

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

На правах рукописи



ЛАКИН Игорь Игоревич

МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ЛОКОМОТИВОВ ПО ДАННЫМ БОРТОВЫХ
АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ

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
Киселев Валентин Иванович

Москва - 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 АНАЛИЗ ОПЫТА МОНИТОРИНГА.....	11
1.1 СИСТЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ТОиР ЛОКОМОТИВОВ.....	11
1.2 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	18
1.3 ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЛЫЛКИ.....	25
2 ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА.....	42
2.1 СТРУКТУРА СИСТЕМЫ.....	42
2.2 УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ.....	44
2.3 ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ НЕЧЁТКИХ МНОЖЕСТВ.....	47
2.4 ФОРМИРОВАНИЕ НЕЧЁТКИХ МНОЖЕСТВ.....	55
2.5 ВЫВОДЫ.....	60
3 АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНОСТИ ДАННЫХ АСУЖТ.....	61
3.1 ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	61
3.2 СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ.....	66
3.3 ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ МОНИТОРИНГА ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	97
4 АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНОСТИ ДАННЫХ АПК.....	105
4.1 МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ.....	105
4.2 СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ МСУЭ.....	118
4.3 АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ ЗАЩИТЫ ЛОКОМОТИВОВ.....	145
5 ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	150
5.1 МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА.....	150
5.2 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ АПК.....	152
5.3 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ.....	164
5.4 РАЗРАБОТКА СППР.....	168
5.5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ.....	172
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	175
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	178
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	179

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Двадцать первый век ознаменовался началом реформы системы управления железнодорожным транспортом [171]. Взят курс на построение независимых вертикалей управления в каждом хозяйстве, приватизацию отдельных видов деятельности с целью привлечения частного капитала, повышения управляемости в хозяйствах. Развитие локомотивного комплекса ОАО «РЖД» реализуется в соответствии с Программой структурной реформы на железнодорожном транспорте, (постановление Правительства РФ от 18 мая 2001 года № 384).

В локомотивном комплексе в рамках реформы разделены функции эксплуатации локомотивов, работы локомотивных бригад (создана Дирекция тяги (ЦТ) – филиал ОАО «РЖД») и функции технического обслуживания и ремонта (ТОиР), для реализации которых первоначально создана Дирекция по ремонту тягового подвижного состава (ЦТР), а затем большинство функций ТОиР с 1 июля 2014 года передано частным сервисным компаниям: «ТМХ-Сервис», «СТМ-Сервис» и др. [50]. При этом технология сервисного ТОиР нуждается в проработке. В т.ч. у сервисных компаний повышается роль систем мониторинга режимов эксплуатации и технического состояния локомотивов.

Увеличение пропускной способности железнодорожного транспорта достигается повышением интенсивности движения поездов за счёт повышения весовых норм и скорости движения поездов, сокращения простоя локомотивов, увеличения их межремонтного пробега и полигона обращения. Эти и ряд других факторов требуют пересмотра существовавших до этого технологических процессов, в т.ч. научной проработки перспективных подходов к обеспечению надёжной эксплуатации локомотивов и тяги поездов в целом. Решение задачи невозможно без получения объективной информации о факторах, влияющих на надёжность подвижного состава. Актуальной становится задача мониторинга эксплуатации и технического состояния локомотивов, эффективности выполняемых ТОиР. Широкое распространение бортовых аппаратно-программных комплексов и стационарных информационных систем позволяют решить актуальную задачу Мониторинга на качественно новом уровне.

Степень проработки проблемы. Задачи мониторинга технического состояния локомотивов неоднократно являлись предметом научного рассмотрения. Значительные достижения достигнуты в трудах ряда отечественных и зарубежных учёных: И.П.Исаев [65, 142, 178], В.Т.Стрельников [178], А.В.Горский [18, 28 - 32, 189], А.А.Воробьев [18, 28, 29, 31, 32, 189], В.П.Феоктистов [63, 64, 188, 189], В.М.Бочаров [80], А.В.Воротилкин [19], В.А.Гапанович [20 – 24, 69], А.Д.Глущенко [27], А.Н.Головаш [33, 34, 145], В.И.Головин [25], А.А.Грачёв [26] Ю.А.Давыдов [43 - 46], В.Н.Игин [60], А.М.Замышляев [20 - 24, 57, 58, 199], В.И.Зорин [59] Ю.М.Иньков [63, 64], А.С.Космодамианский [76 - 79], С.М.Кузнецов [80], А.Г.Ламкин [96], О.Н.Назаров [118], А.Т.Осяев [127 - 129], А.В.Плакс [132], А.К.Пляскин [46], С.В.Покровский [133], Ю.П.Попов [134], Е.Н.Розенберг [22, 59, 141], И.Н.Розенберг [20, 51], А.П.Семёнов [145], В.В.Семченко [146 - 152], А.В.Скребков [28, 29, 31, 172], А.Ю.Тимченко [96, 127, 181, 189], В.А.Четвергов [193], Н.Г.Шабалин [63, 64, 194 - 196], С.Г.Шантаренко [197, 198], И.Б.Шубинский [21 - 24, 199], E.Hedlund, N.Roddy, D.Gibson и R. Bliley [205] и другие ученые развивали различные аспекты мониторинга технического состояния локомотивов. Настоящая диссертация является логическим развитием в современных условиях ранее выполненных научных исследований в области Мониторинга локомотивов как элемента системы ТОиР.

Цели и задачи исследования исходя из задачи повышения надёжности работы локомотивного парка и совершенствования системы сервисного обслуживания локомотивов, с учётом возможностей современных бортовых аппаратно-программных комплексов и информационных технологий, разработать систему мониторинга технического состояния локомотивов.

Научная новизна. Разработана модель системы мониторинга технического состояния локомотивов с использованием данных бортовых аппаратно-программных комплексов, железнодорожных информационных систем и деповских систем технического диагностирования. Теоретически обоснована адекватность параметров модели системы мониторинга задачам обеспечения технического состояния диагностируемых узлов локомотива с использованием методов теории нечётких множеств, управления рисками и статистического

управления. Разработаны алгоритмы и пакет прикладных программ анализа данных системы мониторинга локомотивов.

Теоретическая и практическая значимость работы. На базе разработанной в диссертации модели системы Мониторинга предложен научно-обоснованный проект её практической реализации, в т.ч. система поддержки принятия решений в системе управления рисками отказов локомотивов.

На основании статистического анализа возможностей железнодорожных информационных систем определена их функциональность в системе Мониторинга. Разработаны технические требования и эскизный проект модуля мониторинга для использования производственно-диспетчерскими отделами сервисных локомотивных депо (СЛД) и отделами мониторинга эксплуатации локомотивов при Центрах управления тяговыми ресурсами ОАО «РЖД». Разработаны и внедрены методические указания, инструкции, положения и другие организационно-распорядительные документы.

На основании статистического анализа диагностических данных бортовых аппаратно-программных комплексов (АПК) локомотивов определена доступная в настоящее время глубина диагностирования, разработаны методы мониторинга по данным АПК. Определены реальные режимы эксплуатации и характеристики электровозов переменного тока с выпрямительно-инверторными преобразователями (ВИП). По результатам теоретических исследований разработаны требования на автоматизированное рабочее место автоматизированного диагностирования по данным АПК электровозов переменного тока. Разработаны и апробированы алгоритмические защиты электровозов переменного тока с ВИП от опасных режимов эксплуатации.

Методология и методы исследования. В модели системы мониторинга использованы положения теории локомотивной тяги в сочетании с методами теории нечётких множеств, управления рисками, надёжности и вероятностно-статистическими методами. Для расчетов и анализа использованы математические функции пакета программ *MS Excel* и собственные программы, написанные на алгоритмическом языке *Visual Basic for Application (VBA)*.

Положения, выносимые на защиту:

1. Сервисная система технического обслуживания и ремонта локомотивов (ТОиР) должна включать в себя систему мониторинга технического состояния локомотивов и режимов их эксплуатации с использованием данных АПК, информационных систем железнодорожного транспорта (АСУЖТ) и данных деповских стационарных и переносных автоматизированных систем технического диагностирования (АСТД) при недостатке данных АПК.
2. Факторный анализ накапливаемой при мониторинге информации позволяет управлять рисками наступления отказов локомотивов при использовании методов теории нечётких множеств в сочетании с методами теории локомотивной тяги, методов управления рисками и теории надёжности.
3. АСУЖТ позволяет контролировать эксплуатационные показатели локомотивов: пробеги, выполненная работа, наличие и характер отказов, заходы в депо на ТОиР и неплановые ремонты (НР), коэффициент технической готовности и причины потерь, другие эксплуатационные показатели. Для мониторинга основой является система оперативного управления поездами АСОУП.
4. АПК могут диагностировать правильность функционирования, а при длительном наблюдении - работоспособность локомотива. Возможности АПК ограничены наличием датчиков, накопителей информации и алгоритмами диагностирования. Данные АПК следует использовать для оптимизации параметров локомотивов по реальным режимам эксплуатации.
5. АСТД дополняют недостающие диагностические функции АПК и позволяют диагностировать исправность оборудования локомотива.
6. Алгоритмические защиты АПК позволяют защищать локомотив от опасных режимов эксплуатации, существенно сокращая число неплановых ремонтов из-за отказов оборудования локомотивов.
7. Основные положения диссертации внедрены в технических и информационных системах сервисных локомотивных депо.

Степень достоверности научных положений и теоретических результатов диссертационной работы: высокая достоверность достигнута использованием методов статистического анализа при оценке достоверности данных. При этом исходные выборки составляли более 4 млн. наблюдений по 11-и различным сериям электровозов 17-и локомотивных депо. Всего обработаны данные о работе 1083 локомотивов. Анализ данных АПК выполнен по 61-му локомотиву за 1525 часов работы. Результаты исследований в значительной степени внедрены в работу сервисных локомотивных депо, что также подтверждает достоверность полученных результатов и сделанных научных выводов.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены, обсуждены и получили одобрение на международной научно-практической конференции (НПК) «Эксплуатационная надежность подвижного состава» (НИИТКД, Омск, 2013 г.); 5-й, 6-й и 7-й международных НПК «Транспортная инфраструктура Сибирского региона» (ИрГУПС, Иркутск, 2014 – 2016 гг.), 1-й и 2-й международных НПК «Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов» (МИИТ, ТМХ-Сервис, Локомотивные Технологии, Москва, 2014, 2015 гг.), Всероссийской международной НПК «120 лет железно-дорожного образования в Сибири» (КрИЖТ, Красноярск, 2014 г.), 2-й всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов» (ОмГУПС, Омск, 2014 г.), 16-й НПК «Безопасность движения поездов» (МИИТ, 2015), 3-й всероссийской НПК с международным участием «Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава». (ОмГУПС, г. Омск, 2015 г.), НПК «Наука МИИТа – Транспорт» (МИИТ, 2016 г.). Диссертация доложена и одобрена на заседаниях кафедр «Электроподвижной состав» ИрГУПС (2015 г.) и «Электропоезда и локомотивы» МИИТ (2016 г.).

Публикации. Основные положения диссертационной работы и полученные результаты опубликованы в 22-х печатных трудах общим объёмом 8 печатных листов, в т.ч. 2 в изданиях, рекомендованных ВАК. В публикации входит 2 монографии и 9 статей без соавторов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка сокращений, списка литературы из 206 источников (рисунок 1). Диссертация содержит 195 страниц основного текста, включая 39 таблиц и 77 рисунков. Основной текст содержит 268 тысяч знаков, что соответствует 139-и условным страницам печатного текста.

В первом разделе выполнен анализ объекта исследования – системы ТОиР, приведены результаты литературного обзора. Рассмотрены технические и технологические предпосылки системы Мониторинга: информационные системы, бортовые аппаратно-программные комплексы и деповские системы технического диагностирования. Проанализирован опыт использования статистических методов управления. Поставлена задача исследования.

Во втором разделе разработаны принципы построения комплексной модели системы Мониторинга по предложенной автором структуре, сформированной по результатам анализа мирового опыта мониторинга технического состояния локомотивов, возможностей информационных систем железнодорожного транспорта (АСУЖТ), аппаратно-программных комплексов (АПК) отечественных локомотивов и деповских стационарных и переносных автоматизированных систем технического диагностирования. Разработан метод управления рисками наступления отказов как элемент системы Мониторинга. Предложен соответствующий алгоритм использования математического аппарата теории нечётких множеств, что позволяет существенно повысить возможности логического анализа и прогнозирования. Предложена система нечётких множеств для предлагаемой модели системы Мониторинга.

Третий раздел посвящён анализу эксплуатационных показателей локомотивов по данным информационных систем АСУЖТ (АСОУП). Выполнен статистический анализ данных об эксплуатации локомотивов, в результате чего обоснован порядок их использования в модели мониторинга. Анализ выполнен по более 4 млн. исходных событий по 11-и различным сериям электровозов 17-и локомотивных депо (всего 1083 локомотивов). Предложены алгоритмы использования информационных систем при мониторинге эксплуатации локомотивов.

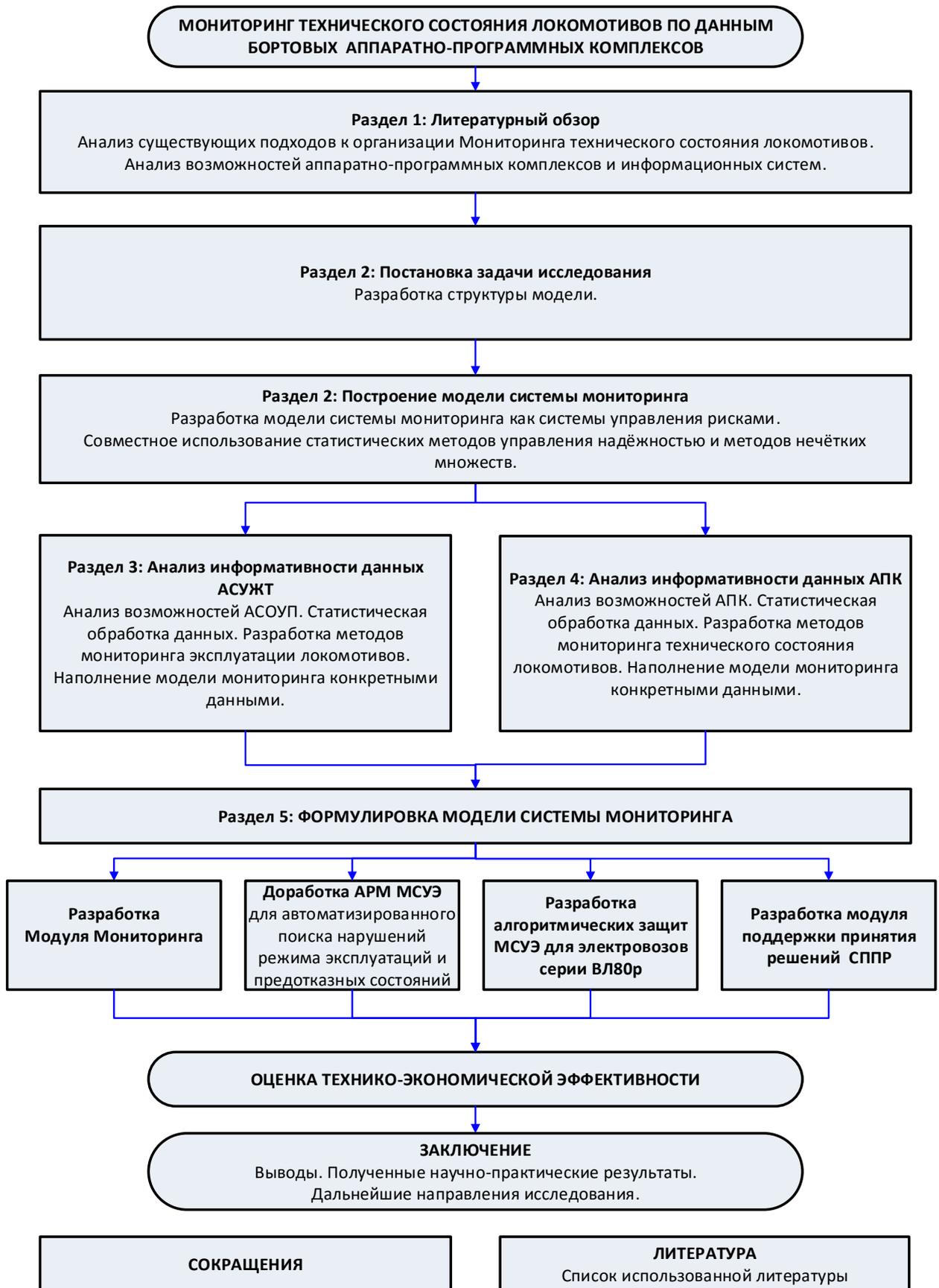


Рисунок 1 – Логика исследований и содержание разделов

Четвёртый раздел посвящён анализу возможностей современных бортовых аппаратно-программных комплексов (АПК) локомотивов при реализации системы мониторинга технического состояния локомотивов. Выполнен анализ диагностической функциональности АПК. Проведен комплексный анализ статистических данных АПК на примере электровозов серии ВЛ80р с МСУЭ – всего проанализированы данные по 61-му локомотиву за 1525 часов их работы. В результате определены диагностические возможности современных бортовых систем управления. Определено место АПК в модели системы мониторинга. В специальном разделе описаны предлагаемые алгоритмические защиты электровозов переменного тока от опасных режимов эксплуатации.

В пятом разделе подведён итог выполненным исследованиям. Описаны результаты практической реализации научных разработок. Модель мониторинга внедрена в работу Центров Мониторинга эксплуатации локомотивов, созданных сервисной компанией ООО «ТМХ-Сервис» при центрах управления тяговыми ресурсами (ЦУТР) ОАО «РЖД», для этого создан модуль мониторинга, технические требования к которому разработаны автором диссертации. Описано практическое использование бортовых АПК в полигонной системе сервисного обслуживания локомотивов. Приведены результаты внедрения АРМ МСУЭ и алгоритмических защит электровозов ВЛ80р в Дорожном центре внедрения Красноярской ж.д. Проанализированы источники технико-экономического эффекта от внедрения системы Мониторинга.

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

1 АНАЛИЗ ОПЫТА МОНИТОРИНГА

В разделе на основании анализа мирового и отечественного опыта мониторинга, изучения возможностей современных информационных систем и бортовых аппаратно-программных комплексов локомотивов определен порядок и содержание исследований.

1.1 СИСТЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ТОиР ЛОКОМОТИВОВ

1.1.1 Развитие системы эксплуатации

История развития отечественных железных дорог сопровождалась постоянным совершенствованием технологии технического обслуживания и ремонта локомотивов (ТОиР) с приоритетным обеспечением безопасности движения поездов и повышением качественных и количественных показателей эксплуатации локомотивов [70, 116]. Выделить главную составляющую из организационных и технических факторов перевозочного процесса затруднительно вследствие их взаимосвязи. Но опыт эксплуатации локомотивов показывает, что определяющими факторами являются порядок организации работы локомотивных бригад и ТОиР локомотивов (рисунок 1.1).

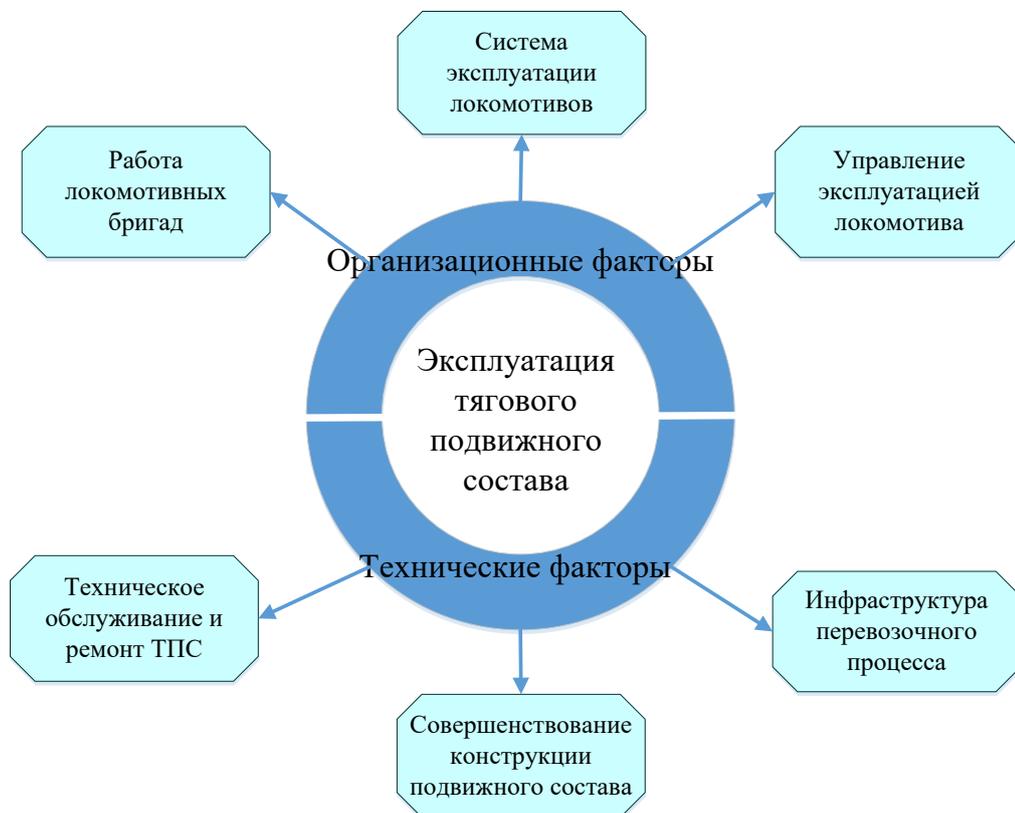


Рисунок 1.1 – Организационно-технические факторы перевозочного процесса

Первоначально использовалась прикреплённая езда, когда за каждым локомотивом закреплялась одна или несколько локомотивных бригад [7]. Это обеспечивало высокий уровень ответственности за техническое состояние локомотива, однако ограничивало эффективность его эксплуатации. При начавшейся в 1927-1930 гг. сменной езде локомотивных бригад было отмечено ухудшение технического содержания локомотивного парка. В связи с этим было принято решение к возврату прикреплённой системы эксплуатации локомотивов вместо сменной («обезличенной»). Необходимость интенсификации использования локомотивов привела в дальнейшем к отказу от прикреплённой езды.

На всех этапах развития железнодорожного транспорта применялись следующие способы обслуживания локомотивов локомотивными бригадами: Сменный, Прикреплённый, Турный, Комбинированный и Групповой.

Применение того или иного способа зависит от размещения основных оборотных депо, уровня технического состояния локомотивов, транзитности грузопотока, типа графика движения поездов (рисунок 1.2).

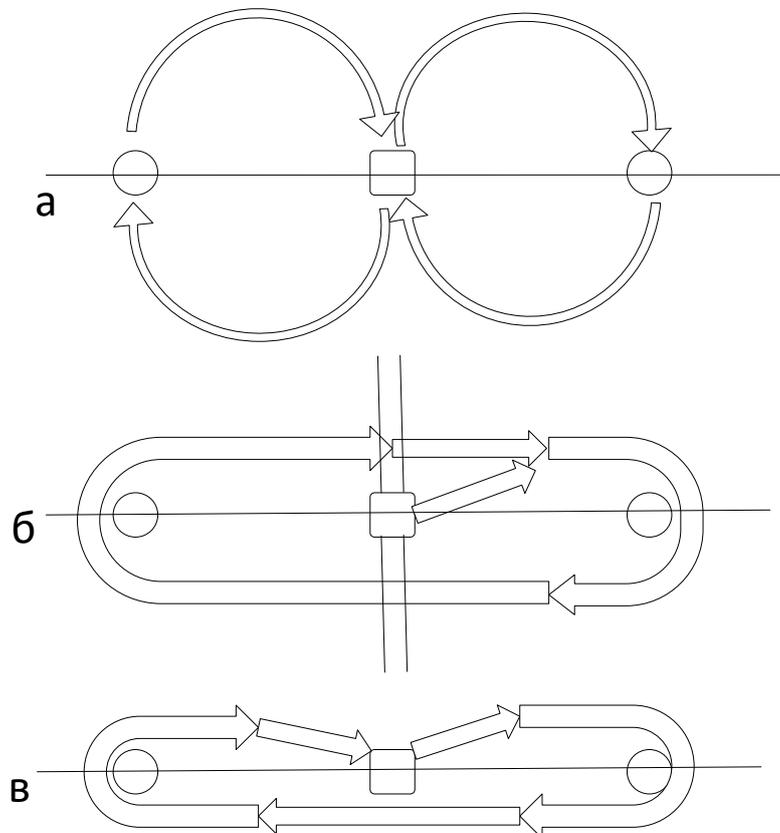


Рисунок 1.2 – Способы обслуживания поездов локомотивами

При плечевом способе обслуживания поездов к основному депо примыкает лишь один участок обращения, одно тяговое плечо (рисунок 1.2.а). При кольцевом способе обслуживания поездов к основному депо примыкают минимум два тяговых плеча (рисунок 1.2.б). Кольцевой способ позволяет сократить непроизводительное время локомотивов и сократить численность парка по сравнению с плечевым способом, а также увеличить пропускную способность железнодорожных участков. Петлевой способ (разновидность кольцевого, к основному депо примыкают не менее двух тяговых плеч - рисунок 1.2.в) позволяет сократить потребность локомотивного парка по сравнению с плечевым. Применяется организация работы локомотивов по системе накладных тяговых плеч, когда одно и то же тяговое плечо (участок обращения) обслуживается бригадами двух основных депо – повышается маневренность парка.

При удлинённых и разветвлённых участках обращения локомотивов поезда могут обслуживаться локомотивами нескольких депо (рисунок 1.3.). Удлинённые участки обращения и зоны обращения локомотивов повышают количественные и качественные показатели локомотивного парка. Обеспечение работы локомотивного парка на удлинённых участках обращения требует хорошо развитой базы ТОиР, высокой оперативности управления перевозочным процессом со стороны диспетчерской службы организации движения поездов.

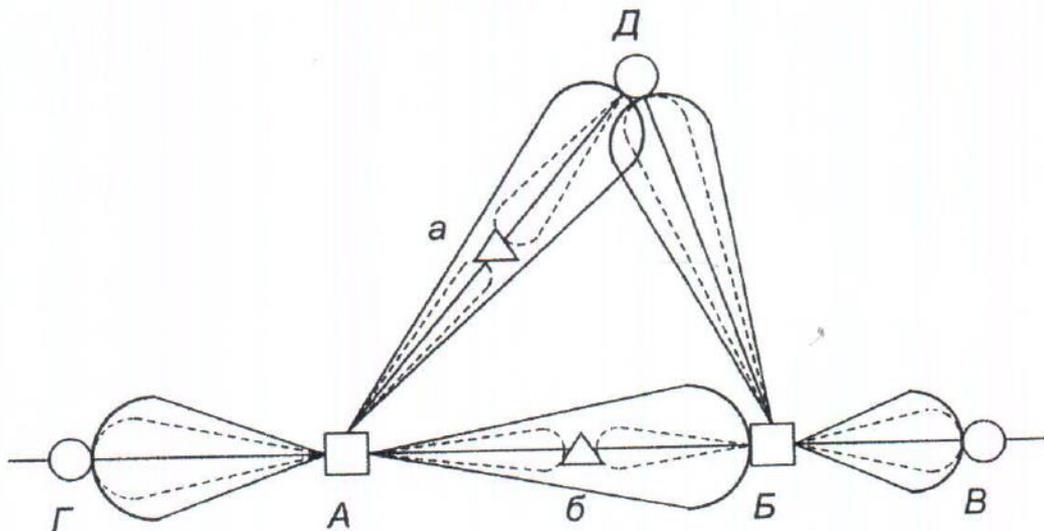


Рисунок 1.3 – Участок и зона обращения локомотивов [7]

□ - основное депо; ○ - Оборотное депо; △ - пункт смены бригад; ---- - оборот локомотивных бригад; - - оборот локомотива; А-Г, А-Б, А-Д, Б-В, Б-Д – тяговые плечи; Г-Б, В-Д, Г-Д – участки обращения локомотивов; А-Г, А-а, А-б, Д-а, Б-б, Б-Д, Б-В – участки работ локомотивных бригад; Г-В-Д – зона обращения локомотивов

Несмотря на изменения технологии управления перевозочным процессом [5, 191] не обеспечивается рациональное использование локомотивов. В среднем по сети грузовой локомотив лишь 45% (11 часов) времени занят поездной работой. Не используется мощность локомотивов. На Транссибирской магистрали в нечётном грузовом направлении мощность магистральных электровозов используются на 75-80 %, а в обратном направлении лишь на 40-50 %. С целью повышения количественных и качественных показателей работы локомотивного парка внедряется система эксплуатации локомотивов на удлинённых плечах значительной протяжённости – «Полигонная система».

1.1.2 Полигонная система эксплуатации локомотивов

Начавшаяся с 1956 года реформа локомотивного хозяйства по замене паровой тяги на тепловозную и электровозную позволила перейти к новым формам и методам эксплуатации локомотивов – вождению поездов без отцепки локомотива на расстоянии до 1000 км. Изменилась система ТОиР. С 2001 года продолжилось удлинение участков обращения: на отдельных направлениях предусматривается существенное (до 2500 км.) удлинение участков обращения локомотивов с включением в зону обращения нескольких железных дорог. Это делает неэффективной существовавшую до этого систему ТОиР.

Ключевым принципом работы полигонной системы организации движения поездов является унификация параметров инфраструктуры и ликвидация имеющихся противоречий на границах дорог. В основу работы первого по сети дорог Восточного полигона (рисунок 1.4) положены прорывные для своего времени решения работы объединённым парком на 4-х дорогах (Красноярской, Восточно-Сибирской, Забайкальской и Дальневосточной). Полигонная модель включает несколько тыс. км под руководством единого центра управления тяговыми ресурсами (ЦУТР), находящегося в г. Иркутске: с 2012 г. поэтапно создается новая система управления тягой на базе ЦУТР [109], в которых работает объединённый диспетчерский аппарат. Полигонная технология положительно сказывается на перевозочной способности железных дорог, улучшается использование локомотивов [70], но возникают проблемы организации ТОиР.

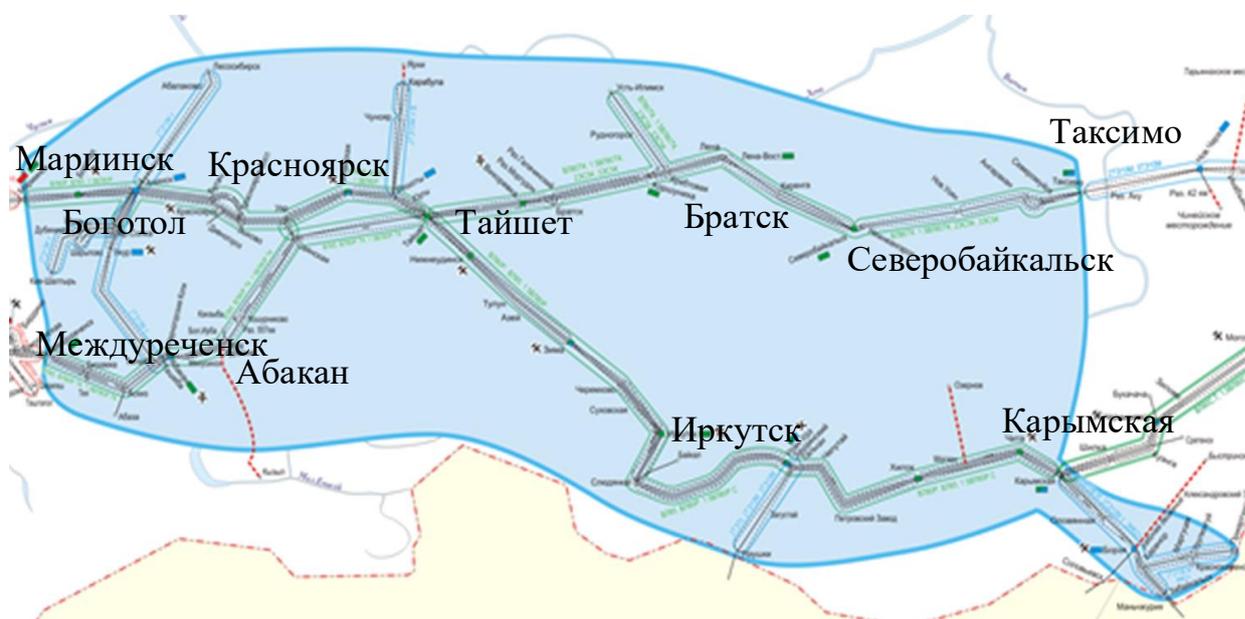


Рисунок 1.4 – Первый опытный полигон Мариинск - Карымская

1.1.3 Система сервисного обслуживания локомотивов

Анализ отечественного и мирового опыта по поддержанию локомотивного парка в технически исправном состоянии показывает [70, 103, 201, 202], что наиболее успешной является модель Жизненного цикла, при которой комплексно решаются следующие задачи:

- совершенствование узлов и локомотивов в целом;
- повышение надёжности локомотивов в период их эксплуатации;
- поставка современного технологического оборудования и оснастки в депо;
- мотивация персонала к повышению надёжности локомотивов.

