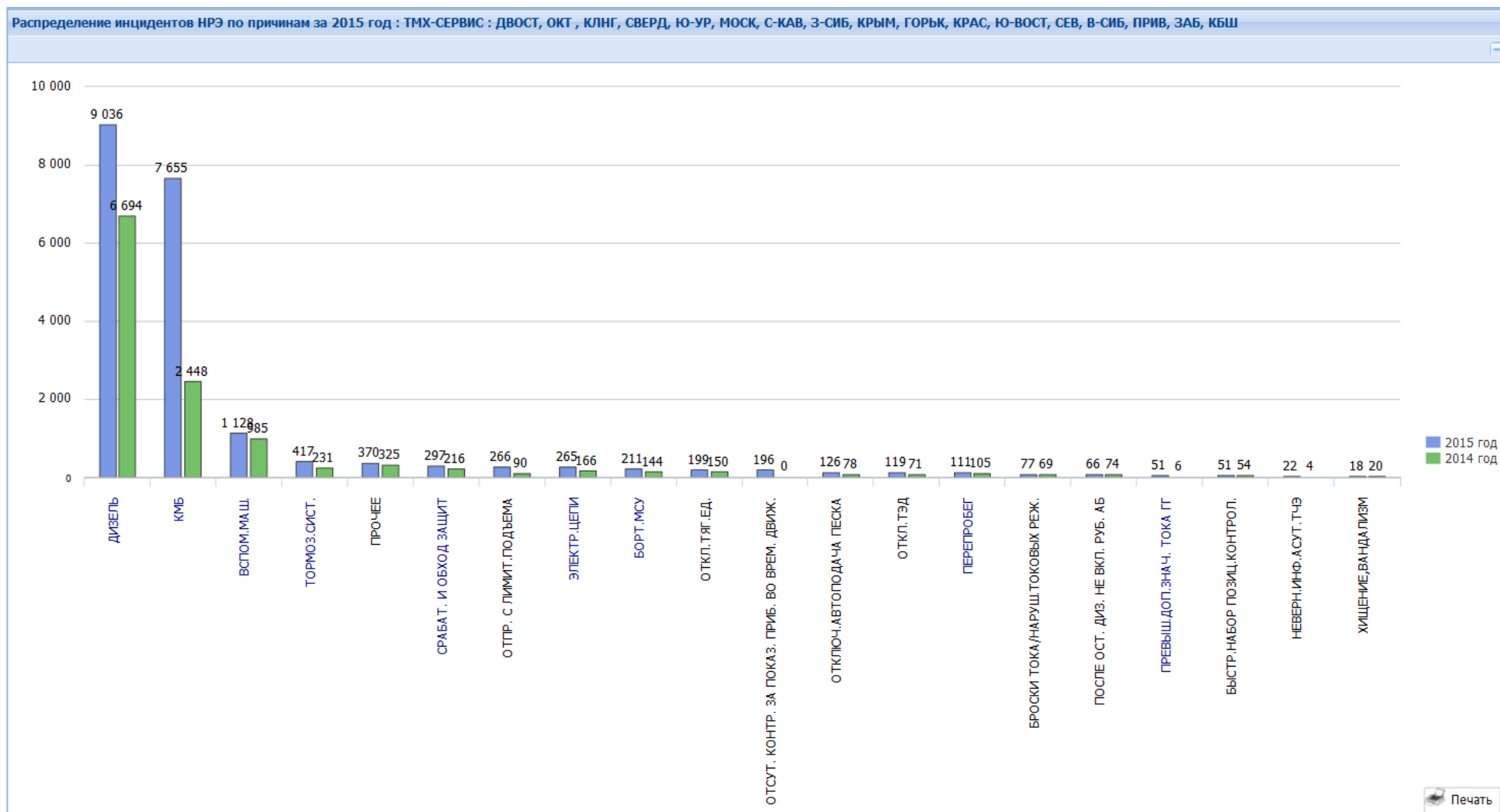


Рисунок 5.7 – Скриншот стандартного отчета по нарушениям режимов эксплуатации с разбивкой по типу оборудования локомотивов

Наименование	Неплановый ремонт по видам оборудования																				Всего											
	Всего	Механическое оборудование (ст.кл. - 106)	Тормозное оборудование (ст.кл.)	МСУ и РТС	Электрическая аппаратура и провода (ст.кл.)	Механическое оборудование (ст.кл. - 112)	Приборы безопасности (ст.кл.)	Электрические машины (ст.кл.)	Электрические машины (ст.кл.)	Радиостанция	Вспомогательные электрические машины локомотива	Электрооборудование силовой цепи, вспомогательных цепей и цепей управления локомотива	Система вентиляции локомотива	Тяговые электрические машины локомотива	Изоляторы (ст.кл.)	Электронные преобразователи	Дизель и дизельное оборудование локомотива	Токоприёмник (ст.кл.)	Диагностическое оборудование (ст.кл.)	Диагностическое оборудование (ст.кл.)		Тормозное и пневматическое оборудование локомотива	Крышное оборудование (ст.кл.)	Приборы безопасности локомотива	Эмбляжная часть и механическое оборудование локомотива	Дизель (ст.кл.)	Вспомогательное оборудование (ст.кл.)	Тормозное оборудование (ст.кл.)	Приборы безопасности (ст.кл.)	Электрическая аппаратура и провода (ст.кл.)	Всего	
Тепловозы	20 023	398		356			1 392	88	305	3 629	172	1 149			274	9 657		251			856		923	573								20 518
С-ЗАП	1 759	56		33			119	18	53	301	22	72			24	820		14			80		73	74								1 854
МОСК	1 398	9		37			29	4	20	228	40	116			25	730		2			63		50	45								1 416
ЗАП	702	23		4			43	2	14	96	5	52			11	347		1			49		29	26								704
Северный	4 493	83		44			340	17	30	1 010	30	206			35	2 125		13			221		203	136								4 558
Северо-Кавказский	659	25		19			17	1	17	106	11	22			18	279		3			60		47	34								661
ЮЖН	4 148	65		104			262	18	62	886	20	319			104	1 630		132			191		263	92								4 297
З-СИБ	2 916	40		36			260	8	52	422	31	162			32	1 591		39			65		116	62								2 942
Восточно-Сибирский	1 080	52		10			70	8	18	141	11	21			11	586		20			42		53	37								1 109
АМУРСКИЙ	1 844	30		58			201	10	27	253	1	160			11	964		20			46		22	41								1 880
Д-ВОСТ	1 024	15		11			51	2	12	186	1	19			3	585		7			39		67	26								1 097
Электровозы	22 701	1	1 049	514	4 133	2 994	1 300		2 968	208	614	3 085	76	1 645	452	1				305	912	224	951	1 269								23 190
Переменного тока	21 911	1	1 014	472	3 981	2 946	1 272		2 913	201	601	2 935	70	1 576	427	1				288	870	207	937	1 199								22 407
С-ЗАП	642		48	1	142	89	34		81	12	31	74			3				1	29	7	27	38									643
МОСК	197		1	8	17	13	3		10	3	3	34	1	51					2	9		18	20									222
ЗАП	1 631		57	20	222	65	81		113	22	79	417	1	157					6	114	32	120	101									1 639
Северный	1 680		105	7	331	117	239		138	35	37	232	3	58					8	88	39	158	79									1 694
Северо-Кавказский	1 253		46	43	141	49	71		46	31	38	316	3	55					2	102	11	152	127									1 284
ЮЖН	1 300		39	41	104	37	56		44	19	58	327	4	80					25	149	21	148	137									1 379
З-СИБ	2 159		156	76	353	288	146		278	18	54	282	6	129					80	105	12	68	105									2 178
Восточно-Сибирский	9 302	1	303	187	1 954	1 877	396		1 581	51	246	839	50	566					97	185	57	170	410									9 550
АМУРСКИЙ	1								1																							1
Д-ВОСТ	3 746		259	89	717	411	246		621	10	55	414	2	455					67	89	28	76	182									3 817
Постоянного тока	789		35	42	152	48	28		55	7	13	149	6	69					17	42	17	14	70									782
С-ЗАП	57		4	1	9	6			3		1	9		2							1	2	18									58

Рисунок 5.8 – Скриншот стандартной формы отчета по неплановым ремонтам с разбивкой по типу оборудования ТПС

5.3.3 Модуль конструктор отчетов

Конструктор отчетов представляет собой набор графических средств для проектирования запросов и отчетов. Целью создания конструктора отчетов является возможность выгрузки больших массивов данных за любой временной промежуток и в любой необходимой конфигурации. Имеется трехуровневая структура запросов: исполнительный аппарат сервисной компании, региональные филиалы и структурные подразделения (сервисные локомотивные депо). В конструкторе отчетов предусмотрена возможность просмотра запрашиваемой информации о техническом состоянии ТПС с возможностью выгрузки в формат Excel. Есть возможность запроса и вывода табличных и списочных отчетов, а так же отчетов в виде диаграмм и графиков.

Таблицы и графические формы имеют возможность «проваливания» («сверления») любых показателей: при двойном клике по необходимому показателю программа раскладывает показатель на его составляющие. Шаблоны отчетов можно сохранять под уникальным названием, что минимизирует время при повторном анализе: в шаблоне меняется только временной период. Также в конструкторе отчетов есть возможность редактирования и внесения изменений в уже созданный шаблон отчета. Основное окно конструктора отчета представлено на рисунках 5.9 - 5.10.

Примечание: опыт использования модуля показал высокую эффективность сочетания возможностей самого модуля и возможностей Excel в части управления печатью документа, формирования сводных отчетов и программирования на VBA.

Модуль «Конструктор отчетов» позволяет формировать произвольную отчетность по всей имеющейся в ЕСМТ информации, что позволяет значительно сократить потери времени инженерно-технического персонала на формирование различных отчетов для руководителей сервисных локомотивных депо, филиалов, исполнительного аппарата сервисной компании в рамках процессов «Управление проблемами» и «Управление уровнем сервиса».

ЕДИНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛОКОМОТИВОВ (ЕСМТ)

КОНСТРУКТОР ОТЧЁТОВ

Общие параметры отчёта

Раздел отчёта: Инцидент
Тип отчёта: Табличный

Наименование

Общие настройки

Группа: (По умолчанию)

Формат: HTML

Отчетный период

Год

2015

Выводить предыдущий период

Да Нет

Сохранить шаблон

Сформировать отчет

Перейти к списку шаблонов

Параметры | Поля отчёта

Детальные параметры отчёта

Состояние инцидента

Выбрать всё | Отменить всё

Пауза Эскалация Новый Работа Склад Обход Закрыт Анализ - Меры

Код закрытия ЛР

Выбрать всё | Отменить всё

Не подтвердился Решен Пустые
 Нет решения Дубль

Предприятия СО

Выбрать всё | Отменить всё

- ООО "ТМХ-Сервис" (СРВ)
 - Северо-Западный (ФИЛ)
 - Московский (ФИЛ)
 - Западный (ФИЛ)
 - Северный (ФИЛ)
 - Северо-Кавказский (ФИЛ)
 - Южный (ФИЛ)
 - Западно-Сибирский (ФИЛ)

Серии

Выбрать всё | Отменить всё

- Тепловозы
- Электровозы

Приписка локомотива

Выбрать всё | Отменить всё

- ОКТ
- КЛНГ
- МОСК
- ГОРЬК
- СЕВ
- С-КАВ
- Ю-ВОСТ
- ПРИВ

Причина инцидента (Новая)

Выбрать всё | Отменить всё

- КОНСТРУКТИВНАЯ
- ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ
- ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ
- ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ
- ДЕГРАДАЦИОННАЯ
- ФОРС-МАЖОР
- СНАБЖЕНИЕ
- НЕ УСТАНОВЛЕНО

Рисунок 5.9 – Скриншот окна конструктора отчётов, закладка «Параметры»

ЕДИНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛОКОМОТИВОВ (ЕСМТ)

