

На правах рукописи



АБОЛМАСОВ Алексей Александрович

**УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ  
ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА  
В УСЛОВИЯХ СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

Специальность: 05.22.07 – «Подвижной состав железных дорог,  
тяга поездов и электрификация»

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
**ЛАКИН Игорь Капитонович**

Официальные оппоненты: **ШАНТАРЕНКО Сергей Георгиевич**,  
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава», проректор по научной работе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный университет путей сообщения».

**КУРИЛКИН Дмитрий Николаевич**,  
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Локомотивы и локомотивное хозяйство» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I».

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения» (ДВГУПС), г. Хабаровск.

Защита состоится « 24 » мая 2017 г. в 13:00 на заседании диссертационного совета Д 218.005.01 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II» по адресу: 127994, ГСП-4, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, ауд. 2505.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте МГУПС (МИИТ) [www.miit.ru](http://www.miit.ru).

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
д.т.н., профессор



Н.Н.Воронин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Железнодорожный транспорт – основной вид транспортной системы России, выполняющий 89% грузооборота (без учета трубопроводов) и 45% пассажирооборота. При протяженности в 12% мировой железнодорожной сети средняя грузонапряженность на 1 км в 6 раз больше, чем в США. Последние 15 лет идет комплексная реформа, направленная на повышение экономической эффективности перевозочного процесса. Произошло разделение функции эксплуатации локомотивов (создана Дирекция тяги – филиал ОАО «РЖД») и функции технического обслуживания и ремонта (ТОиР) - создана Дирекция по ремонту тягового подвижного состава – филиал ОАО «РЖД». С 1 июля 2014 года бóльшая часть функций ТОиР локомотивов передана частным сервисным компаниям, что позволило внедрить модель ТОиР с прямой зависимостью доходов сервисных компаний от фактически выполняемой локомотивами работы (в километрах пробега для магистральных и часах работы для маневровых локомотивов).

Реформа локомотивного комплекса предполагает сокращение простоя на ТОиР, уменьшение числа отказов и увеличение межремонтных пробегов в эксплуатации, что позволит эффективнее применять полигонную систему обращения локомотивов. Эти и ряд других факторов привели к необходимости реализации новых подходов к управлению техническим состоянием тягового подвижного состава (ТПС), внедрению перспективных технологий ТОиР.

Актуальной становится задача разработки обоснованной модели управления техническим состоянием локомотивов при полигонной системе эксплуатации и сервисной системе ТОиР с целью повышения показателей работы локомотивов в эксплуатации.

**Степень разработанности темы.** Управление техническим состоянием ТПС неоднократно являлось предметом научного рассмотрения. Значительный научный и практический вклад внесли, как отечественные учёные — И.П.Исаев, В.Д.Кузьмич, А.В.Горский, А.А.Воробьев, А.В.Воротилкин, В.А.Гапанович, А.Д.Глущенко, А.Т.Головатый, А.Н.Головащ, А.А.Грачёв, Ю.А.Давыдов, А.М.Замышляев, В.Н.Игин, Ю.М.Иньков, С.И.Ким, В.И.Киселев, В.А.Козырев, В.С.Коссов, А.С.Космодамианский, С.М.Кузнецов, Ю.В.Митрохин, А.Т.Осяев, А.В.Плакс, А.Д.Пузанков, Е.Н.Розенберг, А.П.Семёнов, В.В.Семченко, А.В.Скребков, В.Т.Стрельников, Э.Д.Тартаковский, М.В.Федотов, В.П.Феоктистов, В.А.Четвергов, Н.Г.Шабалин, С.Г.Шантаренко, так и ряд зарубежных учёных - P.Burgwinkel, F.Rensmann, H.W.Heinrich, J.P.Womak, D.T.Jones, D.Roos и многие другие ученые.

**Целью диссертационной работы** является повышение надёжности и эффективности эксплуатации тягового подвижного состава в условиях сервисной системы технического обслуживания и ремонта с использованием современных информационных технологий.

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

- выполнить 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 его использования в локомотиворемонтном комплексе;
- разработать модель автоматизированного управления техническим состоянием локомотивов в условиях сервисного обслуживания (Модель) и методику её практической реализации;
- разработать метод обеспечения эффективности технического обслуживания и ремонта локомотивов путём инкапсуляции (встраивания в систему управления) вероятностно-статистических методик управления качеством и эксплуатационной надёжностью, а также принципов международных стандартов качества и бережливого производства с целью исключения ошибочных управляющих решений;
- разработать метод автоматизации процессов технического диагностирования тепловозов за счёт применения корреляционного анализа параметров дизель-генераторной установки, фиксируемых в бортовых аппаратно-программных комплексах локомотивов;
- разработать алгоритмические защиты от превышения предельно допустимых режимов работы грузовых тепловозов, реализуемых в бортовых аппаратно-программных комплексах.

**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 методу «Встроенное качество» вероятностно-статистическими методами и алгоритмами международных стандартов.

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

Разработан метод алгоритмических защит от превышения предельно допустимых режимов работы тепловозов.

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

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

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

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 методические указания, инструкции и регламенты для их практического использования.

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 принципа «Встроенное качество») метод автоматизированного диагностирования тепловозов серий 2ТЭ10МК и 3ТЭ10МК с дизель-генераторной установкой 1А-9ДГ по данным бортовых аппаратно-программных комплексов.

Разработаны алгоритмические защиты оборудования локомотивов от превышения предельно допустимых режимов работы. Способ контроля режимов эксплуатации локомотивов защищён патентом на изобретение.

**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;

совокупность вероятностно-статистических методов управления, целесообразность применения которых обоснована обработкой и анализом данных информационных систем железнодорожного транспорта и данных бортовых аппаратно-программных комплексов;

автоматизированный метод технического диагностирования предотказных состояний дизель-генераторной установки тепловозов по диагностическим данным бортовых аппаратно-программных комплексов, апробированный на тепловозах серий 2ТЭ10МК и 3ТЭ10МК;

алгоритмические защиты грузовых тепловозов серии 2ТЭ10МК и 3ТЭ10МК от превышения предельно допустимых значений эксплуатационных параметров работы их узлов, реализуемые в программном обеспечении бортовых аппаратно-программных комплексов.