Переход отечественного железнодорожного транспорта на систему сервисного ТОиР [50, 171] отвечает принятому в международной практике разделению деятельности локомотивного комплекса на эксплуатационную и ремонтную составляющие: ведущие сервисные компании России («ТМХ-Сервис» и «СТМ-Сервис») с июля 2014 года взяли на себя ответственность за техническое состояние локомотивов в ОАО «РЖД» [119]. При этом сразу же стала создаваться система управления жизненным циклом локомотива. Сервисные компании обязаны обеспечивать надёжность локомотивов, поддерживать на заданном уровне коэффициент технической готовности локомотивов (рисунок 1.5) [50].

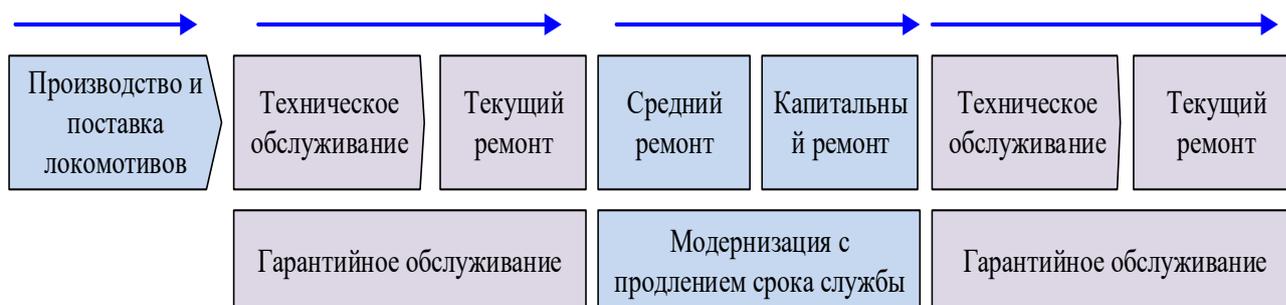


Рисунок 1.5 – Жизненный цикл локомотива

Основные критерии оценки качества сервисного обслуживания:

- коэффициент технической готовности локомотива (КТГ);
- фактический пробег локомотива (для поездного движения);
- время нахождения локомотива в различных состояниях.

Главными задачами деятельности сервисных компаний являются:

- повышение коэффициента технической готовности локомотивного парка;
- снижение количества отказов и unplanned repairs (НР) локомотивов;
- снижение затрат балансодержателя локомотивов (эксплуатационных локомотивных депо и дирекций тяги) на ТОиР.

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 [50]:

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

1.1.4 Планово-предупредительная система ремонта

Для поддержания локомотивов в технически исправном состоянии на сети дорог действует планово-предупредительная система ТОиР [7, 69, 137], которая регламентируется соответствующими указаниями, правилами ремонта и инструкциями для каждой серии локомотивов, и предусматривает выполнение в обязательном порядке (независимо от реального технического состояния) определённого объёма ремонтных работ. Предусматриваются следующие виды планового технического обслуживания и ремонтов:

- Техническое обслуживание: ТО-1, ТО-2, ТО-3, ТО-4, ТО-5 всех видов;
- Ремонт: текущие ремонты ТР-1 и ТР-2, ТР-3 («подъёмка»), ДР, СР, КР.

Технические обслуживания ТО-1, ТО-2 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 планируются по необходимости. Текущие ремонты, как правило, выполняют в депо приписки локомотивов (ТО-3, ТР-1), в специализированных депо (ТР-2) и базовых специализированных депо (ТР-3 и ДР). Средний (СР) и капитальный (КР) ремонты выполняют на заводах «Желдореммаш».

Система планово-предупредительного ремонта по сравнению с системой ремонта по фактическому техническому состоянию узлов и деталей затратна, поэтому в мировой практике за счёт систем диагностирования постепенно переходят к системе ремонта с учётом фактического технического состояния. Однако в полном объёме это сделать не удалось ни на одном виде транспорта.

При планово-предупредительной системе ТОиР экономические показатели формируются в зависимости от количества выполненных ремонтов: чем больше ремонтов, тем больше доход. При сервисной системе ТОиР экономические показатели формируются от времени нахождения локомотива в эксплуатации, его фактического пробега и коэффициента технической готовности (КТГ). Таким образом, появляется мотивация к совершенствованию системы ТОиР. Актуальность систем Мониторинга усиливается.

1.2 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.2.1 Мониторинг как объект исследования

Термин «Мониторинг» широко употребляется в современных языках в достаточно широком смысле. Происходит термин от латинского слова «monitor» (наблюдение, контроль, предостережение) [13], являющегося производным от глагола «monere» («предостерегать») [61]. Сам термин предполагает слежение за параметрами и реакцию при достижении предельных значений. Нет единого определения понятия «Мониторинг», хотя смысл интуитивно понятен. В диссертации под Мониторингом будет пониматься процесс сбора, обработки и регистрации информации о работе локомотива, диагностической информации о техническом состоянии локомотива с целью поддержки принятия управленческих решений по сервисному техническому обслуживанию и ремонту локомотивов для поддержания их в исправном техническом состоянии.

Понятие «Мониторинг» тесно связано с понятием «Техническое диагностирование» [35], в рамках которого решаются следующие три задачи:

- определение технического состояния локомотива (исправен – не исправен, работоспособен – не работоспособен, правильно функционирует – не правильно функционирует);
- локализация места отказа (с точностью до типа оборудования, узла, детали);
- прогнозирование работоспособности.

Все три задачи систем диагностирования входят в задачи системы Мониторинга: отличие Мониторинга от Диагностирования связано с временными характеристиками процессов. Кроме того, Мониторинг подразумевает одновременный контроль всех локомотивов, диагностирование как правило касается конкретного объекта.

ВЫВОД: в диссертации под Диагностированием будет пониматься разовый, определенный временными рамками процесс, а под Мониторингом – не ограниченный конкретными временными рамками периодический процесс постоянного контроля и управления техническим состоянием локомотивов. На рисунке 1.6 показано место диагностирования в системе Мониторинга.

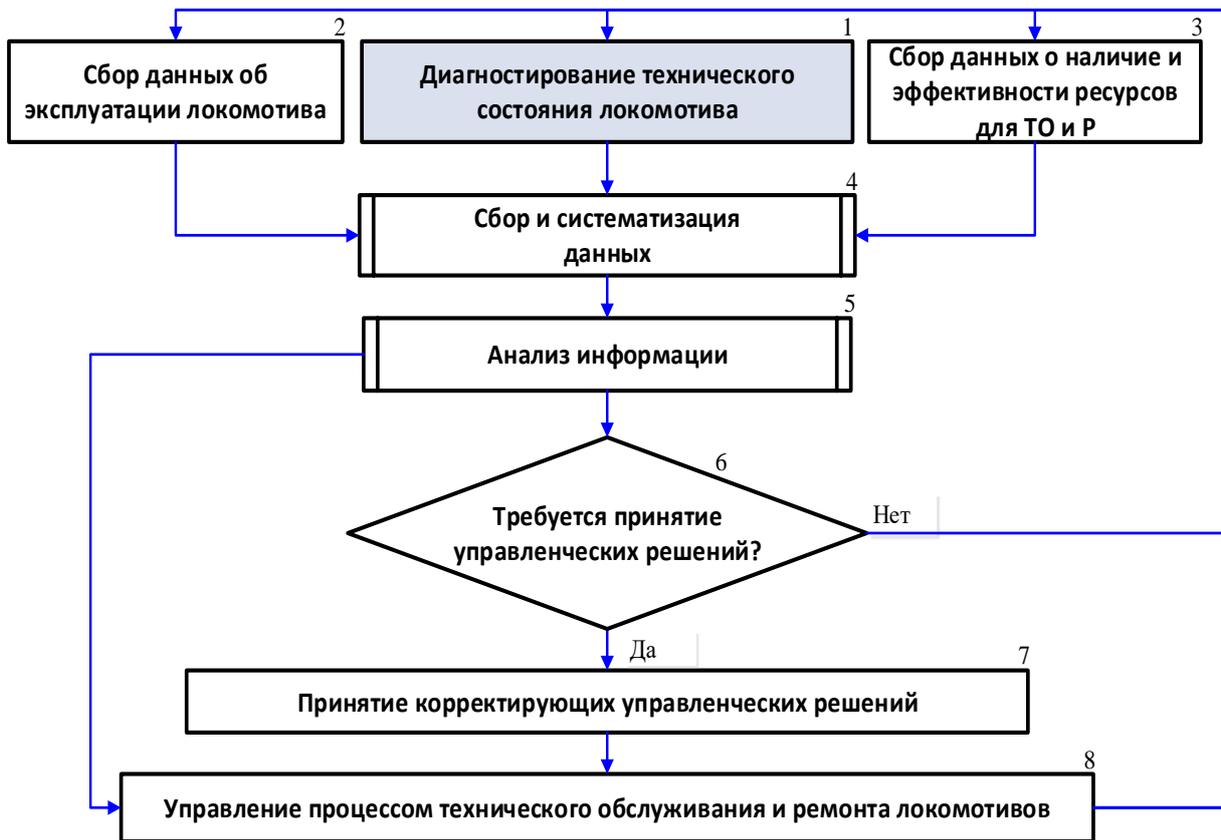


Рисунок 1.6 – Место диагностирования в системе Мониторинга

1.2.2 Опыт компании General Electric

Выполненный автором диссертации анализ литературных источников [4, 8, 10, 16, 21, 22, 24, 47, 49, 52, 62, 80, 96, 112, 133, 143, 185, 186, 201, 202, 203, 205] показал, что наиболее комплексный опыт реализации системы мониторинга технического состояния локомотивов накоплен американской компанией General Electric Transportation (GE) [205], в которой создана комплексная система мониторинга технического состояния тепловозов с ситуационным Центром мониторинга, находящегося на территории завода-производителя локомотивов GE в городе Эри (США, штат Пенсильвания). Технология Мониторинга GE принята за прообраз (аналог) системы мониторинга отечественных локомотивов. Диагностирование происходит по схеме, приведенной на рисунке 1.7.

Во время эксплуатации тепловозов бортовой микропроцессорной системой управления Bright Star непрерывно осуществляется анализ 250 параметров локомотива. При обнаружении инцидента формируется код соответствующей ошибки. Раз в секунду информация передаётся по радиоканалу на сервер.

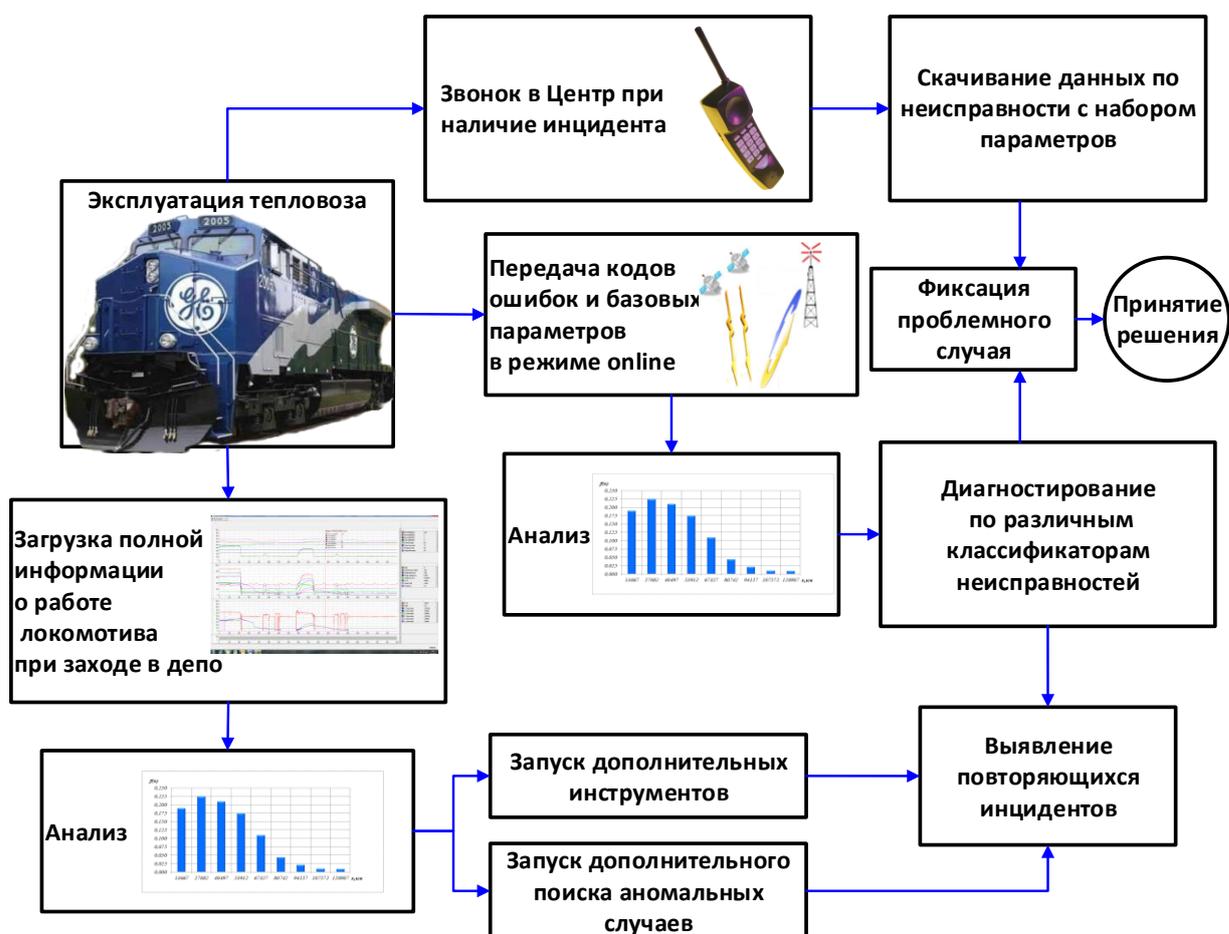


Рисунок 1.7 – Схема мониторинга тепловозов компании General Electric

Число кодов проявлений отказов превышает 6 тысяч и постоянно пополняется. При поступлении сообщения с тепловоза код выводится на экран одного из свободных специалистов (диспетчеров) Центра Мониторинга для дальнейшего анализа и принятия решений по готовым рекомендациям, формируемым по мере накопления опыта. При заходе локомотива в депо и считывании дополнительной диагностической информации имеется возможность проанализировать данные на стационарном компьютере. Система постоянно совершенствуется. Таким образом, Центр мониторинга GE представляет собой:

- Ситуационный центр, в котором работают диспетчеры, принимающие оперативные решения по данным бортовых МСУ;
- Группу программистов и технологов, сопровождающих информационную систему, в т.ч. развивая её диагностическую функциональность;
- Виртуальный центр компетенции, формирующий корректирующие действия по результатам обработки и анализа диагностической информации.

Компания GE позиционирует свою систему Мониторинга как высокоэффективную, дающую комплексный эффект 17 тыс. долларов в год (по данным на 2013 г.) на локомотив (на контролируемый парк в 15 тыс. тепловозов - 238 млн. долларов в ценах 2012 года). Эффект от внедрения системы мониторинга в GE достигается комплексно за счет повышения эффективности основных процессов за счёт интеграции, уменьшения потерь, сокращения аварий и задержек. Повторные ремонты сокращаются на 50 %, время поиска неисправности – на 25 %, время непроизводительного простоя – на 23 %.

1.2.3 Распространенность систем мониторинга локомотивов

Приведенная система мониторинга компании GE не является уникальной: аналогичные системы в мире создают большинство локомотивных компаний. Примером может служить система мониторинга компании Bombardier Transportation (Services), которая реализована и на отечественных пассажирских электровозах серии ЭП10 [133] и перспективном локомотиве Первой локомотивной компании [131]. На ЭП10 система мониторинга (опрос датчиков и передача информации по каналам GPRS на центральный сервер) была предусмотрена, но не использовалась из-за относительно высокой стоимости услуги для малой партии локомотивов.

Европейский стандарт управления локомотивами ERTMS [201 - 203] также предусматривает взаимодействие с локомотивом как по каналам GSM-R, так и с использованием напольных датчиков. Система внедряется поэтапно и в основном для скоростных пассажирских поездов.

Положительный опыт мониторинга накоплен и на отечественном железнодорожном транспорте. Компанией НПО «ТрансИнфоПроект» (г. Москва) разработана система СВЛТР [143] для мониторинга технического состояния и дислокации электровозов серий 2ЭС6 и 2ЭС10 производства компании «Уральские локомотивы» (г. Верхняя Пышма Свердловской обл.), позволяющая производить обмен данными с тяговым подвижным составом в режиме online. Для передачи данных используются сотовые сети стандарта GSM. Для определения местоположения используются системы спутниковой навигации ГЛОНАСС/GPS. Система является аппаратно-программным комплексом, включающим в себя

локомотивное оборудование, серверное оборудование и прикладное программное обеспечение. Система обладает функциями оперативного информирования причастных лиц, а также анализом параметров движения поезда и технического состояния локомотива. Ситуационный центр находится на территории сервисного локомотивного депо «Свердловск-Сортировочный». С борта локомотива получают только коды ошибок – дополнительную информацию об инциденте получают при заходе электровоза в депо: с бортовой системы считывают диагностические данные и расшифровывают на стационарном компьютере с помощью специализированного программного обеспечения.

Учеными ВНИКТИ (г. Коломна) разработана и внедряется на новых тепловозах автоматизированная система контроля параметров работы тепловозов и учета дизельного топлива (АСК) [11]. Система предназначена для измерения и регистрации в автоматическом режиме на борту локомотива основных параметров, характеризующих режим и экономичность работы силовой установки, передачи этих данных по беспроводному каналу связи на сервер автоматизированной системы мониторинга работы тепловозов (АС МРТ). В ВЭЛНИИ совместно с компанией ЛЭС (г. Новочеркасск) разработана аналогичная система дистанционного сбора диагностических данных для электровозов производства НЭВЗ [49].

Компанией ООО «АВП Технология» разрабатываются системы автоведения поездов (УСАВП) [10, 47, 185], которые имеют функцию регистрации параметров движения. Разрабатывается «система информирования машиниста». ЗАО «ДЦВ Красноярской ж.д.» для электровозов серии ВЛ80р, модернизированных микропроцессорными блоками МСУЭ, разработан передатчик, который при нахождении электровоза в депо автоматизировано передаёт данные на сотовый телефон оператора, от куда потом автоматически сбрасываются в базу данных на стационарном компьютере [146]. На тепловозах, оборудованных системой учёта топлива АПК «Борт» (НИИТКД, г. Омск), через сотового оператора по стандарту GPRS/GSM автоматически передаются данные на сервер, где происходит диагностическая обработка информации и её визуализация для дистанционных пользователей (АРМ «БОРТ») [8].

1.2.4 Статистические методы управления

Отдельно следует остановиться на опыте ученых кафедры «Электрическая тяга» (в настоящее время – «Электропоезда и локомотивы») МИИТ [18, 30, 32, 65, 178] (И.П.Исаев, А.В.Горский, А.А.Воробьёв, А.В.Скребков и др.), накопленном совместно с Московской ж.д. (В.Т.Стрельников, Ю.П.Попов). Известные подходы статистического управления с использованием цикла PDCA [48, 102] 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 трудовых, материальных и других ресурсах. Позже аналогичный опыт был накоплен в депо Красный Лиман.

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 достаточно устаревшая серия электровозов ВЛ8, депо было одним из лучших в МПС СССР.

Примечание: внедрение системы в локомотивном депо Рыбное происходило в 70-е годы XX века, когда в депо ещё не было компьютеров: весь учёт велся вручную, что существенно ограничивало возможности системы.

В депо Рыбное решались и оптимизационные задачи с использованием теоретико-вероятностных принципов и 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. В т.ч. было показано, что увеличение коэффициента готовности ВЛ8 с 0,74 до 0,91 позволяет сократить рабочий парк на 45-50 %. А уменьшение

коэффициента простоя электровоза с 0,12 до 0,04 снижает затраты на восстановление при грузопотоке 70 млн.т нетто в 2,8 раза.

Факторный анализ по результатам мониторинга 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 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 бортовых средств контроля соблюдения режимов эксплуатации, что в настоящее время является важным средством повышения надёжности.

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). Независимость полученных данных проверялась по критерию Фишера.

В депо была решена важная оптимизационная задача: на основании затрат депо на ТОиР (в т.ч. ТО-3 и ТР-1) электровозов ВЛ8 определялся оптимальный межремонтный пробег. Следует отметить, что кроме затрат целевой функцией могут быть: коэффициент технической готовности, наработка на отказ и другие показатели надёжности. Также были выполнены статистические исследования ресурса изнашиваемых деталей с последующей оптимизацией цикловых работ по их обслуживанию и ремонту, оптимизацией структуры ТОиР.

1.2.5 Выводы

Мировой тенденцией является создание систем мониторинга технического состояния локомотивов с использованием данных информационных систем, датчиков дислокации локомотивов и данных бортовых АПК. Аналогом может служить опыт GE (см. рисунок 1.7). Необходимо использовать методы теории вероятности, статистики и надёжности, методы факторного анализа.

1.3 ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЛЫЛКИ

1.3.1 Информационные системы железнодорожного транспорта

На отечественном железнодорожном транспорте (ОАО «РЖД») разрабатывается и эксплуатируется комплекс автоматизированных информационных систем - АСУЖТ, создание которого было начато в 70-е годы прошлого века под управлением академика А.П.Петрова [73]. АСУЖТ не является единой информационной системой, а представляет из себя набор из более 300 отдельных информационных систем, которые только частично состыкованы. Анализ показал, что АСУЖТ может предоставлять информацию, которая должна служить дополнением бортовым АПК.

Самой мощной и достоверной информационной системой в ОАО «РЖД» является единая корпоративная система управления финансами и ресурсами (ЕК АСУФР) [53] на базе пакета программ SAP R/3 [122]. Вторая по объему и достоверности и первая по времени создания система – это пакет программ управления движением поездов, с которого началось создание АСУЖТ [57, 58, 73]. Основу составляет пакет программ АСОУП. Первоначально со всех станций по телетайпу вручную передавалась информация о прибытии, отправлении и проследовании поездов, (а позже – и из депо о заходе и выходе локомотивов). Позже вместо ручного ввода стали использовать данные автоматики – СЦБ. АСОУП – основа всех автоматизированных технологий управления движением поездов.

В настоящее время весь подвижной состав оснащен датчиками системы автоматической идентификации (САИПС), позволяющей автоматизировать контроль составности поездов и времени проследования [153], в т.ч. заход и выход в локомотивное депо. В состав АСОУП входит ряд модулей. Анализ показал, что для задачи Мониторинга локомотивов актуальны следующие модули: автоматизированная система управления тяговыми ресурсами (ДИСТПС), включающая в себя оперативный контроль наличия, состояния и дислокации локомотивов грузового движения, организацию их постановки на техническое обслуживание (ОКДЛ-1), дислокацию и работу локомотивных бригад грузового движения (ОКДБ-1), обработка информации бортовых датчиков САИПС.

ОАО «НИИАС» для информационного сопровождения работы ЦУТР разрабатывает информационно-управляющую систему «Единая интеллектуальная система управления и автоматизации производственных процессов на железнодорожном транспорте» (ИСУЖТ) [109]. В основе системы лежат методы адаптивного планирования и распределения ресурсов. В настоящее время система ИСУЖТ находится в стадии отладки.

Второй по значимости после АСОУП следует считать автоматизированную систему ведения графика исполненного движения ГИД «Урал» [4]. Система установлена во всех дорожных центрах управления перевозками (ДЦУП), используется во всех хозяйствах железнодорожного транспорта. В системе в виде графика исполненного движения отражается выполненная работа – эта информация берётся из АСОУП. На ГИД «Урал» в виде «пометок на графике» отражаются все возникающие проблемы, в т.ч. и с локомотивами.

Важные средства автоматизации управления движением – диспетчерская централизация (ДЦ) и контроль (ДК) [4]. ДЦ и ДК позволяют контролировать занятость перегонов и блок-участков подвижным составом, показания светофоров и положение стрелочных переводов. ДЦ управляет сбором маршрутов.

Для управления надежностью технических систем в ОАО «РЖД» создана информационная система учета отказов технических средств «КАСАНТ» [57, 58, 141]. Система успешно используется для разбора отказов технических средств и отнесения ответственности за виновной стороной. Введено понятие «Критерий отказа»: признак или совокупность признаков нарушения работоспособного состояния объекта, установленные в нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации. Критичность отказа определена как совокупность признаков, характеризующих последствия отказа. Отказ определен в соответствии с ГОСТ [35, 36] как событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта. Введена классификация причин отказов как эксплуатационных, производственных, конструктивных, деградационных и др.

Объектом определен перевозочный процесс, поэтому отказ локомотива может не являться отказом перевозочного процесса. По локомотивному хозяйству в КАСАНТ отказом является «неисправность локомотива (его сборочных единиц и деталей), заключающаяся в нарушении его работоспособности, вследствие чего

требуется восстановление или замена сборочных единиц и деталей, или регулировка их характеристик в период между плановыми видами технического обслуживания и ремонта или на них, если это восстановление (замена, регулировка) не входит в объем обязательных работ и если необходимое для их выполнения время или трудоемкость превышает нормы, установленные для ремонта локомотивов, а также неправильное пользование техническими средствами работниками локомотивного хозяйства». Критерием отказа в локомотивном хозяйстве, является любое из следующих событий:

- невыполнение графика движения поездов (масса, скорость, время хода по участкам и стоянок за одну поездку);
- восстановление работоспособности локомотива (его сборочных единиц и деталей) локомотивной бригадой в пути следования без нарушения графика движения поездов;
- необходимость выполнения непланового ремонта;
- превышение установленного объема работ (восстановление, замена, регулировка) любой сборочной единицы локомотива на плановом техническом обслуживании или ремонте, вызывающее превышение нормы простоя или трудоемкости ремонта локомотивов, если это восстановление, замена регулировка не входит в объем обязательных работ.

ВЫВОД: наряду с показателем «Отказы» в системе Мониторинга должны быть: коэффициент технической готовности, потерянные поездо-часы, задержка поездов, простой на ремонте, стоимость восстановления работоспособности и другие параметры инцидентов и проблем.

В локомотивном хозяйстве информационные системы создавались разными коллективами: отдельно разрабатывались системы интегрированной обработки маршрутов машинистов (несколько вариантов) [43], расшифровки скоростемерных лент [198], учета замечаний машинистов [62] и др. В начале 2000-х годов начата работа над АСУ локомотивного хозяйства как целостной системой – АСУТ [96], основу которой составляет подсистема учёта работы и эксплуатации локомотивов (АСУТ-Т) и базовые автоматизированные рабочие места (АРМ) работников депо: нарядчика локомотивных бригад, дежурного по депо, техника-

замерщика, диспетчера и др. Имеются и информационные подсистемы: учёт замечаний машинистов по бортовому журналу формы ТУ-152 (АСУ ЗМ), система учёта расшифровки данных приборов безопасности (АСУ НБД), система учёта топлива и др.

Одна из первых информационных систем, внедрённая в локомотивных депо, была система интегрированной обработки маршрутов машинистов формы ТУ-3 (ИОММ), создание которой было начато более 30 лет назад [43]. В настоящее время логическим развитием ИОММ стало создание единой централизованной обработки маршрутов машиниста – ЦОММ.

В эксплуатационных локомотивных депо имеются группы расшифровки скоростемерных лент, которые используются на механических скоростемерах 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. Создается единая АСУ по расшифровке данных электронных накопителей информации приборов безопасности АСУ НБД [10].

Наряду с информационными системами АСУЖТ у сервисных компаний имеются дополнительные источники информации о техническом состоянии локомотивов. Например, в ТМХ-Сервис создана собственная ERP-система, 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, загрузка станков и инфраструктуры СЛД, наличие материалов на складе, потребность в закупке товарно-материальных ценностей (ТМЦ), наличие материалов повторного использования и др.

Таким образом, информационные системы железнодорожного транспорта (АСУЖТ) содержат комплекс данных об эксплуатации локомотивов и их отказах во время тяги поездов.

ВЫВОД: при мониторинге технического состояния локомотивов 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. Дополнительно следует использовать данные информационных систем сервисных локомотивных компаний (рисунок 1.8).

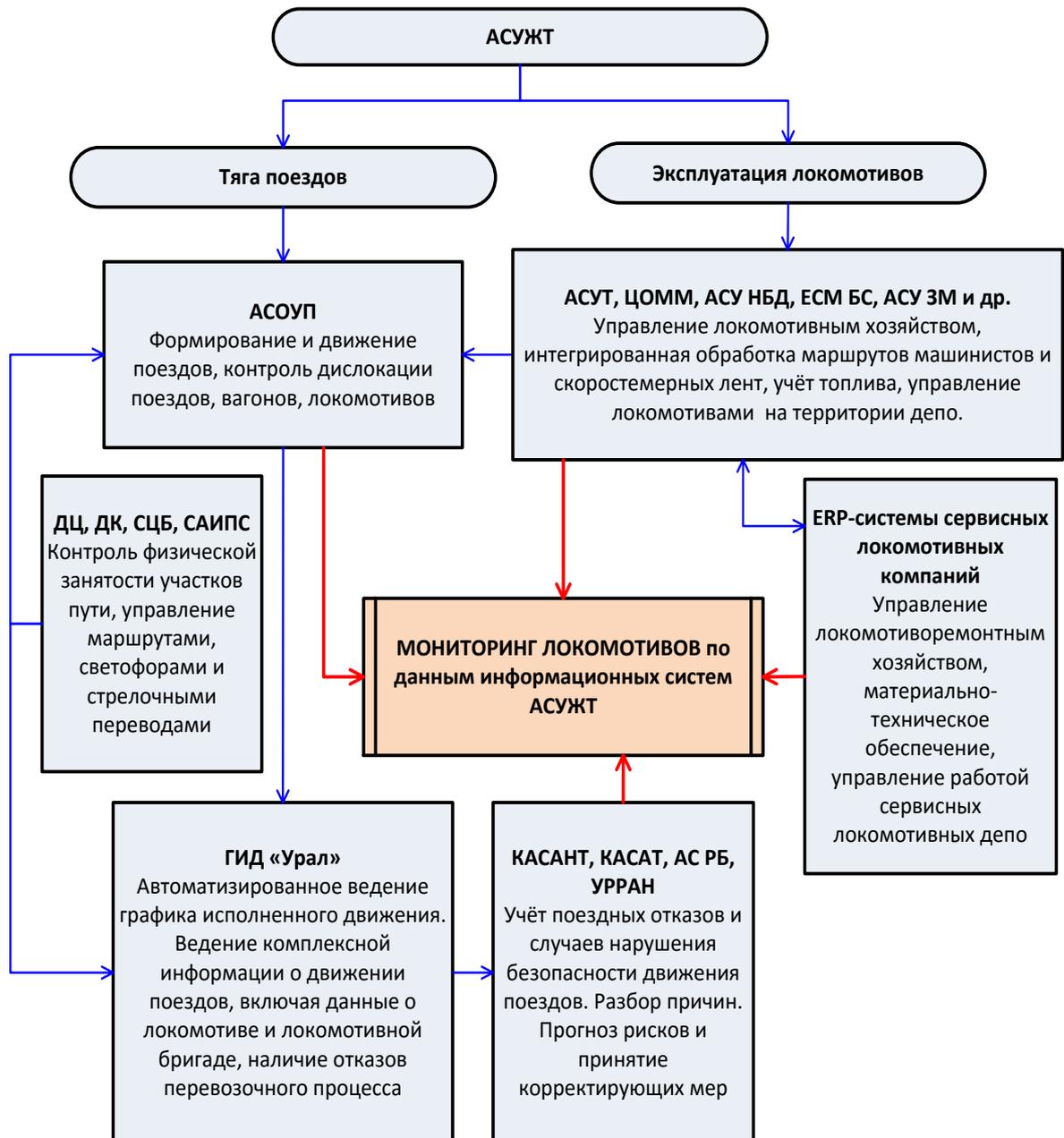


Рисунок 1.8 – Информация АСУЖТ для системы мониторинга локомотивов

1.3.2 Бортовые аппаратно-программные комплексы (АПК)

Выполненный анализ отечественных и зарубежных аппаратно-программных комплексов показал, что они строятся по общим принципам и имеют общую унифицированную структуру [103] (рисунок 1.9). Исполнение АПК однотипно: в электрическом шкафу с климат-контролем располагается кросс-оборудование со сменными модулями, в число которых входят микро-процессорные блоки, блоки ввода и вывода информации, управляющих воздействий, источники питания, модули приема-передачи информации и др. АПК обычно имеют резервирование («холодное» и «горячее»). На рисунке 1.9.а показан АПК с одним комплектом модулей, на рисунке 1.9.г – с двумя комплектами.

Наряду с собственно АПК на локомотиве имеются средства визуализации информации, реализуемые на базе промышленных компьютеров (как правило, стандартных, например, GERSYS). Бортовые компьютеры (рисунок 1.9.д) получают информацию от МСУ, обрабатывают её и визуализируют – представляют в наглядном виде на экране для машиниста. Обычно бортовые компьютеры выполняют и функцию архивирования диагностических данных.

Функциональность АПК в значительной степени определяется наличием датчиков параметров узлов локомотива [151], которые определяют совокупность диагностических сигналов для использования при мониторинге технического состояния локомотива. На рисунке 1.9.е показан пример соединения МСУ с датчиками и блоками индикации.