КОНСТРУКТОР ОТЧЁТОВ

Общие параметры отчёта	Параметры				
Раздел отчёта: Инцидент Тип отчёта: Табличный	Поля отчёта				
Наименование <input type="text"/>	Инцидент Выбрать всё Отменить всё <input type="checkbox"/> Номер листа регистрации <input type="checkbox"/> Номер инцидента (XXX_ФИЛ) <input type="checkbox"/> Состояние инцидента <input type="checkbox"/> Дата возникновения инцидента <input type="checkbox"/> День возникновения инцидента <input type="checkbox"/> Месяц возникновения инцидента <input type="checkbox"/> Год возникновения инцидента <input type="checkbox"/> Тип источника информации <input type="checkbox"/> Источник информации (предприятие) <input type="checkbox"/> Категория инцидента <input type="checkbox"/> Причина захода в депо <input type="checkbox"/> Критичность инцидента <input type="checkbox"/> Обстоятельства инцидента АСУ <input type="checkbox"/> Обстоятельства инцидента <input type="checkbox"/> Способ создания <input type="checkbox"/> Дата и время создания инцидента <input type="checkbox"/> День создания инцидента <input type="checkbox"/> Месяц создания инцидента <input type="checkbox"/> Год создания инцидента <input type="checkbox"/> Дата закрытия инцидента <input type="checkbox"/> День закрытия инцидента <input type="checkbox"/> Месяц закрытия инцидента <input type="checkbox"/> Год закрытия инцидента <input type="checkbox"/> Код закрытия ЛР <input type="checkbox"/> Длительность инцидента	Локомотив Выбрать всё Отменить всё <input type="checkbox"/> Тяга <input type="checkbox"/> Группа серий <input type="checkbox"/> Серия <input type="checkbox"/> Номер локомотива <input type="checkbox"/> Номер секции <input type="checkbox"/> Дорога приписки <input type="checkbox"/> Депо приписки <input type="checkbox"/> Филиал <input type="checkbox"/> Дорога базового ТЧР <input type="checkbox"/> Базовое ТЧР <input type="checkbox"/> СЛД <input type="checkbox"/> СО/СУ	Анализ Выбрать всё Отменить всё <input type="checkbox"/> Тип оборудования <input type="checkbox"/> Оборудование <input type="checkbox"/> Узел <input type="checkbox"/> Деталь <input type="checkbox"/> Предприятие-изготовитель оборудования <input type="checkbox"/> Причина неисправности (старая) <input type="checkbox"/> Причина инцидента (Новая) <input type="checkbox"/> Виновное предприятие <input type="checkbox"/> Принятые меры <input type="checkbox"/> Причина паузы <input type="checkbox"/> Обстоятельства эскалации <input type="checkbox"/> Тип мероприятия <input type="checkbox"/> Наименование мероприятия	Пробеги и ремонты Выбрать всё Отменить всё <input type="checkbox"/> Дата ТО-2 <input type="checkbox"/> Пробег от ТО-2 в км <input type="checkbox"/> Пробег от ТО-2 в сут <input type="checkbox"/> Предприятие ТО-2 <input type="checkbox"/> Дата ТО-3 <input type="checkbox"/> Пробег от ТО-3 в км <input type="checkbox"/> Пробег от ТО-3 в сут <input type="checkbox"/> Предприятие ТО-3 <input type="checkbox"/> Дата ТР-1 <input type="checkbox"/> Пробег от ТР-1 в км <input type="checkbox"/> Пробег от ТР-1 в сут <input type="checkbox"/> Предприятие ТР-1 <input type="checkbox"/> Дата ТР-2 <input type="checkbox"/> Пробег от ТР-2 в км <input type="checkbox"/> Пробег от ТР-2 в сут <input type="checkbox"/> Предприятие ТР-2 <input type="checkbox"/> Дата ТР-3 <input type="checkbox"/> Пробег от ТР-3 в км <input type="checkbox"/> Пробег от ТР-3 в сут <input type="checkbox"/> Предприятие ТР-3 <input type="checkbox"/> Дата СР <input type="checkbox"/> Пробег от СР в км <input type="checkbox"/> Пробег от СР в сут <input type="checkbox"/> Предприятие СР <input type="checkbox"/> Дата КР	Поезд Выбрать всё Отменить всё <input type="checkbox"/> Номер поезда <input type="checkbox"/> Вес <input type="checkbox"/> Длина <input type="checkbox"/> Количество вагонов <input type="checkbox"/> Количество осей <input type="checkbox"/> Депо приписки ТЧМ <input type="checkbox"/> Табельный номер ТЧМ <input type="checkbox"/> ФИО ТЧМ

Рисунок 5.10 – Скриншот окна конструктора отчётов, закладка «Поля отчёта»

5.4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

В настоящем разделе приведена технико-экономическая оценка эффективности внедрения Единой информационно-управляющей системы мониторинга технического состояния локомотивов (ЕСМТ) в основу, которой положена разработанная автором научного исследования трехконтурная модель управления техническим состоянием локомотивов при сервисной системе ТОиР со встроенным качеством.

Экономическая эффективность железных дорог определяется объёмом выполняемых перевозок – тонно-километрами и пассажиро-километрами. При этом объём выполняемой работы слабо зависит от надёжности локомотивов, т.к. часть локомотивного парка стоит на консервации (в резерве).

Локомотиворемонтное хозяйство с точки зрения экономики рассматривается как затратная часть: «место возникновения затрат» в терминологии SAP R/3. Таким образом, повышение надёжности локомотивов не увеличит доход ОАО «РЖД», но позволит сократить затратную часть за счет снижения расходов на содержание локомотивного парка в работоспособном состоянии.

Реализация предлагаемой модели управления техническим состоянием тягового подвижного состава в локомотиворемонтном комплексе приведёт к сокращению затрат на тягу поездов, но не влияет на доходную часть железнодорожного транспорта.

Эффект от внедрения модели достигается за счёт сокращения потерь при сервисном обслуживании, основные из которых показаны на рисунке 5.13: потери от штрафов за невыполнение КТГ, от неплановых и сверхцикловых (дополнительных) работ, от пересодержания запасных частей и материалов, от большого объёма ручного труда, в т.ч. при выполнении отчетов по надёжности локомотивного парка.

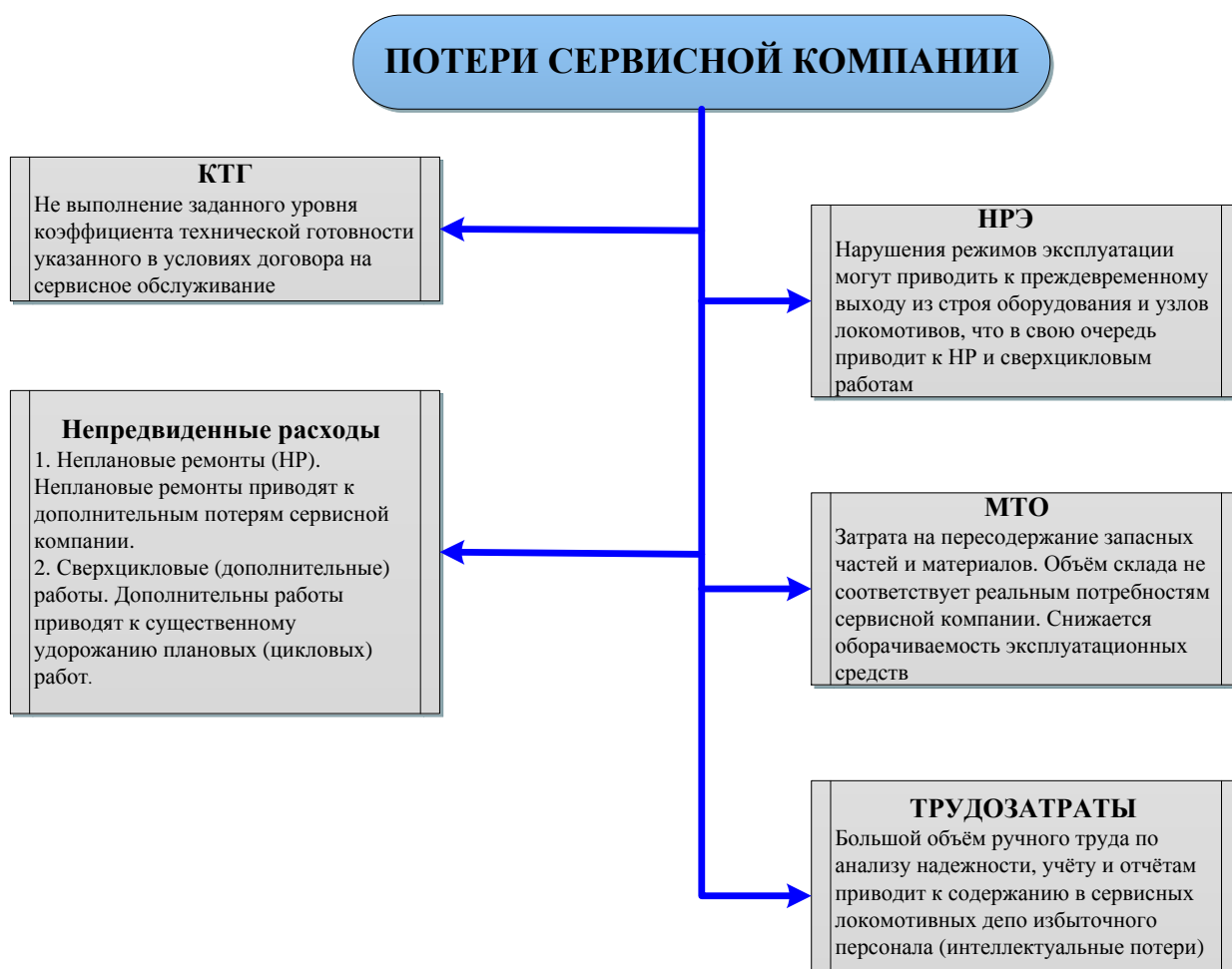


Рисунок 5.13 – Потери из-за низкой надёжности локомотивов

Сокращение потерь от внедрения модели достигается за счёт:

- 1. Сокращение потерь из-за низкого КТГ.** Общий парк локомотивов, находящихся на сервисном обслуживании, составляет примерно 20 тыс. секций, эффективность использования которых характеризуется в соответствии с договором на сервисное обслуживание (SLA) через коэффициент технической готовности (КТГ). Невыполнение КТГ приводит к дополнительным потерям сервисной компании из-за штрафов (понижающего коэффициента) со стороны Заказчика. Анализ показал, что потери КТГ до 60 % определяются длительным простоем в ожидании ТОиР и НР. ЕСМТ, прежде всего, может повлиять на сокращение потерь КТГ за счёт снижения unplanned repairs и сверхцикловых работ. Это позволит снизить штрафы (около 1 млрд руб. в год) на 10 %, что составит не менее 100 млн руб. в год.

2. **Непредвиденные расходы.** Значительная статья расходов сервисной компании - это неплановые ремонты (НР) и дополнительные работы (по своей сути являющиеся неплановыми ремонтами во время выполнения цикловых работ ТОиР). За пять месяцев 2016 года произошло более 35 тыс. неплановых ремонтов, в среднем на каждое сервисное депо приходится от 3 до 5 НР в день. Неплановые ремонты обходятся в более 0,8 млрд руб. в год. Выполнение качественного разбора (выявление причин возникновения неисправностей локомотивов: конструкционные, производственные, эксплуатационные, деграционные, технологические, комплектующие (низкое качество или отсутствие запчастей)) с разработкой соответствующих корректирующих и предупреждающих мероприятий (управление инцидентами - первый контур модели управления техническим состоянием локомотивов при сервисной системе ТОиР) позволит снизить количество НР (в т.ч. сверхцикловых работ) на 10-15 %, т.е. на 100 млн руб. в год.
3. **Сокращение НРЭ.** В разделе 4.1 показано, что по тепловозам значительное число нарушений, особенно на полигоне БАМ, происходит по дизель-генераторной установке. По экспертным оценкам нарушения режимов эксплуатации являются причиной не менее 30 % всех неплановых ремонтов локомотивов. В связи с тем, что только треть локомотивов, находящихся на сервисном обслуживании, оборудована бортовыми микропроцессорными системами, позволяющими выполнять управляющие воздействия (т.е. на них можно реализовать алгоритмические защиты), то число НР должно сократиться минимум на 10% , что составит около 100 млн руб. в год. Кроме того, использование ЕСМТ позволит относить часть неплановых работ (в т.ч. сверхцикловых работ) на заказчика в рамках обслуживания непредвиденного. По оценкам экспертов сервисной компании эта сумма составляет не менее 300 млн руб. в год.
4. **Материально-техническое обеспечение (МТО).** Затраты сервисной компании на запасные части и материалы для локомотивов составляют более 10 млрд руб. ежегодно. Сокращение затрат возможно за счёт

повышения качества ТОиР, снижения числа НР: пересодержание складов в сервисных локомотивных депо оценивается не менее, чем в 10 %. Внедрение ЕСМТ позволит сократить пересодержание складов не менее, чем на 5 %, что составит 50 млн руб. в год.

5. **Трудозатраты.** В трудах основателя теории автоматического управления (Кибернетики) Норберта Винера [33, 34] доказано, что управление каким бы то ни было процессом, прежде всего, связано со сбором и обработкой информации. Система ЕСМТ, основу которой составляет разработанная в диссертации модель управления техническим состоянием локомотивов в условиях сервисного обслуживания, должна существенно повысить качество управления и эффективность принятия решений, сократить непроизводительные издержки, в т.ч. интеллектуальные потери за счет автоматизации отчетных форм. Однако в денежном эквиваленте оценить повышение управляемости достаточно сложно, а интеллектуальные потери возможно: если предположить, что для написания отчетов о техническом состоянии локомотивов среднестатистический инженерно-технический работник сервисного локомотивного депо тратит 30 % своего рабочего времени (примерно 2,7 ч в день) и зарплата работника составляет 30 тыс. руб. в месяц, то получается: стоимость часа - $(30000/24 \cdot 8) = 156,3$ руб.; стоимость затрат в месяц 9 тыс. руб. в месяц, в год уже 108 тыс. руб., с учетом 92 СЛД затраты получаются не менее 1 млн руб. в год.