**Степень достоверности.** Достоверность научных результатов и теоретических положений диссертационной работы достигнута за счёт использования вероятностно-статистических методов обработки данных. Исходные выборки данных тепловозов по режимам эксплуатации составили 15,2 млн 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, что также подтверждает их достоверность.

Опытная эксплуатация тепловоза с реализованными в программном обеспечении аппаратно-программных комплексов алгоритмическими защитами позволила снизить число отказов, что подтверждает целесообразность применения предложенных алгоритмических защит.

**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 изданиях, включенных в перечень ВАК. Две работы опубликованы за рубежом.

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

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

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** приводятся обоснование актуальности темы диссертации, цели и задачи исследований, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, положения, выносимые на защиту, их обоснованность, достоверность, а также данные об апробации и публикациях работы.

**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 полигонов эксплуатации локомотивов. Отмечается, что повышение 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.

В основу предлагаемой Модели положены принципы управления техническим состоянием оборудования, качеством их производства и обслуживания. В настоящее время эти принципы доведены до уровня методических рекомендаций международных стандартов (ISO) менеджмента качества, бережливого производства, управления надёжностью.

В диссертации обоснована целесообразность перехода от управления отказами к управлению инцидентами (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).

Разработан многоуровневый классификатор инцидентов, включающий в себя конструктивный, производственный, эксплуатационный, деградационный,



технологический, комплектационный (некачественные комплектующие материально-технического обеспечения) и форс-мажорный типы инцидентов.

Необходимо адаптировать международные стандарты управления техническим состоянием изделий, в которых используются вероятностно-статистические методы для объективной оценки ситуации, прогнозирования и многофакторного анализа. Положительный опыт использования этих методов был накоплен в локомотивном депо «Рыбное» Московской ж.д., где совместно с учёными МИИТ впервые в стране была создана эффективная система управления техническим состоянием локомотивов.

Анализ показывает, что практическое применение международных стандартов в сервисных локомотивных депо требует наличия высокой квалификации и большого опыта работы специалистов. В связи с этим предлагается по принципу «Встроенное качество» инкапсулировать в информационно-управляющую систему сервисного локомотивного депо статистические методы управления и алгоритмы международных, отечественных и отраслевых стандартов в области управления качеством, надёжностью и бережливым производством (цикл PDCA, «Барьер», 8D, 5W2H, 5Why).

В результате анализа мирового и отечественного опыта разработана структура модели управления техническим состоянием тягового подвижного состава, основу которой составляет трёхконтурная система управления инцидентами, проблемами и уровнем сервисного обслуживания (рисунок 1).

Для реализации Модели на этапе управления инцидентами выполняется процесс сбора информации со всех доступных источников, в т.ч. по данным бортовых и деповских автоматизированных систем технического диагностирования. На этапе управления проблемами осуществляется многофакторный вероятностно-статистический анализ с выявлением приоритетного списка причин инцидентов. На этапе управления уровнем сервисного обслуживания анализируются ключевые показатели эффективности выполняемого ТОиР, их взаимосвязь с выявленными инцидентами и проблемами. Предлагаемая модель защищена патентом на изобретение.

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»:

$$P_{\text{инц}} = \Sigma((T_{\text{тех}} + T_{\text{аиз}}) \cdot S_{\text{прост}}) + S_{\text{ст. раб}} + S_{\text{ст. рем}} + S_{\text{накл. депо}}, \quad (1)$$

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

$T_{\text{аиз}}$  – административные издержки на ожидание маневровой работы,

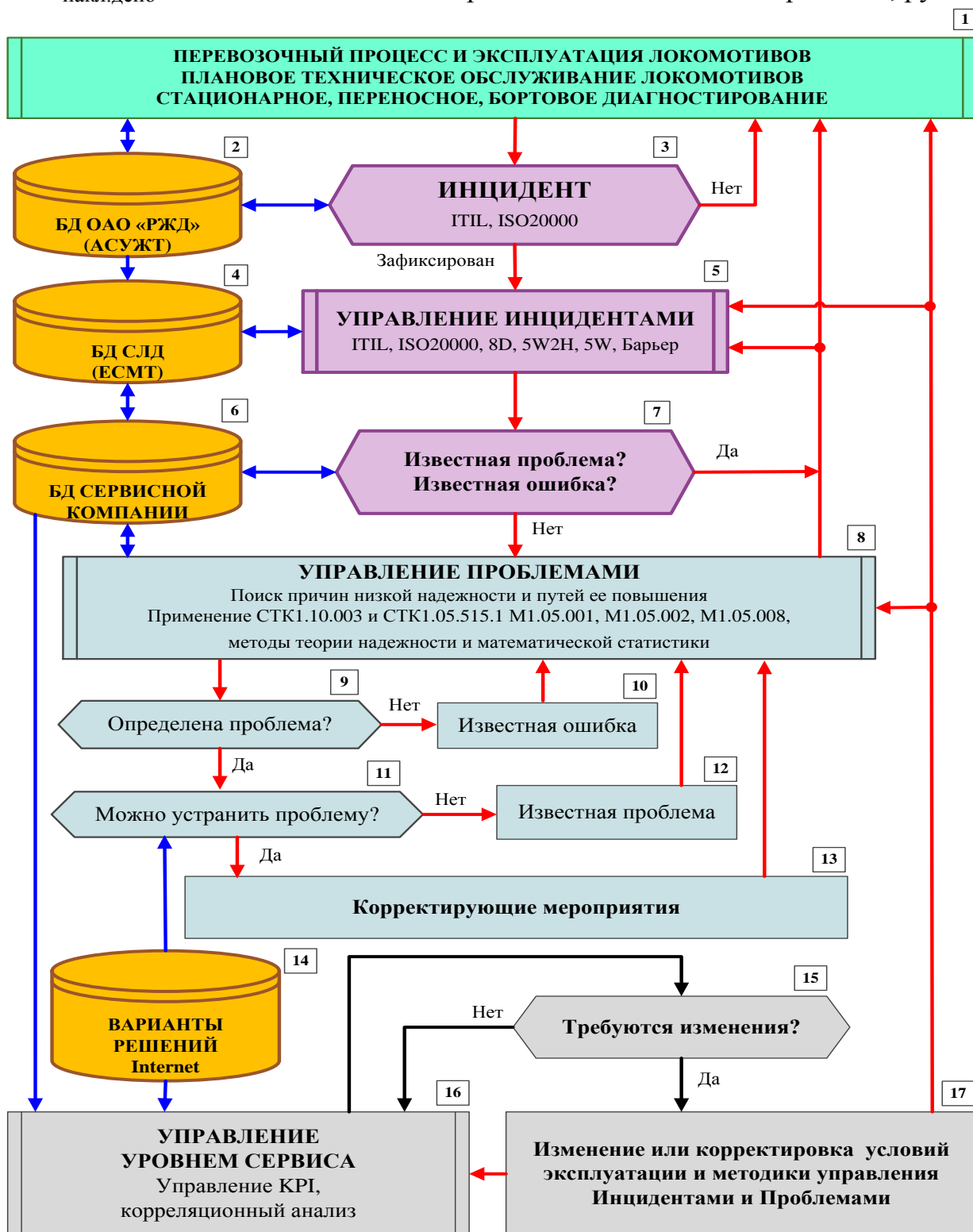
ремонтной позиции, ремонтного персонала, запасных частей, ч;