Главное при диагностировании – это контролепригодность самого объекта диагностирования, которая определяется наличием соответствующих датчиков: устройств, преобразующих контролируемые параметры в электрический сигнал - цифровой или аналоговый. Современные АПК имеют систему измерения этих электрических сигналов. Информация используется для управления и сохраняется в памяти МСУ для дальнейшего диагностирования. Датчики опрашиваются с определенной периодичностью. Периодичность сохранения информации может быть меньше частоты опроса. Таким образом, диагностические возможности АПК определяются программным обеспечением, набором датчиков и частотой их опроса и сохранения информации. АПК без датчиков не бывает.



а – электрический шкаф МСУЭ с одним полукомплектом модулей и кабелем для перепрограммирования (ДЦВ Красноярской ж.д.)



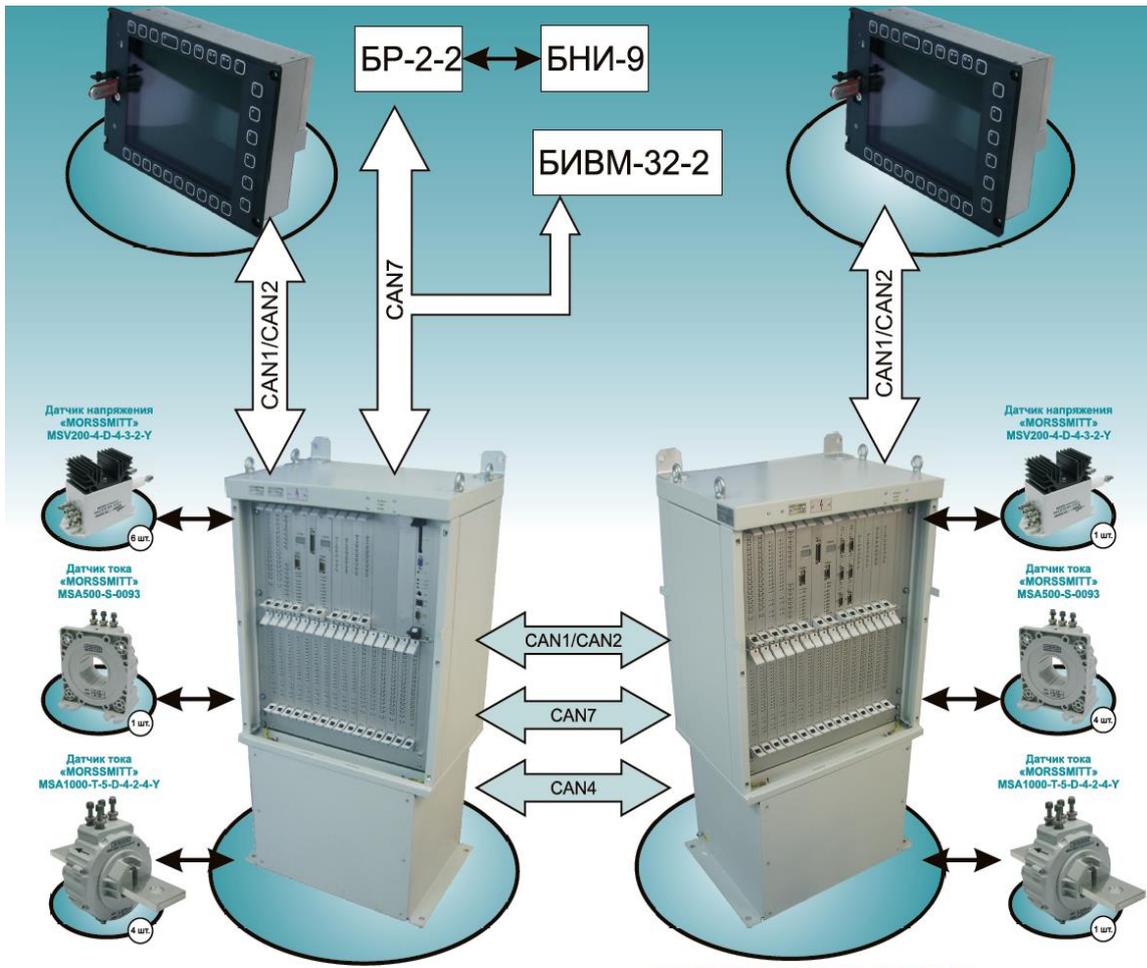
б – подключение МСУЭ к цепям электровоза системой кабелей



в - МСУ тепловозов фирмы GE (США)



г - МСУД (два полукомплекта) производства ЛЭС в электрическом шкафу электровозов 2ЭС5К, 3ЭС5К и других электровозов производства НЭВЗ



д – комплект аппаратуры МПСУ электровозов (схема «ЛЭС»)



е – БУВИП-199 (ОЦВ)

ж – МСУ-Т (ВНИКТИ)

*Рисунок 1.9 – Аппаратно-программные комплексы локомотивов
(по данным Интернет)*

Любой контролируемый параметр (температура, давление, скорость, ток, частота вращения и др.) датчиками преобразуется в один из измеряемых электрических параметров:

- напряжение (аналоговый сигнал);
- частота импульсного электрического сигнала;
- периодичность поступления электрического сигнала;
- число импульсов электрического сигнала;
- длительность электрического сигнала;
- наличие электрического сигнала (есть или нет – бинарный сигнал).

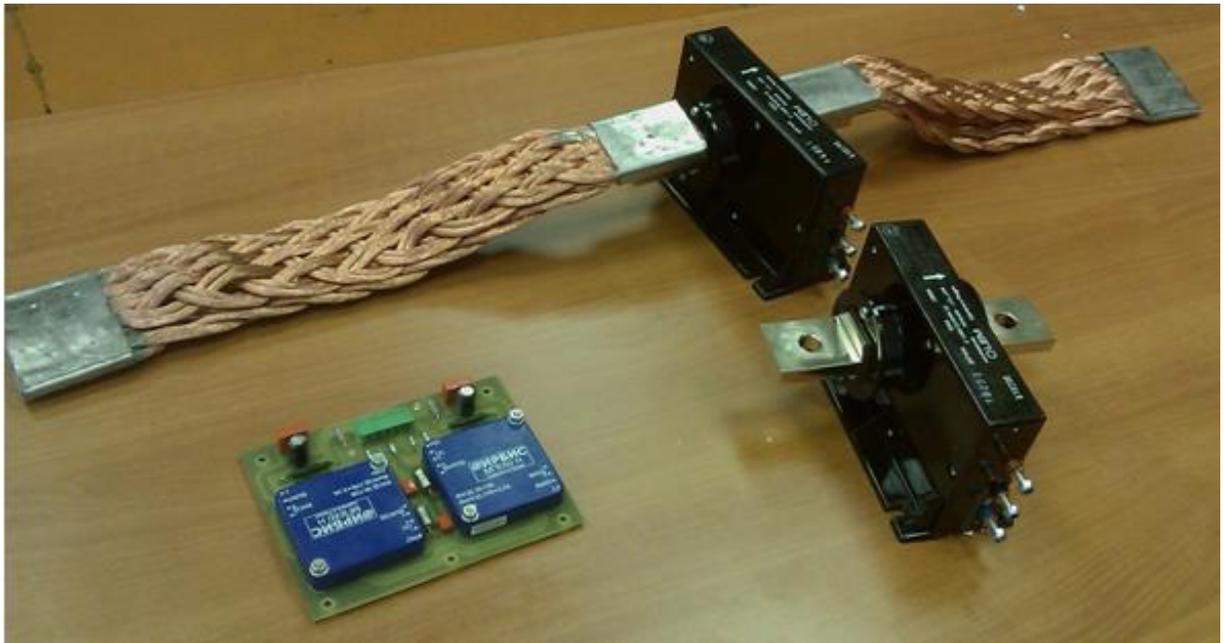
На рисунке 1.10 показаны наиболее часто используемые датчики. Один из ключевых датчиков – датчик силового тока тяговых электродвигателей (ТЭД). Именно этот датчик (наряду с датчиком скорости) позволяет контролировать работоспособность локомотива в целом (см. раздел 3).

Второй не менее важный датчик – датчик угла поворота (рисунок 1.10.б), используемых для определения скорости вращения колесных пар для вычисления скорости движения локомотива. Устанавливают датчик обычно на две колесные пары. В новых локомотивах – на все колесные пары, что позволяет контролировать боксование и юз.

Датчик давления широко используется для диагностирования дизеля и автотормозов (рисунок 1.10.в) при определении предотказных состояний и локализации места неисправности цилиндров дизеля. Для этих же целей используется датчик температуры (рисунок 1.10.г).

Датчик виброускорений (рисунок 1.10.г). пока не так распространен в бортовых системах, как предыдущие – чаще используется в стационарных системах диагностирования («Прогноз», «Вектор» и др.).

ВЫВОД: В настоящее время наиболее распространенным следует считать датчики скорости и тока. На тепловозах также распространены датчики числа оборотов дизеля и тока главного генератора. На новых тепловозах эффективным диагностическими датчиками являются датчики температуры выхлопа цилиндров дизеля, температуры охлаждающей системы, давления гидравлической и пневматических систем.



а - Датчик силового тока (основной в системе диагностирования), в т.ч. в сборе с медными «косами» и источниками питания



б - Датчик угла поворота (скорости вращения колесной пары)



в – датчики давления



г – датчики температуры и виброускорений



д – датчик уровня топлива

Рисунок 1.10 – Датчики АПК локомотивов (по данным Интернет)

При всём разнообразии решаемых задач все АПК (МСУ) имеют унифицированный набор функций:

1. **Опрос датчиков локомотива** (скорости, тока, напряжения, температуры, частоты вращения, давления и др.).
2. **Управление цепями и оборудованием локомотива:** основное назначение МСУ. Воздействие на цепи управления локомотива происходит через штатные системы управления, в т.ч. микропроцессорные: электрические аппараты, выпрямительно-инверторные установки, релейные цепи и др. Воздействие на цепи управление может носить как характер защитных функций, так и непосредственного управления.
3. **Визуализация информации:** одной из функций МСУ является наглядное представление информации машинисту. Как правило, для этого используются бортовые промышленные компьютеры. Наряду с визуализацией возможна функция поддержки принятия решений (ППР). Системы ППР (СППР) реализуются, как правило, с использованием бортового компьютера.
4. **Аналитика и управление:** управление в АПК реализуется с помощью программного обеспечения, которое записывается в постоянную память (ПЗУ) микропроцессорного модуля АПК: все операции АПК выполняет исключительно по записанным в него программным алгоритмам.
5. **Хранение информации.** Любой АПК для своей работы использует информацию, которая хранится в оперативной памяти. Для сохранения этой информации для диагностирования используются flash-память или жесткие магнитные диски. Именно наличие долговременной памяти делает большинство АПК пригодными для диагностирования технического состояния локомотива.

Накопленная в АПК диагностическая информация в системе Мониторинга расшифровывается и анализируется на стационарных персональных компьютерах (ПК) с использованием специального программного обеспечения – автоматизированного рабочего места расшифровки – АРМ МСУ. Каждый разработчик АПК одновременно с программным обеспечением (ПО) самого АПК разрабатывает и ПО для АРМ МСУ. АПК - основа системы Мониторинга.

Первыми отечественными локомотивами с полностью электронной системой управления были грузовые электровозы переменного тока с выпрямительно-инверторными преобразователями (ВИП) серии ВЛ80р [104, 146, 195]. Управление осуществлялось с помощью электронных блоков управления типа БУВИП различных модификаций (80, 100, 113, 133 и др.). В настоящее время блоки заменяются на микропроцессорные: БУВИП-199 и МСУЭ. С 1983 по 1994 год выпускался электровоз серии ВЛ85 (электрическая схема аналогична ВЛ80р), на которых наряду с БУВИП-133 устанавливался блок автоматического управления БАУ-002, реализованный на жесткой логике с использованием операционных усилителей. В настоящее время БУВИП и БАУ заменяются на АПК типа БАУВИП. Аналогичный, но в односекционном исполнении с 1992 по 1998 год выпускался пассажирский электровоз ВЛ65. Перечисленные локомотивы и их системы управления стали прообразом современных электровозов переменного тока: пассажирских ЭП1, ЭП1М, ЭП1П и грузовых 2ЭС5К, 3ЭС5К, 4ЭС5К, ЭС5К («Ермак»). Все эти электровозы имеют АПК типа МСУД («Микропроцессорная система управления и диагностики») различных модификаций. Для замены морально и физически устаревших БУВИП и БАУ разработаны микропроцессорные блоки БУВИП-199 (БУВИП(М)), БАУВИП и МСУЭ.

Длительное время электровозы переменного тока с ВИП были единственными отечественными локомотивами с электронной, а позже – микропроцессорной системой управления. На новом поколении электровозов переменного тока 2ЭС4К (грузовой – «Дончак») и ЭП2К (пассажирский) появились микропроцессорные системы: МСУД-001 и МПСУ-007.

Семейство систем МСУ-Т разработано и производится во ВНИКТИ (г. Коломна). Аппаратная часть поставляется Научно-производственным комплексом «ЭЛАРА» (г. Чебоксары). Имеются следующие основные модификации МСУ-Т:

- МСУ-ТЭ для пассажирских тепловозов ТЭП70У и ТЭП70БС.
- МСУ-ТП для грузовых тепловозов 2ТЭ116У, 2ТЭ116УМ, 2ТЭ116УД. МСУ-ТП поддерживает работу по Системе многих единиц (СМЕ).

В МСУ-Т предусмотрено подключение до 250 датчиков. Для решения задач диагностирования реально используется 80. Накопление информации осуществляется в бортовом компьютере в кабине машиниста.

АПК типа УСТА производства ВНИКТИ (г. Коломна) для модернизации существующих локомотивов содержит 16 аналоговых, 2 частотных и 24 дискретных входа. Кроме того, имеет систему выходов для управления оборудованием тепловоза. Накопления информации в УСТА нет – для этого в кабине машиниста устанавливается бортовой компьютер (УПУ).

Наиболее перспективным в системе Мониторинга является использование в качестве исходного источника информации АПК управления приводом локомотива: МСУД, МСУЭ, МПСУ, МСУ-Т и др. Такие МСУ есть только на относительно новых и вновь выпускаемых локомотивах, в то время как основные проблемы с надежностью имеются с локомотивами более ранних годов выпуска. Реализация системы Мониторинга на этих локомотивах возможна за счет установленных на них при модернизации вспомогательных АПК. Один из основных видов таких АПК – системы учета топлива. Эти системы устанавливаются на локомотив по программе «ресурсосбережение» ОАО «РЖД» и позволяют экономить расход дизельного топлива за счет исключения случаев хищения. При этом одновременно появляется возможность использовать эти системы для диагностирования, т.к. они имеют в своем составе накопитель информации. В ООО «АВП Технология» разработаны и успешно внедряются АПК автоведения поезда типа УСАВП, внедрение которых идет по программе «Ресурсосбережение» ОАО «РЖД». Этой компанией и НИИТКД внедряются системы учёта топлива (РПДА, РПРТ, АПК «Борт»), тоже обладающие диагностической функциональностью.

Современные приборы безопасности теоретически могут быть использованы в системе Мониторинга, т.к. принцип их построения аналогичен другим бортовым АПК, но с ограниченным числом датчиков. Основные устройства безопасности локомотивов – это комплексное устройство безопасности «КЛУБ-У» (НИИАС, г. Москва) и система управления тормозами «САУТ-ЦМ» (НПО «САУТ», г. Екатеринбург). Обе системы имеют АРМ МСУ. В НПО «САУТ» для локомотивов серий 2ЭС6 и 2ЭС10 («Уральские локомотивы»)

разработана система «БЛОК», объединяющая в себе системы КЛУБ-У и САУТ-ЦМ. «БЛОК» имеет систему передачи диагностических данных по каналу GPRS. Создана централизованная база данных, доступ к которой возможен через Internet.

ВЫВОД: Все бортовые аппаратно-программные комплексы (АПК) локомотивов имеют однотипную архитектуру, позволяющую использовать их в системе Мониторинга в качестве автоматизированных систем технического диагностирования. Основным ограничением является отсутствие необходимых для диагностирования датчиков, накопителей информации необходимой ёмкости, а также соответствующего программного обеспечения.

1.3.3 Деповские системы диагностирования

Диагностические возможности АПК локомотивов дополняются деповскими переносными и стационарными автоматизированными системами технического диагностирования (АСТД) – рисунок 1.11. Анализ показал, что диагностика активно развивается применительно к тяговому подвижному составу [120, 123]. Создаются диагностические комплексы для различных видов оборудования. Современные диагностические стенды и технологии для нужд ПТОЛ и СЛД разрабатываются одним из лидеров в области диагностирования электровозов – НИИ технологий, контроля и диагностики железнодорожного транспорта (НИИТКД, г. Омск) [120]. Большой вклад вносят компании «ОМИКС» (г. Омск) [123], и др. [124]. Основными видами АСТД в локомотивных депо являются: станции реостатных испытаний дизель-генераторных установок (ДГУ) тепловозов (рисунок 1.11.а) со средствами автоматизации «КИПАРИС», «Алмаз» и др.; стационарные автоматизированные системы технического диагностирования выпрямительных установок локомотивов; автоматизированные нагрузочные стенды для испытания электрических машин. В каждом депо есть стенды для испытания тормозного оборудования локомотивов, которые автоматизируются. Стенды необходимы для проверки воздухораспределителей, кранов машинистов, автостопов, компрессоров, резервуаров и другого тормозного оборудования. Для тепловозов используются стенды настройки топливной аппаратуры, других узлов дизель-генераторной установки.



а – Станции реостатных испытаний и средства автоматизации

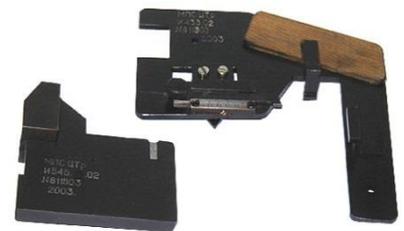


б – Стенд испытания ТЭД

в – Стенд испытания дизеля



г – Семейство переносных АСТД типа «Доктор» и «ОКО»



д – Вибродиагностика

е – Неавтоматизированные средства диагностики

Рисунок 1.11 – Типовые АСТД локомотивов (по данным Интернет)

Постепенно вместо ручных стендов внедряются АСТД и для проверки механического оборудования: пружин, рессор, гидрогасителей и др.

В качестве других стационарных АСТД, распространенных в депо, можно назвать АСТД для следующих видов оборудования локомотива: щеточный аппарат электродвигателей (прежде всего ТЭД), остовы и якоря ТЭД, аппараты защиты, реле и релейные цепи, групповые переключатели, реверсоры, силовые электрические аппараты, токоприемники, подшипники, др.

Неразрушающий контроль - важнейшее средство обеспечения безопасности железнодорожного транспорта. Именно методы неразрушающего контроля позволяют находить скрытые дефекты (микротрещины, раковины, посторонние включения в металл и др.) в ответственных узлах подвижного состава: колесных парах (шейка оси, ось, бандаж), поводках механических передач, редукторах, автосцепках, элементах ДГУ и др. В этом виде диагностирования накоплен большой положительный опыт. Продолжается широкая научно-методическая работа по внедрению современных научно-технических разработок, направленных на повышение безопасности работы подвижного состава

В особую крупную группу стационарных АСТД следует выделить вибродиагностирование колесно-моторных блоков локомотивов, которое позволяет проверить узел без его разбора, путем вывешивания локомотива, тележки или одного колесно-моторного блока (КМБ) на домкраты с последующим «прокручиванием» колес и контролем виброускорений с помощью специальных датчиков. Во всех типах стационарных систем измерения проводятся автоматически. Основные производители систем вибродиагностирования – компании ВАСТ (АСТД серии «Вектор») и НИИТКД (АСТД серии «Прогноз»).

ВЫВОДЫ: в системе Мониторинга третьим источником информации о техническом состоянии локомотивов должны быть деповские стационарные и переносные автоматизированные системы технического диагностирования различных видов оборудования локомотивов. Использование АСТД необходимо в случае недостатка информации в бортовых АПК локомотивов.

1.3.4 Выводы

- 1.3.4.1. Имеется тенденция создания единых центров мониторинга технического состояния локомотивов по данным бортовых аппаратно-программных комплексов и информационных систем. Наиболее ярким примером таких систем следует считать центр мониторинга GE, в котором дистанционно контролируется техническое состояние 15 тыс. тепловозов. Аналогичный отечественный опыт накоплен отечественными компаниями: ВЭЛНИИ, ВНИКТИ, ЛЭС, НЭВЗ, БМЗ, «Уральские локомотивы», «АВП Технология», НИИТКД, ДЦВ Красноярской ж.д. и др.
- 1.3.4.2. Современные локомотивы оборудуются микропроцессорными аппаратно-программными комплексами (АПК) с большим числом датчиков, что позволяет использовать их в качестве бортовых автоматизированных систем технического диагностирования. К таким АПК относятся системы управления электровозов 2ЭС5К, 3ЭС5К, 4ЭС5К, 2ЭС5, ЭП1М, 2ЭС4К, ЭП2К и др. Электровозы старых серий оборудуются системами автоведения (УСАВП), которые также могут использоваться в качестве систем диагностирования.
- 1.3.4.3. Считывание диагностических данных с АПК локомотивов может осуществляться в режиме online с использованием стандарта передачи данных GPRS. При заходе на станцию или депо можно использовать связь по стандарту Wi-Fi. В других случаях информация считывается вручную с использованием переносных компьютеров и flash-накопителей. Таким образом, мониторинг технического состояния локомотивов по данным АПК технически возможен.
- 1.3.4.4. Информационные системы отечественного железнодорожного транспорта (АСУЖТ) содержат разветвленную базу данных об эксплуатации локомотивов, необходимую для Мониторинга.
- 1.3.4.5. Системы мониторинга следует строить как системы контроля технического состояния локомотивов и управления рисками наступления опасных событий: нарушений безопасности движения поездов и отказов локомотивов.

2 ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

В разделе предложен концептуальный подход к разработке модели системы мониторинга.

2.1 СТРУКТУРА СИСТЕМЫ

В результате анализа мирового и отечественного опыта мониторинга, возможностей информационных систем, уровня развития бортовых аппаратно-программных комплексов отечественных локомотивов (см. раздел 1) предложена структура модели мониторинга отечественных локомотивов (рисунок 2.1).

Во время эксплуатации локомотивов в информационной системе АСОУП фиксируются параметры работы локомотива, включая непроизводительные потери. Дополнительная информация о работе локомотивов фиксируется в программах обработки маршрутов машинистов: ИОММ и ЦОММ. Информация о выполненных ремонтах фиксируется в программах уровня АСУ депо. Например, в ТМХ-Сервис – в системе ЕИС ЛТ (на базе 1С ERP) и ЕСМТ.

Одновременно с данными из информационных систем АСУЖТ и сервисных компаний обрабатываются данные бортовых аппаратно-программных комплексов (АПК) и деповских автоматизированных систем технического диагностирования (АСТД) о фактическом техническом состоянии локомотива, трендов параметров, фиксируется наличие нарушений режимов эксплуатации. В результате комплексного мониторинга формируется база данных о работе локомотивов, ТОиР и техническом состоянии локомотивов, серий в конкретных депо, по сериям в целом и по всему парку. Собранные данные используются для планирования ТОиР, прогнозирования рисков возникновения неисправностей, определения проблем с локомотивами и системой ТОиР. Решаются другие задачи, связанные с надёжной эксплуатацией тягового подвижного состава.

Центральным элементом системы мониторинга является система управления рисками: информационно-управляющая система анализа собранных об эксплуатации и техническом состоянии локомотивов данных с целью выявления риска отказа локомотивов и для принятия превентивных мер. Для управления рисками необходима разработка соответствующего математического аппарата.

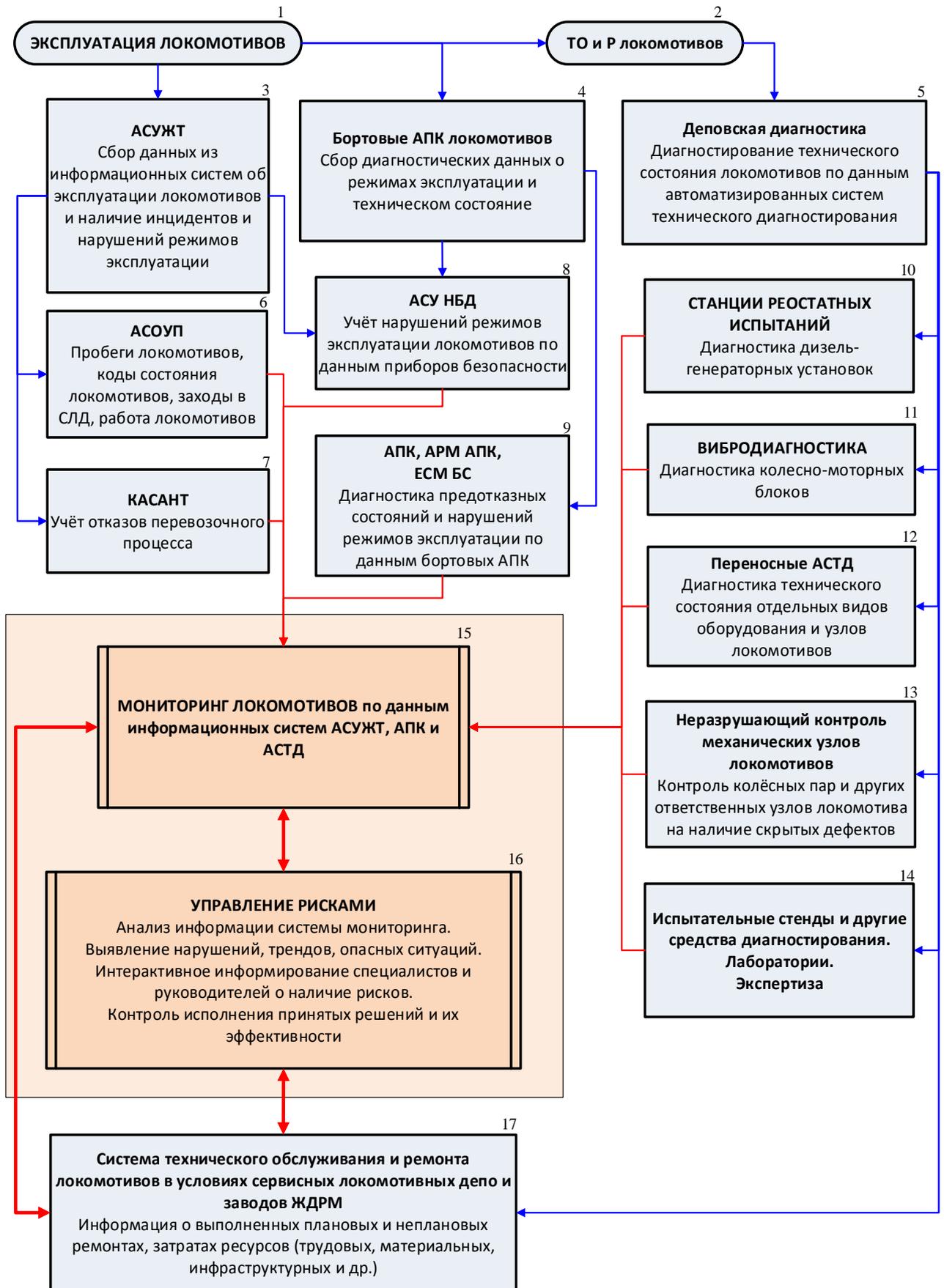


Рисунок 2.1 – Структура модели системы Мониторинга

2.2 УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ

Выполненный анализ существующих систем мониторинга (см. раздел 1) показал, что мониторинг, прежде всего, необходим для исключения опасных ситуаций, т.е. для управления рисками. Поэтому в структуре модели Мониторинга локомотивов (см. рисунок 2.1) предусмотрено управление рисками.

В современных информационных системах локомотивного комплекса (АСУТ, ЦОММ, АСУ НБД и др.) [96] управляющие функции сводятся в основном к логическим контролям правильности действий персонала депо. Например, на автоматизированном рабочем месте (АРМ) нарядчика эксплуатационного локомотивного депо программа блокирует подвязку локомотивной бригады под поезд, если есть нарушения режима труда и отдыха или подготовки бригады: отдых менее 16 часов, третья ночь подряд, переработка за год более 120 часов, два «первозимника» в бригаде, отсутствие поездок в нужном направлении более трёх месяцев и др. Это очень важная функциональность, но при этом система поддержки принятия решений сводится в основном к системе отчётов и справок с выделением информации цветом. Имеются интерактивные функции, связанные с рассылкой SMS-сообщений, электронных писем и выводом сообщений на экран в случаях, если системой обнаружены события, требующие вмешательства соответствующих работников локомотивного комплекса. Актуальной задачей является разработка собственно системы поддержки принятия решений (СППР), которая будет выявлять эти опасные события, тенденции.

Методики Риск-менеджмента хорошо проработаны и нашли своё отражение в ряде стандартов [35 - 42]: ГОСТ Р ИСО 31000-2010, ГОСТ Р 54504-2011, ГОСТ Р 54505-2011, ГОСТ Р 51897-2002, ГОСТ Р 51814.2-2001 (FMEA) и др. Риск-менеджмент описан в корпоративных стандартах ОАО «РЖД» [154 - 169]: СТО 1.02.033-2010, СТО 02.038-2011, СТО 02.039-2011, СТО 02.040-201, в других нормативных документах, утвержденных Распоряжением ОАО «РЖД» от 21.09.2011 № 2068. Определения понятий риск-менеджмента приведены в ГОСТ Р 51898-2002, ГОСТ Р МЭК 61508-4-2007, ГОСТ Р 51901-2002, ГОСТ Р 51897-2002. Риск определяется как сочетание вероятности нанесения ущерба и тяжести этого ущерба. Оценивание риска основывается на результатах анализа риска: не превышен ли допустимый уровень ущерба. Оценка величины риска - это процесс

присвоения значений вероятности и последствий риска. Управление рисками – неотъемлемая часть современного менеджмента [192] и системы Мониторинга.

В ОАО «РЖД» понятие «Отказ локомотива» понимается в основном как частный случай отказа перевозочного процесса, который фиксируются в информационно-управляющей системе КАСАНТ [57]. Поэтому отказ (неисправность) локомотива является риском R появления отказа перевозочного процесса. Риск $R \in [0, 1]$ является совокупностью рисков R_i возникновения различных неисправностей локомотива, которые могут привести к отказу перевозочного процесса. Тяжесть отказа можно учесть через весовой коэффициент последствий отказа локомотива m_i [136]:

$$R = 1 - \prod_{i=1}^I (1 - m_i * R_i) \quad , \quad (2.1)$$

где: R_i – совокупность рисков возникновения различных неисправностей

$m_i \in [0, 1]$. – весовой коэффициент i -того фактора: $i \in [1, I]$.

Примечание: опасные события i должны быть независимыми. Например, проезд запрещающего светофора и столкновение могут произойти одновременно. Число возможных опасных событий i можно определить эмпирически из анализа статистики отказов локомотивов или аналитически с использованием методики ГОСТ Р ИСО 31000-2010 [38].

Риск R_i обусловлен рядом факторов влияния. Например, пробой изоляции ТЭД обусловлен перегревом ТЭД в эксплуатации, нарушением технологии пропитки обмоток, перенапряжением, старением изоляции и др.:

$$R_i = 1 - \prod_{k=1}^K (1 - R_{ik}) \quad (2.2)$$

где: R_{ik} – риск наступления отказа i из-за фактора $k \in [1, K]$.

Не каждый инцидент (проявление фактора k) приводит к наступлению отказа i . Поэтому (согласно *FMEA* и стандартам ОАО «РЖД» по управлению рисками) расчет индекса влияния производится по формуле:

$$R_{ik} = K_{ik} * Q_{ik} \quad (2.3)$$

где: Q_{ik} – вероятность опасного события (проявления фактора).

K_{ik} – коэффициент влияния фактора на риск опасного события $K_{ik} \in [0, 1]$.

Практическая реализация управления рисками сталкивается с рядом проблем. Например, при определении весового коэффициента $m_i \in [0, 1]$: на практике часто используют экспертную оценку (метод Дельфи и др. [111]) с интуитивным отнесением влияния к предполагаемому диапазону (таблица 2.1). Таким образом, происходит отход от чёткой математики к нечётким «интуитивным» понятиям. Результаты анализа часто используют не в числовом виде, а как принадлежащие к одному из множеств (таблица 2.2).

Таблица 2.1 – Нечеткие множества уровня ущерба m_i [141]

Значение m_i	Уровень ущерба
0 – 4	Несущественный: отказ третьей категории, повлекший дополнительные расходы, но не нарушивший перевозочный процесс
5 – 19	Малый: отказ второй категории, несущественно повлиявший на перевозочный процесс
20 – 39	Ощутимый: отказ первой категории, ощутимо повлиявший на перевозочный процесс одного или нескольких поездов
40 – 59	Существенный: отказ первой категории, приведший к остановке движения на полигоне и/или дорогостоящему ремонту
60 – 79	ЧП: согласно приказу Минтранс № 163 [136]
80 – 94	Авария: согласно приказу Минтранс № 163 [136]
95 – 100	Крушение: согласно приказу Минтранс № 163 [136]

Таблица 2.2 – Множества уровней риска [9]

Значение R	Уровень риска
0 – 4	Маловероятно
5 – 19	Неопасно
20 – 39	Возможно
40 – 59	Достаточно опасно
60 – 79	Опасно
80 – 94	Очень опасно
95 – 100	Неизбежно

ВЫВОД: Использование классических статистических методов оценки рисков нуждается в дальнейшем развитии для исключения субъективности при оценке риска и алгоритмизации процессов вычисления.