Эффект от внедрения единой информационно-управляющей системы мониторинга технического состояния локомотивов, в основу которой положена трёхконтурная модель управления техническим состоянием локомотивов при сервисной системе ТОиР со встроенным качеством, можно оценить в объёме не менее 0,65 млрд руб. в год, при этом расходы на внедрение не превысят 0,5 млрд руб. в течение 3-х лет. Таким образом, внедрение системы ЕСМТ в сервисной компании является заведомо окупаемым.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации получены новые научно обоснованные технические и технологические решения для совершенствования системы управления техническим состоянием ТПС в условиях сервисной системы технического обслуживания и ремонта с учётом современного уровня развития информационных технологий:

1. Разработана модель управления техническим состоянием локомотивов (Модель) применительно к сервисной системе технического обслуживания и ремонта локомотивов. Защищённая патентом на изобретение, Модель представляет собой трёхконтурную систему управления инцидентами, проблемами и уровнем сервисного обслуживания. Модель включает в себя вероятностно-статистические методы управления и алгоритмы международных стандартов в области управления качеством, надёжностью и бережливого производства, инкапсулированные в информационно-управляющую систему по методу «Встроенное качество».
2. Разработан метод автоматизированного диагностирования предотказных состояний однотипных узлов грузовых тепловозов, оборудованных аппаратно-программными комплексами управления.
3. Разработаны методы алгоритмических защит от превышения предельно допустимых режимов работы тепловозов. Для выявленных и часто встречающихся в эксплуатации опасных нарушений режимов эксплуатации локомотивов разработаны алгоритмы защиты от их появления. Результаты опытной эксплуатации тепловоза с алгоритмическими защитами показали повышение надёжности на 26 %. Способ контроля режимов эксплуатации локомотивов защищён патентом.
4. Многофакторный анализ эксплуатационных показателей тепловозов показал:
 - значимые причины простоя тепловозов в СЛД на неплановых ремонтах находятся в интервале до двух суток (2880 мин.);
 - существенно влияет фактор «Депо приписки» на простои на неплановых ремонтах и зависит от организации работы в сервисном локомотивном депо.

5. В условиях эксплуатации тепловозов на полигоне БАМ выявлено:

- объём перевозок грузов осуществляется тепловозами серии 2ТЭ10 (18 % от их общего времени нахождения в эксплуатации), а тепловозами 3ТЭ10 – 40 %;
- из-за тримодального распределения массы поезда не рекомендуется применять широко распространённый термин «средняя масса поезда» для тепловозов серий ТЭ10 и 2ТЭ25А «Витязь», т.к. он не отражает параметры эксплуатационной работы. Переходить от учёта работы локомотивов по пробегу к тонно-километровой работе не следует, т.к. корреляция числа отказов с пробегом и работой оказалась одинаковой из-за участия всех локомотивов как в тяжеловесном (на Восток), так и в порожнем (на Запад) движении.
- учёт работы тепловозов по времени нахождения в эксплуатации и пробегу показал, что учёт для серий 3ТЭ10 ($r_{yx}=0,871$) и 2ТЭ25А ($r_{yx} =0,977$) следует осуществлять в километрах пробега, а 2ТЭ10 ($r_{yx} =0,163$) и ТЭП70 ($r_{yx} =0,135$) – в часах;
- эффективность разработанной Модели повышается за счёт использования следующих математических методов: контроль унимодальности (через проверку соответствия закону распределения случайной величины), контроль трендов с прогнозированием работоспособности оборудования, многофакторный анализ по коэффициентам корреляции.

6. Модель внедрена через соответствующие программные модули единой информационно-управляющей системы в работу 92-х сервисных локомотивных депо компании ООО «ТМХ-Сервис».

7. Эффект от внедрения Модели достигается за счёт сокращения потерь от пересодержания парка локомотивов, перепростоя на ТОиР, повышения коэффициента технической готовности, устранения неэффективных управляющих решений.

В качестве рекомендаций и перспективы дальнейшей разработки темы диссертации предлагаются исследования в области инкапсуляции вероятностно-статистических и логических методов интерактивного управления техническим состоянием локомотивов.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АПК – бортовые аппаратно-программные комплексы локомотивов.

Вес инцидента - понесенные затраты компании, необходимые для устранения последствий его возникновения; интегрированный показатель, предложенный в диссертации.

Встроенное качество - система мероприятий, как технического, так и организационного характера, направленных на недопущение изготовления некачественной продукции: качество повышается не путем усиления контроля готовой продукции, а методом предотвращения появления брака в процессе.

ЕСМТ - Единая информационно-управляющая система мониторинга технического состояния локомотивов, на базе которой реализовано управление техническим состоянием локомотивов по предложенной модели.

Инцидент - любая ситуация, отличная от нормальной эксплуатации локомотива: нарушение режима эксплуатации (превышение, установленных заводом-изготовителем, предельно допустимых параметров эксплуатации узлов и деталей локомотивов), предотказное состояние (устранение которого гораздо дешевле, чем самого отказа), замечания машиниста (по данным бортового журнала ТУ-152).

Ж.д. – железная дорога.

КМБ – колёсно-моторный блок ТПС.

МИИТ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II" (МГУПС (МИИТ)).

МПС – министерство путей сообщения СССР и РФ.

МСУ – микропроцессорные системы управления, синоним АПК.

НР – неплановый ремонт локомотива с заходом в СЛД, вызванный отказом локомотива.

ПО – программное обеспечение.

ПТОЛ – пункт технического осмотра локомотивов, где осуществляется обслуживание в объёме ТО-2.

РЖД - ОАО «РЖД», Российские железные дороги.

СЛД – сервисное локомотивное депо, основное линейное предприятие локомотиворемонтного комплекса.

Т – региональные дирекции тяги.

ТОиР – техническое обслуживание и ремонт локомотивов в системе планово-предупредительных ремонтов и обслуживания.

ТО-2, ТО-3, ТО-4, ТО-5, ТР-1, ТР-2, ТР-3, СР, КР и др. – виды ТОиР.

ТПС – тяговый подвижной состав.

ТЧЭ – эксплуатационное локомотивное депо ОАО «РЖД».

ТЭ10 – локомотивы и их секции следующих серий грузовых тепловозов: 2ТЭ10, 3ТЭ10, 2ТЭ10У, 3ТЭ10У, 2ТЭ10МК, 3ТЭ10МК и другие модификации.

ТЭП70 – пассажирские тепловозы серий ТЭП70, ТЭП70У и ТЭП70БС.

ГГ (ТГ) – главный (тяговый) генератор тепловоза.

ТЭД – тяговый электродвигатель локомотива.

ЦТ – центральная дирекция тяги - филиал ОАО «РЖД».

ЦТР – центральная дирекция по ремонту тягового подвижного состава - филиал ОАО «РЖД».

Online – «находящийся в состоянии подключения»: режим работы, при котором все действия выполняются сразу, а не откладываются; в литературе часто встречается с тем же значением термин «В реальном времени».

PDCA – принцип постоянного улучшения или цикл Э.Деминга.

VBA – Visual Basic for Application.

в т.ч. – в том числе.

т.н. – так называемые.

г. – год.

и др. – и другое (другие).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аболмасов, А.А. Повышение безопасности движения поездов за счет принципиального улучшения технологии управления надежностью ТПС [Текст] / А.А. Аболмасов // Труды XII научно-практической конференции «Наука МИИТа — транспорту». – М.: МИИТ, – 2011. – С. V-1.
2. Аболмасов, А.А. Техническое обслуживание и ремонт локомотивов с использованием бортовых микропроцессорных систем управления [Текст] / А.А. Аболмасов, В.А. Мельников, И.И. Лакин // Локомотив. – 2015. – № 2. – С. 4 – 7.
3. Аболмасов, А.А. КРІ в условиях реформирования локомотивного комплекса [Текст] / А.А. Аболмасов // Труды XIV научно-практической конференции «Наука МИИТа - транспорту». – М.: МИИТ, 2013. – С. V-2.
4. Аболмасов, А.А. Информационные средства автоматизированной системы управления надежностью локомотивов ТМХ-Сервис [Текст] / А.А. Аболмасов, В.А. Мельников // Труды второй всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов». – ОмГУПС, Омск, 2014. – С. 12 – 17.
5. Аболмасов, А.А. Критерии надежности тепловозов [Текст] / А.А. Аболмасов // Мир транспорта. – 2014. – № 2. – С. 158 – 168.
6. Аболмасов, А.А. Опыт применения статистических методов при управлении надежностью локомотивов [Текст] / А.А. Аболмасов // Труды всероссийской научно-практической конференции с международным участием «120 лет железнодорожному образованию в Сибири». – КрИЖТ, Красноярск, 2014. – С. 76 – 81.
7. Аболмасов, А.А. Повышение безопасности движения поездов за счет принципиального улучшения технологии управления надежностью ТПС [Текст] / А.А. Аболмасов // Труды XII научно-практической конференции «Безопасность движения поездов». – М.: МИИТ, 2011. – С. V-1.
8. Аболмасов, А.А. Реализации принципов «Встроенное качество» в информационных системах локомотивного комплекса [Текст] / А.А. Аболмасов // Современные технологии. Системный анализ.

Моделирование. – 2015. – № 4. – С. 190 – 196.

9. Аболмасов, А.А. Роль статистических методов в организации сервисного обслуживания [Текст] / А.А. Аболмасов, С.Л. Лянгасов, И.К. Лакин, В.А. Мельников // Труды первой международной научно-практической конференции «Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов». – М.: ООО «ТМХ-Сервис», 2014. – С. 65 – 70.
10. Аболмасов, А.А. Система мониторинга технического состояния локомотивов в ТМХ-Сервис [Текст] / А.А. Аболмасов // Труды международной научно-практической конференции «Эксплуатационная надежность подвижного состава». – ОАО «НИИТКД», Омск, 2013. – С. 367–372.
11. Аболмасов, А.А. Система мониторинга технического состояния локомотивов при сервисном обслуживании [Текст] / А.А. Аболмасов // Труды XIV научно-практической конференции «Безопасность движения поездов». – М.: МИИТ, 2013. – С. III-23.
12. Аболмасов, А.А. Статистические методы проверки достоверности исходных данных при диагностировании подвижного состава [Текст] / А.А. Аболмасов // Труды пятой международной научно-практической конференции «Транспортная инфраструктура Сибирского региона». – ИрГУПС, Иркутск, 2014. – С. 542–548.
13. Аболмасов, А.А. Технические требования на модуль статистики [Текст] / А.А. Аболмасов. – М.: ООО «Локомотивные технологии», 2015. – 93 с.
14. Аболмасов, А.А. Управление надежностью локомотивов в условиях реформирования локомотивного хозяйства [Текст] / А.А. Аболмасов // Труды XIII научно-практической конференции «Безопасность движения поездов». – М.: МИИТ, 2012. – С. V-40.
15. Аболмасов, А.А. "Встроенное качество" в информационных системах локомотиворемонтного комплекса [Текст] / А.А. Аболмасов, В.А. Мельников, И.И. Лакин // Локомотив. – 2015. – № 6. – С. 6 – 8.
16. Аболмасов, А.А. Алгоритмическая защита локомотивов [Текст] / А.А. Аболмасов, В.А. Мельников, И.И. Лакин // Локомотив. – 2015. – № 3. – С. 8 – 10.
17. Аболмасов, А.А. Мониторинг и диагностирование технического состояния

- локомотивов [Текст] / А.А. Аболмасов, В.А. Мельников, И.И. Лакин. – Berlin: LAP Lambert Academic Publishing AG & CO.KG, 2014. – 136 с.
18. Аболмасов, А.А. Применение принципов «встроенного качества» для повышения надежности локомотивов [Текст] / А.А. Аболмасов, В.А. Мельников, И.И. Лакин // Локомотив информ. – 2015. – № 5. – С. 28 – 30.
19. Автоматизированная система ведения и анализа графика исполненного движения – ГИД «Урал – ВНИИЖТ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://scbist.com/stati-po-scb/1013-gid-ural.html> (дата обращения: 10.12.2014).
20. Автоматизированная система оперативного управления перевозками. Дорожный уровень. База данных АСОУП-2 [Текст] / – М.: НИИАС, 2005. – 24 с.
21. Айзинбуд, С.Я. Эксплуатация локомотивов [Текст] / С.Я. Айзинбуд, П.И. Кельперис. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1990. – 261 с.
22. Антоненко, И.Н. Автоматизация управления ремонтом тягового подвижного состава [Текст] / И.Н. Антоненко // Железнодорожный транспорт. – 2005. – № 9. – С. 52 – 55.
23. Аппаратно-программный комплекс «БОРТ» [Текст] / – Омск: НИИТКД, 2005. – 604 с.
24. «Ассоциация Деминга», официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.deming.ru (дата обращения: 20.12.2014).
25. АСУ НБД-2 – Современное средство управления безопасностью и надёжностью локомотивов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.to-inform.ru/index.php/arkhiv/item> (дата обращения: 08.09.2015).
26. Бабков, Ю.В. Принципы усовершенствования системы технического обслуживания и ремонта тепловозов 2ТЭ25А [Текст] / Ю.В. Бабков, В.А. Перминов, Е.Е. Белова // Локомотив. – 2013. – № 9. – С. 34 – 36.
27. Белинский, А.А. Принцип «Встроенное качество» в информационных системах локомотиворемонтного комплекса [Текст] / А.А. Белинский, И.К. Лакин, А.А. Аболмасов // Бюллетень результатов научных исследований. – 2015. – № 3-4. – С. 13 – 28.
28. Бочаров, В.М. Использование информации АПК «Борт» для изменения периодичности технического обслуживания (ТО-3) и текущего ремонта

- маневровых тепловозов [Текст] / В.М. Бочаров, С.М. Кузнецов // Труды всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава». – ОмГУПС, Омск, 2011. – С. 227–233.
29. Буше, Н.А. Некоторые соображения о технической политике в области эксплуатационной надежности [Текст] / Н.А. Буше // Железные дороги мира. – 2006. – № 7. – С. 27 – 30.
30. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей [Текст] / Е.С. Вентцель. – 4-е изд. стереотипное. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
31. Википедия – электронная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki> (дата обращения: 12.12.2016).
32. Викисловарь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wiktionary.org/wiki> (дата обращения: 20.12.2016).
33. Винер, Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине [Текст] / Н. Винер. – Пер. с англ. – 2-е издание. – М.: Наука, 1983. – 344 с.
34. Винер, Н. Человек управляющий [Текст] / Н. Винер. – СПб.: Питер, 2001. – 288 с.
35. Внедрение методологии УРРАН в локомотивном комплексе ОАО «РЖД» [Текст]: – М.: НИИАС, 2013. – 17 с.
36. Вовк, А.А. Основы общей теории статистики [Текст] / А.А. Вовк. – М.: Маршрут, 2006. – 240 с.
37. Воробьев, А.А. Оптимизация периодичности и объёмов плановых ремонтов ЭПС и прогнозирование его технического состояния: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07 / Воробьев Александр Алексеевич. – М., 1992. – 362 с.
38. Воробьев, А.А. Основы технологии производства подвижного состава [Текст] / А.А. Воробьев, А.В. Горский. – М.: МИИТ, 2003. – 228 с.
39. Воротилкин, А.В. Преобразования локомотивного комплекса фундамент успешного развития [Текст] / А.В. Воротилкин // Локомотив. – 2015. – № 2. – С. 2–3.
40. Воротилкин, А.В. Локомотивный комплекс и перспективы его развития [Текст] / А.В. Воротилкин // Локомотив. – 2011. – № 1. – С. 2–5.