$S_{\text{прост}}$  – потери из-за простоя локомотива, руб./час;

$S_{\text{ст.раб}}$  – стоимость трудовых затрат, руб.;

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

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



*Рисунок 1 – Трёхконтурная модель управления техническим состоянием тягового подвижного состава*

В третьем разделе обоснованы целесообразность, место и порядок применения вероятностно-статистических методов в предлагаемой Модели на основании анализа данных о техническом состоянии и параметрах эксплуатации тепловозов. Исследована информативность источников данных локомотиво-ремонтного комплекса. Достоверность полученных результатов обеспечена объёмом исследований.

Наличие закономерностей рассматриваемых физических величин определялось путём проверки принадлежности полученных статистических данных (математических ожиданий  $m_x$  наблюдаемых физических величин  $x_i$ , их среднеквадратичных отклонений  $\sigma_x$ ) законам распределения случайной величины (нормальному, логнормальному, экспоненциальному, гамма-распределению) с использованием критериев согласия Пирсона и Колмогорова-Смирнова. Для автоматизации обработки данных и анализа результатов исследований разработаны алгоритмы (рисунок 2) и написаны соответствующие программы на языке *VBA MS Excel* (приведены в приложении к диссертации).

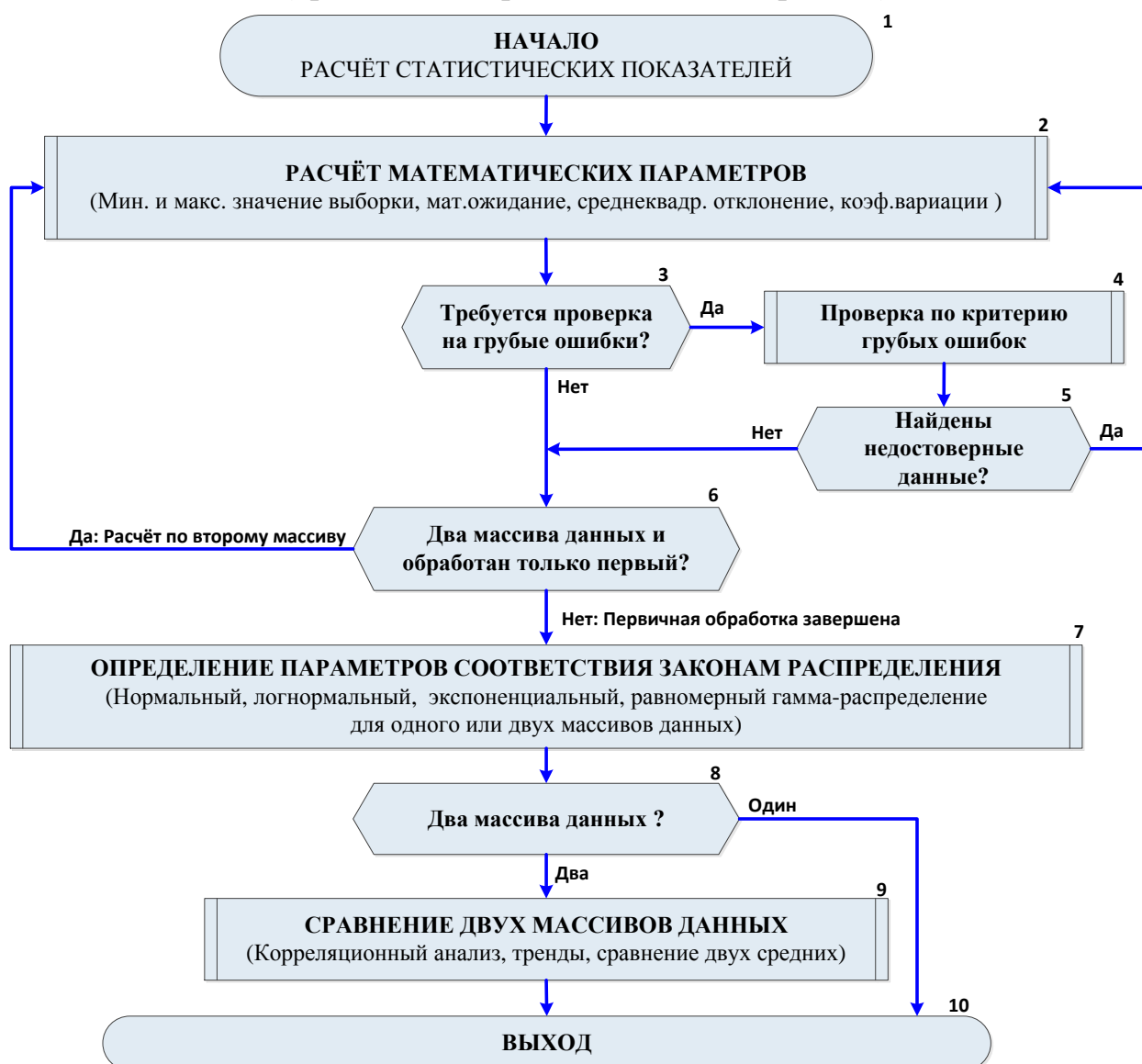


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма статистической обработки данных