2.3 ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ НЕЧЁТКИХ МНОЖЕСТВ

2.3.1 Недостатки «классических» методов мониторинга

Главным недостатком «классического» подхода к управлению рисками по результатам статистического и вероятностного анализа является жёсткость границ таких важных для мониторинга понятий как «наличие риска», «нарушение режимов эксплуатации», «опасная ситуация» и др. В результате при автоматизации процессов мониторинга резко сужаются возможности математических методов. Далее приведён пример.

Из теории электрической тяги известно: если полновесный поезд (утверждение A) на руководящим подъёме (утверждение B) следует со скоростью ниже установленной (утверждение C), то возникнет риск R выхода из строя тяговых электродвигателей (ТЭД). Причиной является перегрев изоляции [79, 82, 105]: известно, что минимальная скорость на подъёмах устанавливается именно для исключения риска перегрева ТЭД. Риск может возникнуть ($R = 1$) или нет ($R = 0$) в соответствии с логическим утверждением:

$$R = A \text{ and } B \text{ and } C \quad (2.4)$$

где R, A, B, C – логические переменные: 0 (ложь, false) или 1 (истина, true).

Приведенное логическое утверждение о риске перегрева ТЭД при низкой скорости для специалистов в области теории электрической тяги является очевидным. Но, при алгоритмизации логического утверждения для автоматизации мониторинга рисков, возникают проблемы. Например, что такое «полновесный» поезд? Если установленная масса поезда на Восточном полигоне 6300 т, то 6299 т – это уже не полновесный поезд? И какую скорость следует считать «ниже заданной»? Если задана минимальная скорость 40 км/ч, то 39,9 км/ч уже приведёт к отказу ТЭД? И как быть, если скорость была ниже заданной не весь подъём, а только его часть? Например, если из 100 % подъёма только 30 % подъёма скорость была недопустимой, то каков риск отказа ТЭД? Логическое утверждение о риске выхода из строя ТЭД не так просто формализовать. Аналогичные примеры типичны для управления: определение перепробега локомотива как +10 % от норматива не позволит увидеть риск при перепробеге +9,9 %. Также трудно чётко определить такие понятия как «Старый локомотив», «Ненадёжный локомотив»,

«Нарушение режима эксплуатации», «Опасное боксование или юз», «Низкая квалификация машиниста или обслуживающего персонала», «Повышенный износ» и др.

Приведенные примеры сложности определения границ понятий являются широко распространенными во всех областях техники. Отметим, что проблема была сформулирована в Древней Греции, где софисты задавались, например, вопросом: на каком удаленном зернышке куча зерен перестанет быть кучей?

Решение проблемы найден в 60-е годы 20 века американским ученым Лотфи Заде [55, 206], предложившим отказаться от чётких границ множеств и вместо утверждений по принципу «Принадлежит – не принадлежит» использовать нечёткие границы множеств. Методы нечёткой логики (*Fuzzy Sets*) в последние десятилетия нашли широкое применение в промышленности в системах мониторинга [55, 184].

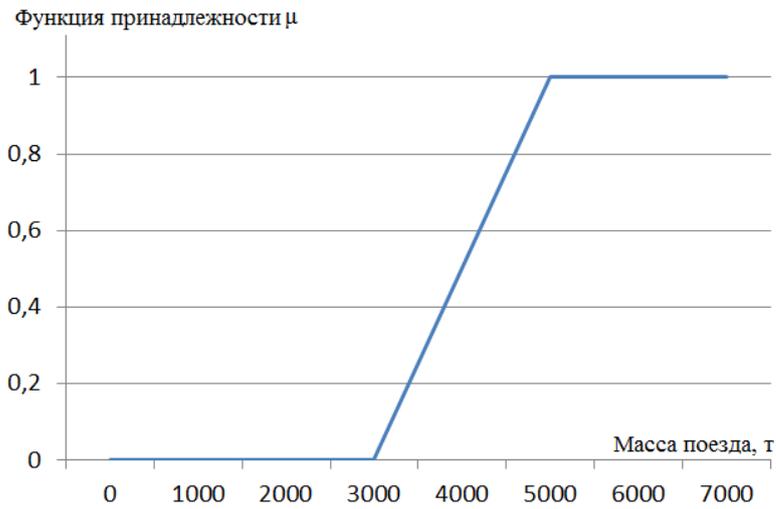
В теории нечётких множеств («*Fuzzy Sets*») основным понятием является собственно нечёткое множество A , которое задаётся множеством входящих в него элементов $x \in X$ и функцией принадлежности $\mu_A(x) \in [0, 1]$ этих элементов к множеству:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\} \quad (2.5)$$

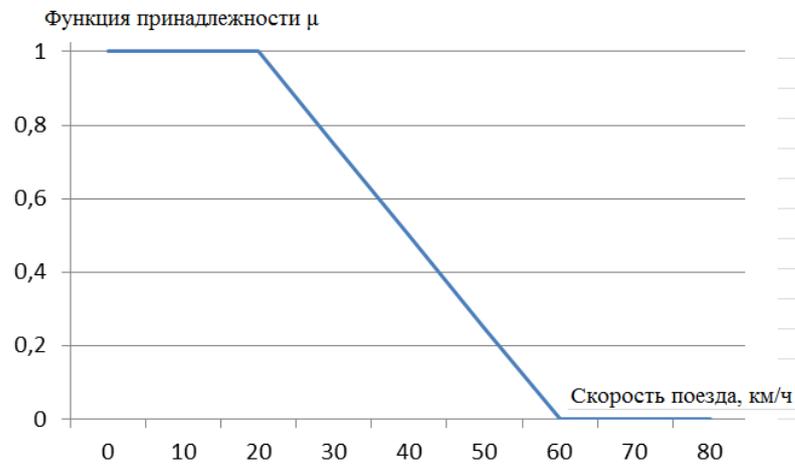
ВЫВОД: модель системы мониторинга необходимо дополнить методами теории нечётких множеств, которые позволяют перейти от умозрительных субъективных заключений к строгим математическим методам. Методы теории нечётких множеств учитывают особенности логических построений при использовании понятий, не имеющих чётких числовых границ. При этом эффективность логического анализа существенно повышается.

2.3.2 Предлагаемый концептуальный подход

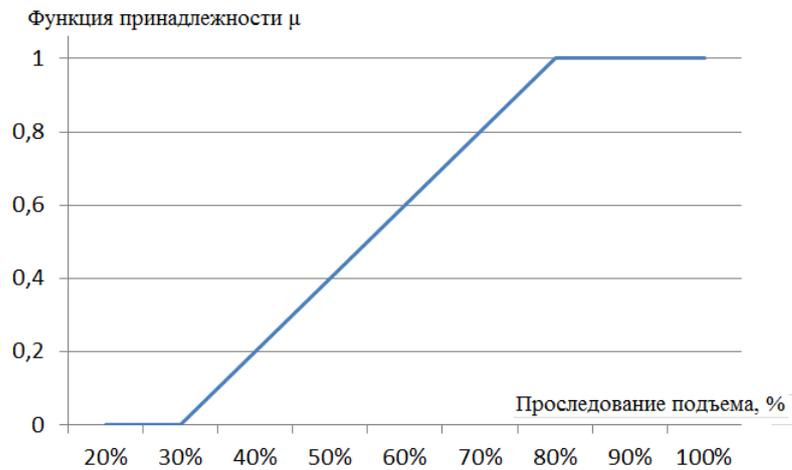
Выполненный автором диссертации анализ показал, что для построения системы Мониторинга технического состояния локомотивов необходимо сочетание статистических методов и методов нечёткой логики. Рассмотрим пример из п.2.3.1 (рисунок 2.2).



***а** – Принадлежность поезда к тяжеловесным*



***б** – Принадлежность скорости к нарушению скоростного режима на руководящем подъеме*



***в** – Принадлежность к следованию на руководящем подъеме с нарушением скоростного режима*

Рисунок 2.2 – Примеры функций принадлежности к нечётким множествам

Применительно к нечёткому множеству A «Полновесный поезд» в приведенном выше примере множество масс поезда X будет иметь диапазон от 0 до 9 тыс. тонн: $X = [0, 9000]$. Масса поезда $x > 6300$ т будет иметь функцию принадлежности к полновесным поездам $\mu_A(x) = 1$ (100 %), масса поезда $x < 4000$ т будет иметь функцию принадлежности $\mu_A(x) = 0$ (0 %), масса поезда от 4000 т до 6300 т ($4000 < x < 6300$) будет иметь линейно изменяющуюся функцию принадлежности $\mu_A(x)$ как показано на рисунке 2.2а.

Нечёткое множество B «Скорость ниже заданной» в приведенном выше примере будет иметь множество скоростей поезда Y в диапазоне от 0 до 110 км/ч. Скорость $y < 25$ км/ч будет иметь функцию принадлежности $\mu_B(y) = 1$ (100 %), скорость $y > 40$ км/ч будет иметь функцию принадлежности $\mu_B(y) = 0$ (0 %), а скорость в диапазоне от 25 до 40 км/ч ($25 < y < 40$) будет иметь линейно изменяющуюся функцию принадлежности как показано на рисунке 2.2б.

$$B = \{(y, \mu_B(y)) | y \in Y\}. \quad (2.6)$$

Нечёткое множество C «Проследование руководящего подъема со скоростью ниже заданной» будет иметь множество процентов проследования Z в диапазоне от 0 до 100 %. Процент $z < 30$ % будет иметь функцию принадлежности $\mu_C(z) = 0$ (0 %), процент $z > 80$ % будет иметь функцию принадлежности $\mu_C(z) = 1$ (100 %), а процент в диапазоне от 30 до 80 % будет иметь линейно изменяющуюся функцию принадлежности как показано на рисунке 2.2в.

$$C = \{(z, \mu_C(z)) | z \in Z\}. \quad (2.7)$$

Тогда логическое утверждение «Если полновесный поезд (нечёткое множество $A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\}$) проследует руководящий подъем (нечёткое множество $C = \{(z, \mu_C(z)) | z \in Z\}$) со скоростью ниже заданной (нечёткое множество $B = \{(y, \mu_B(y)) | y \in Y\}$) будет определять риск R отказа ТЭД не по формуле 2.5, а по формуле:

$$R = \mu_A(x) * \mu_B(y) * \mu_C(z). \quad (2.8)$$

В рассматриваемом примере при следовании поезда массой 2000 т со скоростью 90 км/ч по всему руководящему подъёму риск R отказа ТЭД будет отсутствовать:

$$R = 0 * 0 * 0 = 0. \quad (2.9)$$

При следовании с поездом массой 6300 т со скоростью 20 км/ч весь руководящий подъём можно утверждать, что ТЭД откажет (пробьёт изоляцию):

$$R = 1 * 1 * 1 = 1(100 \%). \quad (2.10)$$

При следовании с поездом массой 4000 т со скоростью 50 км/ч 50 % руководящего подъёма можно утверждать, что риск R отказа ТЭД составит:

$$R = 0,5 * 0,2 * 0,4 = 0,04(4 \%). \quad (2.11)$$

Если за время наблюдения несколько раз нарушался режим следования по руководящему подъёму (например, $R_1 = 0,04$, $R_2 = 0,1$, $R_3 = 0,3$), то риск отказа R ТЭД будет определяться по формуле:

$$\begin{aligned} R &= 1 - \prod (1 - R_i) = 1 - (1 - 0,04) * (1 - 0,1) * (1 - 0,3) = \\ &= 0,395 (39,5 \%). \end{aligned} \quad (2.12)$$

Если число двигателей на локомотиве $N=8$, то общий риск будет:

$$R_8 = 1 - (1 - R)^N = 1 - (1 - 0,395)^8 = 0,98 (98 \%). \quad (2.13)$$

ВЫВОД: использование нечётких множеств позволяет преодолеть недостатки классических методов управления рисками и расширить возможности уже существующих информационных систем в части поддержки принятия решений за счёт формализации использования логических утверждений о возможных рисках.

2.3.3 Алгоритм управления рисками

В предыдущем разделе описан концептуальный подход к управлению рисками с использованием теории нечётких множеств. Предлагается управление рисками построить по следующему алгоритму (рисунок 2.3): на основании опыта ТООиР локомотивов формулируются логические утверждения рисков R_i наступления опасных событий отказа локомотива (блок 2).

Для сформулированного логического утверждения определяются входящие в него нечёткие множества A , B , C и т.д. и определяются параметры этих нечётких множеств $A = \{(x, \mu_A(y)) \mid x \in X\}$, $B = \{(y, \mu_B(y)) \mid y \in Y\}$, $C = \{(z, \mu_C(z)) \mid z \in Z\}$ (блок 2). Затем по данным статистики или из логических рассуждений определяется вес риска t_i (блок 3). После определения всех параметров риска R_i (блоки 1 – 3) в результате мониторинга параметров эксплуатации и технического состояния локомотивов (блок 5) с заданной периодичностью рассчитываются

значения рисков, в т.ч. вновь созданного R_i (блок 6). Если значение риска превысило минимально опасное значение $R_i > R_{min}$ (блок 7), то принимаются меры (корректирующие мероприятия).

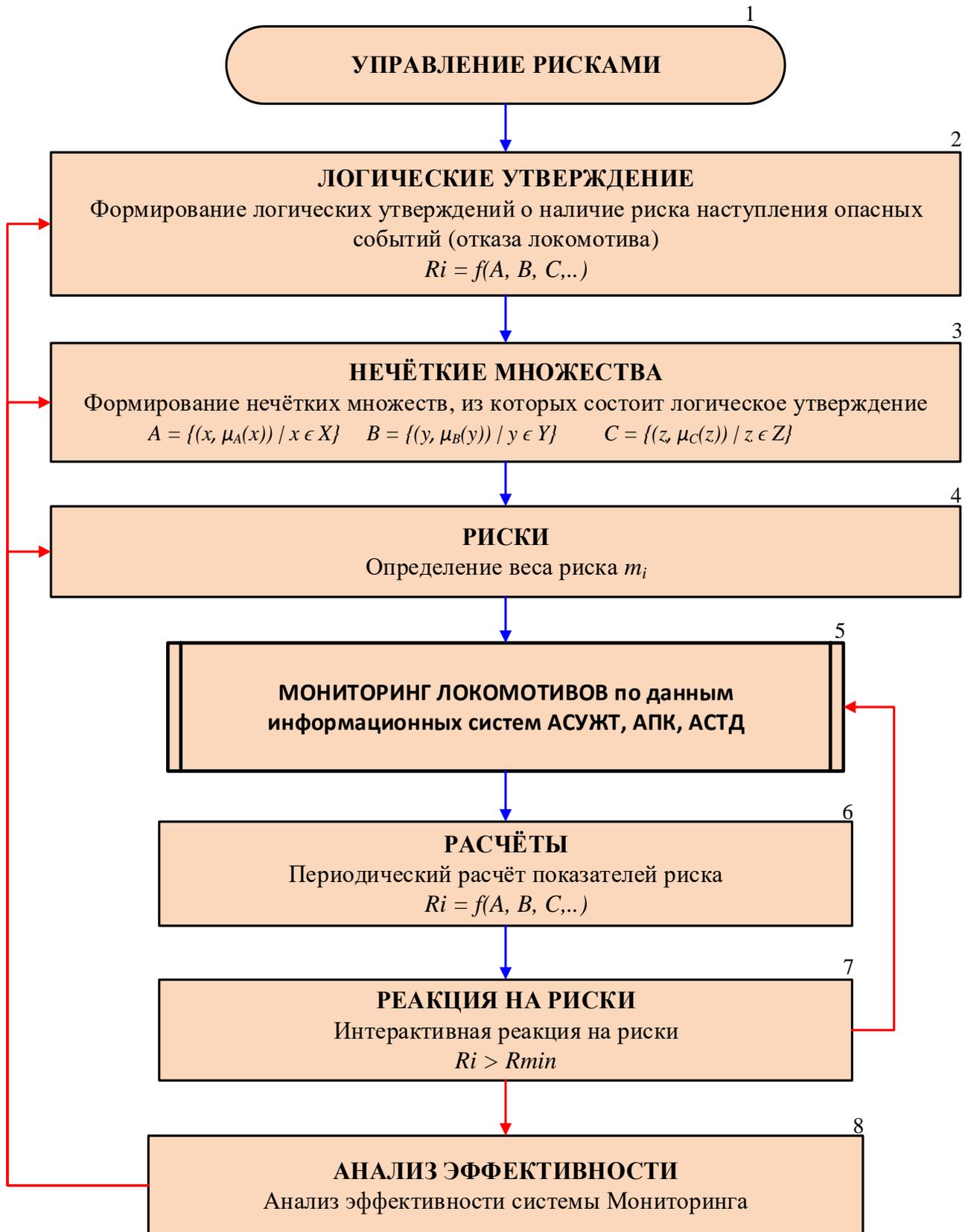


Рисунок 2.3 – Алгоритм управления рисками

Одновременно контролируется эффективность управления риском i с использованием логического утверждения R_i (блок 8). В случае необходимости вносятся изменения в логическое утверждение, нечёткие множества и их функции принадлежности (блоки 2 - 4).

2.3.4 Выбор логических утверждений

Логические утверждения наличия рисков являются результатом длительного наблюдения тех или иных событий, либо результатом моделирования ситуации и определения условий, при которых может произойти опасное событие. В литературе утверждается [184], что такой подход является одним из самых эффективных, т.к. субъект обладает многосторонним и до конца не изученным механизмом обобщения процессов окружающей среды. С другой стороны, возможности современной вычислительной техники несоизмеримо больше возможностей человека статистически обрабатывать информацию. Именно теория нечётких множеств позволяет совместить подходы логического интуитивного анализа и строгих математических методов. Приведём примеры логических утверждений системы мониторинга, требующих применения теории нечётких множеств:

- А. Следование в руководящий подъем с полновесным поездом со скоростью ниже заданной приводит к отказу тяговых электродвигателей (ТЭД) из-за пробоя изоляции. Нечёткие множества (FS): езда в руководящий подъем, скорость ниже заданной, тяжеловесный поезд.
- В. Боксование колёсных пар приводит к срезу шестерни редуктора колёсно-моторного блока и к круговому огню по коллектору. FS : боксование.
- С. Превышение пятиминутного тока при трогании приводит к отказу ТЭД. FS : превышение пятиминутного тока.
- Д. При многократном срабатывании защиты при больших токах есть риск пробоя изоляции ТЭД. FS : многократное срабатывание, большие токи.
- Е. При выборе кандидата на ремонт или на постановку в резерв следует выбирать менее надёжный локомотив. FS : менее надёжный локомотив.

- Ф. Броски токов силовых цепей приводят к повышенному износу электрических аппаратов и тяговых электродвигателей, повышается риск возгорания электрических аппаратов. *FS*: броски тока, повышенный износ.
- Г. Разброс токов ТЭД приводит к их неравномерному нагреванию, а также увеличивает склонность локомотива к боксованию. *FS*: разброс токов, боксование.

Для перечисленных примеров логических утверждений при управлении рисками в системе Мониторинга важна возможность автоматизации мониторинга. Поэтому в разделах 3 и 4 будет выполнен анализ теоретической и практической осуществимости предлагаемого метода мониторинга.

2.3.5 Определение функций принадлежности

Отдельно следует остановиться на форме переходной функции принадлежности $\mu_A(x)$ от значения $\mu_A(x) = 0$ к значению $\mu_A(x) = 1$ и наоборот. В приведенных выше примерах функция носила линейный характер: $\mu_A(x) = kx + b$, где k и b – коэффициенты в уравнении кривой. Однако определение закона функции принадлежности – отдельная важная задача.

В литературе обычно описывается линейная функция перехода от $\mu=1$ к $\mu=0$ и наоборот. Однако есть исследования [126], где форму кривой предлагают выбирать с учётом решаемой задачи, в т.ч с использованием нечётких понятий «Скорее всего принадлежит», «Скорее всего не принадлежит» и др.

Кроме формы кривой не всегда ясны границы. например для понятия «Полновесные поезд» определена граница для $\mu_A(x) = 1$ (например, 6300 т), однако не определена масса поезда, ниже которой $\mu_A(x) = 0$. Часто выбор границы непринадлежности носит экспертный характер [111].

Применительно к решаемой задаче управления рисками отказа локомотивов предлагается границы принадлежности и переходную функцию определять с использованием теории локомотивной тяги. Рассмотрим пример.

Допустимая масса поезда определяется коммерческими соображениями. После установления необходимой массы поезда (в примере $x = 6300$ т) проводятся тяговые испытания, в процессе которых определяется минимально допустимая скорость V_{MIN} на руководящем подъеме из условия отсутствия перегрева ТЭД.

Возможна обратная задача, когда по минимальной скорости V_{MIN} определяется допустимая масса поезда m . Тогда очевидно, что масса поезда, при которой функция принадлежности $\mu_A=0$, будет соответствовать режиму тяги с длительным током, когда перегрев не происходит. Или часовому току, если подъем преодолевается быстрее 60 минут. При постоянной скорости и одном значении уклона удельное сопротивление движению будет постоянно, таким образом, сила тяги F_K будет пропорциональна массе поезда m : $F_K \equiv m$. В свою очередь, при последовательном возбуждении ТЭД и ненасыщенном режиме работы магнитной системы сила тяги пропорциональна квадрату тока $F_K \equiv I^2$. А выделяемое тепло пропорционально, в свою очередь, квадрату тока $\Delta P \equiv I^2$. Таким образом, в случае с массой поезда $m \equiv \Delta P$: функция принадлежности будет иметь линейный характер, как и показано на рисунке 2.2а (масса, при которой $\mu_A=0$ определяется из тяговых расчётов).

По другому обстоит ситуация со скоростью $V < V_{MIN}$. Согласно скоростным характеристикам в первом приближении $V \equiv 1/I$. Следовательно, $\Delta P \equiv 1/V^2$. Таким образом, переходная кривая должна быть не прямой, а гиперболой.

ВЫВОД: при управлении рисками отказа локомотивов с использованием теории нечётких множеств функции принадлежности следует определять с использованием положений теории локомотивной тяги применительно к местным условиям полигона.

2.4 ФОРМИРОВАНИЕ НЕЧЁТКИХ МНОЖЕСТВ

При реализации модели Мониторинга конкретные значения параметров $x \in X$ и функции принадлежности этих параметров к нечёткому множеству A берутся из реальных баз данных, на основании которых осуществляется мониторинг. Поэтому в настоящем разделе предложены возможные правила формирования нечётких множеств. Далее по тексту вместо выше использованных названий нечётких множеств A, B, C вводится обобщенное обозначение нечётких множеств FS – сокращение от *Fuzzy Set*.

2.4.1 Простые нечёткие множества FSS

Первым видом FS являются простые («классические») нечёткие множества (*Simple Fuzzy Set – FSS*): параметр из базы данных со своей функцией принадлежности μ . Описание каждого FSS включает в себя следующие поля:

- Имя FS: каждое FS имеет имя, задаваемое пользователем при создании параметра. Имя должно содержать ограниченное число символов для обеспечения наглядности формируемых в дальнейшем логических формул расчёта рисков R_i . Например: «А», «1», «Ток», «Risk», «R123», «12345», «ПрТР1» и др.
- Текстовое поле описание FS и его назначение. Например, для «ПрТР1» описание будет «Перепробег до ТР1 в тыс.км.».
- Параметр: указание, какой элемент x (поле) БД берётся как параметр.
- Диапазон значений (минимум – максимум), где функция принадлежности к FS равна $\mu = 0$. Например, для FS «ПрТР1» $\mu = 0$ в диапазоне от 0 до 50 тыс.км.
- Диапазон значений (минимум – максимум), где функция принадлежности к FS равна $\mu = 1$. Например, для FS «ПрТР1» $\mu = 1$ в диапазоне от 60 до 300 (максимально возможное значение) тыс.км.
- Переходная функция от $\mu = 0$ до $\mu = 1$ или от $\mu = 1$ до $\mu = 0$. Задаётся как параметры уравнения

$$\mu = A * x^{AA} + B * x^{BB} + C * x + D, \quad (2.14)$$

где μ – функция принадлежности (принимает значения от 0 до 1);

x – значение параметра;

A, B, C, D – параметры функции;

AA, BB – степень функции.

Примечание: в простейшем случае функция принадлежности имеет линейный вид $\mu = C \cdot x + D$.

При логических построениях для выбранного FS будет выбираться значение функции принадлежности μ в зависимости от значения параметра x .

2.4.2 Многопараметрические множества FS (FSM)

Рассмотренные выше примеры логических выражений использовали нечёткие множества A, B, C , в каждом из которых использовался один параметр –

соответственно x , y , z , принадлежащих множествам X , Y , Z . Это самый распространенный способ использования нечётких множеств. Однако возможны нечёткие множества нескольких параметров. Примером может служить нечёткое множество «Надёжный локомотив», которое определяется не одним параметром, а несколькими: число отказов на 1 млн.км N , время простоя в депо по причине отказов T , стоимость ремонта Q .

Общего подхода к работе с нечёткими многопараметрическими множествами нет. В диссертации предлагается рассмотрение многопараметрического множества как совокупности подмножеств:

$$D = \{(n, \mu_D(n)) \mid n \in N, (t, \mu_D(t)) \mid t \in T, (q, \mu_D(q)) \mid q \in Q, \}. \quad (2.15)$$

В этом случае общую принадлежность локомотива $\mu_D(n, t, q)$ предлагается определять как:

$$\mu_D(n, t, q) = \mu_D(n) \cdot \mu_D(t) \cdot \mu_D(q). \quad (2.16)$$

Примечание: предлагаемый подход не является универсальным и требует проверки на допустимость в каждом конкретном случае: неочевидно, что общая функция принадлежности может быть определена как произведение значений функции принадлежности каждого параметра. Например, понятие «ремонтно-пригодный узел» может определяться подмножествами «Время замены» и «Стоимость» не по логике «И» (AND), а по логике «ИЛИ» (OR).

По предлагаемой методике на базе простейших FS формируются многопараметрические FS – FSM (Multy FS) – FS, определяемые несколькими параметрами. Для описания FSM необходимо предварительно создать входящие в его состав FS и рассматривать их как совокупность:

$$FSM = FS1 \text{ and } FS2 \text{ and } FS3. \quad (2.17)$$

Набор параметров FSM аналогичен FS и имеет следующие поля:

- Имя FSM: аналогично FS.
- Текстовое поле описание FSM - аналогично FS.
- Параметры: ссылка на все FS, из которых состоит данный FSM.

При логических построениях для выбранного FSM будет выбираться значение функции принадлежности μ в зависимости от значений, входящих в него параметров FS_i как произведение их функций принадлежности:

$$\mu_{FSM} = \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3. \quad (2.18)$$

Такой подход не является универсальным для всех видов многопараметрических множеств, однако позволяет решить задачу для большинства логических утверждений с многопараметрическими множествами.

2.4.3 Количественные множества FS (FSN)

В количественных *FS* (*Number FS – FSN*) задаётся число событий *n* за заданный период: необходимо указать события и период времени, за которое событие наступало *n* раз. Нечёткое множество определяется значением *n*.

Примеры *FSN*: число отказов, число unplanned ремонтов за месяц, число сверхцикловых работ во время планового ремонта, число срабатываний защиты за поездку и др. Главное отличие *FSN* от ранее описанных - это событийный характер параметров $n \in \mathbb{N}$: их следует вычислять, суммируя число заданных событий за заданный период.

Количественные *FSN* являются одними из самых распространенных наряду с простыми и многопараметрическими *FS*.

2.4.4 Трендовые множества FS (FST)

Трендовые *FS* (*Trend – FST*), отличаются тем, что в качестве параметра *x* берётся не параметр, а его тренд, определяемый линейной переходной функцией:

$$y = kx + b. \quad (2.19)$$

В этом случае функция принадлежности зависит не от самого параметра *x*, а от его тренда $k (dx/dt)$. Пример *FST*: рост числа отказов, рост числа срабатываний защит, рост числа заходов на unplanned ремонт, рост числа дополнительных работ, износ бандажей колёсных пар и др.

Трендовые нечёткие множества *FST* очень важны при мониторинге, т.к. изменение темпа изменения параметров само по себе может быть признаком предотказного состояния (риска). Например, повышенный износ щёток тяговых электродвигателей (показатель – «Износ щёток между ТР-1») может свидетельствовать о предотказном состоянии коллектора двигателя, необходимости его обслуживания (например, «продорожка» коллекторных пластин) или о некачественной партии щёток.

2.4.5 Корреляционные множества FS (FSR)

В корреляционных *FS* (коэффициент корреляции обозначается символом r – поэтому *FSR*) параметром нечёткого множества является коэффициент корреляции r между двумя заданными параметрами за заданный промежуток времени. В остальном *FSR* аналогичны другим типам *FS*.

Примеры: корреляция токов параллельно работающих тяговых электродвигателей, корреляция расхода электроэнергии (топлива) и выполненной тонно-километровой работы, корреляция массы поезда и числа отказов и др.

Выполненный анализ показал [110], что корреляционный анализ является эффективным способом выявления предотказных состояний. Поэтому *FSR* являются необходимым видом управления рисками.

2.4.6 Статистические множества FS (FSH)

Статистические параметры процессов являются важным типом нечётких множеств, когда в качестве множеств выступают математическое ожидание, среднеквадратичное отклонение, хи-квадратичная ошибка и др.

В «хи-квадратичных» *FS* параметром нечёткого множества является вероятность соответствия параметра нормальному закону распределения по критерию Пирсона (хи-квадрат), когда ошибка считается как сумма среднеквадратичных отклонений фактических значений Φ и теоретических T :

$$\chi^2 = (T - \Phi)^2 / T. \quad (2.20)$$

Нечётким множеством является вероятность соответствия закону P или сам χ^2 : анализ показывает, что увеличение χ^2 может свидетельствовать об изменении условий эксплуатации или обслуживания контрольной группы оборудования вплоть до увеличения модальности процесса: при выявлении этого необходимо изменить правила разбиения локомотивов на группы наблюдения. Например, если локомотивы, работавшие в общем парке, разделили на работающие в хозяйственном движении и грузовом, то по множеству «Масса поезда» можно выявить появление бимодального процесса: следует даже локомотивы одного депо одной серии разбить на две группы мониторинга.

Также в качестве нечётких множеств могут выступать все общепринятые статистические параметры: математическое ожидание, среднеквадратичное отклонение, коэффициент вариации и другие параметры.

2.5 ВЫВОДЫ

Предлагаемая модель системы мониторинга использует данные об эксплуатации и техническом состоянии локомотивов из информационных систем железнодорожного транспорта и локомотиворемонтного комплекса, а также данные бортовых аппаратно-программных комплексов (АПК). При необходимости дополнительно используются данные деповских стационарных и переносных автоматизированных систем технического диагностирования (АСТД).

На основании собранных данных осуществляется как контроль текущего технического состояния локомотивов, так и управление рисками возникновения отказов, для чего предлагается дополнить принятые статистические методы управления методами теории нечётких множеств.

В разделах 3 и 4 будет доказана практическая реализуемость модели, уточнена область её применения.

3 АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНОСТИ ДАННЫХ АСУЖТ

Основным автоматизированным источником информации об эксплуатации локомотивов является подсистема АСУЖТ - АСОУП [3] (см. раздел 1). В системе фиксируются в виде кодов состояний перемещение локомотивов по путям общего пользования ОАО «РЖД» с указанием соответствующего пробега, времени начала и конца нахождения в том или ином состоянии и другой необходимой информацией. Анализ этих данных позволяет не только понять характер работы локомотива, но и разработать адекватную подсистему мониторинга. В настоящем разделе выполнен соответствующий анализ.

3.1 ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1.1 Методический подход к анализу

Достоверность выполненного в настоящем разделе анализа достигнута статистической проверкой полученных среднестатистических показателей на подчинение законам распределения случайной величины. Главной причиной отсутствия соответствия известным законам распределения является мультимодальность выборок. Например, средний простой локомотивов в депо не может использоваться как достоверный показатель, т.к. есть простой на ТО-2, ТР-1, ТР-3 и других видах ТОиР, где имеется собственная средняя продолжительность простоя. Следовательно, использование среднего простоя в депо для оценки возможности одновременного проведения модернизации локомотивов может привести к ошибочным выводам. В Internet ошибочное рассмотрение в одной выборке разных процессов (Мультимодальность) нашло устоявшееся выражение «Средняя температура по больнице» (на декабрь 2015 года по данным Google имеется более 700 тыс. упоминаний) [204]. Мультимодальность процессов в диссертации оценивается общепринятым методом проверки соответствия полученных распределений случайных величин параметров эксплуатации локомотивов законам распределения случайных величин: при отсутствии закономерностей следует поменять принципы формирования исходных выборок. Например, разбив выборку по отдельным депо, сериям локомотивов, годам выпуска и др.

3.1.2 Статистическая проверка достоверности данных

Для проверки достоверности данных по каждому показателю рассчитывается математическое ожидание m_x выборки данных x_i АСОУП в объёме N и среднеквадратичное отклонение σ_x по известным формулам [12, 28]:

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

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

После расчёта математического ожидания m_x и среднеквадратичного отклонения σ_x следует оценить 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:

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

В диссертации приняты значение точности $\delta = 0,05$, доверительная вероятность $\beta = 0,95$, а квантиль распределения Стьюдента выбран из таблицы для выбранной доверительной вероятности $t_{\beta} = 1,96$. Если выборка оказалась недостаточной ($N < N_{min}$), то следует её увеличить за счёт новых данных.