41. Воротилкин, А.В. Временное положение о системе технического обслуживания и ремонта локомотивов №2020р / А.В. Воротилкин // М.: ОАО «РЖД», 2015. – 7 с.
42. Гапанович, В.А. Математическое и информационное обеспечение системы УРРАН [Текст] / В.А. Гапанович, А.М. Замышляев, И.Б. Шубинский // Надежность. – 2013. – № 1(44). – С. 3–11.
43. Гапанович, В.А. Некоторые вопросы управления ресурсами и рисками на железнодорожном транспорте на основе состояния эксплуатационной надежности и безопасности объектов и процессов [Текст] / В.А. Гапанович, А.М. Замышляев, И.Б. Шубинский // Надежность. – 2011. – № 1(36). – С. 2–8.
44. Гапанович, В.А. Построение и использование матриц рисков в системе управления рисками на железнодорожном транспорте [Текст] / В.А. Гапанович, И.Б. Шубинский, А.М. Замышляев // Надежность. – 2011. – № 4 (39). – С. 56–68.
45. Гапанович, В.А. Построение системы ситуационного управления чрезвычайными ситуациями в ОАО «РЖД» [Текст] / В.А. Гапанович, И.Н. Розенберг, А.М. Замышляев // Надежность. – 2010. – № 4(35). – С. 2–11.
46. Глущенко, А.Д. Динамика тяговых электродвигателей тепловозов [Текст] / А.Д. Глущенко, В.И. Юшко. – Ташкент: Фан УзССР, 1980. – 168 с.
47. Головатый, А.Т. Электроподвижной состав. Эксплуатация, надежность и ремонт [Текст]: Учебник для вузов ж.- д. транспорта / А.Т. Головатый, И.П. Исаев, П.И. Борцов. – М.: Транспорт, 1983. – 350 с.
48. Головатый, А.Т. Техническое обслуживание и ремонт локомотивов за рубежом [Текст] / А.Т. Головатый, А.Ю. Лебедев. – М.: Транспорт, 1977. – 159 с.
49. Головащ, А.Н. Проблемы и решения сервисного обслуживания локомотивов [Текст] / А.Н. Головащ // Труды первой международной научно-практической конференции «Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов». – М.: ООО «ТМХ-Сервис», 2014. – С.141–143.
50. Головащ, А.Н. Вероятностная модель оценки результатов диагностирования [Текст] / А.Н. Головащ, В.Г. Шахов // – Омский научный вестник. – 2008. – №2. – С. 11–14.

51. Горский, А.В. Использование эксплуатационных показателей надёжности для оптимизации межремонтных пробегов электровозов на полигоне Челябинск – Рыбное [Текст] / А.В. Горский, А.А. Воробьёв, А.В. Скребков // Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов: материалы первой международной научно-практической конференции – М.: ООО «ТМХ-Сервис», 2014. – С. 144-152.
52. Горский, А.В. Методы оптимизации системы планово-предупредительных ремонтов электровозов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07 / Горский Анатолий Владимирович. – М., 1985. – 526 с.
53. Горский, А.В. Оптимизация сроков ремонта на основе интенсивности отказов [Текст] / А.В. Горский, В.А. Козырев, А.В. Скребков // Мир транспорта. – 2015.– № 5. С. 16 – 18.
54. Горский, А.В. Надёжность электроподвижного состава [Текст] / А.В. Горский, А.А. Воробьёв. – М.: Маршрут, 2005. – 301 с.
55. Горский, А.В. Стратегия интеллектуального ремонта локомотивов [Текст] / А.В. Горский, А.А. Воробьёв, А.В. Скребков // Локомотив. – 2015. – № 7. – С. 56 – 59.
56. Горский, А.В. Оптимизация системы ремонта локомотивов [Текст] / А.В. Горский, А.А. Воробьёв. – М.: Транспорт, 1994. – 208 с.
57. Горский, А.В. Модуль статистики ЕСМТ. Алгоритмы функционирования. Научный отчёт [Текст] / А.В. Горский, А.А. Воробьёв, А.В. Скребков. – М.: МИИТ, 2015. – 200 с.
58. ГОСТ 27.002-89. Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения [Текст].– Введ. 1990-07-01.– М.: Изд-во стандартов, 1989.– 37с.
59. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения [Текст]. – Введ. 1991-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 12 с.
60. ГОСТ Р 50779.10-2000. Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения [Текст]. – Введ. 2001-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 46 с.
61. ГОСТ Р 52122-2003. Техническая диагностика. Локомотивы магистральные. Встроенные системы диагностирования. Общие требования [Текст]. – Введ. 2004-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 8 с.
62. ГОСТ Р 50779.21-96. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1:

- Нормальное распределение [Текст]. – Введ. 1997-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 48 с.
63. ГОСТ Р 50779.22-2005. Статистическое представление данных. Точечная оценка и доверительный интервал для среднего [Текст]. – Введ. 2005-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 11 с.
64. ГОСТ Р 50779.23-2005. Статистическое представление данных. Сравнение двух средних в парных наблюдениях [Текст]. – Введ. 2005-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 8 с.
65. ГОСТ Р 50779.42-99. Статистические методы. Контрольные карты Шухарта [Текст]. – Введ. 2000-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 36 с.
66. ГОСТ Р ИСО 9000-2008. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь [Текст]. – Введ. 2009-09-10. – М.: Изд-во стандартов, 2008. – 31 с.
67. Грачёв, А.А. Системы автоматизации и информационные технологии управления перевозками на железных дорогах [Текст]: Учебник для вузов / А.А. Грачёв, В.А. Гапанович и др.; под редакцией В.И. Ковалёва, А.Т. Осьминина, Г.М. Грошева. – М.: Маршрут, 2006. – 544 с.
68. Грачев, В.В. Оценка технического состояния тепловозного дизеля по данным бортовой микропроцессорной системы управления [Текст] / В.В. Грачев, М.Ш. Валиев // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2010. - №1. – С. 22 – 32.
69. Гриненко, В.И. Взаимодействие с ВУЗами в процессе инновационного развития [Текст] / В.И. Гриненко // Труды первой международной научно-практической конференции «Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов». – М.: ООО «ТМХ-Сервис», 2014. – С. 18 – 28.
70. Гриненко, В.И. Мониторинг технического состояния локомотивов по данным их бортовых микропроцессорных систем [Текст] / В.И. Гриненко, А.А. Аболмасов, В.А. Мельников // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 4. – С. 71–74.
71. Давыдов, Ю.А. Моделирование и анализ информационных потоков при автоматизированном управлении технологическими процессами в

- локомотивном депо: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.06, 05.22.07 / Давыдов Юрий Анатольевич. – М., 2001. – 482 с.
72. Давыдов, Ю.А. Интерактивная система диагностирования объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта [Текст] / Ю.А. Давыдов, А.К. Пляскин, М.Ю. Кейно // Труды первой международной научно-практической конференции «Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов». – М.: ООО «ТМХ-Сервис», 2014. – С. 237-241.
73. Давыдов, Ю.А. Моделирование, оптимизация и контроль информационных потоков локомотивного депо [Текст] / Ю.А. Давыдов. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2001. – 116 с.
74. Давыдов, Ю.А. Принципы моделирования информационной системы локомотивного депо [Текст] / Ю.А. Давыдов. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2000. – 163 с.
75. Деминг, Э. Выход из кризиса: Новая парадигма управления людьми, системами и процессами [Текст] / Э. Деминг. – Пер. с англ. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. – 370 с.
76. Единая система мониторинга работы бортовых систем (ЕСМ БС) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://infokom.org/edinaya-sistema-bortovih-sistem/> (дата обращения: 07.05.2015).
77. Житенёв, Ю.А. Интеллектуальные системы на службе транспорту [Текст] / Ю.А. Житенёв // Локомотив. – 2010. – № 7. – С. 6 - 10.
78. Закс, Л. Статистическое оценивание [Текст] / Пер. с нем. В.Н. Варыгина; Науч. ред. и предисл. Ю.П. Адлера, В.Г. Горского. – М.: Статистика, 1976. – 598 с.
79. Замышляев, А.М. Автоматизация процессов комплексного управления техническим содержанием инфраструктуры железнодорожного транспорта: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.06 / Замышляев Алексей Михайлович. – М., 2013. – 46 с.
80. Замышляев, А.М. Технология анализа оценки рисков в эксплуатационной работе ОАО «РЖД» на основе показателей эксплуатационной надежности безопасности [Текст] / А.М. Замышляев // Ядерные измерительно-информационные технологии. – 2011. – № 2. – С. 86 – 100.
81. Иванов, В.В. Эксплуатация локомотивов и локомотивное хозяйство [Текст]:

- Учебник для вузов ж.-д. транспорта / В.В. Иванов, Ю.Е. Просвиров, В.Б. Скоркин и др.; под редакцией Ю.Е. Просвирова. – Самара: Изд-во СамГУПС, 2012. – 250 с.
82. Игин, В.Н. Научные основы анализа и контроля энергетической эффективности эксплуатируемого парка тепловозов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07 / Игин Валерий Николаевич. – М., 2002. – 300 с.
83. Иностранные слова в русском языке [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.wikijournal.ru/index.php> (дата обращения: 25.12.2016).
84. Информационно-аналитическая система АСУ ЗМ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://scbist.com/wiki/25678-asu-zm.html> (дата обращения: 17.08.2015).
85. Иньков, Ю.М. Диагностирование локомотивов методом статистического последовательного анализа энергозатрат по поездкам [Текст] / Ю.М. Иньков, В.П. Феоктистов, Н.Г. Шабалин // Труды первой международной научно-практической конференции «Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов». – М.: ООО «ТМХ-Сервис», 2014. – 158 – 160.
86. Иньков, Ю.М. Эксплуатация и ремонт электроподвижного состава магистральных железных дорог [Текст]: Учеб. пособие / Ю.М. Иньков, В.П. Феоктистов, Н.Г. Шабалин; под редакцией Ю.М. Инькова. – М.: Изд-во МЭИ, 2011. – 384 с.
87. Исаев, И.П. Определение оптимальных параметров системы ремонта электроподвижного состава [Текст] / И.П. Исаев, А.В. Горский, В.А. Козырев // Надежность и контроль качества. – 1977. – № 10. – С. 31-38.
88. Исаев, И.П. Проблемы повышения надежности технических устройств железнодорожного транспорта [Текст] / И.П. Исаев. – М.: Транспорт, 1968. – 159 с.
89. Исаев, И.П. Разработка оптимальной системы ремонта [Текст] / И.П. Исаев, А.В. Горский, В.И. Седов // Железнодорожный транспорт. – 1970. – № 10. – С. 40 – 44.
90. Исаев, И.П. Стремитесь познавать: Методологический подход к исследованию и решению технических проблем железнодорожного транспорта [Текст] / И.П. Исаев. – М.: Транспорт, 1988. – 159 с.