Проверка достоверности исходных результатов расчётов проводилась по критерию унимодальности, для чего по каждому рассматриваемому показателю рассчитывалось математическое ожидание  $m_x$  выборки данных  $x_i$  в объёме  $N$  и среднеквадратичное отклонение  $\sigma_x$ :

$$m_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i; \quad (2)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - m_x)^2}. \quad (3)$$

Предварительно унимодальность проверялась визуально по гистограмме. При возникновении «эффекта гребёнки» (последовательное чередование высоких и низких столбцов гистограммы) менялся шаг разбиения на диапазоны (изначально число диапазонов разбиения определялось по правилу Старджесса). Затем проверялась принадлежность выборки теоретическому закону распределения по критерию Пирсона (по хи-квадрат  $\chi_p^2$ ):

$$\chi_p^2 = \sum_{j=1}^K \frac{(\Delta n_j - \Delta n_j^*)^2}{\Delta n_j}, \quad (4)$$

где:  $\Delta n_j^*$  и  $\Delta n_j$  – практическое и теоретическое число попаданий в  $j$ -й диапазон;  
 $K$  – число выбранных диапазонов разбиения.

При превышении расчётным  $\chi_p^2$  значения теоретического  $\chi_{\text{ТЕОР}}^2$  дополнительно проверялась нуль-гипотеза по критерию Колмогорова-Смирнова:

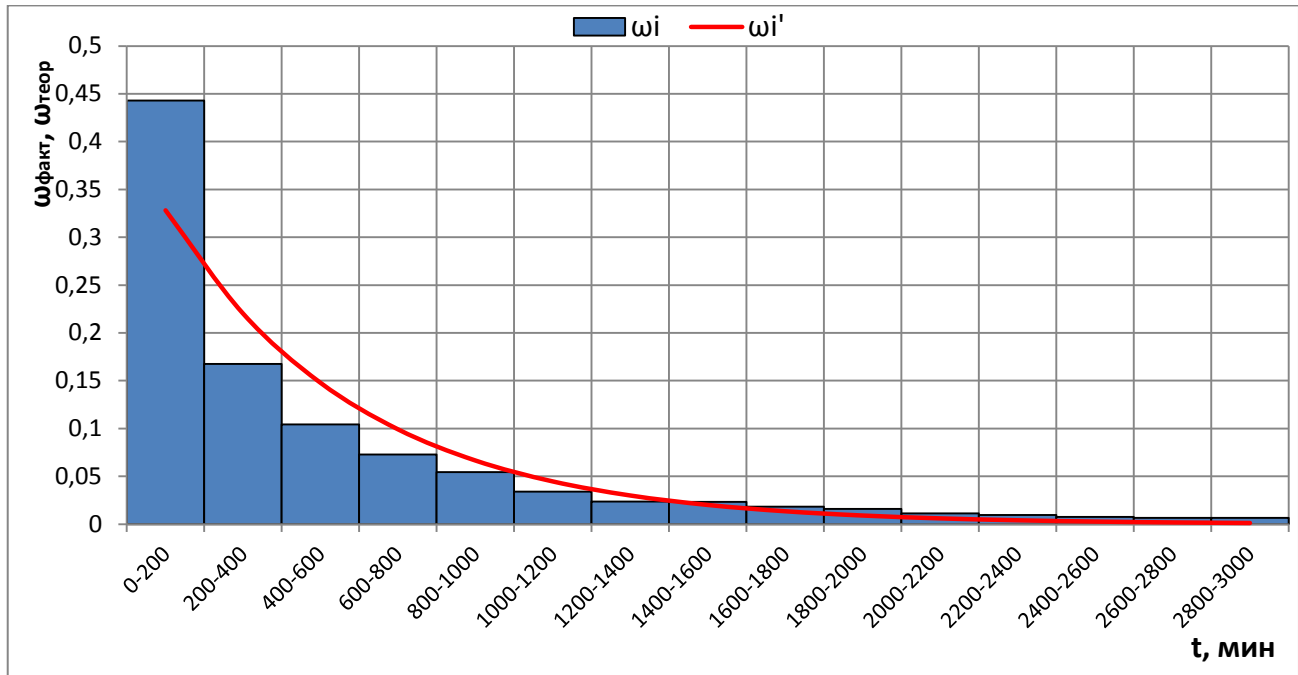
$$D_n = \sup_x |F_n(x) - F(x)|, \quad (5)$$

где  $F_n(x)$  - кумулятивное распределение выборки;  
 $F(x)$  – ожидаемое кумулятивное распределение.

При  $D_{\text{таб}} > D_n$  нуль-гипотеза не отклоняется.

В диссертации выполнен анализ 15,2 млн наблюдений об эксплуатации тепловозов серии ТЭ10 на шести железных дорогах за 12 месяцев 2015 - 2016 годов. Одним из результатов следует считать доказательство целесообразности выполнения многофакторного анализа причин простоя тепловозов в депо на неплановых ремонтах в интервале до двух суток. Более длительные простои тепловозов имеют место по причине отсутствия запчастей и других форс-мажорных обстоятельств.

Исследования показали, что время восстановления тепловозов после отказа оборудования подчиняется экспоненциальному закону распределения случайной величины (рисунки 3 – 4) по всем полигонам, кроме полигона Забайкальской ж.д.