Предварительно унимодальность проверяется визуально по гистограмме. Если обнаружен эффект гребёнки (последовательное чередование высоких и низких столбцов гистограммы), то меняется шаг разбиения диапазона случайной величины, т.к. эффект гребёнки часто возникает из-за неудачного выбора числа диапазонов. Изначально число диапазонов разбиения K определяться по правилу Старджесса [28]:

$$K = \text{Int}[1 + 3,3 \cdot \lg N], \quad (3.5)$$

Примечание: опыт исследований показал, что формула не всегда даёт хороший результат: на гистограмме имела место «гребёнка», поэтому в отдельных случаях число диапазонов разбиения задавались вручную.

Достоверность данных оценивается по критерию соответствия Пирсона, для чего по построенной гистограмме распределения случайной величины рассчитывается хи-квадрат (χ^2_P) по формуле:

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

где: Δn_j и Δn_j^* – практическое и теоретическое число попаданий в j -й диапазон (в идеальном случае должны совпадать);

K – число выбранных диапазонов разбиения в гистограмме.

Практическое число попаданий Δn_j в диапазон $j \in K$ в формуле 3.7 определяется из обработки статистики, а теоретическое Δn_j^* по формуле:

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

где P_j – теоретическая вероятность попадания случайной величины в j -й интервал в диапазоне значений от x_j^I до x_j^II :

$$P_j = \int_{x_j^I}^{x_j^{II}} f(x) dx, \quad (3.8)$$

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

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

$$r = K - s, \quad (3.9)$$

где s – число связей, накладываемых на частоты P_j^* . Для всех распределений $s = 1$, кроме экспоненциального, у которого $s = 2$.

Значения χ^2_P и r используют для оценки границ вероятности соответствия гистограммы теоретическому распределению в соответствии с таблицей значений критерия Пирсона [12, 193].

Если выборка не прошла проверку по критерию Пирсона (вероятность принадлежности закону оказалась слишком низкой), то следует оценить однородность представленной в выборке информации по критерию грубых ошибок, приводящих к существенному росту хи-квадрат: последовательно исключаются значения X_j , отличающиеся от математического ожидания на более 3σ , т.к. теоретическая вероятность выхода величин за этот диапазон равна 0,0027. Однако следует контролировать физический смысл этой операции, чтобы не была искажена реальная картина мультимодальности, чтобы «с грязной водой не выкинуть и ребёнка»: исключая крайние значения можно исказить физический смысл информации.

Если полученное распределение не подчинится ни одному закону распределения случайной величины, то следует изменить порядок формирования выборки. Например, если выборка взята по всем локомотивам, то её следует уменьшить до только электровозов и тепловозов, до серии, до полигона и т.д. Таким образом, будет определена по каждому показателю зона его унимодальности. Полученные выводы используются при дальнейших исследованиях. Если при дополнительных сортировках данных не будет достигнута унимодальность и подчинение одному из законов распределения случайной величины, то будет рекомендовано не использовать данный параметр в системе Мониторинга технического состояния локомотивов как среднестатистический.

При анализе для автоматизации исследований использовалась программа, разработанная в Excel на алгоритмическом языке программирования Visual Basic for Application (VBA). Базовое программное обеспечение разработано для проведения аналитических исследований в группе компаний «Локомотивные технологии», в т.ч. в ТМХ-Сервис (автор А.А.Аболмасов). Программа прошла тестирование в МИИТ [28]. Дополнительные программы для анализа и сортировки данных разработаны автором также на VBA.

Таким образом, полученные и проверенные согласно предложенной методике приведенные ниже данные и соответствующие выводы следует считать статистически достоверными.

ВЫВОД: в исследовании достоверными данными и соответствующими выводами будут считаться унимодальные выборки, подчиняющиеся одному из законов распределения случайной величины. Предлагаемая методика статистической обработки данных соответствует общепринятым и обеспечивает достоверность полученных результатов и сделанных выводов.

3.1.3 Анализ взаимного влияния параметров

В диссертации выполнен корреляционный анализ взаимного влияния эксплуатационных и технических параметров друг на друга. Для анализа вычислялся коэффициент корреляции $r_{yx} \in [-1, 1]$ (далее по тексту – R):

$$r_{yx} = \frac{\alpha_{11}(y, x) - m_y m_x}{\sigma_y \sigma_x}, \quad (3.10)$$

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 :

$$\alpha_{11}(y, x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i, \quad (3.11)$$

ВЫВОД: исследование диагностической функциональности и возможности использования в системе Мониторинга информационных систем железнодорожного транспорта и бортовых аппаратно-программных систем будет выполнено с использованием общепринятых и хорошо себя зарекомендовавших методов статистического анализа, что обеспечило достоверность выводов по результатам сделанных исследований.

3.2 СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ

3.2.1 Обработка исходных данных

В АСОУП каждому эксплуатационному состоянию локомотива присвоен код. В диссертации в соответствии с выбранной методикой (см.п.2.1) обработана выборка данных из АСОУП. Структура исходных данных из АСОУП показана на рисунке 3.1. Для обработки данных АСОУП информация экспортирована в Excel, где обработана с использованием встроенных статистических функций и языка программирования VBA. В таблице 3.1 приведён объём экспортированных для анализа данных. В таблице 3.2 приведен пример исходных данных, экспортированных из АСОУП.

1	ТИС	Серия	Номер	Секция	Дата и время операции	Код состо.	Состояние	Тип состояния	Продолжительность	Операция	Дислокация	Таб. номер	Номер поезда	Масса поезда, т	Пробег от ТО-2, км	Пробег, км
11250	ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	A	21.08.2015 21:31	1	ГОЛП	Исправное	109	ПС С ПР УЧ	Чернореченская	3007	2666	2952	249	93
11251	ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	A	21.08.2015 23:20	1	ГОЛП	Исправное	143	ПС Б О БИС	Кача	3007	2666	2952	342	77
11252	ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	A	22.08.2015 1:43	1	ГОЛП	Исправное	17	П Б Б ПР ДО	КрасноярскВост.	3007	2666	2952	419	0
11253	ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	A	22.08.2015 2:00	102	ПРОСТ.ПРИБ	Исправное	116	ПРОСТ.ПРИБ	КрасноярскВост.	0	0	0	419	0
11254	ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	A	22.08.2015 3:56	112	АВТ.ЗАХ.ТЧ	Исправное	22	АВТ.ЗАХ.ТЧ	ТД-78 КРАС	0	0	0	419	0
11255	ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	A	22.08.2015 4:18	113	СДАЧА БРГ.	Исправное	20	СДАЧА БРГ.	ТД-78 КРАС	0	0	0	419	0
11256	ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	A	22.08.2015 4:38	532	ОЖ.НЕП.РЕМ	Обслуживание непредвиденное	16	ОЖ.НЕП.РЕМ	ПТОЛ-61 КРАС	0	0	0	419	0
11257	ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	A	22.08.2015 4:54	308	НЕПЛ.РЕМ.	Обслуживание непредвиденное	57	НЕПЛ.РЕМ	ПТОЛ-61 КРАС	0	0	0	419	0
11258	ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	A	22.08.2015 5:51	105	ОЖ.РАБОТЫ	Исправное	93	ОЖ.РАБОТЫ	ТД-78 КРАС	0	0	0	419	2
11259	ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	A	22.08.2015 7:24	114	ПРИЕМ БРГ.	Исправное	48	ПР.ЭК.БРГ.	ТД-78 КРАС	0	0	0	421	0
11260	ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	A	22.08.2015 8:12	103	ПРОСТ.ОТПР	Исправное	54	КП ВЫХ. ТЧ	КрасноярскВост.	0	0	0	421	1
11261	ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	A	22.08.2015 9:06	114	ПРИЕМ БРГ.	Исправное	79	ПРИЕМ БРГ.	КрасноярскВост.	0	0	0	422	1
11262	ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	A	22.08.2015 10:25	1	ГОЛП	Исправное	5	ГОТ К ОТПР	КрасноярскВост.	7518	2820	3584	423	0
11263	ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	A	22.08.2015 10:30	1	ГОЛП	Исправное	146	ОТ Б СД ДО	КрасноярскВост.	7518	2820	3584	423	107
11264	ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	A	22.08.2015 12:56	1	ГОЛП	Исправное	314	П Б С ПР УЧ	Уяр	7518	2820	3584	530	5
11265	ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	A	22.08.2015 18:10	102	ПРОСТ.ПРИБ	Исправное	45	ПРОСТ.ПРИБ	Уяр	0	0	0	535	1
11266	ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	A	22.08.2015 18:55	1	ГОЛП	Исправное	93	ОТ С СД УЧ	Уяр	7518	3483	3094	536	75
11267	ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	A	22.08.2015 20:28	1	ГОЛП	Исправное	3	П Б Б ПР ДО	Сорокино	7518	3483	3094	611	0
11268	ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	A	22.08.2015 20:31	1	ГОЛП	Исправное	119	СД.БР.С ПЗ	Сорокино	7518	3483	3094	611	2
11269	ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	A	22.08.2015 22:30	1	ГОЛП	Исправное	68	ПР.БР.С ПЗ	Сорокино	3719	3483	3094	613	1
11270	ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	A	22.08.2015 23:38	1	ГОЛП	Исправное	35	ОТ Б СД ДО	Сорокино	3719	3483	3094	614	32
11271	ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	A	23.08.2015 0:13	1	ГОЛП	Исправное	16	П Б Б ПР ДО	КрасноярскВост.	3719	3483	3094	646	0
11272	ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	A	23.08.2015 0:29	102	ПРОСТ.ПРИБ	Исправное	23	ПРОСТ.ПРИБ	КрасноярскВост.	0	0	0	646	0
11273	ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	A	23.08.2015 0:52	112	АВТ.ЗАХ.ТЧ	Исправное	15	АВТ.ЗАХ.ТЧ	ТД-78 КРАС	0	0	0	646	0
11274	ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	A	23.08.2015 1:07	113	СДАЧА БРГ.	Исправное	36	СДАЧА БРГ.	ТД-78 КРАС	0	0	0	646	1
11275	ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	A	23.08.2015 1:43	532	ОЖ.НЕП.РЕМ	Обслуживание непредвиденное	24	ОЖ.НЕП.РЕМ	ПТОЛ-61 КРАС	0	0	0	647	0
11276	ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	A	23.08.2015 2:07	308	НЕПЛ.РЕМ.	Обслуживание непредвиденное	29	НЕПЛ.РЕМ	ПТОЛ-61 КРАС	0	0	0	647	0
11277	ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	A	23.08.2015 2:36	105	ОЖ.РАБОТЫ	Исправное	134	ОЖ.РАБОТЫ	ТД-78 КРАС	0	0	0	647	2

Рисунок 3.1 – Исходные данные АСОУП

По каждой серии (см. таблицу 3.1) по специально разработанной на VBA программе выполнен расчёт эксплуатационных показателей. Пример результатов расчёта приведен в таблице 3.3. Собранные в единую таблицу данные обработаны по дополнительной программе. Результаты представлены в таблице, пример которой приведён в таблице 3.4. Далее данные по таблице 3.4 проверены на взаимное влияние методом корреляционного анализа (таблица 3.5).

Таблица 3.1 – Исходный объем данных АСОУП для исследования

№ п/п	Серия / Депо	Событий	Локомотивов
1	3ЭС5к Смоляниново	176 481	44
2	3ЭС5к Братск	270 333	37
3	2ЭС5к Белогорск	103 028	24
4	3Вл80с Чита	127 151	35
5	Вл80с Чита	32 721	11
6	3ЭС5к Хабаровск	171 246	43
7	2ЭС5к Хабаровск	35 659	28
8	ЭП1 Красноярск	189 222	40
9	ВЛ80С Лянгасово	180 611	37
10	ВЛ80С Петров-Вал	68 013	23
11	2ЭС4К Волхов	200 842	32
12	ВЛ80С Буй	278 846	52
13	ВЛ80с Лиски	84 416	35
14	2ЭС4К Туапсе	96 884	31
15	ВЛ80с Муром	144 258	39
16	2ЭС5к Смоляниново	28 845	13
17	ВЛ85 Нижнеудинск	327 458	78
18	ЭП1 Белогорск	304 891	92
19	ВЛ80с Карасук	304 635	82
20	3ВЛ80с Иланская	173 805	30
21	ВЛ80 р Боготол	88 697	33
22	3ВЛ80 р Боготол	138 176	48
23	3ЭС4К Волхов	12 082	8
24	4ЭС5к Смоляниново	162 202	40
25	4ЭС5к Белогорск	48 546	15
26	4ЭС5к Хабаровск	175 223	59
27	3ВЛ80С Лянгасово	14 945	12
28	3ВЛ80С Петров-Вал	123 769	22
29	3ВЛ80с Лиски	105 299	23
30	3ЭС4К Туапсе	25 711	7
31	3ВЛ80с Муром	32 443	10
	ВСЕГО	4 226 438	1083

Таблица 3.2 – Пример исходной Excel-таблицы с экспортированными из АСОУП данными

ТПС	Серия	Номер	Секция	Дата и время операции	Код	Состояние	Тип состояния	Продолжительность нахождения в состоянии, мин	Операция	Дислокация	Таб. номер	Номер поезда	Масса поезда, т	Пробег от ТО-2, км	Пробег, км
ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	А	06.06.2015 17:45	1	ГОЛ.П	Исправное	173	ПС.Б О БПС	Мысовая	6243	2262	1978	1 833	164
ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	А	06.06.2015 20:38	1	ГОЛ.П	Исправное	1	ПБ.Б ПР ДО	УланУдэ	6243	2262	1978	1 997	0
ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	А	06.06.2015 20:39	1	ГОЛ.П	Исправное	1	СД.БР.С ПЗ	УланУдэ	6243	2262	1978	1 997	0
ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	А	06.06.2015 20:40	1	ГОЛ.П	Исправное	61	ПР.БР.С ПЗ	УланУдэ	5468	2262	1978	1 997	1
ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	А	06.06.2015 21:41	1	ГОЛ.П	Исправное	16	ГОТ К ОТПР	УланУдэ	5468	2844	1978	1 998	0
ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	А	06.06.2015 21:57	1	ГОЛ.П	Исправное	18	ОТ.Б СД ДО	УланУдэ	5468	2844	1978	1 998	8
ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	А	06.06.2015 22:15	1	ГОЛ.П	Исправное	138	ПС.Б О БПС	Заудинский	5468	2844	1978	2 006	115
ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	А	07.06.2015 0:33	1	ГОЛ.П	Исправное	27	ПС.Б О БПС	Кижа	5468	2844	1978	2 121	0
ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	А	07.06.2015 1:00	1	ГОЛ.П	Исправное	395	ПС.Б О СПД	ПетрЗавод	5468	2844	1978	2 121	150
ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	А	07.06.2015 7:35	1	ГОЛ.П	Исправное	10	ПБ.Б ПР ДО	Хилок	5468	2844	1978	2 271	0
ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	А	07.06.2015 7:45	1	ГОЛ.П	Исправное	150	СД.БР.С ПЗ	Хилок	5468	2844	1978	2 271	3
ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	А	07.06.2015 10:15	1	ГОЛ.П	Исправное	297	ПР.БР.С ПЗ	Хилок	29252	2844	1978	2 274	185
ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	А	07.06.2015 15:12	1	ГОЛ.П	Исправное	66	ПБ.Б ПР ДО	Яблоновая	29252	2400	1978	2 459	1
ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	А	07.06.2015 16:18	1	ГОЛ.П	Исправное	30	ОТ.Б СД ДО	Яблоновая	29252	2086	1978	2 460	20
ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	А	07.06.2015 16:48	1	ГОЛ.П	Исправное	100	ПБ.Б ПР ДО	Лесная	29252	2092	1978	2 480	35
ВЛ80Р №1505	ВЛ80Р	1505	А	07.06.2015 18:28	1	ГОЛ.П	Исправное	47	ПБ.Б ПР ДО	Черновская	29252	2086	1978	2 515	11

Таблица 3.3 - Результаты расчётов по исходным данным АСОУП (приведён пример в несколько строк)

1	2	3	4	5	6	7	8
№ п/п	Локомотив	Общее время в АСОУП, мин	Время работы, (kd=1), мин.	Рабочий пробег, км	Начало наблюдения, Дата, время	Конец наблюдения, Дата, время	Время наблюдения, дни
1	ЗЭС5К №1	407741	267 175	143 732	07.06.2015 16:50	16.03.2016 20:30	283
2	ЗЭС5К №20	407565	107 634	59 371	07.06.2015 17:55	16.03.2016 18:25	283
3	ЗЭС5К №23	407782	270 366	150 462	07.06.2015 15:45	16.03.2016 18:26	283

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
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	Обслуживание непредвиденное
22276090	55	83	155	8	3080	1 495	360 233	22 875	3 080
8716002	21	81	147	15	40533	11 054	312 794	12 967	40 533
24480573	60	91	163	8	10836	3 686	361 385	23 068	10 836

19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Административные издержки	Гарантийный ремонт	Отсутствует	Не учитывается	КТГ	НР общ. простой	НР уд. шт/мес	НР уд. шт/км	НР уд. сут/млн.км	НР общ. прстй
5 083	1 495	-	13 885	0,655	4575	0,028	55,7	22,104217	4575
12 685	11 054	-	17 532	0,264	56162	0,053	252,6	656,90975	56162
8 661	3 686	-	146	0,663	70684	0,028	53,2	326,23593	70684

Таблица 3.4 – Результаты расчётов

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
№ п/п	Серия и депо	Шт.	Осей	Пробег млн. км	Работа, сут.	КТГ	НР, шт.	НР, мин .	НР уд., шт./мес.	НР уд., шт./млн. км	НР уд., сут./млн. км	Работа, т·км	Работа уд., т·км / км	Работа уд., т·км / сутки
1	3ЭС5к СМОЛЯНИНОВО	31	12	4,33	8829	0,626	293	287	1,00	68	66,2	8534	1969	0,466
2	3ЭС5к Братск	30	12	0,79	8505	0,112	310	340	1,09	394	432,1	7355	9348	0,417
3	2ЭС5к Белогорск	22	8	1,90	5881	0,523	50	26	0,26	26	13,5	5964	3144	0,489
4	3Вл80с Чита	24	12	3,73	7345	0,678	155	132	0,63	42	35,4	6239	1672	0,410
5	Вл80с Чита	7	8	0,50	1972	0,484	19	18	0,29	38	35,8	1972	3955	0,482
6	3ЭС5к Хабаровск	29	12	4,04	8263	0,624	273	272	0,99	67	67,2	7980	1973	0,466
7	2ЭС5к Хабаровск	9	8	0,44	2020	0,375	28	39	0,42	63	88,0	2187	4924	0,522
8	ЭП1 Красноярск	28	6	4,12	7910	0,394	84	91	0,32	20	22,0	7621	1849	0,465
9	ВЛ80С Лянгасово	28	8	3,79	7932	0,610	156	173	0,59	41	45,8	7930	2094	0,482
10	ВЛ80С Петр.Вал	11	8	0,85	3022	0,452	198	110	1,97	234	130,5	3022	3571	0,482
11	2ЭС4К Волхов	30	8	2,24	7810	0,436	455	568	1,75	203	253,3	7749	3454	0,478
12	ВЛ80С Буй	33	8	4,34	9353	0,649	168	116	0,54	39	26,7	9339	2152	0,482
13	ВЛ80с Лиски	13	8	1,29	3535	0,473	105	62	0,89	81	47,9	3537	2743	0,482
14	2ЭС4К Туапсе	27	8	1,28	6395	0,317	153	152	0,72	119	118,5	6487	5066	0,489
15	ВЛ80с Муром	24	8	3,36	6800	0,613	166	207	0,73	49	61,7	6791	2019	0,482
16	2ЭС5к СМОЛЯНИНОВО	12	8	0,65	2075	0,452	36	51	0,52	55	78,0	2145	3294	0,499

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
№ п/п	Серия и депо	Шт.	Осей	Пробег млн. км	Работа, сут.	КТГ	НР, шт.	НР, мин .	НР уд., шт./мес.	НР уд., шт./млн. км	НР уд., сут./млн. км	Работа, т·км	Работа уд., т·км / км	Работа уд., т·км / сутки
17	ВЛ85 Н/удинск	66	12	8,56	14465	0,720	447	347	0,93	52	40,5	14104	1648	0,470
18	ЭП1 Белогорск	72	6	7,55	19127	0,363	132	513	0,21	17	67,9	13441	1781	0,339
19	ВЛ80с Карасук	59	8	7,04	12766	0,453	442	470	1,04	63	66,8	11578	1646	0,437
20	3ВЛ80с Иланская	20	12	4,27	8377	0,617	465	350	1,67	109	81,9	5575	1306	0,321
21	3ВЛ 80р Боготол	36	12	3,39	6765	0,651	340	260	1,51	100	76,8	4891	1443	0,349
22	ВЛ 80р Боготол	27	8	1,89	3891	0,621	151	83	1,16	80	43,6	3840	2027	0,476
23	3ЭС4К Волхов	8	12	0,20	592	0,445	61	36	3,09	310	181,9	478	2428	0,390
24	4ЭС5к Смолян-во	38	16	1,83	6821	0,427	172	122	0,76	94	66,6	4970	2717	0,351
25	4ЭС5к Белогорск	14	16	1,54	2597	0,761	45	21	0,52	29	13,6	1308	847	0,243
26	4ЭС5к Хабаровск	17	16	1,71	6593	0,415	128	77	0,58	75	44,8	3371	1972	0,247
27	ВЛ80С Лянгасово	1	8	0,30	566	0,680	12	16	0,64	41	53,7	283	958	0,241
28	3ВЛ80С Петр.Вал	17	12	2,27	5734	0,549	370	235	1,94	163	103,5	4582	2021	0,385
29	3ВЛ80с Лиски	16	12	2,02	4930	0,536	248	222	1,51	123	110,3	4075	2021	0,399
30	3ЭС4К Туапсе	7	12	0,35	1893	0,393	61	23	0,97	175	64,8	1171	3370	0,298
31	3ВЛ80с Муром	5	12	1,14	1979	0,667	31	27	0,47	27	23,6	1132	997	0,276

Примечание: серым цветом выделены серии электровозов, у которых после исключения артефактов данных оказалось недостаточно для корреляционного анализа.

Таблица 3.5 - Коэффициенты корреляции R эксплуатационных показателей локомотивов

a – с пробегом локомотивов

№ п/п	Пара	R	Столбец по таблица 3.4	Расшифровка параметров
1	Пробег – Сутки	0,861	5-6	Число суток наблюдения
2	Пробег – КТГ	0,356	5-7	Коэффициент технической готовности
3	Пробег - НР шт.	0,412	5-8	Число неплановых ремонтов (НР)
4	Пробег - НР мин.	0,520	5-9	Время нахождения в состояниях ожидания и неплановом ремонте
5	Пробег - НР уд. Шт/мес	-0,039	5-10	Число НР, приведенное к одному месяцу
6	Пробег - НР уд. Шт/км	-0,423	5-11	Число НР, приведенное к 1 млн. км пробега
7	Пробег - НР уд. Сут/км	-0,348	5-12	Время НР, приведенное к 1 млн. км пробега
8	Пробег - Работа т·км	0,866	5-13	Работа в тонно·км брутто
9	Пробег - Работа / км	-0,587	5-14	Работа, приведенная к 1 км пробега
10	Пробег - Работа / сутки	-0,206	5-15	Работа, приведенная к суткам работы

Примечание: корреляционный анализ пробегов по каждой серии не выполнялся из-за некорректности результатов, связанных с одинаковыми пробегами локомотивов одной серии: фактически получалась 2-3 точки наблюдения.

<i>б – часть 2</i>	КТГ – НР шт.	КТГ – НР мин.	КТГ – НР уд. шт/мес	КТГ - НР уд. шт/км	КТГ – НР уд. Сут/км	КТГ - Работа т·км	КТГ - Работа / км	КТГ - Работа / сутки	НР шт. - НР мин.	НР шт. - НР уд. шт/мес	НР шт. – НР уд. шт/км	НР шт. - НР уд. Сут/км	НР шт. - Работа т·км	НР шт. - Работа / км
31 серия	0,064	-0,133	-0,040	-0,558	-0,632	-0,019	-0,791	-0,188	0,828	0,449	0,277	0,354	0,598	-0,020
19 серий	0,120	-0,194	0,133	-0,619	-0,684	0,005	-0,782	0,099	0,764	0,834	0,406	0,381	0,390	-0,074
3ЭС5к Смол-во	-0,425	0,283	-0,417	-0,902	-0,095	0,979	0,657	0,676	-0,140	0,996	0,724	-0,010	-0,390	-0,142
3ЭС5к Братск	-0,026	0,294	-0,025	-0,589	-0,459	0,998	0,626	0,720	0,361	1,000	0,566	0,248	-0,026	-0,103
2ЭС5к Белогорск	0,156	0,205	0,188	-0,483	-0,699	0,951	0,949	0,918	-0,140	0,994	0,584	-0,309	0,099	0,085
3Вл80с Чита	0,293	-0,069	0,211	-0,001	-0,045	0,368	0,328	0,223	-0,093	0,814	0,749	-0,380	0,727	0,348
Вл80с Чита	-0,407	-0,153	-0,410	-0,372	-0,156	0,012	0,349	-0,544	-0,153	1,000	0,992	-0,116	-0,408	-0,360
3ЭС5к Хабаровск	-0,447	0,288	-0,439	-0,909	-0,123	0,980	0,679	0,685	-0,124	0,996	0,729	0,027	-0,407	-0,116
ЭП1 Красноярск	-0,204	0,295	-0,208	-0,393	0,146	0,965	0,354	0,400	-0,029	1,000	0,975	0,043	-0,232	-0,104
ВЛ80С Лянг-во	-0,120	0,367	-0,116	-0,943	0,232	0,863	0,732	0,326	0,154	1,000	0,002	0,264	-0,135	0,077
2ЭС4К Волхов	0,304	0,389	0,207	-0,499	-0,161	0,744	0,466	0,468	0,202	0,909	0,336	-0,276	0,563	0,607
ВЛ80С Буй	0,079	0,112	0,080	-0,191	-0,204	0,739	0,069	0,111	0,051	1,000	0,960	0,021	-0,096	-0,234
2ЭС4К Туапсе	0,006	-0,237	0,257	-0,567	-0,742	-0,006	-0,519	-0,423	-0,247	0,843	0,571	-0,247	-0,146	0,096
ВЛ80с Муром	0,072	-0,318	0,072	-0,481	-0,796	0,777	-0,094	-0,053	0,080	1,000	0,830	-0,092	0,027	-0,083
ВЛ85 Нижнеуд-к	0,242	-0,047	0,240	0,183	-0,766	0,762	-0,340	-0,583	-0,075	0,971	0,958	-0,273	0,303	-0,145
ЭП1 Белогорск	-0,265	-0,049	-0,277	-0,573	-0,519	0,930	-0,281	0,020	-0,140	0,999	0,875	-0,026	-0,261	0,040
ВЛ80с Карасук	0,077	0,146	0,074	-0,478	-0,465	0,985	0,159	0,471	0,143	0,999	0,820	0,016	0,098	0,091
3ВЛ80с Иланск	0,042	-0,411	0,017	-0,245	-0,637	0,396	0,346	0,122	0,060	0,871	0,818	-0,368	0,691	0,030
3ВЛ 80р Боготол	0,210	-0,082	-0,016	-0,357	-0,059	0,472	0,104	0,246	-0,152	0,747	0,799	-0,301	0,491	0,045
ВЛ8 р Боготол	0,115	-0,246	0,115	-0,045	-0,459	0,860	0,459	0,470	0,367	1,000	0,967	0,255	0,267	0,267
4ЭС5к Смолнво	0,167	0,108	-0,118	-0,265	-0,065	0,336	0,502	0,670	-0,165	0,176	0,120	-0,292	0,718	0,250

<i>в – часть 3</i>	НР шт. - Работа / сутки	НР мин. - НР уд. Шт/мес	НР мин. - НР уд. Шт/км	НР мин. - НР уд. Сут/км	НР мин. - Работа т·км	НР мин. - Работа / км	НР мин. - Работа / сутки	НР уд. Шт/мес - НР уд. Шт/км	НР уд. Шт/мес - НР уд. Сут/км	НР уд. Шт/мес - Работа т·км	НР уд. Шт/мес - Работа / км	НР уд. Шт/мес - Работа / сут
31 серия	0,119	0,222	0,178	0,407	0,758	0,036	0,115	0,720	0,472	-0,171	0,010	-0,025
19 серий	-0,281	0,525	0,350	0,460	0,626	-0,007	-0,339	0,519	0,439	-0,103	0,001	-0,273
3ЭС5к Смолен	-0,166	-0,161	-0,307	0,908	0,315	0,168	0,211	0,728	-0,031	-0,393	-0,141	-0,168
3ЭС5к Братск	-0,192	0,360	0,136	0,465	0,276	-0,204	-0,019	0,567	0,248	-0,025	-0,103	-0,192
2ЭС5к Белгрск	0,109	-0,114	-0,255	0,495	0,150	0,268	0,223	0,542	-0,306	0,130	0,125	0,155
3ВЛ80с Чита	0,167	0,219	0,277	0,565	-0,340	0,042	-0,239	0,973	-0,304	0,312	0,434	0,120
ВЛ80с Чита	-0,100	-0,163	-0,235	0,992	0,761	0,746	0,730	0,994	-0,125	-0,422	-0,376	-0,109
3ЭС5к Хбрск	-0,162	-0,148	-0,301	0,892	0,317	0,121	0,187	0,733	0,004	-0,411	-0,115	-0,165
ЭП1 Краснк	-0,264	-0,030	-0,083	0,980	0,226	0,055	-0,079	0,976	0,042	-0,236	-0,107	-0,267
ВЛ80С Лянг-во	-0,020	0,155	-0,312	0,978	0,219	0,143	-0,059	-0,001	0,264	-0,132	0,079	-0,020
2ЭС4К Волхов	0,590	-0,019	-0,244	0,571	0,410	0,145	0,132	0,442	-0,350	0,401	0,632	0,612
ВЛ80С Буй	-0,231	0,052	0,018	0,945	0,119	0,021	0,068	0,960	0,022	-0,096	-0,234	-0,231
2ЭС4К Туапсе	0,005	-0,597	-0,351	-0,031	0,723	0,640	0,681	0,508	-0,269	-0,446	-0,319	-0,345
ВЛ80с Муром	-0,056	0,078	0,233	0,790	-0,045	0,290	0,331	0,830	-0,093	0,028	-0,081	-0,055
ВЛ85 Нижнуд	-0,213	-0,101	-0,112	0,036	0,048	0,088	0,067	0,989	-0,275	0,160	-0,140	-0,219
ЭП1 Белогорск	-0,090	-0,136	-0,096	0,805	0,012	0,125	0,177	0,882	-0,008	-0,276	0,041	-0,099
ВЛ80с Карасук	0,160	0,142	0,076	0,715	0,136	-0,045	0,031	0,823	0,020	0,090	0,084	0,157
3ВЛ80с Иланск.	-0,070	0,184	0,281	0,802	-0,297	-0,067	0,041	0,961	-0,186	0,325	-0,002	-0,123
3ВЛ 80 р Бгтл	-0,095	0,069	0,052	0,879	-0,390	0,045	0,033	0,921	0,023	-0,162	-0,013	-0,004
ВЛ 80 р Бгтл	0,339	0,368	0,438	0,944	-0,131	0,069	0,023	0,968	0,256	0,267	0,267	0,338
4ЭС5к Смоленво	0,017	0,210	0,191	0,352	-0,338	-0,214	-0,067	0,977	0,154	-0,168	-0,115	-0,066

<i>г – часть 4</i>	НР уд. Шт/км - НР уд. Сут/км	НР уд. Шт/км - Работа т·км	НР уд. Шт/км - Работа / км	НР уд. Шт/км - Работа / сутки	НР уд. Сут/км - Работа т·км	НР уд. Сут/км - Работа / км	НР уд. Сут/км - Работа / сутки	Работа т·км - Работа / км	Работа т·км - Работа / сутки	Работа / км - Работа / сутки	НР уд. Шт/мес - Работа / км	НР уд. Шт/мес - Работа / сут
31 серия	0,883	-0,172	0,635	0,009	-0,172	0,756	0,107	-0,032	0,346	0,372	0,010	-0,025
19 серий	0,974	-0,117	0,825	-0,128	-0,117	0,827	-0,096	-0,193	-0,017	0,146	0,001	-0,273
3ЭС5к Смоленво	0,012	-0,896	-0,563	-0,594	-0,067	-0,113	-0,115	0,746	0,781	0,912	-0,141	-0,168
3ЭС5к Братск	0,743	-0,578	-0,700	-0,763	-0,449	-0,771	-0,713	0,643	0,730	0,902	-0,103	-0,192
2ЭС5к Белгрск	0,050	-0,486	-0,513	-0,490	-0,697	-0,636	-0,630	0,937	0,960	0,974	0,125	0,155
3Вл80с Чита	-0,278	0,217	0,409	0,079	-0,468	-0,547	-0,606	0,410	0,340	0,771	0,434	0,120
Вл80с Чита	-0,191	-0,512	-0,446	-0,204	0,684	0,717	0,665	0,841	0,831	0,503	-0,376	-0,109
3ЭС5к Хбрск	0,050	-0,900	-0,560	-0,594	-0,100	-0,202	-0,177	0,763	0,788	0,912	-0,115	-0,165
ЭП1 Крснк	0,013	-0,408	-0,159	-0,328	0,077	0,017	-0,154	0,549	0,621	0,863	-0,107	-0,267
ВЛ80С Лянгво	-0,210	-0,830	-0,813	-0,385	0,064	0,036	-0,162	0,929	0,753	0,835	0,079	-0,020
2ЭС4К Волхов	0,163	-0,557	-0,364	-0,393	-0,393	-0,516	-0,549	0,844	0,853	0,991	0,632	0,612
ВЛ80С Буй	0,077	-0,330	-0,293	-0,313	-0,131	-0,011	0,012	0,708	0,751	0,973	-0,234	-0,231
2ЭС4К Туапсе	0,606	-0,478	-0,010	-0,116	-0,372	-0,032	-0,112	0,682	0,848	0,875	-0,319	-0,345
ВЛ80с Муром	0,361	-0,451	-0,099	-0,102	-0,501	0,236	0,228	0,544	0,587	0,987	-0,081	-0,055
ВЛ85 Нижнуд	-0,265	0,102	-0,156	-0,233	-0,565	0,462	0,835	-0,049	-0,274	0,836	-0,140	-0,219
ЭП1 Белогорск	0,231	-0,577	0,115	-0,191	-0,490	0,174	-0,011	-0,107	0,380	0,408	0,041	-0,099
ВЛ80с Карасук	0,319	-0,461	-0,055	-0,208	-0,478	-0,091	-0,315	0,228	0,530	0,581	0,084	0,157
3ВЛ80с Илнск	-0,006	0,206	-0,052	-0,135	-0,655	-0,090	0,070	0,346	0,218	0,891	-0,002	-0,123
3ВЛ 80 р Бгтл	0,008	-0,140	0,010	-0,091	-0,604	0,027	0,081	0,141	0,016	0,849	-0,013	-0,004
ВЛ 80 р Бгтл	0,394	0,072	0,127	0,160	-0,371	-0,096	-0,186	0,804	0,853	0,923	0,267	0,338
4ЭС5к Смлинво	0,206	-0,178	-0,175	-0,170	-0,326	-0,477	-0,267	0,436	0,211	0,868	-0,115	-0,066

3.2.2 Результаты корреляционного анализа

В настоящем разделе приведен анализ данных, полученных в результате корреляционного анализа (см. таблицу 3.5).