91. Исикава, К. Японские методы управления качеством [Текст] / Пер. с англ. / Науч. ред. и предисл. А.В. Гличева. – М.: Экономика, 1988. – 215 с.
92. Качество во главе угла. Официальный сайт газеты «Гудок» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1359942> (дата обращения: 23.12.2016).
93. Ким, С.И. Тепловозы. Назначение и устройство [Текст]: Учебник для образовательных учреждений ж.- д. транспорта / С.И. Ким, О.Г.Куприенко, Э.И. Нестеров, А.С. Евстратов; под редакцией О.Г. Куприенко. – М.: Маршрут, 2006. – 280 с.
94. Киселёв, В.И. Опыт сервисного обслуживания локомотивов [Текст] / В.И. Киселёв, И.И. Лакин // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 4. – С. 64 – 67.
95. Киселёв, В.И. Эксплуатация и техническое обслуживание подвижного состава [Текст]: Учеб. пособие / В.И. Киселев, В.А. Гапанович, И.К. Лакин и др.; под общей редакцией В.А. Гапановича – М.: ИРИС Групп, 2012. – 576 с.
96. Козырев, В.А. Основы оптимизации системы эксплуатации и организации ремонта грузовых электровозов [Текст]: Учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта / В.А. Козырев – М.: МИИТ, 1998. – 120 с.
97. Комплексная автоматизированная система управления железнодорожным транспортом (АСУЖТ) [Текст] / Под редакцией А.П. Петрова. – М.: Транспорт, 1977. – 599 с.
98. Комплексная автоматизированная система учёта, контроля устранения отказов технических средств и анализа их надёжности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://scbist.com/sistemy-centralizacii-i-blokirovki/1570-kasant.html> (дата обращения: 16.09.2016).
99. Концепция постоянного улучшения инновационной деятельности ОАО «РЖД» [Текст] – М.: ОАО «РЖД», 2010 – 79 с.
100. Космодамианский, А.С. Автоматические системы регулирования [Текст] / А.С. Космодамианский. – М.: РГОТУПС, 2004. – 40 с.
101. Космодамианский, А.С. Автоматические системы управления локомотивов [Текст]: / Учебник для вузов ж. - д. транспорта / А.С. Космодамианский, Н.М. Луков. – М.: ГОУ «Учебно-методический

- центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. – 429 с.
102. Коссов, Е.Е. К вопросу прогнозирования остаточного ресурса тепловозного дизель-генератора [Текст] / Е.Е. Коссов, И.В. Сиротенко // Вестник ВНИИЖТ. – 2000. – № 7. – С.38 – 43.
103. Коссов, Е.Е. Анализ стоимости жизненного цикла (LCC) при оценке эффективности подвижного состава [Текст] / Е.Е. Коссов, М. Бабел, М. Шкода // Вестник ВНИИЖТ. – 2013. – № 6. – С. 55 – 59.
104. Кочерга, В.Г. Надежность тепловозов [Текст]: Учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта / В.Г. Кочерга. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2012. – 66 с.
105. Кузьмич, В.Д. Теория локомотивной тяги [Текст]: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / В.Д. Кузьмич – М.: Маршрут, 2005. – 448 с.
106. Лакин, И.К. Автоматизированная система управления локомотивным хозяйством. АСУТ [Текст] / И.К. Лакин, Ю.В. Смирнов, А.Ю. Тимченко. – М.: ОЦВ, 2002. – 516 с.
107. Лакин, И.К. Анализ основных показателей работы железнодорожного транспорта [Текст] / И.К. Лакин // Транспорт РФ. – 2007. – № 1. – С.60 – 63.
108. Лакин, И.К. Инкапсуляция статистических методов управления в информационные системы Локотех [Текст] / И.К. Лакин, С.Л. Лянгасов, А.А. Аболмасов // Труды третьей всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава». – Омск: ОмГУПС, 2015. – С. 14 – 21.
109. Лакин, И.К. Применение статистических методов при диагностировании тепловозов [Текст] / И.К. Лакин, А.А. Аболмасов, В.А. Мельников // Известия Транссиба. – 2015. – № 1. – С. 20 – 29.
110. Лакин, И.К. Разработка теории и программно-технических средств комплексной автоматизированной справочно-информационной и управляющей системы локомотивного депо: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07 / Лакин Игорь Капитонович. – М., 1997. – 377 с.
111. Лакин, И.К. История создания систем менеджмента качества (СМК) и особенности их внедрения на железнодорожном транспорте [Текст] / И.К. Лакин, В.Н. Супрун. – Красноярск: КФ ИрГУПС, 2006. – 92 с.
112. Лакин, И.К. Модель управления рисками отказов локомотивов [Текст] /

- И.К. Лакин, А.А. Аболмасов, В.А. Мельников // Мир транспорта. – 2013. – № 4. – С. 130 – 136.
113. Лакин, И.К. Мониторинг технического состояния и режимов эксплуатации по данным бортовых микропроцессорных систем тепловозов [Текст] / И.К. Лакин, А.А. Аболмасов, В.А. Мельников // Труды IV международной партнерской конференции EuroTrain «Современный подвижной состав: приоритеты, инновации, перспективы». – Украина, Ялта, – 2013. – С. 50 – 51.
114. Лакин, И.К. Автоматизированная система управления надёжностью сервисных локомотивов [Текст] / И.К. Лакин, А.А. Аболмасов, В.А. Мельников // Труды XIV научно-практической конференции «Безопасность движения поездов». – М.: МИИТ, 2013. – С. III-38.
115. Лакин, И.К. Мониторинг технического состояния и режимов эксплуатации по данным бортовых микропроцессорных систем тепловозов [Текст] / И.К. Лакин, А.А. Аболмасов, В.А. Мельников, // Труды IV международной конференции «Железнодорожное машиностроение». – Экспо 1520, Щербинка, 2013. – С. 67
116. Лакин, И.К. Особенности применения статистических методов анализа при управлении надёжностью локомотивов [Текст] / И.К. Лакин, А.А. Аболмасов // Труды второй международной научно-практической конференции «Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов». – М.: ООО «Локомотивные технологии», 2015. – С. 180 – 186.
117. Лакин, И.И. Мониторинг технического состояния локомотивов по данным бортовых аппаратно-программных комплексов: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Лакин Игорь Игоревич. – М., 2016 – 195 с.
118. Лapidус, В.А. Всеобщее качество (TQM) в российских компаниях [Текст] / В.А. Лapidус. – М.: ОАО «Типография Новости», 2000. – 432 с.
119. Лецкий, Э.К. Управление и информационные технологии на железнодорожном транспорте [Текст] / Э.К. Лецкий, Л.П. Тулупов, И.Н. Шапкин, А.И. Самохвалов и др.; под редакцией Л.П. Тулупова. –М.: Транспорт, 2005. – 407 с.
120. Липа, К.В. Мониторинг технического состояния локомотивов по данным

- бортовых микропроцессорных систем управления [Текст] / К.В. Липа, В.И. Гриненко, С.Л. Лянгасов, И.К. Лакин, А.А. Аболмасов, В.А. Мельников. – М.: ООО «ТМХ-Сервис», 2013. – 156 с.
121. Липа, К.В. Мониторинг технического состояния и режимов эксплуатации локомотивов. Теория и практика [Текст] / К.В. Липа, А.А. Белинский, В.Н. Пустовой, С.Л. Лянгасов, И.К. Лакин, А.А. Аболмасов, и др.– М.: ООО «Локомотивные Технологии», 2015. – 212 с.
122. Липа, К.В. Автоматизированная система управления надежностью локомотивов (АСУНТ). Концепция ТМХ-Сервис [Текст] / К.В. Липа, В.И. Гриненко, С.Л. Лянгасов, И.К. Лакин, А.А. Аболмасов, В.А. Мельников. – М.: ООО «ТМХ-Сервис», 2012. – 160 с.
123. Лянгасов, С.Л. Автоматизированная система управления надежностью локомотивов (АСУНТ) [Текст] / С.Л. Лянгасов, И.К. Лакин, А.А. Аболмасов, В.А. Мельников, // Труды первой международной научно-практической конференции «Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов». – М.: ООО «ТМХ-Сервис», 2014. – С. 58 – 65.
124. Масааки, И. Кайдзен: ключ к успеху японских компаний [Текст] / Пер. с англ. Т. Гутман. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2011. – 274 с.
125. Митрохин, Ю.В. Модель постоянного улучшения на Российском железнодорожном транспорте [Текст] / Ю.В. Митрохин, И.К. Лакин, В.Ю. Алферов. – Berlin: Lambert Academic Publishing, 2011. – 79 с.
126. Митрохин, Ю.В. Применение принципа постоянного улучшения на железнодорожном транспорте [Текст] / Ю.В. Митрохин, В.Ю. Алферов, Д.В. Катцын, И.К. Лакин. – Красноярск: Изд-во ДЦВ Красноярской ж.д., 2010. – 64 с.
127. Митрохин, Ю.В. Стандарты качества локомотивного хозяйства [Текст] / Ю.В. Митрохин, В.Ю. Алфёров, В.В. Семченко, И.К. Лакин. – Красноярск: Изд-во ДЦВ Красноярской ж. д., 2011. – 60 с.
128. Михальчук, М.Л. Актуальность развития локомотиворемонтного комплекса при переходе на полное сервисное обслуживание [Текст] / М.Л. Михальчук. // Материалы первой международной научно-практической конференции «Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов».–М.: ООО «ТМХ-Сервис», 2014. – С. 11 – 18.

129. Многофакторный дисперсионный анализ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vse-temu.org/new-mnogofaktornyj-dispersionnyj-analiz.html> (дата обращения: 09.10.2016).
130. Мозгалевский, А.В. Техническая диагностика [Текст] / А.В. Мозгалевский, Д.В. Гаскаров. - М.: Высшая школа, 1975. – 207 с.
131. НИИТКД. Официальный сайт. Технологическое и диагностическое оборудование для депо [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.niitkd.com (дата обращения: 30.10.2015).
132. ОАО «РЖД» совершенствует систему управления локомотивным парком. Саморегулируемая организация Союз Участников Железнодорожного Рынка. Официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.sujr.ru/news/p97_aview_b745 (дата обращения: 27.11.2016).
133. Обзор ERP системы: SAP R3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://iteranet.ru/it-novosti/2013/12/26/obzor-erp-sistemy-sap-r3> (дата обращения: 22.09.2016).
134. Осяев, А.Т. Вопросы совершенствования системы ремонта электроподвижного состава при применении средств и методов технического диагностирования [Текст]: ВНИИ ж. - д. трансп. ; под редакцией А.Т. Осяева. – М. : Транспорт, 1991. – 117 с.
135. Осяев, А.Т. Концепция управления жизненным циклом изделий железнодорожного транспорта ОАО «РЖД» [Текст] / А.Т. Осяев, А.Б. Подшивалов, А.Ю. Тимченко, Ю.В. Смирнов. – М.: ВНИИЖТ, 2006. – 100 с.
136. Панфёров, В.И. Концепция комплексной системы диагностики тягового подвижного состава. Принципы и общие положения [Текст] / В.И. Панфёров, А.А. Хацкелевич, П.И. Борцов, А.Т. Осяев, Д.Л. Киржнер, В.А. Перминов, С.И. Ким, Ю.В. Бобков, М.Д. Федотов, М.Д. Рабинович, Б.Д. Никифоров, А.Л. Донской, В.С. Вербицкий и др.; – М.: ОЦВ, 2001. – 37 с.
137. Пат. 2569216 Российская Федерация, МПК⁷ В 61 К 11/00, 2006.01. Способ управления обслуживанием и ремонтом тягового подвижного состава железнодорожного транспорта и система для его осуществления [Текст] / Липа К. В., Гриненко А. В., Лянгасов С. Л., Лакин И. К., Аболмасов А. А., Мельников В. А. ; заявитель и патентообладатель Общество с

- ограниченной ответственностью «ТМХ-Сервис». - № 2013147471/11; заявл. 24.10.13; опубл. 20.11.15, Бюл. № 32. – 13 с. : ил.
138. Пат. 2593729 Российская Федерация, МПК⁷ В 61 L 27/00, 2006.01. Способ контроля режимов эксплуатации локомотивов [Текст] / Липа К. В., Гриненко А. В., Лянгасов С. Л., Лакин И. К., Аболмасов А. А., Мельников В. А., Баркунова А.А.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «ТМХ-Сервис» - № 2015101911/11; заявл. 22.01.15; опубл. 10.08.2016, Бюл. № 22. – 4 с. : ил.
139. Плакс, А.В. Дефектоскопия механической части электрического подвижного состава [Текст]: Учебное пособие / А.В. Плакс, А.П. Зеленченко. – СПб.: СПбГУ ПС, 1998. – 23 с.
140. Поисковая система Google.com [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.google.ru> (дата обращения: 10.01.2017).
141. Просвилов, В.Б. Эксплуатация локомотивов и локомотивное хозяйство [Текст]: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / Ю.Е. Просвилов, В.В. Иванов, В.Б. Скоркин, А.С. Шапшал; под редакцией Ю.Е. Просвилова. – Самара: СамГУПС, 2012. – 250 с.
142. Пузанков, А.Д. Методы расчёта и использования показателей надёжности в эксплуатации [Текст] / А.Д. Пузанков. – М.: МИИТ, 2004. – 112 с.
143. Пузанков, А.Д. Статистические методы обработки выборочных данных наблюдений или экспериментов. Методические указания [Текст] / А.Д. Пузанков. – М.: МИИТ, 2000. – 52 с.
144. Пузанков, А.Д. Управление качеством локомотивного хозяйства [Текст] / А.Д. Пузанков. – М.: МИИТ, 2009. – 262 с.
145. Розенберг, Е.Н. Многоуровневая система управления и обеспечения безопасности движения поездов : дис. ... д-ра техн.наук : 05.13.06, 05.22.08 / Ефим Наумович Розенберг. – М., 317 с.
146. Сайт по психологическим исследованиям [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lpgenerator.ru/blog/2015/12/18/5-psihologicheskikh-issledovaniij-po-vozpriyatiyu-vizualnoj-informacii> (дата обращения: 14.12.2016).
147. Сайт по управлению техническим состоянием промышленных машин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://avto-meh.ru/upravlenie-texnicheskim-sostoyaniem-mashin/19> (дата обращения: 03.12.2016).
148. Семенов, А.П. На основе средств технического диагностирования и