**Рисунок 3** – Время простоя на неплановых ремонтах тепловозов серии ТЭ10 за 12 месяцев (объем выборки 33514 наблюдений)

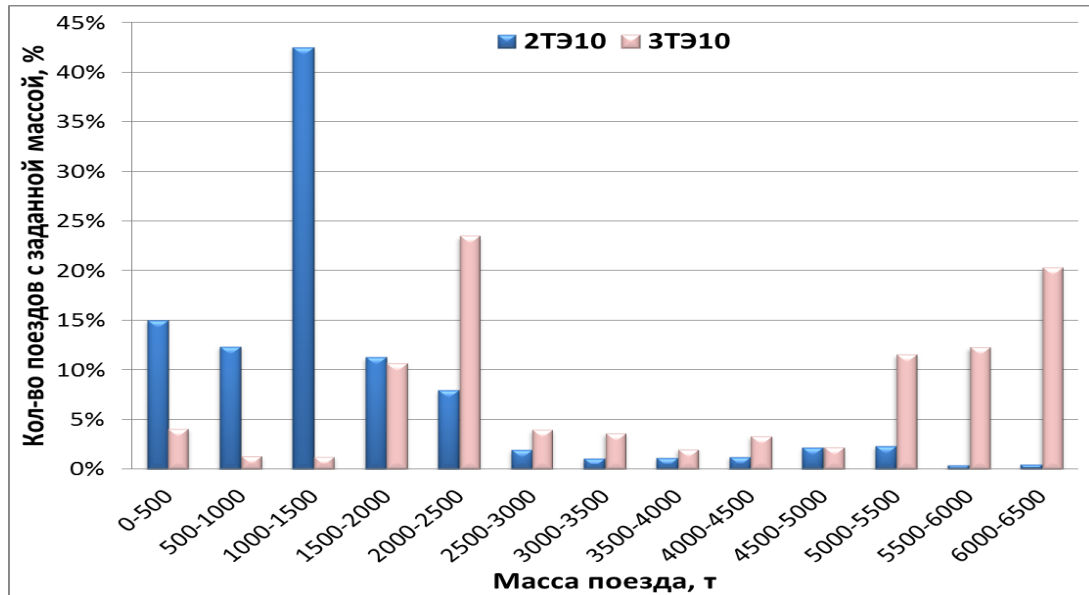
<b>Проверка по критерию Пирсона на соответствие экспоненциальному закону распределения случайной величины</b>		
Вероятность соответствия	$\alpha$	<b>0,05</b>
Хи-квадрат фактический	$\chi^2$	<b>4784,3</b>
Хи-квадрат теоретический	$\chi^2_{\text{ТЕОР}}$	<b>22,4</b>
<b>Проверка по критерию Колмогорова-Смирнова (К-С) на соответствие экспоненциальному закону распределения случайной величины</b>		
Уровень значимости	$\alpha$	<b>0,20</b>
К-С критерий фактический	$D^{\wedge}_{\text{расч}}$	<b><math>3,48 \cdot 10^{-6}</math></b>
К-С критерий табличный	$D^{\wedge}_{\text{табл}}=1,07/\sqrt{n}$	<b><math>5,85 \cdot 10^{-3}</math></b>

**Рисунок 4** – Результаты проверки обработанных данных по времени простоя на неплановых ремонтах тепловозов серии ТЭ10

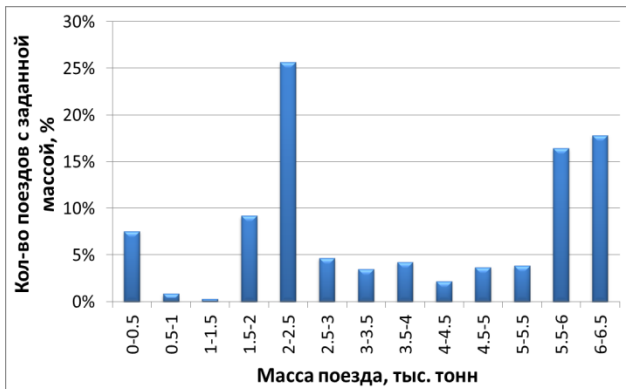
Для полигона БАМ выполнен анализ параметров эксплуатации тепловозов серий ТЭ10, 2ТЭ25А и ТЭП70 по 283-м тепловозам за пять месяцев их эксплуатации (1,23 млн событий). Распределение массы поезда (показатель использования мощности локомотивов) для тепловозов серии ТЭ10 (рисунок 5 а) является тримодальным (тяга с весовой нормой, тяга вывозных и порожних поездов, порожний пробег). У тепловозов серии 2ТЭ25А «Витязь» распределение также тримодальное (рисунок 5 б).

Максимальный непроизводительный порожний пробег имеют тепловозы серии 2ТЭ10 в основном из-за вывозной работы.

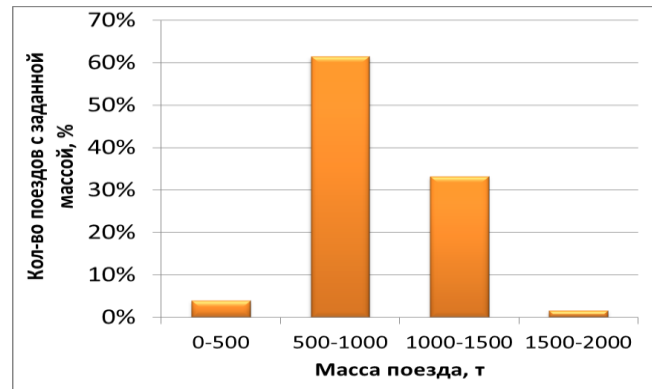
Использование показателя «средняя масса поезда» для грузовых тепловозов всех серий БАМ нецелесообразно. Распределение массы поезда пассажирских тепловозов серии ТЭП70 (рисунок 5 в) является унимодальным.



а – серия ТЭ10



б – серия 2ТЭ25А



в – серия ТЭП70

**Рисунок 5** – Распределение массы поезда на полигоне БАМ с тепловозами серий ТЭ10 (а), 2ТЭ25А (б), ТЭП70 (в)

Взаимное влияние эксплуатационных и технических параметров анализировалось по коэффициенту корреляции  $r_{yx} \in [-1, 1]$ :

$$r_{yx} = \frac{\alpha_{11}(y, x) - m_y m_x}{\sigma_y \sigma_x}, \quad (6)$$

где  $\alpha_{11}(y, x)$  - второй смешанный начальный момент, характеризующий математическое ожидание попарного произведения случайных величин  $x_i$  и  $y_i$ , составляющих объём выборки исходных данных  $N$ :

$$\alpha_{11}(y, x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \cdot x_i. \quad (7)$$

Анализ показал, что, несмотря на мультимодальные распределения масс грузовых поездов БАМ, при управлении техническим состоянием переходить от показателя учёта работы тепловозов по пробегу к показателю тонно-километровой работы нет необходимости. Между рабочим пробегом и работой

т-км тепловозов 3ТЭ10 ( $r_{yx} = 0,99$ ), 2ТЭ25А ( $r_{yx} = 0,995$ ) имеется сильная корреляционная связь, что объясняется равномерным участием тепловозов этих серий в тяжеловесном (на Восток) и в порожнем (на Запад) видах движения.