Пробег достаточно сильно влияет на число НР ($R=0,57$) и продолжительность НР ($R=0,67$). Однако при удельном рассмотрении этих показателей достоверной корреляции нет. Отдельно следует отметить, что пробег существенно коррелирует с тонно-километровой работой ($R=0,902$), что свидетельствует о нецелесообразности перехода с учёта работы локомотивов по пробегу на учёт по работе.

Получен неочевидный результат отсутствия влияния на КТГ ни числа НР, ни времени нахождения в состоянии НР. Однако при рассмотрении удельных показателей числа и времени НР на км пробега получены соответственно R , равные $-0,619$ и $-0,684$. Отдельно по сериям влияние НР на КТГ приведены на рисунке 3.2. Единой закономерности нет, даже по знаку корреляции.

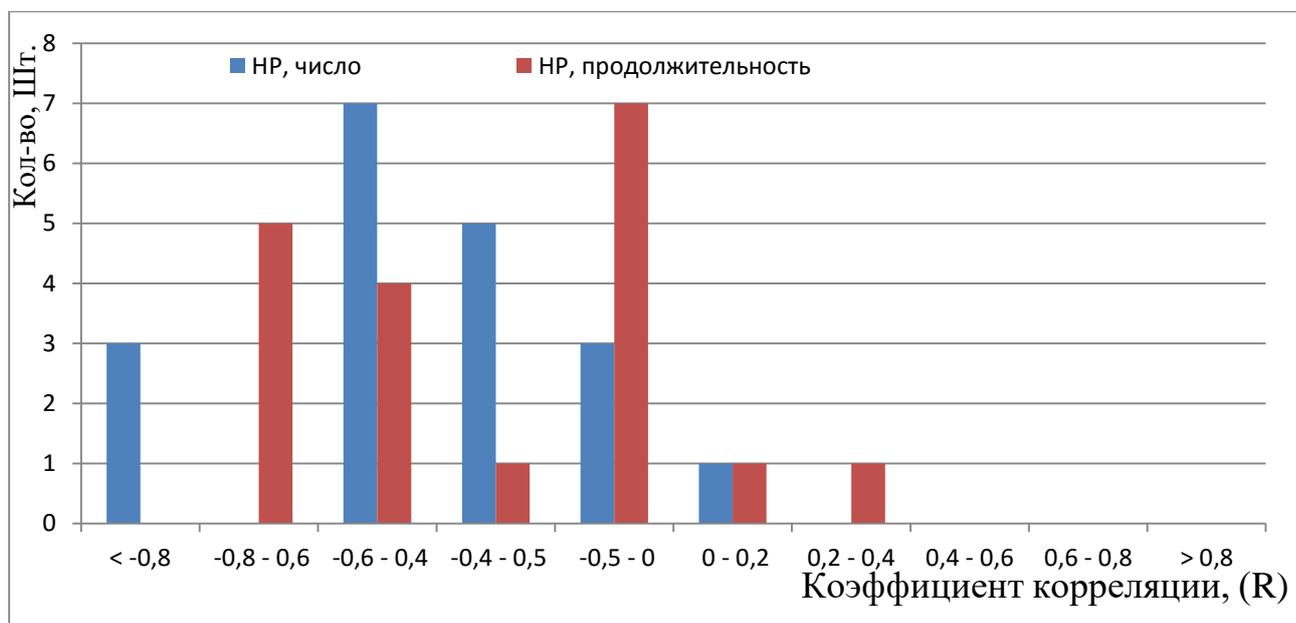


Рисунок 3.2 – Влияние числа НР на км на КТГ (коэффициент корреляции)

Достоверного влияния объема работы на отказы не обнаружено, кроме тривиального роста числа и продолжительности НР с ростом работы. Также следует отметить, что удельный показатель числа НР на км пробега (по сути – интенсивность отказов) и удельная работа на км пробега имеют высокий коэффициент корреляции $R=0,825$. Таким образом, можно утверждать, что

повышение интенсивности работы приводит к повышению интенсивности отказов. Аналогичная закономерность у времени простоя на НР: $R = 0,827$.

Выявлена закономерность: интенсивность отказов на км пробега сильно коррелирует с интенсивностью отказов на единицу времени работы ($R=0,519$). При этом корреляция по отдельным сериям локомотивов получилась гораздо выше (рисунок 3.3), что свидетельствует о допустимости учёта работы локомотивов в днях, а не в пробеге. Это может упростить систему Мониторинга.

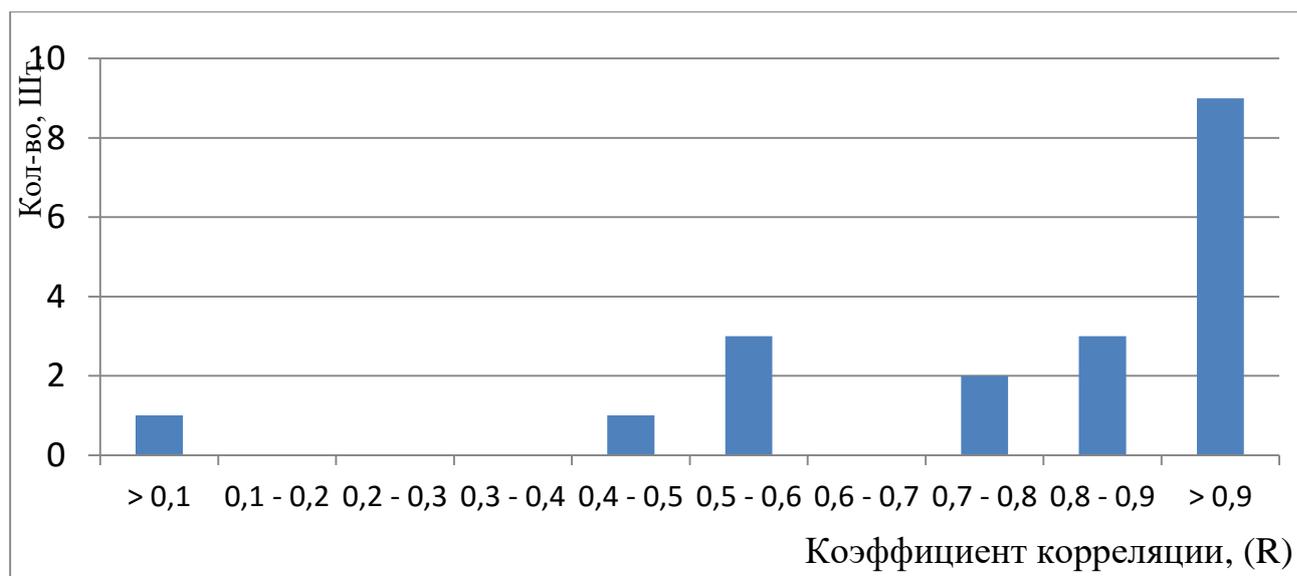


Рисунок 3.3 – Корреляция (%) интенсивности отказов на км пробега

Следует отметить, что данные корреляционного анализа при сравнении средних показателей по сериям и корреляционного анализа внутри серии по локомотивам часто имеют разные показатели (см. таблицу 3.5), что возможно из-за относительно небольших выборок. Самые большие выборки по локомотивам серии ВЛ85 депо Нижнеудинск (66 локомотивов) и ЭП1 депо Белогорск (72 локомотива). У обеих этих серий достоверными корреляциями следует считать корреляции между КТГ и временем простоя на НР (-0,766 и -0,519), КТГ и работой (0,762 и 0,930), интенсивностью отказов в км и сутках (0,989 и 0,882), удельной работой на км пробега и в сутках (0,836 и 0,408).

Удельный показатель работы (тонно-км), приходящаяся на 1 км, одну ось, один локомотив имеет существенный разброс по сериям (рисунок 3.4). При этом с ростом удельной работы число НР падало (или наоборот): $R = -0,49$, а КТГ практически не менялся. Поэтому есть основания утверждать, что объём работы

не является доминирующим фактором, влияющим на надёжность электровоза. Например, у ВЛ80р удельная работа на 1 км составляет 145 т·км/км, а у 3ВЛ80р, который в 1,5 раза мощнее (!), этот показатель лишь на 10 % выше – 161.

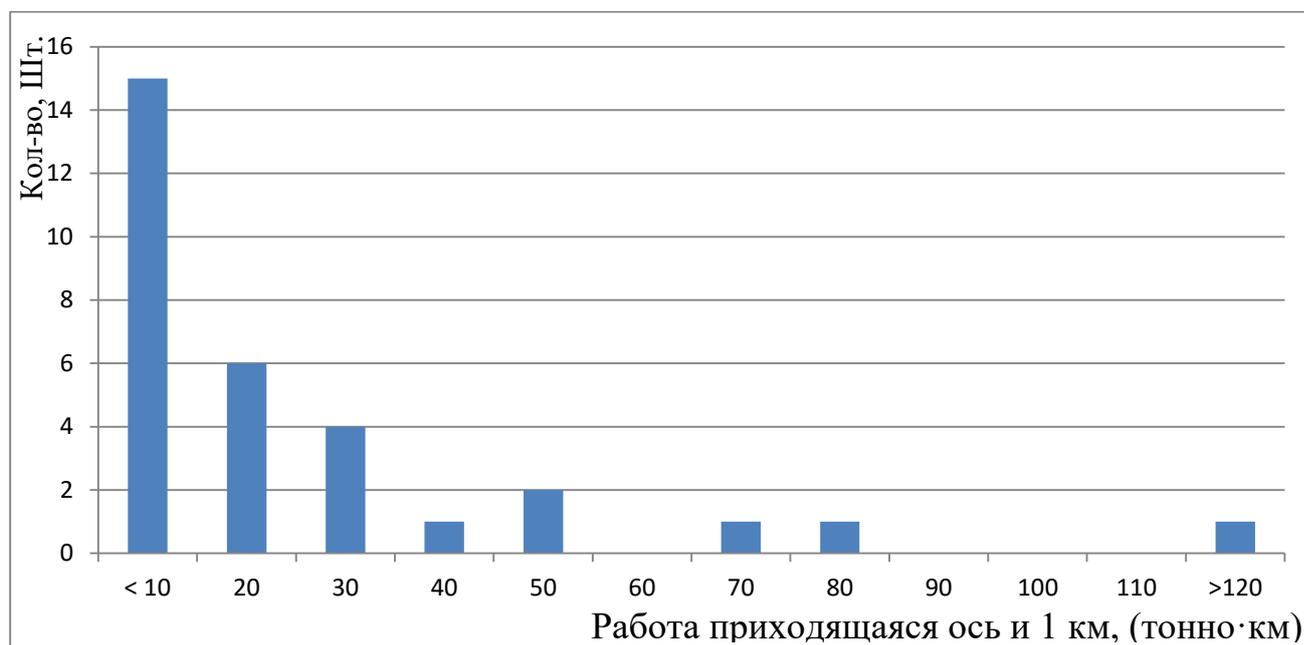


Рисунок 3.4 – Распределение работы (тонно·км) серий на одну ось и км

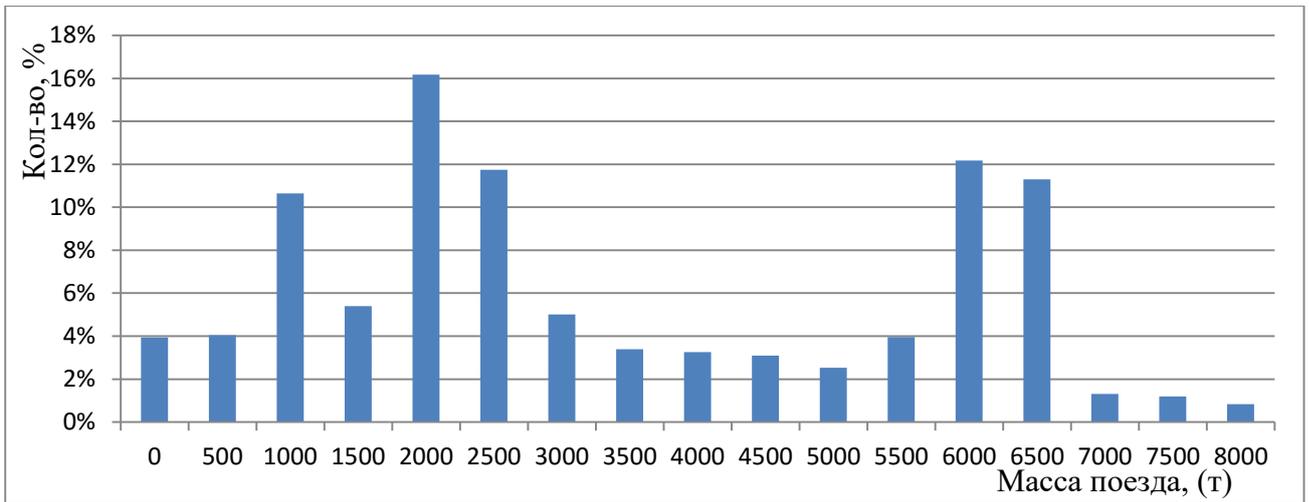
3.2.3 Анализ работы локомотивов

Следующий выполненный анализ по данным таблицы 3.1 – это анализ массы поезда, который рассчитан на км пробега локомотива. Результаты распределения масс по пробегу с этой массой приведены в таблице 3.6 и на рисунке 3.5. Ни одна грузовая серия ни в одном депо не имеет унимодального распределения массы поезда, что связано как с наличием вывозных и хозяйственных поездов, так и с неоднородностью чётного и нечётного направлений движения поездов. Именно поэтому электровозы 3ЭС5К в Братске и ВЛ80С в Чите имеют почти 10 % порожнего пробега, а 2ЭС5К в Хабаровске - более 17 %.

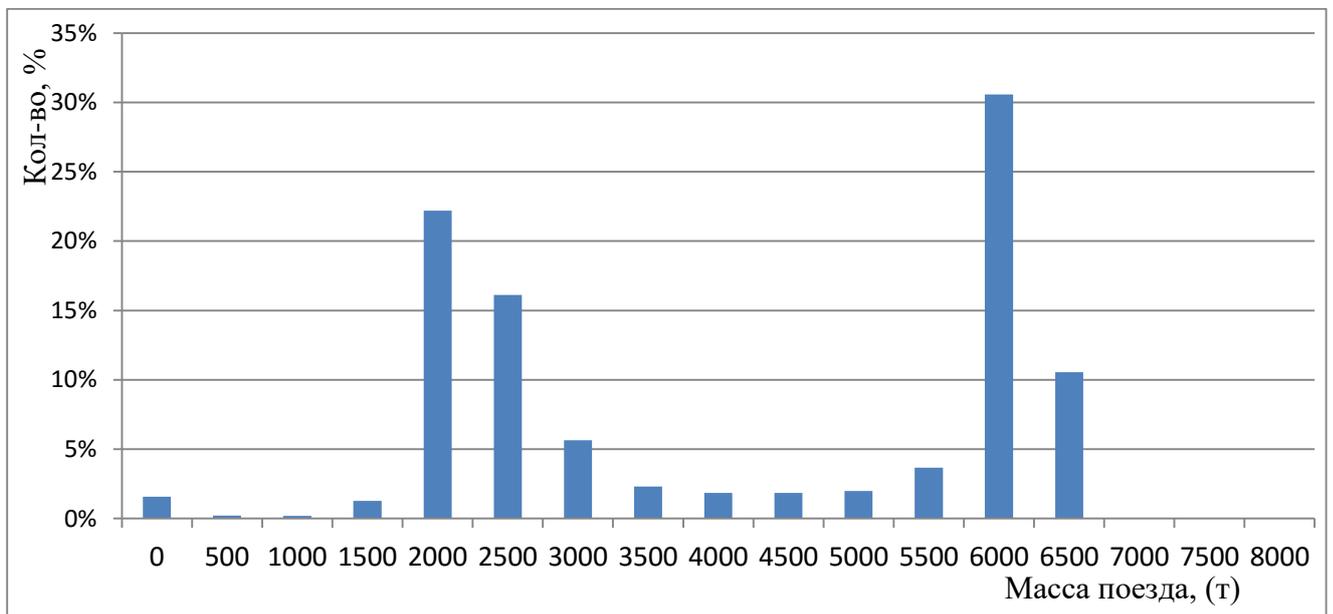
Пассажирские электровозы серии ЭП1 – единственные из рассмотренных локомотивов имеют унимодальное распределение массы поезда, что логично объясняется стабильностью составности пассажирских поездов.

ВЫВОД: имеет смысл предположить, что необходим переход от учёта работы локомотива по пробегу к тонно-километровой работе (далее будет показано, что можно оставить учёт работы по пробегу).

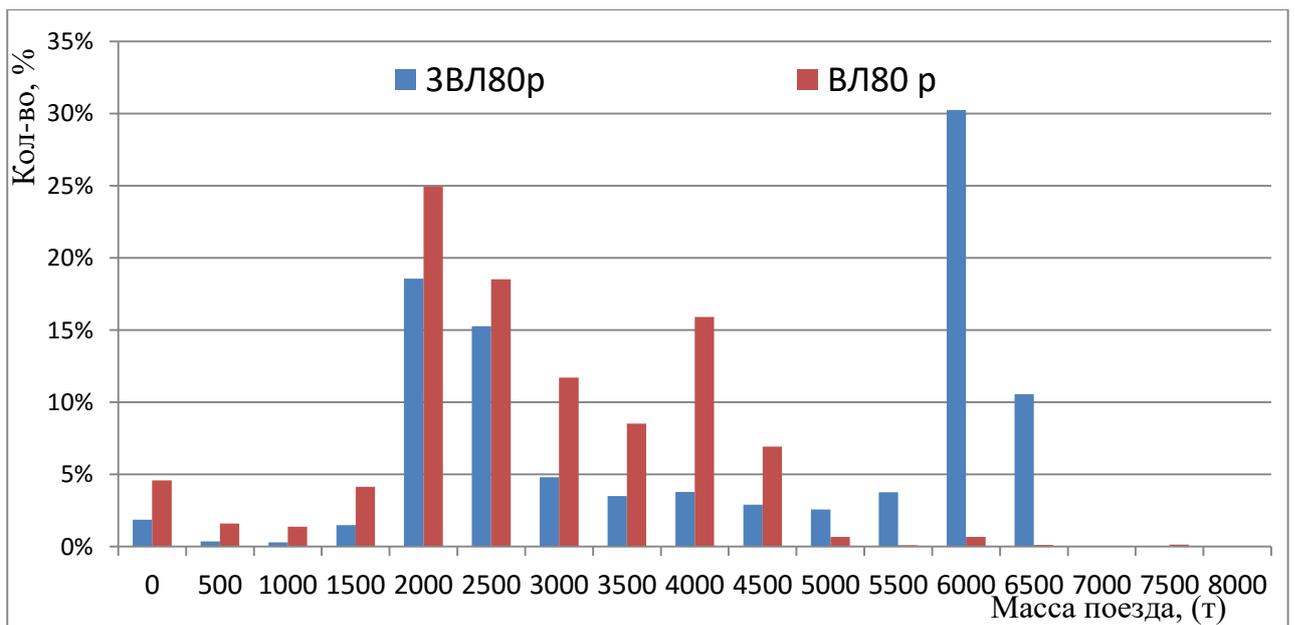
Серия, депо	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000
ВЛ80с Карасук	3 %	1 %	0 %	1 %	15 %	23 %	2 %	2 %	3 %	2 %	4 %	3 %	6 %	30 %	5 %	0 %	0 %
3ВЛ80с Иланск.	2 %	0 %	0 %	2 %	19 %	12 %	5 %	3 %	3 %	3 %	3 %	5 %	36 %	8 %	0 %	0 %	0 %
3ВЛ80 р Богтл	2 %	0 %	0 %	1 %	19 %	15 %	5 %	3 %	4 %	3 %	3 %	4 %	30 %	11 %	0 %	0 %	0 %
ВЛ80 р Боготол	5 %	2 %	1 %	4 %	25 %	19 %	12 %	9 %	16 %	7 %	1 %	0 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %
3ЭС4К Волхов	1 %	0 %	1 %	5 %	15 %	6 %	6 %	5 %	2 %	3 %	2 %	6 %	11 %	10 %	2 %	2 %	22 %
4ЭС5к Смолянво	7 %	0 %	0 %	3 %	26 %	13 %	3 %	2 %	0 %	0 %	1 %	3 %	13 %	22 %	3 %	3 %	0 %
4ЭС5к Белгрск	2 %	0 %	0 %	1 %	23 %	15 %	3 %	2 %	1 %	1 %	0 %	1 %	5 %	7 %	13 %	26 %	0 %
4ЭС5к Хабрвск	8 %	0 %	0 %	3 %	26 %	12 %	3 %	2 %	0 %	0 %	1 %	3 %	14 %	22 %	2 %	3 %	0 %
ВЛ80С Лянгсво	2 %	1 %	1 %	3 %	13 %	14 %	9 %	6 %	4 %	4 %	4 %	10 %	11 %	18 %	1 %	0 %	0 %
3ВЛ80С Петр.Вл	3 %	0 %	0 %	3 %	12 %	9 %	7 %	6 %	3 %	4 %	3 %	7 %	29 %	12 %	1 %	2 %	0 %
3ВЛ80с Лиски	3 %	0 %	0 %	5 %	9 %	6 %	3 %	4 %	3 %	4 %	4 %	8 %	35 %	13 %	1 %	1 %	0 %
3ЭС4К Туапсе	6 %	1 %	2 %	35 %	5 %	0 %	0 %	0 %	1 %	4 %	34 %	11 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
3ВЛ80с Муром	1 %	0 %	0 %	1 %	8 %	18 %	12 %	7 %	4 %	1 %	2 %	2 %	11 %	15 %	3 %	7 %	8 %
СРЕДНЕЕ	3,9 %	4,0%	10,7%	5,4	6,2 %	11,8%	5,0%	3,4 %	3,3%	3,1%	2,5%	3,9%	12,2%	11,3%	1,3%	1,2%	0,84%



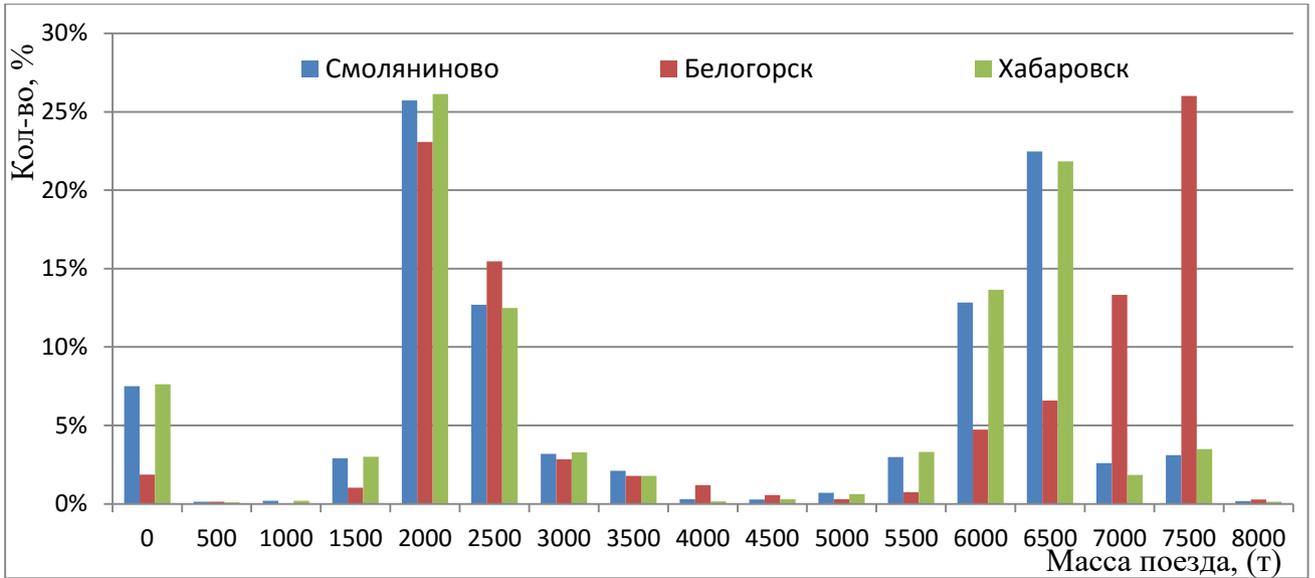
***а** – для всех обследованных электровозов*