- информационных технологий [Текст] / А.П. Семенов, А.С. Вайсбурд, А.Н. Головаш // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 7. – С. 58 – 61.
149. Скоркин, В.Б. К вопросу об ожидании технического обслуживания локомотивов [Текст] / В.Б. Скоркин, А.А. Аболмасов // Труды XII научно-практической конференции «Наука МИИТа - транспорту». – М.: МГУПС, 2011. – С. V-2.
150. Скребков, А.В. Определение оптимальной структуры ремонтного цикла электровозов в конкретных условиях эксплуатации [Текст] / – дис. канд. техн. наук : 05.22.07 / Скребков Алексей Валентинович. – М., 2003. – 137 с.
151. Скребков А.В. Оптимизация межремонтных пробегов ТПС [Текст] / А.В. Скребков, С.А. Алексеев, С.А. Соколов // – М.: Мир транспорта. – 2009. – № 1. – С. 68 – 71.
152. СТК 1.05.515.1 Методы и инструменты улучшений. Методы решения проблем. 8 шагов [Текст]. Введ. 2009-07-01. – М.: ОАО «РЖД», 2009. – 23 с.
153. СТК 1.05.515.2 Методы и инструменты улучшений. Анализ Парето [Текст]. Введ. 2009-07-01– М.: ОАО «РЖД», 2009. – 21 с.
154. СТК 1.05.515.3 Методы и инструменты улучшений. Диаграмма Исикавы [Текст]. Введ. 2009-07-01– М.: ОАО «РЖД», 2009. – 18 с.
155. СТК 1.05.515.5 Методы и инструменты улучшений. Исследование разброса параметра. Гистограммы [Текст]. Введ. 2009-07-01 – М.: ОАО «РЖД», 2009. – 29 с.
156. СТК 1.05.515.6 Методы и инструменты улучшений. Z-график и исследование вариабельности [Текст]. Введ. 2009-07-01 – М.: ОАО «РЖД», 2009. – 22 с.
157. СТК 1.05.515.7 Методы и инструменты улучшений. Формат корректирующих действий. Метод «5W+1H+1S» [Текст]. Введ. 2009-07-01 – М.: ОАО «РЖД», 2009. – 15 с.
158. СТК 1.10.001 Нормативные документы корпоративной системы менеджмента качества ОАО «РЖД» [Текст]. Введ. 2008-01-11 – М.: ОАО «РЖД», 2008. – 19 с.
159. СТК 1.10.002 Нормативные документы корпоративной системы менеджмента качества ОАО «РЖД». Порядок разработки, согласования и

- утверждения [Текст]. Введ. 2008-11-01 – М.: ОАО «РЖД», 2008. – 50 с.
160. СТК 1.10.003 Руководство по качеству ОАО «РЖД». Порядок изложения, оформления, разработки, утверждения и внесения изменений [Текст].– Введ. 2008-11-01 – М.: ОАО «РЖД», 2008. – 50 с.
161. СТК 1.10.004 Корректирующие и предупреждающие мероприятия [Текст]. Введ. 2009-01-01 – М.: ОАО «РЖД», 2009. – 19с.
162. СТК 1.10.005 Решение проблем качества при техническом обслуживании и ремонте подвижного состава и объектов инфраструктуры [Текст]. Введ. 2009-01-01 – М.: ОАО «РЖД», 2009. – 32 с.
163. СТК 1.10.010 Корпоративная интегрированная система менеджмента качества ОАО «РЖД». Термины и определения [Текст]. Введ. 2009-10-01 – М.: ОАО «РЖД», 2009. – 71 с.
164. СТК 1.10.011 Корпоративная интегрированная система менеджмента качества ОАО «РЖД» Основные принципы и положения [Текст]. Введ. 2009-10-01 – М.: ОАО «РЖД», 2009. – 50 с.
165. СТК 1.10.012 Корпоративная интегрированная система менеджмента качества ОАО «РЖД». Модель основных процессов [Текст]. Введ. 2009-10-01 – М.: ОАО «РЖД», 2009. – 50с.
166. СТК 1.10.013 Руководство по применению модели основных процессов [Текст]. Введ. 2009-10-01 – М.: ОАО «РЖД», 2009. – 71с.
167. СТК 1.10.014 Планирование и оценка результатов улучшений показателей [Текст]. Введ. 2009-10-01 – М.: ОАО «РЖД», 2009. – 71с.
168. СТО 02.038-2011 Риск-менеджмент в организации обеспечения безопасности движения [Текст]. Введ. 2011-09-21– ОАО «РЖД», 2011. – 17 с.
169. СТО 02.039-2011 Человеческие факторы в системе управления безопасностью движения [Текст]. Введ. 2011-09-21– ОАО «РЖД», 2011. – 19 с.
170. СТО 02.040-2011 Показатели процессов, влияющих на безопасность движения [Текст]. Введ. 2011-09-21– ОАО «РЖД», 2011. – 19 с.
171. СТО 1.02.033-2010, Управление ресурсами на этапах жизненного цикла, рисками и анализом надежности (УРРАН). Порядок идентификации опасностей и рисков [Текст]. Введ. 2011-03-01 – ОАО «РЖД», 2011. – 19 с.
172. Стратегические направления научно-технического развития

- ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 года («Белая книга» ОАО «РЖД») [Текст] / Утверждена президентом ОАО «РЖД» В.И. Якунин от 31.08.2007. – 46 с.
173. Стратегия развития холдинга ОАО «РЖД» на период до 2030 года и основные приоритеты его развития на среднесрочный период до 2015 года [Текст] / Утверждена президентом ОАО «РЖД» В.И. Якунин . от 2010. – 93 с.
174. Стрельников, В.Т. Комплексное управление качеством технического обслуживания и ремонта электровозов [Текст] / В.Т. Стрельников, И.П.Исаев – М.: Транспорт, 1980. – 207 с.
175. Сысоева, Е.А. Железнодорожная реформа: Предварительные итоги [Текст] / Е.А. Сысоева // Локомотив. – 2008. – № 7. – С. 5 – 6.
176. Тартаковский, Э.Д. Основы автоматизации технического обслуживания, диагностирования и ремонта локомотивов [Текст] / Э.Д. Тартаковский. – Харьков: Изд-во ХИИТ, 1987. – 72 с.
177. Тартаковский, Э.Д. Совершенствование технологии технического обслуживания тепловозов [Текст] / Э.Д. Тартаковский, Н.Н. Бабанский, А.Б. Бабанин // – Электрическая и тепловозная тяга. – 1982. – №1. – С. 24 – 26.
178. Техническое обслуживание и ремонт подвижного состава сторонними компаниями [Текст] / – Железные дороги мира. – 2005. – № 10. – С. 47 – 51.
179. Тимченко, А.Ю. Единая автоматизированная система учёта дизельного топлива в ОАО «РЖД» : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.01, 05.13.06 / Тимченко Александр Юрьевич. – Коломна, 2012. – 24 с.
180. Федотов, М.В. Оперативное определение показателя энергоэффективности магистральных тепловозов в эксплуатации по данным МСУ [Текст] / М.В. Федотов, В.А. Перминов, В.В. Грачёв // Труды второй международной научно-практической конференции «Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов». – М.: ООО «Локомотивные технологии», 2015. – С. 236 – 242.
181. Феоктистов, В.П. Автоматизированная система управления локомотивным хозяйством (АСУТ) [Текст] / В.П. Феоктистов, А.Ю. Тимченко, И.К. Лакин, А.А. Воробьев, А.В. Горский, Ю.В. Смирнов // – М.: МИИТ, –

2001. – 42 с.
182. Феоктистов, В.П. Задачи повышения безопасности в системе технической эксплуатации подвижного состава [Текст] / В.П. Феоктистов, В.И. Киселёв // Труды VI научно-практической конференции «Безопасность движения поездов». – М.: МИИТ, 2005 – С. VI – 12 – 13.
183. Фирменное обслуживание подвижного состава [Текст] / – Железные дороги мира. – 2005. – № 5. – С. 40 – 46.
184. Форсайт (Foresight) [Текст]: Учебник. Развёрнутый конспект. – М.: Общество знаний (European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions), 2003. – 31 с.
185. Функциональная стратегия ОАО «РЖД» управления качеством. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 15 января 2007г. № 46р.
186. Хитоси Куме. Статистические методы повышения качества [Текст]/ Пер. с англ. Ю.П. Адлера и др. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 301 с.
187. Четвергов, В.А. Надёжность локомотивов [Текст] / В.А. Четвергов, А.Д. Пузанков. – М: Маршрут, 2003. – 415 с.
188. Шабалин, Н.Г. Автоматизированная система управления качеством технологических процессов на железнодорожном транспорте (АСУ КТП) [Текст]: Техническое предложение / Н.Г. Шабалин. – М.: Железнодорожные технологии, 2004 – 348 с.
189. Шабалин, Н.Г. Электронное оборудование электровоза ВЛ80Р ремонт и техническое обслуживание [Текст] / Н.Г. Шабалин, В.Н. Горбань, А.Л. Донской. – М.: Транспорт, 1984. – 183 с.
190. Шабалин, Н.Г. Организация эксплуатации и технического обслуживания тягового подвижного состава с использованием современных информационных технологий: дис. ... канд. техн. наук: 08.00.28 / Шабалин Николай Григорьевич. – Красноярск, 1999. – 171 с.
191. Шантаренко, С.Г. Инженерные методы анализа и обеспечения эксплуатационной надёжности колёсно-моторных блоков локомотивов новых серий [Текст] / С.Г. Шантаренко // Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава: материалы всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Омск: ОмГУПС, 2011. –

с. 72-79

192. Шантаренко, С.Г. Совершенствование технологической готовности технического обслуживания и ремонта тягового подвижного состава: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07 / Шантаренко Сергей Георгиевич. – Омск, 2006. – 419 с.
193. Шпер, В.Л. Теория вариабельности и статистическое мышление в системах качества. – Менеджмент качества из первых рук [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://quality.eup.ru/MATERIALY12/sup-qms.htm> (дата обращения: 22.11.2016).
194. Шубинский, И.Б. Основные научные и практические результаты разработки системы УРРАН [Текст] / И.Б. Шубинский, А.М. Замышляев // – Железнодорожный транспорт. –2012. – №10.– С. 23–28.
195. Burgwinkel, P. Дистанционный контроль и управление парком тягового подвижного состава на общеевропейской сети [Текст] / P. Burgwinkel, F. Rensmann // – М.: Железные дороги мира. – 2005. – № 10. – С. 41 – 46.
196. Heinrich H.W. Industrial Accident Prevention: A Scientific Approach. / H.W. Heinrich – Madysson: McGraw-Hill, 1941, 448 p.
197. Womak, J.P. The machine that changed the world. The story of lean production. – New York, NY [Text]/ J.P. Womak, D.T. Jones, D. Roos //Harper Perennial.Ed., 1991 - 323p.

ПРИЛОЖЕНИЕ А – ТЕКСТ VBA-ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Function Lg10(x) ' Десятичный логарифм

l11 = Log(x) / Log(10)

Lg10 = l11

End Function

Function Normal(x, M, SKO) ' Вычисление значения для нормального закона

y = (1 / (SKO * (2 * 3.14159265358979) ^ 0.5)) * Exp(-(x - M) ^ 2) / (2 * SKO ^ 2))

Normal = y

End Function

Function Gamma(xi, Scnd) ' Вычисление значений гамма-функции

a = Cells(8, 6 + Scnd)

b = Cells(9, 6 + Scnd)

Gb = Cells(10, 6 + Scnd)

G = ((xi ^ (b - 1)) / ((a ^ b) * Gb)) * (Exp(-xi / a))

Gamma = G

End Function

Function LOGNORM(xi, Scnd) ' Вычисление значений логнормального распределения

If xi = 0 Then

' Защита от нулевых значений

LOGNORM = 0

Exit Function

End If

ML = Cells(49, 6 + Scnd)

SKOL = Cells(50, 6 + Scnd)

Pi = (2 * 3.14159265358979) ^ 0.5

F = Exp(-((Log(xi / ML)) ^ 2) / (2 * ((SKOL) ^ 2)))

F = F / (xi * SKOL * Pi)

LOGNORM = F

End Function

Function EXPON(xi, M) ' Экспоненциальное распределение

LM = 1 / M

F = LM * Exp(-(LM * xi))

EXPON = F

End Function

Function RAVNO(xi, M, SKO)

a = M - SKO * (3) ^ 0.5

b = SKO * (12) ^ 0.5

If (xi < a) Or (xi > a + b) Then F = 0 Else F = 1 / b

```

RAVNO = F
End Function
Sub Mat(Scnd) ' Расчёт общих параметров и самого математического ожидания
Sheets("1. ОММ").Select ' Переходим на нужный нам Лист
' 1.1.2. РАСЧЁТ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОЖИДАНИЯ
ScndI = (Scnd = 1) ' True если второй столбик данных
' Сотрём старые данные
If ScndI Then
' Стираем данные второго столбика
Range("G2:G65").ClearContents
Range("R3:R999999").ClearContents
Else
Range("F2:F11").ClearContents
Range("F13:F13").ClearContents
Range("F15:F65").ClearContents
Range("Q3:Q999999").ClearContents
End If
Range("U3:U999999").ClearContents
Range("I28:O60").ClearContents
Range("I73:O105").ClearContents
Range("I111:O143").ClearContents
Range("I147:O179").ClearContents
Range("I184:O216").ClearContents

'=====
' Чистка базы данных от артефактов =====
'=====
' Чистка базы данных - убираем все пустые ячейки и все за пределами
If Scnd = 0 Then
Chmax = Range("O5") ' Максимальное число данных
ChMn = Range("O3") ' Минимально ожидаемое значение
ChMx = Range("O4") ' Максимально ожидаемое значение
Else
Chmax = Range("P5") ' Максимальное число данных
ChMn = Range("P3") ' Минимально ожидаемое значение
ChMx = Range("P4") ' Максимально ожидаемое значение
End If
' Начинаем собственно чистку
N = 0 ' Число найденных данных, соответствующих условиям чистки
For k = 1 To Chmax
R = Cells(k + 2, 2 + Scnd) ' Берём очередное число
Cells(k + 2, 1) = k
If R <> "" And R >= ChMn And R <= ChMx Then
' Сюда попадаем только если найдено очередное число, удовлетворяющее
условиям