Анализ взаимного влияния эксплуатационных показателей тепловозов позволил объективно выбрать способ учёта работы локомотива с использованием коэффициента корреляции  $r_{yx}$  между временем нахождения в эксплуатации и пробегом. У тепловозов, в соответствии с полученными значениями корреляции, 3ТЭ10 ( $r_{yx}=0,871$ ) и 2ТЭ25А ( $r_{yx}=0,977$ ) учёт следует осуществлять в километрах пробега, а 2ТЭ10 ( $r_{yx}=0,163$ ) и ТЭП70 ( $r_{yx}=0,135$ ) – в часах.

Обработка параметров дизель-генераторных установок типа 1А-9ДГ тепловозов серии 3ТЭ10МК за 461 час эксплуатации выявила возможность применения корреляционного анализа для автоматизированного технического диагностирования по коэффициентам корреляции  $r_{yx}$  параметров однотипного оборудования и узлов (таблица 1). При исправном ДГУ коэффициент корреляции мощности между секциями  $r_{yx} \geq 0,97$ . При  $0,95 > r_{yx} > 0,97$  изменения несущественные. При  $r_{yx} < 0,95$  обязательно обнаруживались инциденты: снижение наддува, разрегулирование клапанов цилиндров, закоксовывание топливной форсунки цилиндра, засорение воздушных фильтров. При  $r_{yx} < 0,6$  обнаруживались отказы датчиков или отказы оборудования дизеля (топливного насоса высокого давления, топливной форсунки, турбокомпрессора, прогар клапана).

**Таблица 1** – Диагностические значения  $r_{yx}$  мощности ДГУ тепловозов 3ТЭ10МК

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 или отказ	$r_{yx} < 0,6$	$r_{yx} < 0,15$

Подтверждена целесообразность использования трендов для анализа динамики изменения параметров оборудования локомотивов и прогнозирования его работоспособности. Например, рост или снижение числа unplanned ремонтов, числа дополнительных работ, срабатываний защит, изменение температуры выхлопных газов на выходе цилиндров дизеля и др. В работе использовался линейный тренд параметра  $y$  ( $y = ax + b$ ) под влиянием величины  $x$ , в качестве которой бралось время работы локомотива, пробег или работа. При этом градиент изменения параметра  $y$  определялся по формуле:

$$a = r_{yx} \frac{\sigma_y}{\sigma_x}, \quad (8)$$

где:  $r_{yx}$  – коэффициент корреляции между случайными величинами  $y$  и  $x$ ;

$b$  – коэффициент линейной функции:

$$b = m_y - a \cdot m_x, \quad (9)$$

где:  $m_x, m_y$  – математические ожидания случайных величин  $x$  и  $y$ .

При управлении техническим состоянием ТПС оказалось эффективным применение трендов, т.к. изменение рассматриваемых параметров само по себе может быть признаком предотказного состояния локомотива. Например: снижение температуры выхлопных газов на выходе из цилиндра дизеля (показатель – «Температура выхлопных газов») может свидетельствовать о предотказном состоянии топливной системы (топливный насос высокого давления, форсунка), необходимости её обслуживания (смена форсунки или проверка качества распыления топлива на стенде).

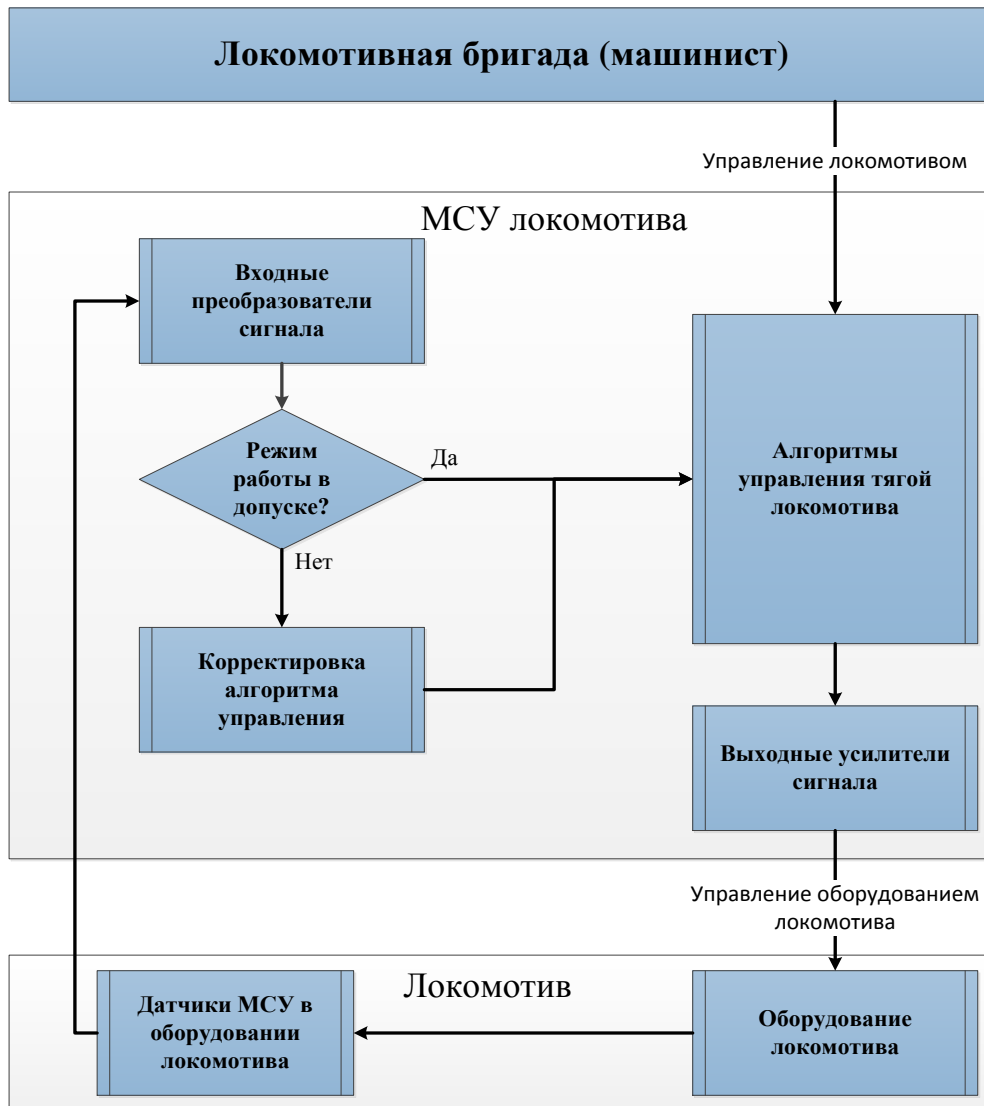
Проведённый вероятностно-статистический анализ позволил установить перечень математических методов и порядок их использования в модели управления техническим состоянием тепловозов при сервисной системе ТОиР.