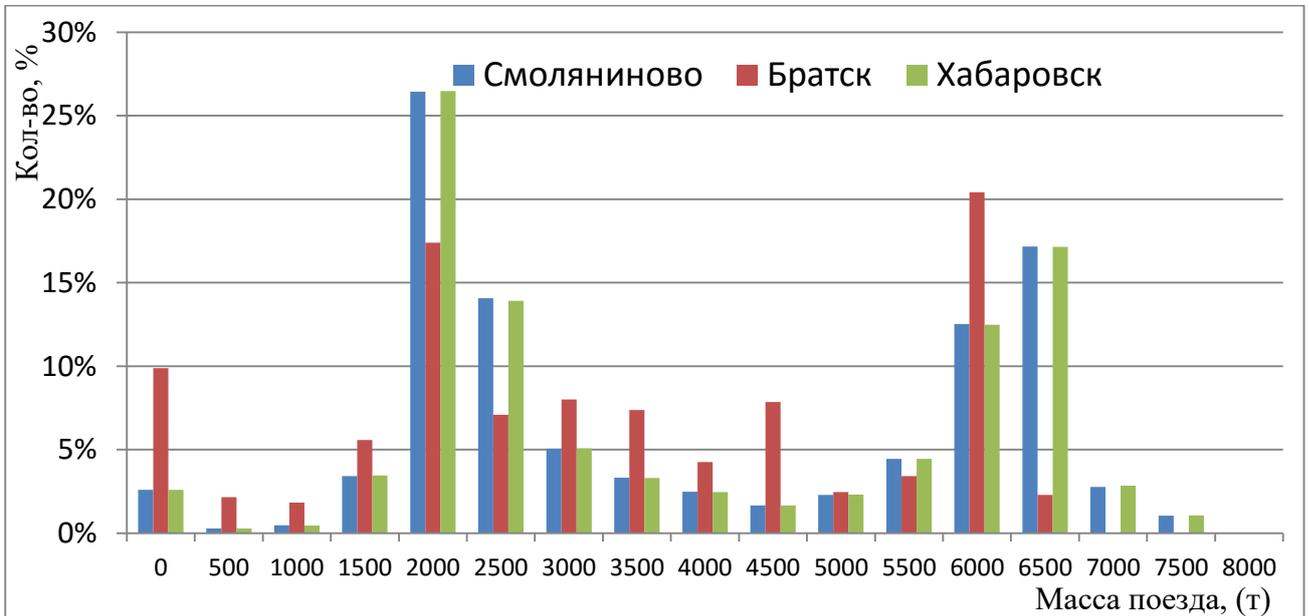
***б** – ВЛ85 депо Боготол*



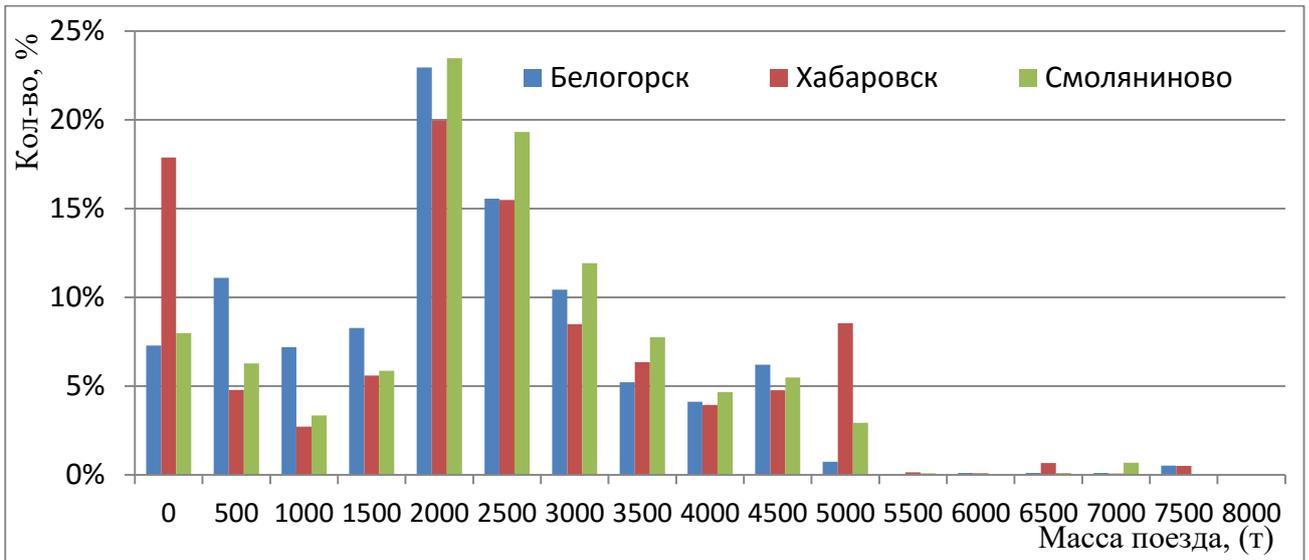
***в** – ВЛ80р депо Боготол*



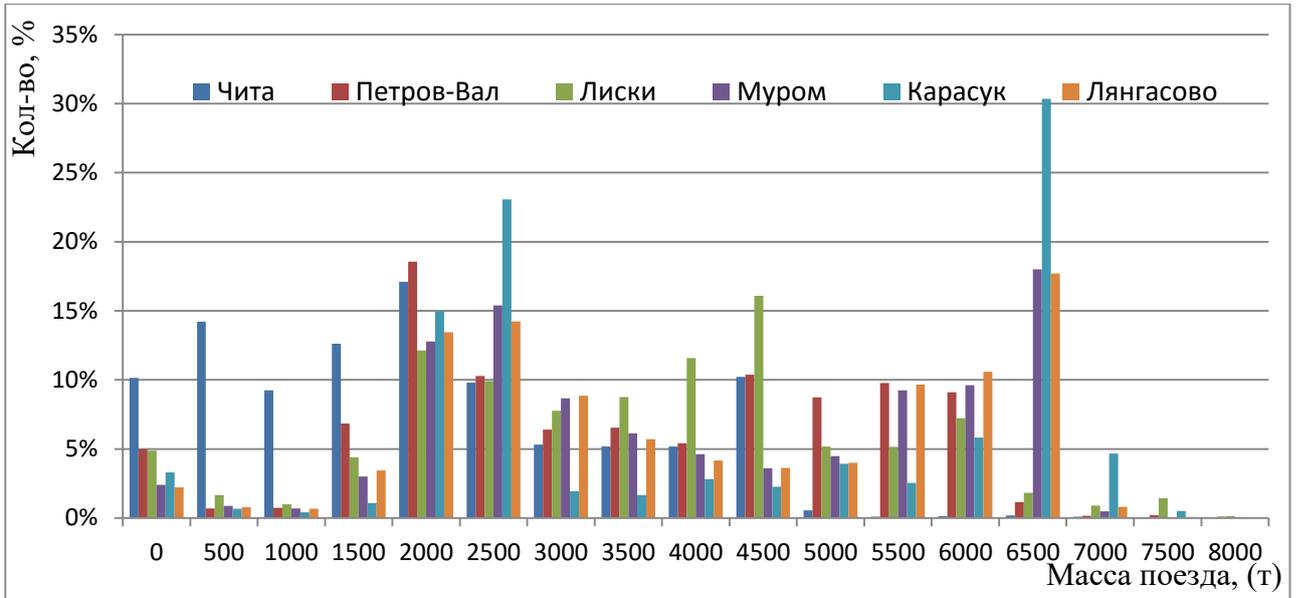
$z - 4ЭС5К$



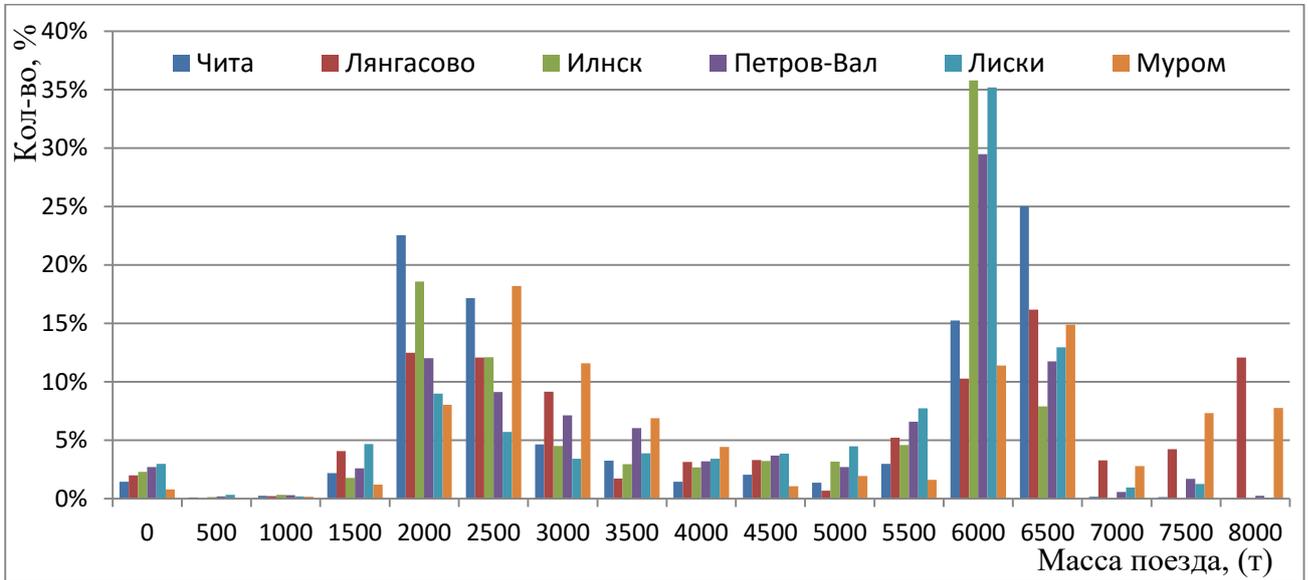
$\partial - 3ЭС5К$



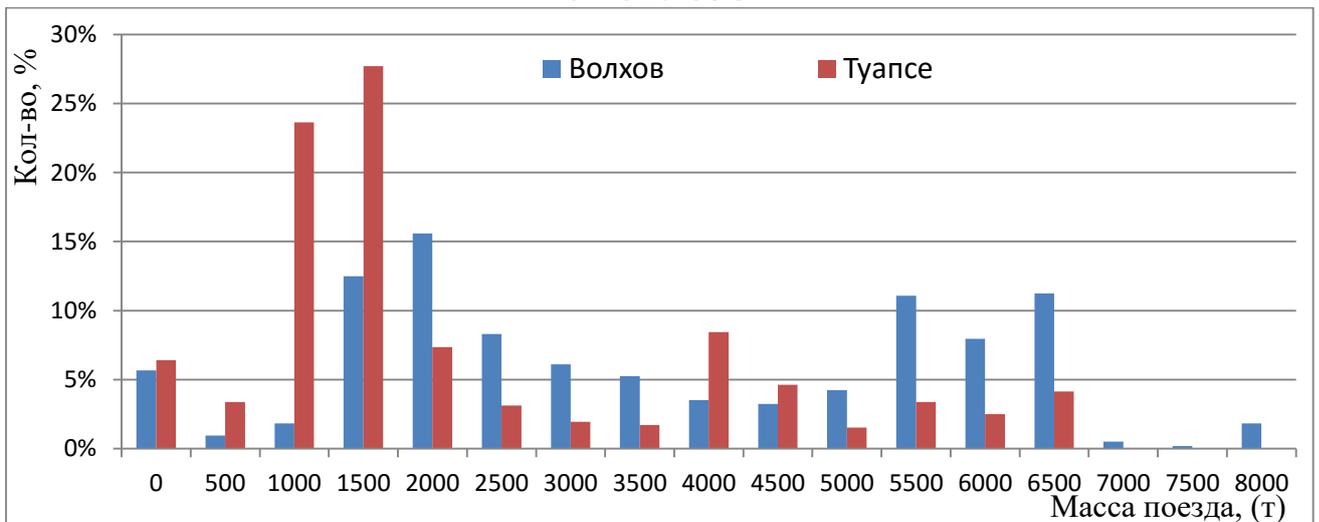
$e - 2ЭС5К$



ж – ВЛ80С



з – 3ВЛ80С



и – 2ЭС4К

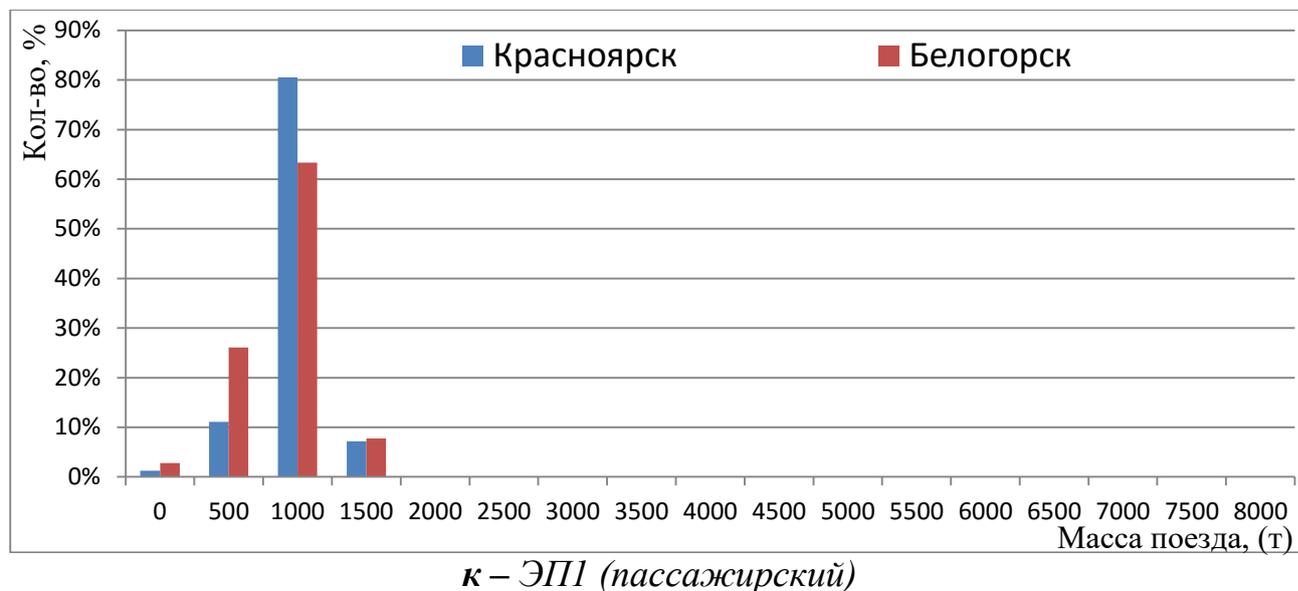


Рисунок 3.5 – Распределение массы поездов для электровозов

В теории локомотивной тяги принято оценивать параметры надёжности локомотивов как функцию их пробега. Например, число отказов на 1 млн.км. Такой подход корректен, если работа A , выполняемая локомотивом, одинакова на протяжении всего пробега локомотива. Рассчитать полезную работу локомотива можно с использованием формулы:

$$A = F_T \cdot S = (ma + W) \cdot S, \quad (3.11)$$

Где F_T – сила тяги локомотива;

S – путь, пройденный локомотивом (пробег);

m – масса поезда;

a – ускорение поезда;

W – полное сопротивление движению поезда, включая дополнительное сопротивление от подъёмов, кривых и др.

Если локомотив эксплуатируется на одном полигоне, то можно считать сопротивление движению поезда типовым для всех локомотивов. Но отсутствие унимодальности массы поезда требует проверку допустимости использования пробега в качестве критерия работы локомотива. В «докомпьютерный» этап развития теории надёжности локомотивов другой подход был затруднён. Отметим, что анализ ресурса локомотива по работе, а не по пробегу, в частности, принят компанией GE.

Практическое использование формулы 3.11 крайне затруднено. Проще работу электровоза A определить через произведение напряжения контактной

сети U_{KC} на потребляемый ток I_{KC} или через произведение напряжения на тяговых электродвигателях двигателях $U_{ТЭД}$ на ток $I_{ТЭД}$:

$$A = U_{KC} \cdot I_{KC} \cdot \Delta T; \quad (3.12)$$

$$A = \sum U_{ТЭД} \cdot I_{ТЭД} \cdot \Delta T. \quad (3.13)$$

Такой подход возможен при использовании данных бортовых аппаратно-программных комплексов или по данным таксировки маршрутов машинистов в информационной системе ЦОММ [43], но не возможен при использовании данных АСОУП.

По данным АСОУП можно посчитать полезную работу A в размерности т·км брутто, определяемой по формуле:

$$A = L \cdot M, \quad (3.14)$$

где L – пробег локомотива в км за очередной период АСОУП

M – масса поезда в тоннах для того же события АСОУП.

Для анализа также выбраны показатели удельная работа A_{yT} на 1 мин. работы и удельная работа A_{yL} на 1 км пробега:

$$A_{yT} = A / T; \quad (3.15)$$

$$A_{yL} = A / L, \quad (3.16)$$

где T – общее рабочее время локомотива за рассматриваемый период, мин;

L – общий рабочий пробег локомотива за рассматриваемый период, км.

Выполненный корреляционный анализ показал, что коэффициент корреляции между пробегом и тонно-километровой работой составляет $R= 0,866$ (см.таблицу 3.5а). Таким образом, переход от учёта работы от пробега (км) к тонно-километровой работе не даст ощутимого эффекта при существенном усложнении технологии.

ВЫВОД: учёт работы электровозов следует продолжать вести по пробегу.

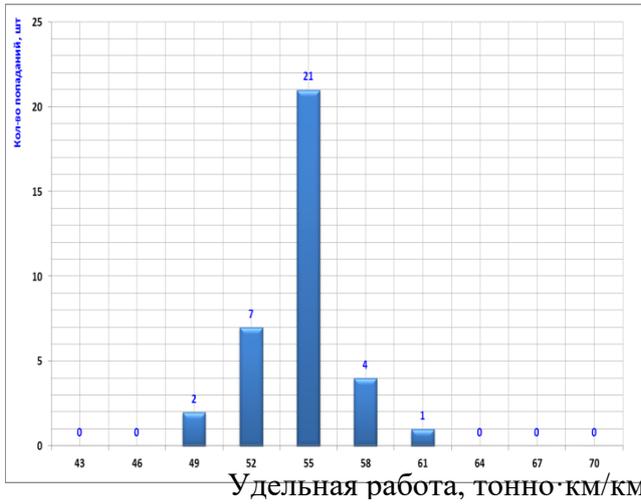
3.2.4 Закономерность полученных результатов

Сделанные в предыдущем разделе выводы благодаря большой выборке исходных данных и последовательной их обработке следует считать высоко достоверными. Однако для их использования применительно ко всем локомотивам этого мало: надо проверить их подчинение одному из законов распределения случайной величины, чтобы избежать эффекта «Средней температуры по больнице» [204].

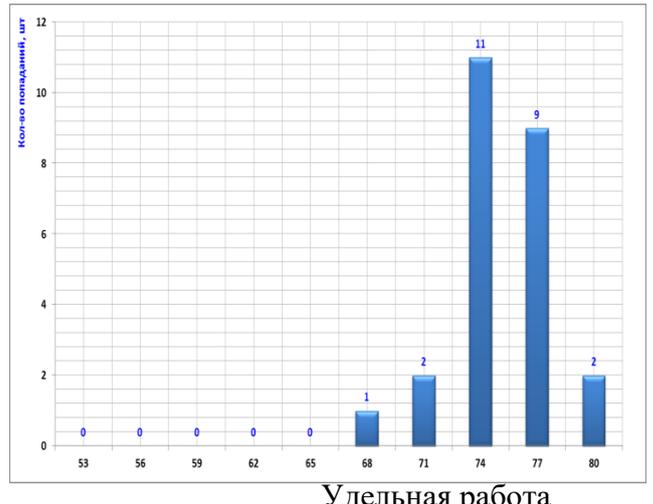
Анализ исходных данных на их соответствие нормальному закону распределения по критерию Пирсона показал, что при выборе для анализа одной серии одного полигона исходные данные соответствуют нормальному закону распределения случайной величины. На рисунках 3.6 – 3.8 показаны примеры распределений эксплуатационных параметров. В скобках указана фактическая вероятность соответствия P_{ϕ} , которая определялась как обратная задача: для рассчитанного χ^2 определялась вероятность P_{ϕ} , при которой выполняется условие $\chi^2 \leq \chi^2_{\text{ТЕОР}}$.

При рассмотрении выборок укрупненных групп (все электровозы одной серии, все серии электровозов одного депо или полигона) соответствия законам распределения нет.

ВЫВОД: статистически корректно для анализа выбирать одну серию электровозов одного полигона эксплуатации или даже одного депо приписки.



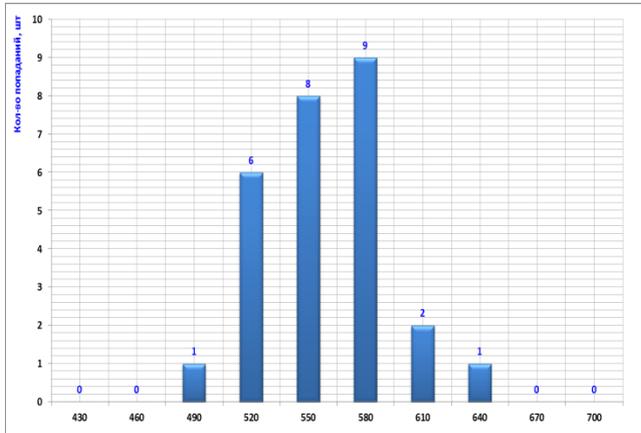
a – 3ВЛ80р ($P_{\Phi} = 0,7$)



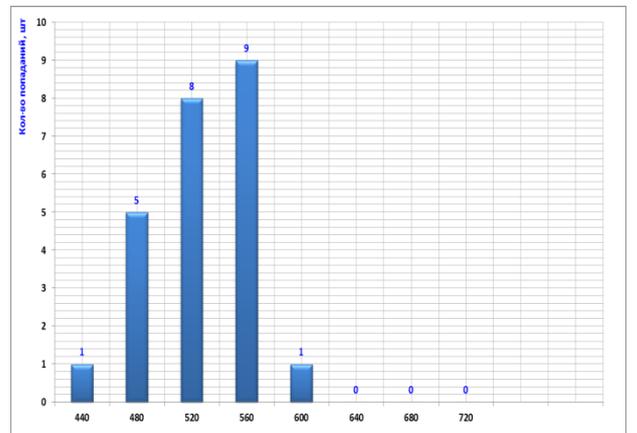
б – ВЛ80р ($P_{\Phi} = 0,95$)

Рисунок 3.6 – Удельная работа ВЛ80р

(в скобках указана вероятность соответствия нормальному закону)

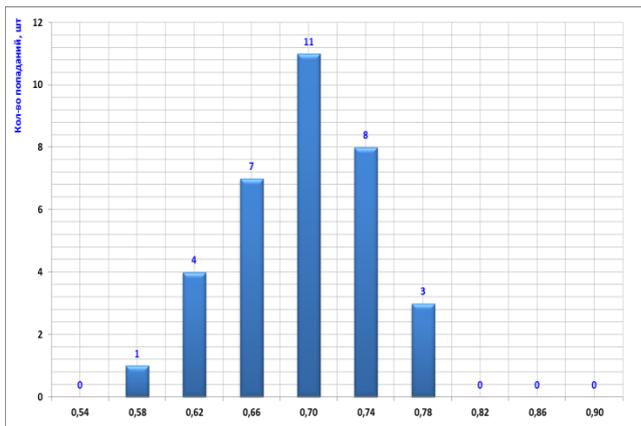


a – 3ВЛ80р ($P_{\Phi} = 0,95$)

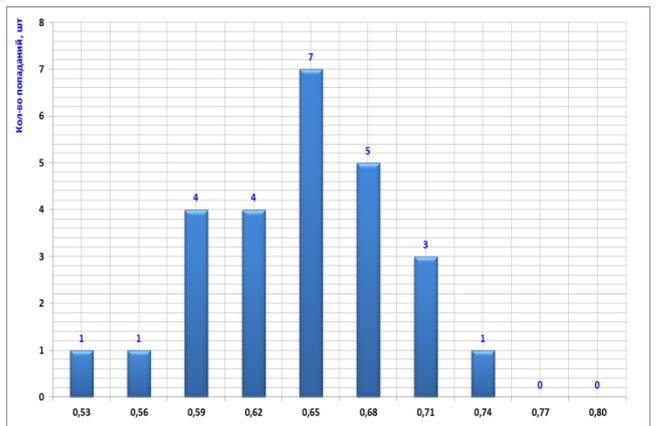


б – ВЛ80р ($P_{\Phi} = 0,90$)

Рисунок 3.7 – Среднесуточный пробег ВЛ80р



a – 3ВЛ80р ($P_{\Phi} = 0,98$)



б – ВЛ80р ($P_{\Phi} = 0,95$)

Рисунок 3.8 – Коэффициент готовности ВЛ80р

3.2.5 Коэффициент технической готовности

В современных условиях сервисного обслуживания локомотивов основным показателем эффективности ТООР является надёжность локомотива, комплексная оценка которой регламентируется для сервисных компаний через показатель «Коэффициент технической готовности» - КТГ, который рассчитывается по формуле [50]:

$$КТГ_{nф} = T_{рсп} / (T_{рсп} + T_{отп} + T_{плп} + T_{аиз}), \quad (3.17)$$

где:

$T_{рсп}$ - суммарное время пребывания секции локомотива n-ой серий в работоспособном состоянии (в состояниях, относящихся к типу «Исправное» в рассматриваемом периоде эксплуатации).

$T_{отп}$ - суммарное время пребывания секции локомотива в неработоспособном состоянии в связи с Гарантийным ремонтом (в состояниях, относящихся к типу «Гарантийный ремонт»).

$T_{плп}$ - суммарное время пребывания секции локомотива в неработоспособном состоянии в связи с Обслуживанием (в состояниях, относящихся к типу «Обслуживание»).

$T_{аиз}$ - суммарное время ожидания Сервисного обслуживания и иных административных издержек, которое зависит только от действий Исполнителя (в состояниях, относящихся к типу «Административные издержки»).

Учитывая выводы, полученные в разделах 3.2.3 - 3.2.4 диссертации, анализ КТГ выполнен применительно к конкретным сериям конкретных депо.

Основные состояния, оказывающие отрицательное влияние на КТГ, приведены в таблице 3.7

Для каждой серии конкретного депо устанавливается свой норматив КТГ. Средние значения КТГ по каждой серии показаны на рисунке 3.9.

Проанализировав 27 различных групп данных локомотив – депо, удалось выделить 6 основных состояний, которые составляют 80 % всего влияния на КТГ (рисунок 3.10).

Таблица 3.7 – Основные состояния потерь КТГ и их расшифровка

№	Сокращение	Код в АСОУП	Описание
1	ОЖ.ТО2	106	Простой на станционных или деповских путях в ожидании технического обслуживания ТО-2
2	ОЖ.ПЕР.РЕМ	535	Ожидание передачи в ремонтное предприятие для проведения ТО и ТР, модернизации
3	ТО-2	107	Техническое обслуживание ТО-2, ТО-2 и экипировка совмещенные
4	ОЖ.НЕП.РЕМ	532	Ожидание передачи в ремонтное предприятие для проведения непланового ремонта
5	ТР-1	305	В процессе текущего ремонта ТР-1
6	НЕПЛ.РЕМ.	308	В процессе непланового ремонта
7	ОЖ.ОТПР.НР	543	В ожидании отправки в неплановый ремонт
8	ТР1+ТО4	309	В процессе текущего ремонта ТР-1 совмещенном с ТО-4
9	ТР-3	303	В процессе текущего ремонта ТР-3
10	ТР-2	304	В процессе текущего ремонта ТР-2
11	РЕКЛАМАЦИЯ	801	Неплановый ремонт по рекламации к ремонту или модернизации на заводе
12	ОЖ.РЕМ.СЕК	647	Простой отдельных секций или локомотивов системы, которым не требуется ремонт и у которых другие секции или локомотивы в ремонте
13	ТО-5В	529	В процессе ТО-5в – подготовка к эксплуатации после постройки, ремонта на заводе или другом депо, передислокации в недействующем состоянии
14	ТО-4	307	В процессе технического обслуживания ТО-4
15	ОЖ.ОТПР.ДР	528	В ожидании отправки в деповской ремонт, модернизацию между плановыми ремонтами (в условиях депо)
16	ЭКИПИРОВКА	108	Экипировка
17	ТО-3	306	В процессе технического обслуживания ТО-3
18	ТР2+ТО4	310	В процессе текущего ремонта ТР-2 совмещенном с ТО-4
19	ОЖ.ЭКИПИР.	121	Простой на станционных или деповских путях в ожидании экипировки
20	ТО-5Б	522	В процессе ТО-5б – подготовка локомотива в депо к отправке в недействующем состоянии
21	ТО-5Г(КОНС)	530	ТО-5г (РТ) – подготовка к эксплуатации после изъятия из технологического резерва Дирекции тяги (РТ)
22	ТО3+ТО4	312	В процессе технического обслуживания ТО-3 совмещенном с ТО-4
23	ПЕР.НС ДР	525	В процессе перемещения в недействующем состоянии в деповской ремонт, модернизацию в условиях депо
24	РЕКЛАМ.ТЧР	800	В процессе ТО-5б – подготовка локомотива в депо к отправке в недействующем состоянии
25	ТО-5а(КОНС)	541	В процессе ТО-5а (КОНС)- подготовка локомотива для постановки на консервацию

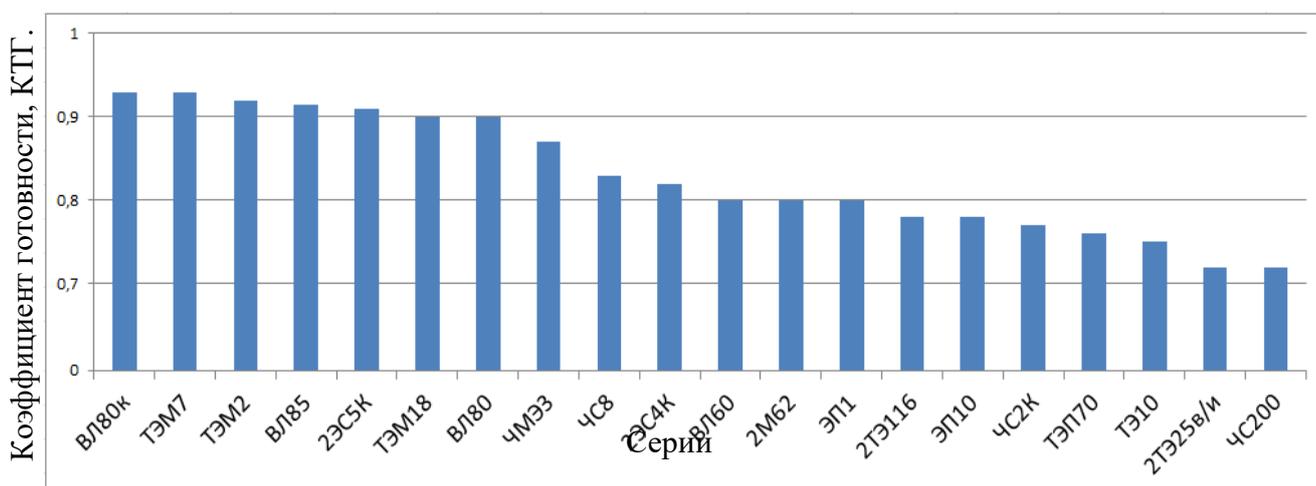


Рисунок 3.9 – Коэффициент готовности локомотивов

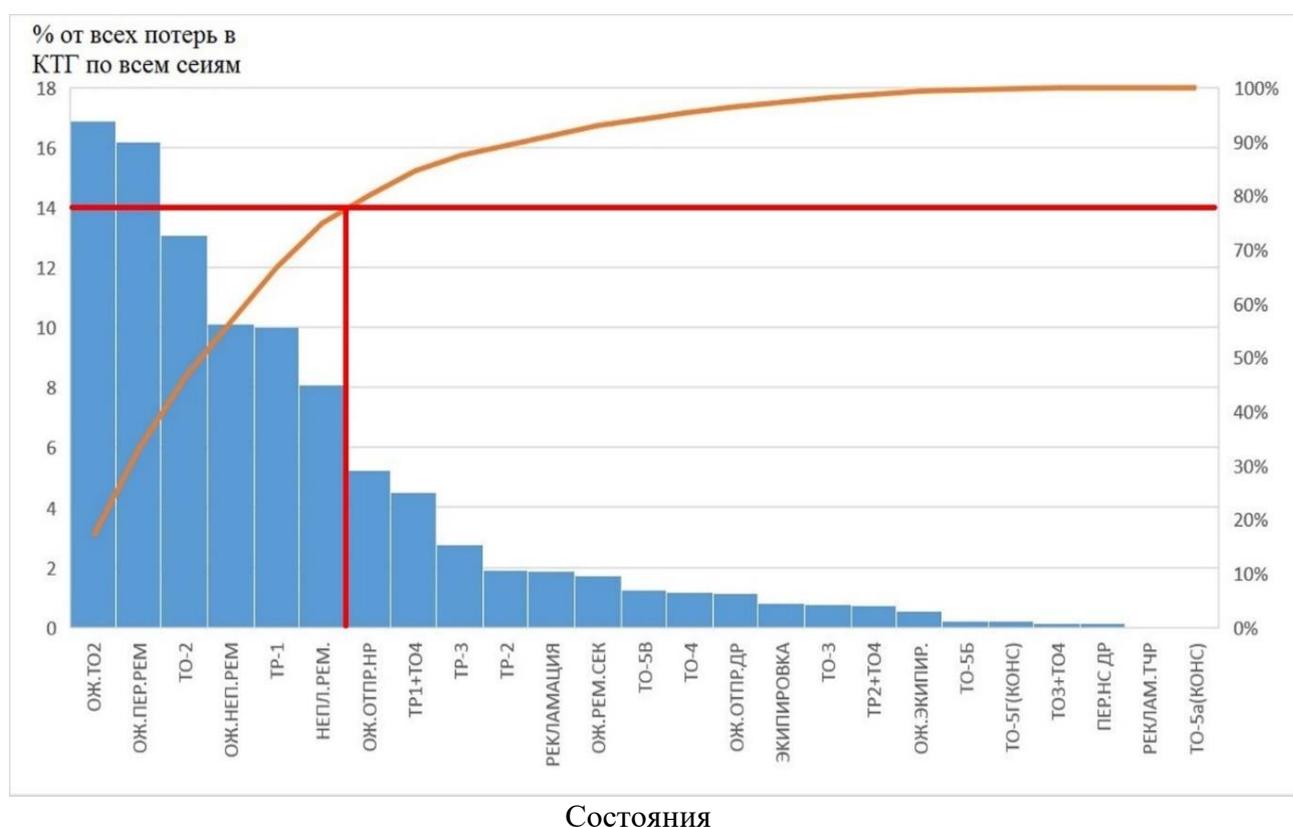
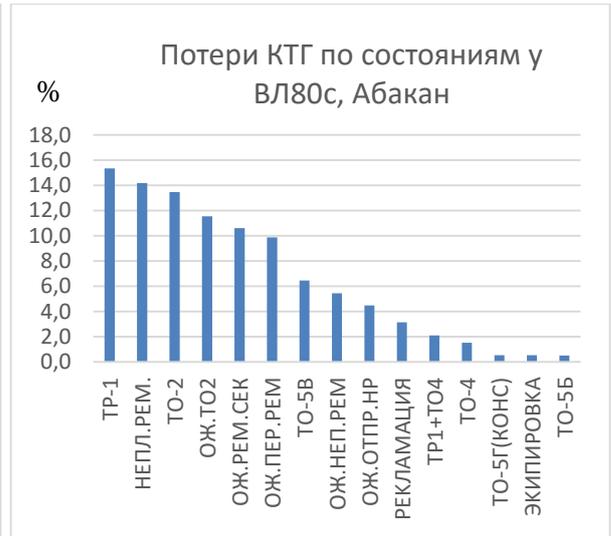
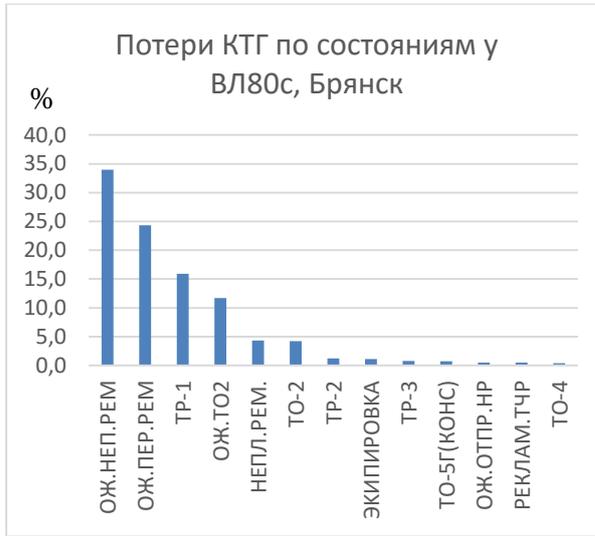
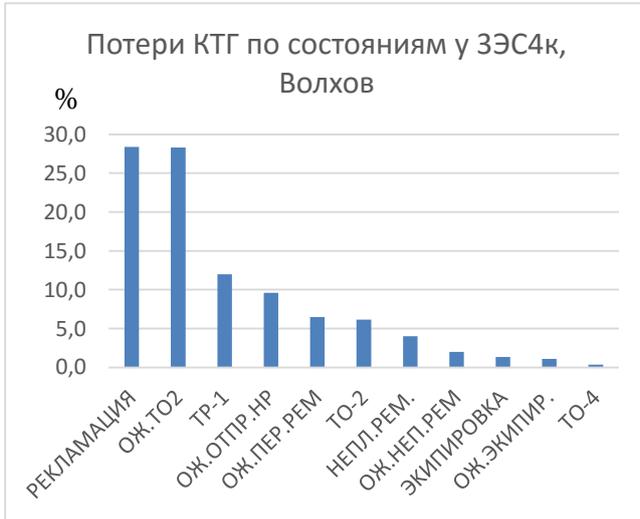


Рисунок 3.10 – Диаграмма Парето влияния на потери КТГ

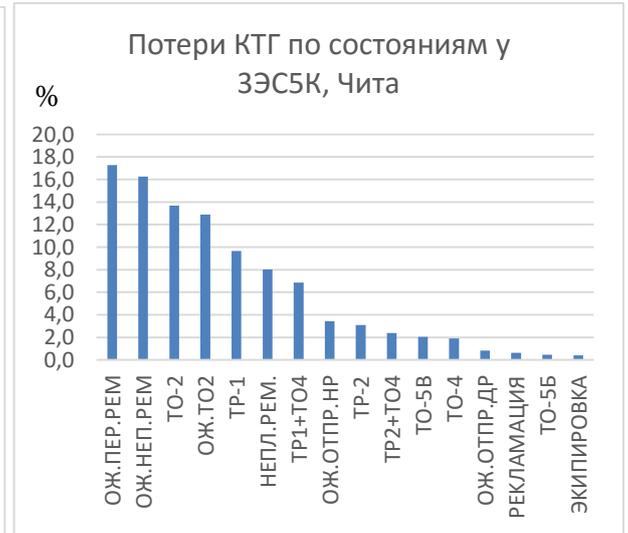
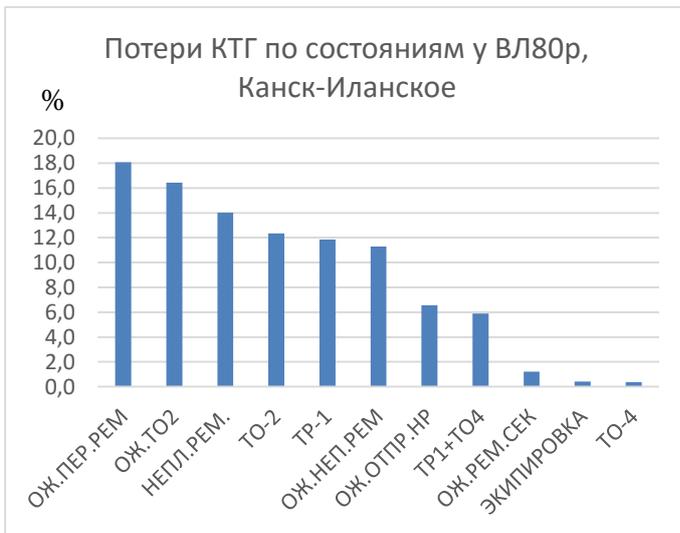
На рисунке 3.11 параметры, отрицательно влияющие на КТГ, приведены применительно к конкретным сериям для конкретных депо (рисунок 3.11): 2ЭС5 в Хабаровске, Братске и Смоленинове; ВЛ85 в Нижнеудинске; 3ЭС5к в Хабаровске и Смоленинове; ВЛ80р в Боготоле; ВЛ80с в Карасуке, Канск-Иланском, Муроме, Лисках, Буй, Петров Вал, Лянгасово и в Чите; ЭП1 в Белогорске и Красноярске; 2ЭС4к в Туапсе и Волхове.