```



```

N = N + 1 ' данных стало на одно больше
Cells(N + 2, 17 + Scnd) = R ' Записали очередное рабочее значение
End If
Next k ' Конец чистки данных
Cells(2, 6 + Scnd) = N

' =====Начало расчёта показателей
N = Range("F2")
If Scnd1 Then N = Range("G2")
' Начальное присвоение
Summa = 0
Xmax = -1E+25
Xmin = 1E+25
For i = 1 To N ' Суммирование всей выборки
  xi = Cells(i + 2, 17 + Scnd) ' очередное число
  Summa = Summa + xi
  If xi < Xmin Then Xmin = xi
  If xi > Xmax Then Xmax = xi
Next i
M = Summa / N
If Scnd1 Then Range("G4") = M Else: Range("F4") = M
' РАСЧЁТ СКО
Summa = 0
For i = 1 To N ' Суммирование всей выборки
  Summa = Summa + (Cells(i + 2, 17 + Scnd) - M) ^ 2
Next i
Summa = Summa / (N - 1)
SKO = Summa ^ (0.5)
If Scnd1 Then Range("G5") = SKO Else: Range("F5") = SKO
' Коэффициент вариации
Vx = SKO / M
If Scnd1 Then Range("G6") = Vx Else Range("F6") = Vx
' Выбор квантиля распределения Стьюдента Tb по заданной доверительной
вероятности Beta
Beta = Range("F12") ' Берем заданную доверительную вероятность
For k = 3 To 17 ' Выбираем квантиль распределения Стьюдента Tb
  b = Cells(k, 10)
  If b >= Beta Then
    Tb = Cells(k, 11)
    Exit For
  End If
Next k
If Scnd1 Then Range("G13") = Tb Else Range("F13") = Tb ' Квантиль
Delta = Range("F14") ' Берем заданную погрешность
Nmin = (Tb * Vx / Delta) ^ 2

```

If Scnd1 Then Range("G15") = Nmin Else Range("F15") = Nmin ' Минимальная выборка для заданной достоверности

' 1.5 РАСЧЁТ ГАММА-ФУНКЦИИ ----- ГАММА

a = (SKO ^ 2) / M

b = (M / SKO) ^ 2 ' Аналогично

SSS = 0 ' Числитель

PPP = 1 ' Знаменатель

For k = 0 To 6 ' Расчёт согласно формуле 1.8 стр.11

If k = 0 Then QN = 75122.633153

If k = 1 Then QN = 80916.6278952

If k = 2 Then QN = 36308.2951477

If k = 3 Then QN = 8687.24529705

If k = 4 Then QN = 1168.92649479

If k = 5 Then QN = 83.8676043424

If k = 6 Then QN = 2.50662827511

SSS = SSS + QN * (b ^ k) ' Числитель

PPP = PPP * (b + k) ' Знаменатель

Next k

GZ = (SSS / PPP) * ((b + 5.5) ^ (b + 0.5)) * Exp(-(b + 5.5))

If Scnd1 Then

Range("G8") = a ' Выводим на экран

Range("G9") = b

Range("G10") = GZ

Else

Range("F8") = a ' Выводим на экран

Range("F9") = b

Range("F10") = GZ

End If

' ПРОВЕРКА НА ГРУБЫЕ ОШИБКИ

For k = 1 To N ' копируем данные для анализа

Cells(k + 2, 21) = Cells(k + 2, 17 + Scnd)

Next k

' УСЛОВИЕ ЧИСТИТЬ ИЛИ НЕТ

Chistka = (Cells(6, 15 + Scnd) > 0) ' ЕСЛИ В ЯЧЕЙКЕ НЕ НОЛЬ, ТО ЧИСТИМ

If Chistka Then

' Сюда попадаем, если чистка задана

M_ = M

SKO_ = SKO

N_ = N

For k = 1 To N ' Бесконечный цикл поиска артефактов

Mn = M_ - 3 * SKO_ ' Очередные допуски

Mx = M_ + 3 * SKO_

Artefact = False

xxx = 0 ' ПРЕДЫДУЩЕЕ ОТКЛОНЕНИЕ ОТ МАТОЖИДАНИЯ

iii = 0 ' Номер ячейки, которая будет исключена

```

For i = 1 To N ' Поиск очередного артефакта
  xi = Cells(i + 2, 21)
  If xi <> "" Then
    ' Сюда попадаем если не пустая ячейка
    If (xi < Mn) Or (xi > Mx) Then
      ' Найден первый или очередной артефакт
      Artefact = True
      If Abs(xi - M_) > xxx Then
        ' найден более отклоненный элемент
        iii = i ' Запоминаем номер устраняемого элемента
        xxx = Abs(xi - M) ' Новое максимальное отклонение
      End If
    End If
  End If
End If
Next i
If Artefact Then
  ' Вычисляем новые показатели статистики, если был найден очередной артефакт
  Cells(iii + 2, 21) = "" ' Убрали артефакт
  Summa_ = 0
  N_ = 0
  For i_ = 1 To N ' Суммирование всей выборки
    xi = Cells(i_ + 2, 21)
    If xi <> "" Then
      Summa_ = Summa_ + xi
      N_ = N_ + 1
    End If
  Next i_
  M_ = Summa_ / N_
  ' РАСЧЁТ СКО
  Summa_ = 0
  For i_ = 1 To N ' Суммирование всей выборки
    xi = Cells(i_ + 2, 21)
    If xi <> "" Then Summa_ = Summa_ + (Cells(i_ + 2, 21) - M_) ^ 2
  Next i_
  Summa_ = Summa_ / (N_ - 1)
  SKO_ = Summa_ ^ (0.5)
  End If ' Конец обработки артефакта
If Not Artefact Then Exit For
Next k
' Расчёт закончим - запишем новый массив в 17-й столбик
' Теперь перезапишем массив данных
If Scnd1 Then
  Range("R3:R999999").Select
  Range("R3:R999999").ClearContents
  Range("F3").Select

```

```

Else
Range("Q3:Q999999").Select
Range("Q3:Q999999").ClearContents
End If
Range("F3").Select
N_ = 0
For k = 1 To N ' Перенос данных
R = Cells(2 + k, 21)
If R <> "" Then
N_ = N_ + 1
Cells(2 + N_, 17 + Scnd) = R
End If
Next k
' Записываем результаты расчёта в ячейки
Cells(18, 6 + Scnd) = M_ ' Новое мат.ожидание
M = M_
Cells(19, 6 + Scnd) = SKO_ ' Новое СКО
SKO = SKO_
Vx = SKO / M_
Cells(20, 6 + Scnd) = Vx ' Новый к-т вариации
Cells(21, 6 + Scnd) = N_ ' Новый объем выборки
N = N_
Nmin = (Tb * Vx / Delta) ^ 2
Cells(22, 6 + Scnd) = Nmin ' Новый минимальный объем выборки
Cells(23, 6 + Scnd) = Cells(2, 6 + Scnd) - N ' Число исключенных данных

' Здесь заканчивается процесс чистки
Else
' Сюда попадаем, если чистки не было - сотрём старые данные
If Scnd1 Then
Range("G18:G23").Select
Range("G18:G23").ClearContents
Else
Range("F18:F23").Select
Range("F18:F23").ClearContents
End If

End If '===== Конец действия условия Chistka
' Проверка на закон распределения случайной величины 2.3
'KK = Range("O7") ' Смотрим - есть ли задание принудительно задать число интервалов
KK = Cells(7, 15 + Scnd) ' Смотрим - есть ли задание принудительно задать число
интервалов
PPP = (KK > 0) ' PPP = True, если есть принудительное задание числа интервалов
If PPP Then
' Принудительное задание диапазона

```

```

DeltaX = Cells(8, 15 + Scnd) ' Считываем шаг
Xmin = Cells(9, 15 + Scnd) ' Считываем начальное значение
Xmax = Xmin + KK * DeltaX
Else
k = 1 + 3.3 * Lg10(N) ' Число интервалов
KK = Int(k)
If KK < k - 0.5 Then KK = KK + 1 '----- УТОЧНИТЬ ПОРЯДОК РАСЧЁТА KK
DeltaX = (Xmax - Xmin) / KK ' Ширина интервала
End If
Cells(26, 6 + Scnd) = KK
Cells(27, 6 + Scnd) = DeltaX
Cells(28, 6 + Scnd) = Xmin
Cells(29, 6 + Scnd) = Xmax
For j = 1 To KK ' Выводим границы на экран
' Нормальный
Cells(27 + j, 9) = Xmin + (j - 1) * DeltaX 'левая граница
Cells(27 + j, 10) = Xmin + j * DeltaX 'правая граница
Cells(27 + j, 11) = 0 'число попаданий
' Гамма
Cells(72 + j, 9) = Xmin + (j - 1) * DeltaX 'левая граница
Cells(72 + j, 10) = Xmin + j * DeltaX 'правая граница
Cells(72 + j, 11) = 0 'число попаданий
' Логнорм
Cells(110 + j, 9) = Xmin + (j - 1) * DeltaX 'левая граница
Cells(110 + j, 10) = Xmin + j * DeltaX 'правая граница
Cells(110 + j, 11) = 0 'число попаданий
' Экспо
Cells(146 + j, 9) = Xmin + (j - 1) * DeltaX 'левая граница
Cells(146 + j, 10) = Xmin + j * DeltaX 'правая граница
Cells(146 + j, 11) = 0 'число попаданий
' Равномерно
Cells(183 + j, 9) = Xmin + (j - 1) * DeltaX 'левая граница
Cells(183 + j, 10) = Xmin + j * DeltaX 'правая граница
Cells(183 + j, 11) = 0 'число попаданий
Next j
For i = 1 To N ' Рассчитаем число попаданий в каждый из интервалов
xi = Cells(2 + i, 17 + Scnd) ' Очередное значение
For j = 1 To KK
If xi >= Cells(27 + j, 9) And xi < Cells(27 + j, 10) Then Cells(27 + j, 11) = Cells(27 + j, 11) + 1
' В попавшем диапазоне увеличиваем число попаданий на 1
If j = KK And xi = Xmax Then Cells(27 + j, 11) = Cells(27 + j, 11) + 1 ' Защита для
последнего данного
Next j
Next i
For j = 1 To KK

```

```
Cells(27 + j, 12) = Cells(27 + j, 11) / N ' Считаем интенсивность
Next j
```

```
For j = 1 To KK ' Размножим данные
```

```
  ' Гамма
```

```
  Cells(72 + j, 11) = Cells(27 + j, 11)
```

```
  Cells(72 + j, 12) = Cells(27 + j, 12)
```

```
  ' Логнорм
```

```
  Cells(110 + j, 11) = Cells(27 + j, 11)
```

```
  Cells(110 + j, 12) = Cells(27 + j, 12)
```

```
  ' Экспо
```

```
  Cells(146 + j, 11) = Cells(27 + j, 11)
```

```
  Cells(146 + j, 12) = Cells(27 + j, 12)
```

```
  ' Равномерно
```

```
  Cells(183 + j, 11) = Cells(27 + j, 11)
```

```
  Cells(183 + j, 12) = Cells(27 + j, 12)
```

```
Next j
```

```
' Расчёт показателей логнормального закона распределения случайной величины ----
```

```
LOG
```

```
MU = 0 ' Расчёт по формуле на стр. 22
```

```
For k = 1 To N
```

```
  xi = Cells(2 + k, 17 + Scnd)
```

```
  MU = MU + Log(xi)
```

```
Next k
```

```
MU = MU / N
```

```
SKOL = 0 ' Логарифмический СКО
```

```
For k = 1 To N
```

```
  xi = Cells(2 + k, 17 + Scnd)
```

```
  SKOL = SKOL + ((Log(xi) - MU) ^ 2)
```

```
Next k
```

```
SKOL = (SKOL / (N - 1)) ^ (0.5) ' СКО логнормального распределения
```

```
ML = Exp(MU - ((SKOL ^ 2) / N))
```

```
Cells(49, 6 + Scnd) = ML
```

```
Cells(50, 6 + Scnd) = SKOL
```

```
' Рассчитываем хи-квадрат
```

```
Hisumma = 0 ' Нормальный
```

```
HisummaGamma = 0 ' Гамма
```

```
HisummaLog = 0 ' Логнормальный
```

```
HisummaExp = 0 ' Экспоненциальный
```

```
HisummaRavno = 0 ' Равномерный
```

```
For j = 1 To KK ' Цикл по прямоугольникам гистограммы
```

```
  DeltaNf = Cells(27 + j, 11) ' Число попаданий в очередной диапазон фактический
```

```
  Cells(27 + j, 12) = DeltaNf / N ' Фактическая вероятность попадания
```

```

' Вычисляем теоретическую вероятность попадания в J-ый интервал ПО ВСЕМ
ЗАКОНАМ
Summa = 0
SummaGamma = 0
SummaLog = 0
SummaExp = 0
SummaRavno = 0
max1000 = 1000 ' Число диапазонов разбиения одной маленькой трапеции/ Всего
трапеций = KK. Проверить max1000 = 100 или 10
ddd = DeltaX / max1000 ' это ширина одного из max1000 диапазончиков в одной из KK
трапеций
a = Cells(27 + j, 9) ' Начальное значение x - левый край трапеции
For i = 0 To max1000 - 1 ' Для каждого из 1000 (max1000)кусков считаем площадь
маленькой трапеции
  xi = a + i * ddd 'Это левый край маленькой трапеции. На первой итерации xi=a по
формуле 2.5
  xi1 = a + (i + 1) * ddd ' Это правый край по формуле 2.6
  'НОРМАЛЬНЫЙ
  F1 = Normal(xi, M, SKO) ' Значение функции распределения слева - смотри п.1.6.2
формула 1.9
  F2 = Normal(xi1, M, SKO) ' Значение функции распределения справа
  Summa = Summa + ((F1 + F2) / 2) * ddd ' Это сумма, к которой прибавили площадь
очередной маленькой трапеции
  'ГАММА-распределение
  F1 = Gamma(xi, Scnd) ' Значение функции распределения слева - смотри п.1.6.2
формула 1.9
  F2 = Gamma(xi1, Scnd) ' Значение функции распределения справа
  SummaGamma = SummaGamma + ((F1 + F2) / 2) * ddd ' Это сумма, к которой
прибавили площадь очередной маленькой трапеции
  ' ЛОГНОРМАЛЬНОЕ распределение
  F1 = LOGNORM(xi, Scnd) ' Значение функции распределения слева - смотри п.1.6.2
формула 1.9
  F2 = LOGNORM(xi1, Scnd) ' Значение функции распределения справа
  SummaLog = SummaLog + ((F1 + F2) / 2) * ddd ' Это сумма, к которой прибавили
площадь очередной маленькой трапеции

  ' Экспоненциальный
  F1 = EXPON(xi, M) ' Значение функции распределения слева - смотри п.1.6.2
формула 1.9
  F2 = EXPON(xi1, M) ' Значение функции распределения справа
  SummaExp = SummaExp + ((F1 + F2) / 2) * ddd ' Это сумма, к которой прибавили
площадь очередной маленькой трапеции
  ' Равномерный
  F1 = RAVNO(xi, M, SKO) ' Значение функции распределения слева - смотри п.1.6.2
формула 1.9