**В четвертом разделе** описана разработанная по методу «Встроенное качество» защита тепловозов от опасных режимов эксплуатации, приводящих к отказам оборудования. Защиты реализуются через специальные алгоритмы программного обеспечения бортовых аппаратно-программных комплексов.

Исследования по результатам диагностирования тепловозов показали, что на Дальневосточной железной дороге тепловозы серии ТЭ10 (2ТЭ10, 3ТЭ10 и др.) эксплуатируются с регулярным превышением предельно допустимых параметров работы, что вызывает интенсивный износ оборудования и повышенный объём unplanned ремонтов. За 2013 - 2015 годы на БАМ выявлено 18 тыс. нарушений режимов эксплуатации тепловозов, из них большая часть приводит к отказам тяговых электрических двигателей (ТЭД), главного генератора, дизеля и его систем (водяная, масляная и др.).

Анализ функциональности систем управления оборудования тепловозов показал, что ряд нарушений можно предотвратить введением в программное обеспечение микропроцессорных блоков (УСТА+УПУ) специальных алгоритмов защиты (рисунок 6). При этом выявлено, что при реализации алгоритмических защит в электрическую схему тепловоза и в механическую часть дизель-генераторной установки изменения вносить не нужно – производится только переустановка программного обеспечения в постоянном запоминающем устройстве (ПЗУ) микропроцессорного блока УСТА и на жёстком диске УПУ.





**Рисунок 6** – Обобщенный алгоритм работы защит тепловозов

В защите от превышения допустимой величины тока тягового генератора  $I_{\Gamma}$  и его длительности следует контролировать объём выделяемой энергии  $Q$ :

$$Q = I_{\Gamma}^2 \cdot r \cdot t, \quad (10)$$

где:  $I_{\Gamma}$  – ток главного генератора;  $r$  – сопротивление обмоток главного генератора;  $t$  – время работы с током  $I_{\Gamma}$ . Накапливаемое в генераторе тепло не должно превышать максимально допустимое значение. Например, для одноминутного режима:

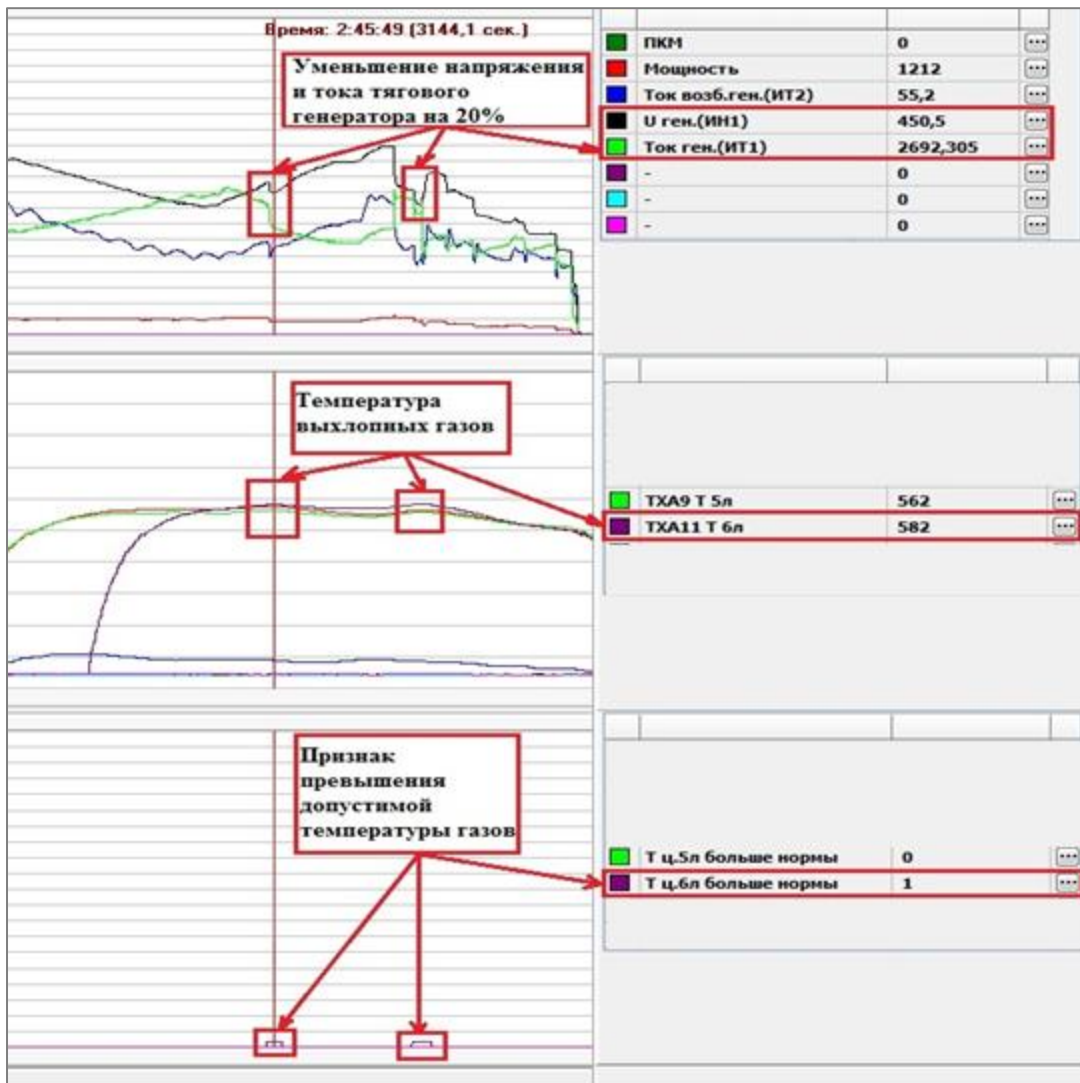
$$Q_{MAX} = 6000 \cdot 6000 \cdot 0,1 \cdot 60 = 216 \text{ МДж}. \quad (11)$$