```

```

F2 = RAVNO(xi1, M, SKO) ' Значение функции распределения справа
SummaRavno = SummaRavno + ((F1 + F2) / 2) * ddd ' Это сумма, к которой прибавили
площадь очередной маленькой трапеции
Next i ' Переходим к следующей трапеции
'----- ЗАКОНЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ -----
' Рассчитываем и записываем теоретические значения
'НОРМАЛЬНЫЙ
DeltaN = N * Summa ' Согласно формуле 2.10 - это теоретическое число попаданий в
диапазон для выбранного разбиения на КК диапазонов и размера выборки N
Cells(27 + j, 13) = DeltaN
Cells(27 + j, 15) = Summa ' теоретическая вероятность попадания в диапазон
If (DeltaN - DeltaNf) ^ 2 > DeltaN * 1000000 Then
Cells(27 + j, 14) = 0
Else
Cells(27 + j, 14) = ((DeltaN - DeltaNf) ^ 2) / DeltaN ' Хи-квадрат очередного диапазона
по формуле 2.9
End If
Hisumma = Hisumma + Cells(27 + j, 14)
'ГАММА
DeltaN = N * SummaGamma ' Согласно формуле 2.10 - это теоретическое число
попаданий в диапазон для выбранного разбиения на КК диапазонов и размера
выборки N
Cells(72 + j, 13) = DeltaN
Cells(72 + j, 14) = ((DeltaN - DeltaNf) ^ 2) / DeltaN ' Хи-квадрат очередного диапазона по
формуле 2.9
HisummaGamma = HisummaGamma + Cells(72 + j, 14)
Cells(72 + j, 15) = SummaGamma ' теоретическая вероятность попадания в диапазон
' ЛОГНОРМ
DeltaN = N * SummaLog ' Согласно формуле 2.10 - это теоретическое число попаданий
в диапазон для выбранного разбиения на КК диапазонов и размера выборки N
Cells(110 + j, 13) = DeltaN
Cells(110 + j, 14) = ((DeltaN - DeltaNf) ^ 2) / DeltaN ' Хи-квадрат очередного диапазона
по формуле 2.9
HisummaLog = HisummaLog + Cells(110 + j, 14)
Cells(110 + j, 15) = SummaLog ' теоретическая вероятность попадания в диапазон
' ЭКСП
SmE = SummaExp
DeltaN = N * SmE ' Согласно формуле 2.10 - это теоретическое число попаданий в
диапазон для выбранного разбиения на КК диапазонов и размера выборки N
Cells(146 + j, 13) = DeltaN
Cells(146 + j, 14) = ((DeltaN - DeltaNf) ^ 2) / DeltaN ' Хи-квадрат очередного диапазона
по формуле 2.9
HisummaExp = HisummaExp + Cells(146 + j, 14)
Cells(146 + j, 15) = SmE ' теоретическая вероятность попадания в диапазон
' РАВНО

```


DeltaN = N * SummaRavno ' Согласно формуле 2.10 - это теоретическое число попаданий в диапазон для выбранного разбиения на КК диапазонов и размера выборки N

If DeltaN = 0 Then DeltaN = 0.1 ' Защита от деления на ноль

Cells(183 + j, 13) = DeltaN

Cells(183 + j, 14) = ((DeltaN - DeltaNf) ^ 2) / DeltaN ' Хи-квадрат очередного диапазона по формуле 2.9

HisummaRavno = HisummaRavno + Cells(183 + j, 14)

Cells(183 + j, 15) = SummaRavno ' теоретическая вероятность попадания в диапазон

Next j

If ScndI Then Range("G30") = Hisumma Else Range("F30") = Hisumma ' Расчётный хи-квадрат

If ScndI Then Range("G44") = HisummaGamma Else Range("F44") = HisummaGamma ' Расчётный хи-квадрат

If ScndI Then Range("G51") = HisummaLog Else Range("F51") = HisummaLog ' Расчётный хи-квадрат

If ScndI Then Range("G56") = HisummaExp Else Range("F56") = HisummaExp ' Расчётный хи-квадрат

If ScndI Then Range("G55") = 1 / M Else Range("F55") = 1 / M ' Лямбда

a = M - SKO * (3) ^ 0.5

b = SKO * (12) ^ 0.5

If ScndI Then Range("G60") = a Else Range("F60") = a ' Равно

If ScndI Then Range("G61") = b Else Range("F61") = b '

If ScndI Then Range("G62") = HisummaRavno Else Range("F62") = HisummaRavno '

' Теперь анализ результата по таблице

s = 3 '----- число связей, накладываемых на частоты ----- для всех кроме экспоненциального, где s=2

R = КК - s ' Число степеней свободы по формуле 2.12

' Берем из таблицы теоретический хи-квадрат hit

Sheets("Pirson").Select ' Переходим на нужный нам Лист

For k = 1 To 14 ' Находим наш столбик по заданной вероятности Beta

CC = k + 1

BB = Cells(1, k + 1)

If Beta >= BB Then Exit For

Next k

For k = 2 To 31 ' Находим нашу строку по R

EE = k

RR = Cells(k, 1)

If R = RR Then Exit For

Next k

HiT = Cells(EE, CC) ' Берём из таблицы теоретический хи-квадрат

HiTE = Cells(EE + 1, CC) ' Для экспоненциального распределения

'===== Расчёт фактической вероятности

```

' Теперь найдём вероятность, с которой наш процесс похож на нормальный (обратная
задача)
Pfct = 0
fct = Sheets("1. ОММ").Cells(30, 6 + Scnd) ' фактический хи-квадрат
For k = 2 To 15 ' Цикл по выбранной строке таблицы
  zzz = Cells(EE, k) ' Очередное теоретическое значение хи-квадрат
  If fct <= zzz Then
    ' Найдена соответствующая вероятность
    Pfct = Cells(1, k) ' Берём из таблицы соответствующую вероятность
    Exit For
  End If
Next k
'===== Фактическая вероятность рассчитана
Sheets("1. ОММ").Select ' Переходим на Лист с расчётами
Cells(32, 6 + Scnd) = Pfct
If Scnd1 Then Range("G31") = HiT Else Range("F31") = HiT ' Теоретический хи-квадрат
If Scnd1 Then Range("G45") = HiT Else Range("F45") = HiT ' Теоретический хи-квадрат
If Scnd1 Then Range("G52") = HiT Else Range("F52") = HiT ' Теоретический хи-квадрат
If Scnd1 Then Range("G57") = HiTE Else Range("F57") = HiTE ' Теоретический хи-квадрат
If Scnd1 Then Range("G63") = HiTE Else Range("F63") = HiT ' Теоретический хи-квадрат
End Sub '-----

Sub MatOne() ' Расчёт общих параметров и самого математического ожидания
Mat (0) ' Первый столбец данных
End Sub

Sub MatSecond() ' Расчёт общих параметров и самого математического ожидания
Mat (1) ' Второй столбец данных
End Sub

Sub MatBoth()
Mat (0) ' Первый столбец данных
' Mat (1)
End Sub

Sub XY() ' Работа с двумя процессами
MatBoth ' Сначала рассчитываем индивидуальные характеристики каждого из
процессов
' Расчёт исходных данных X - процесс 1 из столбика B (scnd=0), Y - процесс 2 из столбика
C(scnd=1)
Mx = Range("F4") ' Матожидание 1
My = Range("G4") ' Матожидание 2
SKOx = Range("F5") ' СКО 1
SKOy = Range("G5") ' СКО 2
Nx = Range("F2") ' Выборка 1

```

$N_y = \text{Range}("G2")$ ' Выборка 2
 If $N_x < N_y$ Then $NNN = N_x$ Else $NNN = N_y$ ' Выбираем объем выборки - по хорошему
 должны быть одинаковыми

$\text{Alfa11} = 0$ ' Для расчёта по формуле 1.4 стр. 9

For $i = 1$ To NNN

$x_i = \text{Cells}(2 + i, 2)$

$y_i = \text{Cells}(2 + i, 3)$

$\text{Alfa11} = \text{Alfa11} + x_i * y_i$

Next i

$\text{Alfa11} = \text{Alfa11} / NNN$

$\text{Range}("F7") = \text{Alfa11}$ ' Альфа 11 от X,Y по формуле 1.4

$\text{RYX} = (\text{Alfa11} - M_x * M_y) / (\text{SKO}_x * \text{SKO}_y)$ ' Коэффициент корреляции

$\text{Range}("F34") = \text{RYX}$ ' R_j ' коэффициент корреляции

' Расчёт коэффициентов для линейного тренда по формулам 2.14 и 2.16

$a = \text{RYX} * \text{SKO}_y / \text{SKO}_x$

$b = M_y - a * M_x$

$\text{Range}("F35") = a$ ' $y = A * x + B$

$\text{Range}("F36") = b$ '

' 2.5 ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ РАВЕНСТВА ДВУХ СРЕДНИХ ЗНАЧЕНИЙ

$T_p = (\text{Abs}(M_x - M_y)) / (((\text{SKO}_x^2 / N_x) + (\text{SKO}_y^2 / N_y))^{0.5})$

$\text{Range}("F39") = T_p$ ' Критерий Стьюдента по формуле 2.17

$R = N_x + N_y - 2$ ' Число степеней свободы

$\text{Range}("F40") = R$

End Sub ' XY() Работа с двумя процессами

Sub Narabotka() ' 2.6. Нарботка на отказ

$\text{Sheets}("2.6").\text{Select}$ ' Переходим на нужный нам Лист

$L_{\min} = 9999999999\#$

$L_{\max} = -1$

$N_{\max} = 0$

For $k = 1$ To 999999 ' Определим параметры нашей выборки

$l_i = \text{Cells}(2 + k, 2)$ ' очередной пробег

If $l_i = ""$ Then Exit For ' пока не встретим пустую ячейку

If $l_i > L_{\max}$ Then $L_{\max} = l_i$

If $l_i < L_{\min}$ Then $L_{\min} = l_i$

$N_{\max} = N_{\max} + 1$ ' Счётчик числа событий

Next k

$\text{Range}("F3") = N_{\max}$

$\text{Range}("F4") = L_{\min}$

$\text{Range}("F5") = L_{\max}$

' Вычисляем число интервалов

$\Delta L = \text{Range}("F2")$

$KKK = L_{\max} / \Delta L$

```

k = Int(KKK)
If KKK >= k + 0.5 Then KKK = k + 1 Else KKK = k
If KKK > 12 Then KKK = 12
Range("F6") = KKK
For k = 1 To 12 ' Начальное обнуление
    Cells(k + 2, 9) = ""
    Cells(k + 2, 10) = ""
    If k <= KKK Then Cells(k + 2, 11) = 0 Else Cells(k + 2, 11) = ""
    ' Cells(k + 2, 12) = "" НЕ ОБНУЛЯТЬ
    Cells(k + 2, 13) = ""
Next k
For k = 1 To KKK ' Вписываем границы диапазонов
    Cells(k + 2, 9) = (k - 1) * DeltaL
    Cells(k + 2, 10) = k * DeltaL
Next k
For i = 1 To Nmax ' Рассчитаем число попаданий в каждый из интервалов
    li = Cells(2 + i, 2) ' Очередное значение
    For j = 1 To KKK
        If li >= Cells(2 + j, 9) And li < Cells(2 + j, 10) Then
            Cells(2 + j, 11) = Cells(2 + j, 11) + 1 ' В попавшем диапазоне увеличиваем число
попаданий на 1
        Exit For
    End If
    If j = KKK And li = Lmax Then Cells(2 + j, 11) = Cells(2 + j, 11) + 1 ' Защита для
последнего данного
    Next j
Next i
N1 = Range("F1") ' Число однотипного оборудования на локомотиве
For j = 1 To KKK
    Locoj = Cells(2 + j, 12) * N1 ' Количество оборудования, находящегося под
наблюдением в j-м интервале
    mj = Cells(2 + j, 11) ' Число отказов в рассматриваемом диапазоне
    wj = mj / (Locoj * DeltaL) ' Расчёт параметра потока отказов для каждого интервала
по формуле 2.23 стр.36
    Cells(2 + j, 13) = wj * 1000000
Next j
k = 0
End Sub

```

'=====