Испытания алгоритмических защит производились в марте 2015 года с участием специалистов ВНИКТИ в сервисном локомотивном депо Курск на тепловозе 3ТЭ10МК-1267. Испытаны защиты от следующих нарушений:

- превышение 4-й позиции контроллера машиниста (ПКМ) при низком значении температуры воды или масла;
- превышение допустимой температуры выхлопных газов цилиндров;
- превышение допустимой температуры газов на входе в турбокомпрессор;

- длительная работа на холостом ходу;
- превышение допустимого тока тягового генератора.

Защитными действиями предложено снижение мощности тягового генератора на 20 %. Пример срабатывания алгоритмических защит по нарушениям, связанным с превышением допустимой температуры выхлопных газов на выходе из цилиндров дизеля, представлен на рисунке 7.



*Рисунок 7 – Пример срабатывания алгоритмических защит на тепловозе 3ТЭ10МК-1267*

Дальнейшая опытная эксплуатация локомотива показала эффективность предложенных алгоритмических защит. Надёжность оборудованного тепловоза повысилась на 26 %.

**В пятом разделе** описана практическая реализация в сервисных локомотивных депо результатов научных исследований.

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

информационно-управляющей системы «ЕСМТ» разработаны алгоритмы работы модулей «Управление инцидентами», «Статистическая обработка данных о техническом состоянии и эксплуатации локомотивов», «Статистические отчёты о надёжности локомотивов», «Конструктор статистических отчётов». В работу модулей инкапсулированы вероятностно-статистические методы, а также методы международных стандартов управления качеством, надёжностью и бережливым производством. Внедрение системы позволило повысить достоверность используемой информации, сократить потери времени специалистов на анализ информационно-технической документации в сервисных локомотивных депо.

Экономический эффект от внедрения модели управления техническим состоянием локомотивов при сервисной системе ТОиР достигается за счёт повышения коэффициента технической готовности тепловозов, сокращения простоя локомотивов на неплановых ремонтах, снижения складских запасов оборудования.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В диссертации получены новые научно обоснованные технические и технологические решения и выполнены разработки по совершенствованию системы управления техническим состоянием тягового подвижного состава 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 бортовыми аппаратно-программными комплексами управления.
3. Разработан метод алгоритмических защит от превышения предельно допустимых режимов работы тепловозов. Для выявленных и часто встречающихся в эксплуатации нарушений режимов эксплуатации локомотивов разработаны алгоритмы защиты от их появления. Опытная эксплуатация тепловоза с алгоритмическими защитами позволила повысить

его надёжность 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 определяется организацией работ при ремонте.
5. В условиях эксплуатации тепловозов на полигоне БАМ выявлено:
  - тяга грузовых поездов тепловозами серии 2ТЭ10 составляет 18 % от общего времени нахождения в эксплуатации, а у 3ТЭ10 – 40 %.
  - из-за тримодального распределения массы поезда не рекомендуется применять широко распространённый показатель «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) видах движения;
  - учёт работы тепловозов по времени нахождения в эксплуатации и пробегу 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 вероятностно-статистических методов: контроль унимодальности (через проверку соответствия закону распределения случайной величины), контроль трендов с прогнозированием работоспособности оборудования, многофакторный анализ по коэффициентам корреляции  $r_{yx}$ .
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.

## Основные положения диссертации опубликованы в работах:

### I Публикации в печатных изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Аболмасов, А.А. Критерии надежности тепловозов [Текст] / А.А. Аболмасов // Мир транспорта. – 2014. – № 2. – С. 158 – 168.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.

### II Патенты

6. Пат. 2569216 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> 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.
7. Пат. 2593729 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> 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.

### III В научных журналах, материалах конференций, в монографиях:

8. 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», МГУПС, 2011. – С. V-1.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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
18. Аболмасов, А.А. Система мониторинга технического состояния локомотивов в ТМХ-Сервис [Текст] / А.А. Аболмасов // Труды международной научно-практической конференции «Эксплуатационная надёжность подвижного состава». – ОАО «НИИТКД», Омск, 2013. – С. 367 – 372.
19. 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.
20. Лянгасов, С.Л. Автоматизированная система управления надёжностью 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.
21. 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.
22. Аболмасов, А.А. Роль статистических методов в организации сервисного обслуживания [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. 65 – 70.
23. 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.
24. 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.
25. 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.
26. Аболмасов, А.А. Алгоритмическая защита локомотивов [Текст] / А.А. Аболмасов, В.А. Мельников, И.И. Лакин // Локомотив. – 2015. – № 3. – С. 8 – 10.
27. 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.
28. 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.
29. 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.
30. Лакин, И.К. Особенности применения статистических методов анализа при управлении надежностью 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.
31. 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.
32. 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.

АБОЛМАСОВ Алексей Александрович

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ  
ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА  
В УСЛОВИЯХ СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Специальность: 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог,  
тяга поездов и электрификация

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени кандидата  
технических наук

---

Подписано в печать «\_\_-\_\_» февраля 2017 г. Заказ № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_\_\_» марта 2017 г.

Формат 60x90/16

Усл.- печ. л. – 1,5

Тираж 90 экз.

---

127994, Россия, ГСП-4, г. Москва, ул. Образцова, д. 9 стр. 9, МИИТ