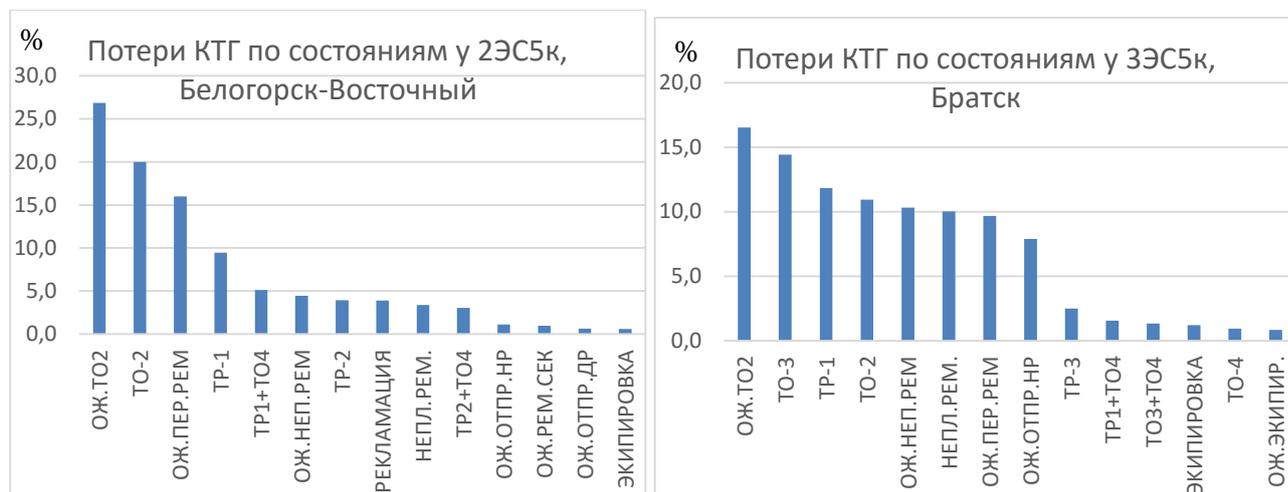
а – ВЛ80с, Брянск и Абакан



б – ЗЭС4к, Волхов и ЭП1, Саратов



в – ВЛ80р, Канск-Иланская, ЗЭС5к, Чита



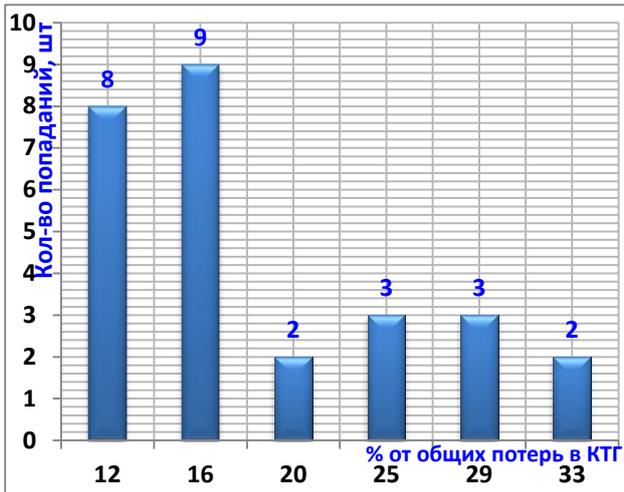
г–2ЭС5к Белогорск-Восточный и 3ЭС5к, Братск

Рисунок 3.11 – Гистограммы потерь КТГ для различных серий и депо

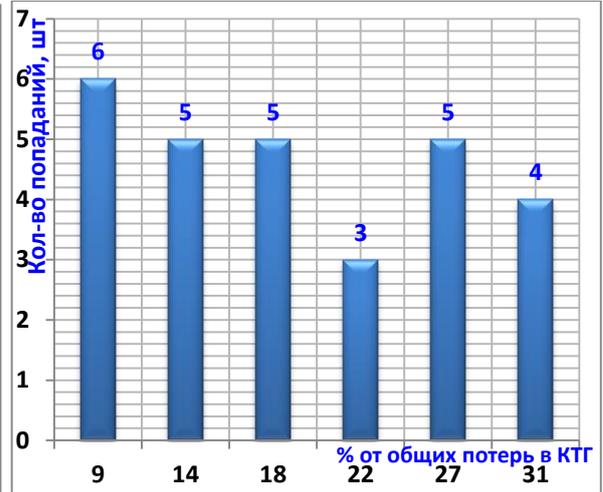
На рисунке 3.12 приведены распределения по видам потерь, где по оси абсцисс отложен процент влияния на потери КТГ, а по оси ординат – число случаев.

ВЫВОДЫ:

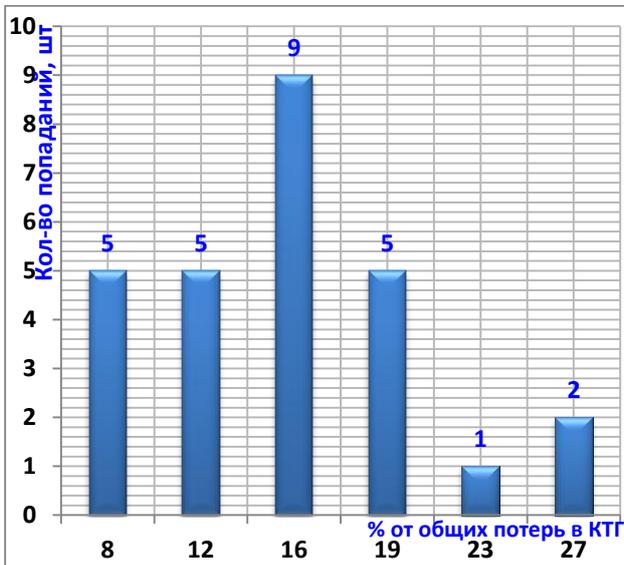
- данные АСОУП позволяют выполнять мониторинг эффективности эксплуатации локомотивов;
- коэффициент технической готовности (КТГ) не столько характеризует надёжность локомотива, сколько эффективность логистики сервисной компании;
- достоверными следует считать выборки данных по каждой серии локомотивов отдельно по каждому депо отдельно или, в отдельных случаях, по полигону.



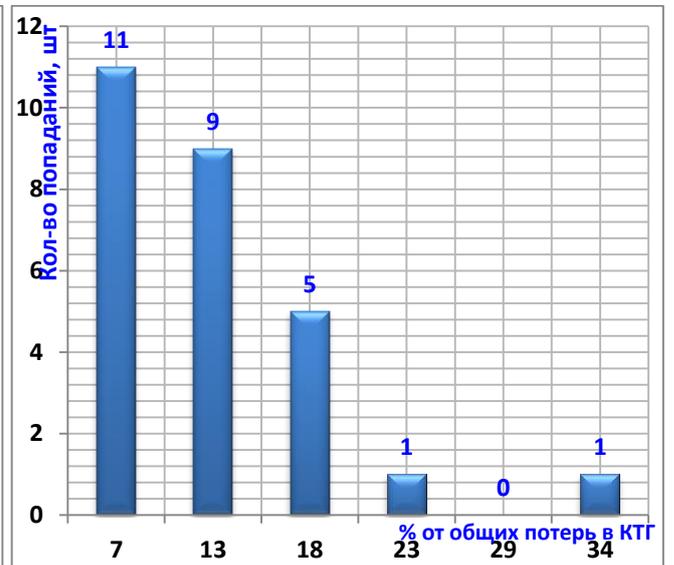
а – Ожидание ТО-2



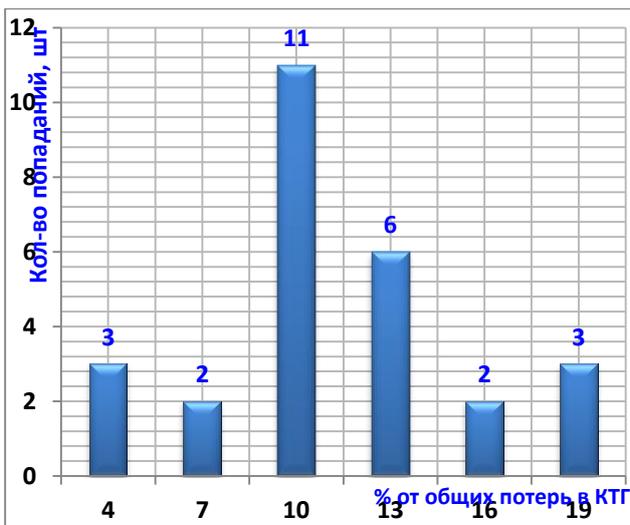
б – Ожидание перемещения в ремонт



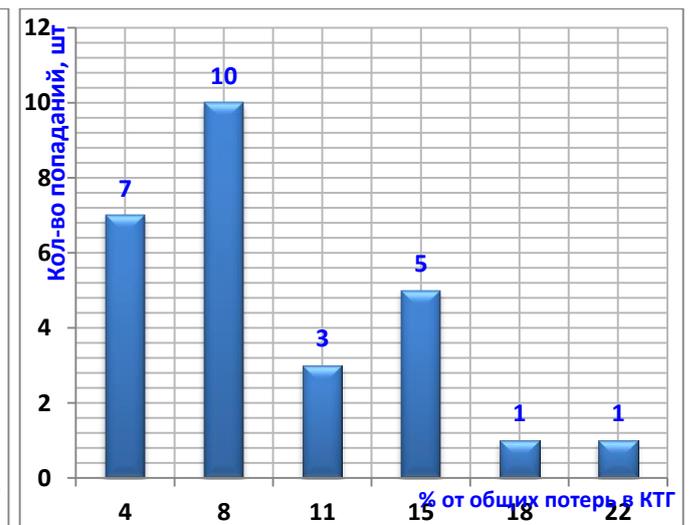
в – ТО-2



г – Ожидание НР



д – TP-1



е - НР

Рисунок 3.12 – Гистограммы распределения по видам потерь

3.2.6 Логический контроль ошибок исходных данных

Анализ показал наличие ошибок в АСОУП, выявление которых необходимо при Мониторинге. Типичными из них являются:

1. **Недопустимые суточные пробеги:** сбои в системе учёта пробегов могут приводить к появлению заведомо невозможных данных. Например, пробегов от ТР-1 в миллион и более км. Причина появления артефакта – сбои в работе АСОУП.
2. **Некорректная смена кодов состояний:** ручной ввод кодов состояний может приводить к субъективным ошибкам и даже заведомо некорректным действиям операторов (например, для искусственного повышения показателей эксплуатации локомотивов). Логический контроль последовательности кодов состояний позволяет выявлять такие случаи. Например, подвязка локомотива под поезд после следования в ремонт.
3. **Недопустимое время приемки и сдачи локомотивов:** наряду с мониторингом логики смены состояний необходим анализ допустимости времени нахождения локомотива в том или ином состоянии. Например, недопустимо длительная (несколько часов) приёмка или сдача локомотива. Другой типичный пример - заход в депо на ремонт на несколько минут. Логический контроль затруднён, но возможен через анализ реальности времени событий. Например, выполнение ТР за 15 минут невозможно, смена бригады в течение нескольких часов тоже является ошибкой.
4. **Неправильная приписка локомотива:** возникает обычно при смене депо приписки. Логический контроль: сравнение с другими базами данных, где приписка локомотива является критичной, например – АСУ интегрированной обработки маршрутов машиниста (ЦОММ, ИОММ и др.).
5. **Неправильная секционность локомотива:** возникает при формировании новой секционности. Например, при формировании трёх секционных ВЛ80с, четырёх секционных 2ЭС4К и др.

3.2.7 Нарушения режимов эксплуатации

Анализ данных АСОУП показал, что по ним можно не только контролировать эксплуатационные показатели локомотивов, но и выявлять нарушения режимов эксплуатации, которые, к сожалению, имеют место и приводят к снижению надёжности локомотивов. Основными видами нарушений, выявляемых по данным АСОУП, являются:

1. **Перепробег локомотива:** достоверно фиксируется по данным АСОУП при наличии норм пробега от каждого вида ТОиР: ТО-2, ТО-3, ТР-1 и др.
2. **Превышение весовой нормы поезда** увеличивает пропускную способность участков железных дорог, что и является причиной завышения массы поезда. Это приводит к перегрузке привода локомотива, перегреву тяговых электродвигателей (ТЭД) с последующим пробоем изоляции. Также зафиксированы случаи повышенного боксования, приводящие к срезу шестерни тягового редуктора КМБ.
3. **Пониженная скорость на руководящем подъёме.** Следование по руководящему подъёму со скоростью ниже заданной также приводит к перегреву ТЭД с последующим пробоем изоляции [79, 105]. АСОУП не контролирует скорость локомотива, но её можно вычислить, зная длину перегона, время проследования станций до и после руководящего подъёма. При этом основным источником об этом нарушении следует считать приборы безопасности локомотивов с GPS/ГЛОНАСС-навигатором.
4. **Остановка на станции перед руководящим подъёмом** с высокой вероятностью приводит к нарушению скоростного режима, что приводит к описанным в п.2 опасным событиям.
5. **Нарушение правил формирования поезда** может приводить к вредной продольной динамике. В АСОУП имеется натурный лист поезда, по которому можно проверить, правильно ли сформирован поезд, в т.ч. порядок чередования порожних и гружённых вагонов.

Примечание: дополнительные алгоритмы контроля соблюдения режимов эксплуатации и алгоритмы защиты от нарушений приведены в разделе 4.

3.2.8 Выводы

1. Объём репрезентативной выборки исследования позволяет считать полученные данные и сделанные выводы достоверными и необходимыми для использования в модели Мониторинга.
2. Данные АСОУП в целом по всем локомотивам являются мультимодальными, поэтому их использование ограничено
3. Данные АСОУП применительно к одной серии одного депо (в отдельных случаях – одного полигона) подчиняются нормальному закону распределения случайной величины, поэтому их можно считать достоверными и пригодными для использования в системе Мониторинга.
4. На коэффициент технической готовности (КТГ) основное влияние оказывают логистические факторы: время ожидания ТО-2, время ожидания плановых и неплановых видов ремонта и др. Таким образом, КТГ не является достаточно объективным показателем технического состояния локомотивов (надёжности).
5. Работа и пробег электровозов одной серии и одного депо приписки имеют высокий коэффициент корреляции. Таким образом, мониторинг эксплуатации локомотивов по пробегу является допустимым.
6. Анализ выявил ошибки данных АСУЖТ, поэтому при мониторинге необходимо контролировать данные на их корректность.
7. В модели Мониторинга следует использовать следующие данные АСОУП: пробег поезда, КТГ, масса поезда, номер поезда (для определения направления движения), простой в депо и в других состояниях, дислокация.
8. В модели Мониторинга следует использовать следующие нечёткие множества, сформированные по данным АСОУП: допустимая масса поезда, полновесный поезд, неполновесный поезд, тяжеловесный поезд, длинносоставный поезд, перепробег локомотива, перепростой локомотива на ТОиР или НР, надёжный/ненадёжный локомотив, завышенная масса поезда, интенсивная эксплуатация локомотива, высокий/низкий КТГ, перепробег по каждому виду ТОиР, перепробег по каждому виду ТОиР, высокий/низкий перепробег по каждому виду ТОиР.

3.3 ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ МОНИТОРИНГА ЭКСПЛУАТАЦИИ

3.3.1 ЦУТР и ЦМ

Для управления тяговыми ресурсами (локомотивные бригады и тяговый подвижной состав) при центральной дирекции управления движением поездов созданы Центры управления тяговыми ресурсами (ЦУТР) - по одному на каждый полигон. Основная задача ЦУТР – обеспечение перевозочного процесса тяговыми ресурсами. Вторая функция – управление техническим обслуживанием и ремонтом (ТОиР) локомотивов. Именно поэтому при ЦУТР сервисная компания ООО «ТМХ-Сервис» создала отделы мониторинга эксплуатации локомотивов – т.н. Центры Мониторинга (ЦМ), цель которых совместно с ЦУТР управлять постановкой локомотивов на ремонт.

В связи с большим объемом информации ЦМ не могут самостоятельно охватить весь объем работы по планированию ТОиР. Поэтому в сервисных локомотивных депо дополнительно созданы производственно-диспетчерские отделы (ПДО), задачей которых является обеспечение производственного блока своевременной постановкой локомотивов на ремонт. В основе работы ЦМ и ПДО лежит мониторинг эксплуатации локомотивов. В связи с этим выполнен анализ функциональности этих подразделений в части использования мониторинга.

Разработки автора легли в основу программного обеспечения, которое было разработано для мониторинга эксплуатации локомотивов под общим названием «Модуль мониторинга эксплуатации локомотивов (ММ). Далее описана следующая функциональность ММ, предложенная автором диссертации:

- мониторинг эксплуатационных показателей (ММ1);
- оперативное (сутки, трое суток, декада) планирование постановки локомотивов на ремонт (ММ2);
- прогнозное (7 лет, год, квартал, месяц) планирование постановки локомотивов на ремонт (ММ3);
- управление восстановлением работоспособности локомотивов при их отказе на линии (ММ4);
- контроль выдачи локомотивов из СЛД с ТОиР или НР (ММ5);
- геоинформационные системы мониторинга (ММ6).

3.3.2 Мониторинг эксплуатационных показателей (ММ1)

Первая очевидная функция мониторинга эксплуатации локомотивов - это мониторинг эксплуатационных показателей, рассмотренных в предыдущих разделах, для чего реализуется следующая функциональность:

- сбор, сохранение и обработка первичной информации из АСОУП;
- сопровождение нормативно-справочной информации (НСИ), связанной с эксплуатацией, техническим обслуживанием и ремонтом локомотивов;
- расчёт и анализ суточных и среднесуточных пробегов локомотивов, аналогично анализу, выполненному согласно п.3.1.
- расчёт и анализ влияния на снижение составляющих коэффициента технической готовности (КТГ) за различные периоды времени, аналогично анализу, выполненному в разделе 3.6;
- факторный анализ влияния параметров эксплуатации на надежность локомотивов, аналогично анализу, выполненному в разделе 3.3.

3.3.3 Оперативное планирование (ММ2)

Оперативное планирование ТОиР позволяет формировать график постановки локомотивов на ремонт для всех видов ремонтов на ближайшие трое суток и даже на декаду для каждого сервисного депо. Предлагаемый алгоритм автоматического формирования оперативного плана состоит из следующих последовательных действий (рисунок 3.13):

- из общего числа локомотивов для каждой серии и депо выбираются обрабатываемые по рассматриваемому полигону;
- формируется приоритетный список кандидатов на ремонт в соответствии с пробегом в километрах или часах в зависимости от вида движения;
- дополнительным фактором является наличие предотказных состояний и нарушений режимов эксплуатации, определяемым по данным АПК, АСУЖТ и АСТД;
- в первую очередь на ремонт планируются локомотивы, имеющие межремонтный пробег, превышающий нормативный межремонтный пробег от требуемого вида ремонта более 10 %;

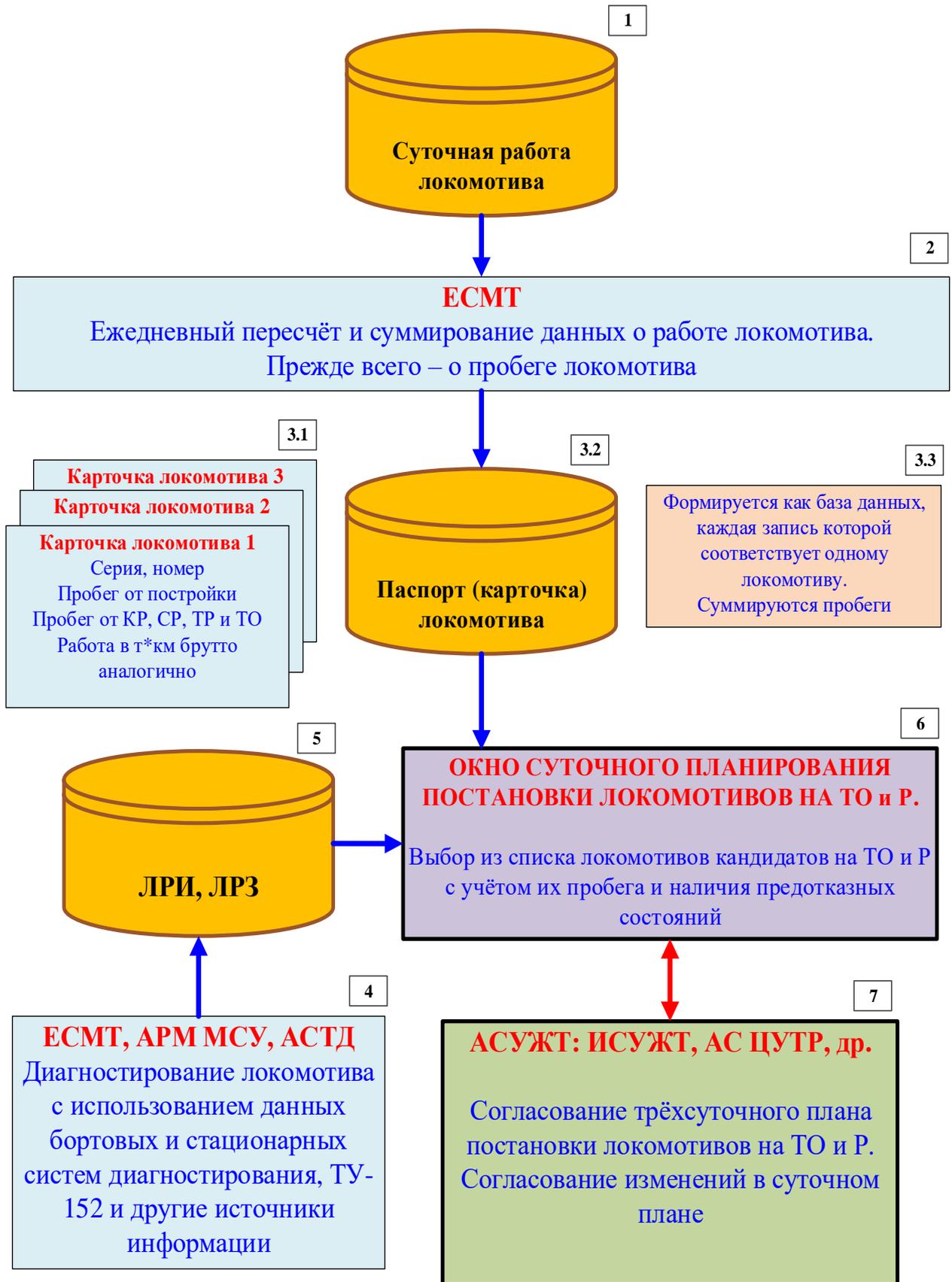


Рисунок 3.13 – Оперативное планирование постановки локомотива на ТОиР

- чем больше перепробег, тем более высокую позицию занимает локомотив в приоритетном списке. При одинаковом перепробеге (то есть отличающейся не более чем на 200 км), приоритет получает локомотив, имеющий предотказные состояния и/или нарушения режимов эксплуатации;
- во второй приоритет попадают локомотивы, имеющие пробег, равный нормативному межремонтному или превышающий нормативный межремонтный пробег на 10 %;
- в третий приоритет попадают локомотивы, имеющие пробег до 10 % с аналогичным учётом наличия инцидентов;
- при полигонной системе после формирования приоритетного списка определяется депо предыдущего ремонта локомотива;
- если в выбранном депо нет свободных ремонтных позиций для выполнения ремонта соответствующего объёма, выбирается другое подходящее СЛД;
- после выстраивания очерёдности и распределения секций по депо, создаётся таблица установленного образца «Оперативный план постановки».

3.3.4 Прогнозное планирование (ММЗ)

Прогнозирование постановки на плановое обслуживание необходимо для формирования декадных, месячных, квартальных, годовых и долгосрочных планов для управления ресурсами (инфраструктура депо, инструмент, трудовые ресурсы, материально-техническое снабжение и др.). Для прогнозирования постановки локомотива на плановые ТОиР используется статистика среднесуточных пробегов локомотивов и их простоев в депо на различных видах ТОиР и НР за последние 12 месяцев. Для прогнозирования постановки локомотива на плановые ТОиР на месяц используется среднесуточный пробег локомотива за последний месяц (рисунок 3.14).

Расчёт среднесуточного пробега локомотива (S_{cp}) за последние 12 месяцев происходит ежемесячно с нарастающим итогом, по следующей формуле:

$$S_{cp} = \frac{\sum S_{сут}}{\sum t_{дней}}, \quad (3.18)$$



Рисунок 3.14 – Прогнозирование ТОиР

где:

$\sum S_{\text{сут}}$ – сумма суточных пробега секции за последние 12 месяцев для годового среднесуточного пробега и Сумма суточных пробега за последний месяц для месячного среднесуточного пробега.

$\sum t_{\text{дней}}$ – число календарных дней за последние 12 месяцев, начиная с даты поступления информации, кроме дней, когда локомотив полные сутки (с 18:01 по 18:00) провёл в неэксплуатируемом парке или за последний месяц, в зависимости от типа производимого расчёта (месячный/годовой).

Дата захода локомотива на ТОиР определяется следующим образом:

- определяется число дней ($n_{\text{дней}}$), через которое наступит ожидаемый вид ремонта:

$$n_{\text{дней}} = \frac{(S_{\text{тр}} - S_{\text{от тр}})}{S_{\text{ср}}}, \quad (3.19)$$

где: $S_{\text{тр}}$ - нормативный межремонтный пробег;

$S_{\text{от тр}}$ - текущий пробег от последнего ТО и Р;

$S_{\text{ср}}$ - среднесуточный пробег секции.

- прибавляется число дней ($n_{\text{дней}}$) к дате, от которой производили расчёт и определяется дата следующего ТОиР. Дробное число $n_{\text{дней}}$ округляется в большую сторону;
- число прошедших дней от даты последнего ТОиР и даты расчётного ТОиР сравнивается с нормой времени периодичности технического обслуживания и ремонта (см. Приложение 3), в зависимости от того, что наступит ранее, и окончательно определяется планируемая дата захода на плановое обслуживание;
- при достижении расчётного межремонтного пробега сразу по нескольким видам ремонта (+10 %) приоритет на постановку имеет ремонт большего объема;
- после проведения ТОиР пробег от этого ремонта и ремонтов, включающих в себя, обнуляется и при необходимости дальнейшего прогнозирования, дальнейший расчёт производится по следующей формуле:

$$n_{\text{дней}} = \frac{S_{\text{тр}}}{S_{\text{ср}}}. \quad (3.20)$$

3.3.5 Контроль выдачи локомотивов (ММ4)

Важный элемент мониторинга – контроль выдачи локомотива с ТОиР или НР. Согласно нормативному времени выдачи локомотива и времени его захода в депо, формируется ожидаемое время выхода локомотива из СЛД, которое сравнивается с фактическим временем выхода (рисунок 3.15).

По рекомендациям ВЭЛНИИ (г. Новочеркасск) расчётное время выдачи локомотива определяется, как среднеквадратичное значение простоя

относительно накопленной статистики по каждому виду ремонта, для каждой серии по депо. Среднеквадратичные значения рассчитываются по следующей формуле:

$$S = \sqrt{\frac{a_1^2 + a_2^2 + \dots + a_n^2}{n}} \quad (3.21)$$

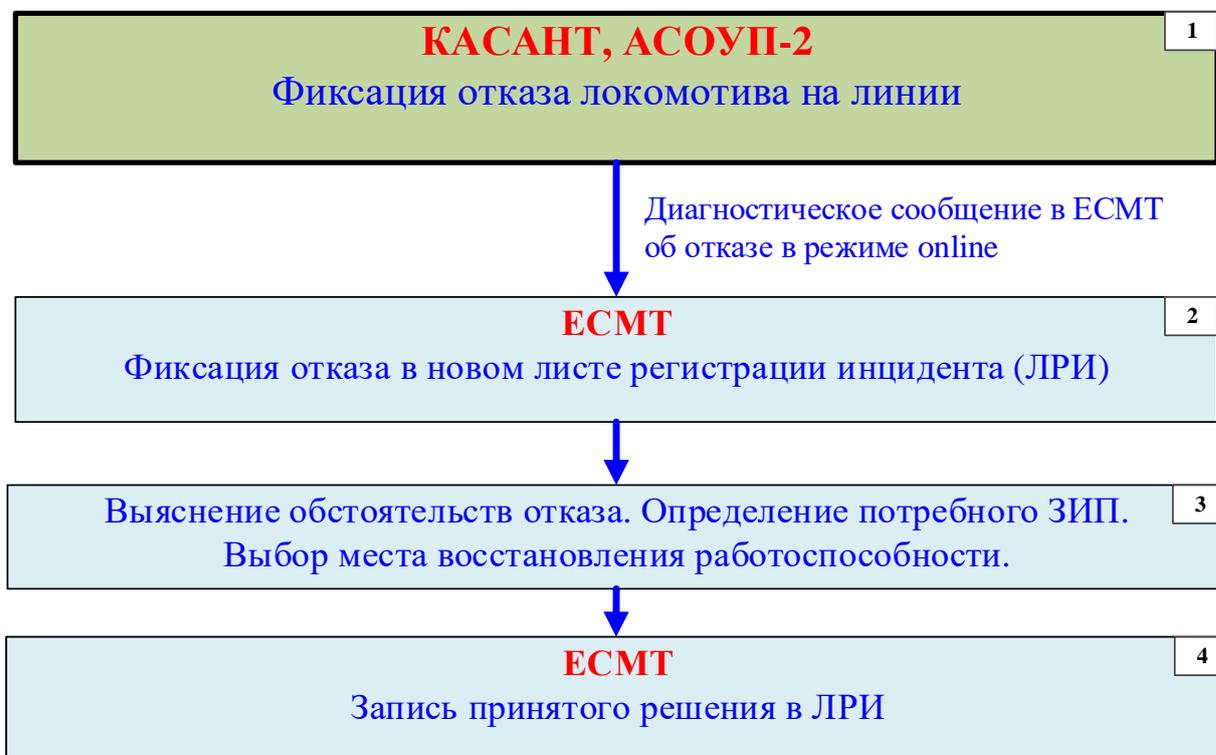


Рисунок 3.15 – Контроль выдачи локомотива с НР, ТО и Р

Для ТО-2, ТО-3 информация по простоям выбирается за последние 6 месяцев. Для ТР1 информация по простоям берётся за последние 1,5 года. Для ремонтов ТР-2, ТР-3, СР, КР - за последние 4 года. Определяется принадлежность среднеквадратичного значения к нормальному закону распределения значений. Если среднеквадратичное значение оказалось не унимодальным, то следует поменять правила формирования выборки.

3.3.6 Восстановление работоспособности локомотивов (ММ5)

Управление восстановлением работоспособности локомотивов после их отказа на линии и возникновении непланового ремонта (НР) происходит согласно алгоритму по рисунку 3.16.



Неисправные локомотивы на
интерактивной карте

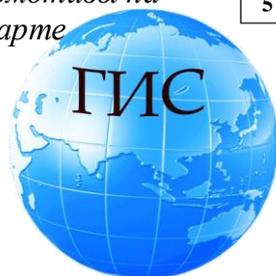


Рисунок 3.16 – Общий принцип управления восстановлением работоспособности после отказа на линии (неплановые ремонты)

После регистрации неисправного локомотива определяется ближайшее СЛД, подходящее для устранения непланового ремонта. При выборе оптимального СЛД для проведения непланового ремонта учитывается наличие запасных частей, свободных канав и других ресурсов. После определения оптимального СЛД дирекция тяги и сервисное локомотивное депо подтверждают и согласовывают проведение НР по выбранной схеме.

4 АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНОСТИ ДАННЫХ АПК

В разделе выполнен статистический анализ данных МСУЭ электровозов ВЛ80р. Определен порядок использования данных АПК в системе Мониторинга. Предложены алгоритмические защиты.

4.1 МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1.1 Глубина диагностирования

Основными параметрами объекта диагностирования являются его входы $x \in X$ и выходы $y \in Y$ (рисунок 4.1) [116, 130]. К входным сигналам локомотива следует отнести управляющие воздействия, поступающие с контроллера машиниста, пульта машиниста, а в новых локомотивах – бортового управляющего компьютера. Входными сигналами являются и сигналы датчиков: скорости, тока, температуры и др. Главным выходным параметром является тяга, которая определяется мощностью локомотива, силой тяги и скоростью. Сила тяги на локомотивах напрямую не измеряется и контролируется по токам тяговых электродвигателей (ТЭД). Минимальный набор диагностических сигналов локомотивов - это совокупность сигналов управления, датчиков тока ТЭД и скорости локомотива, которые фиксируются в АПК.

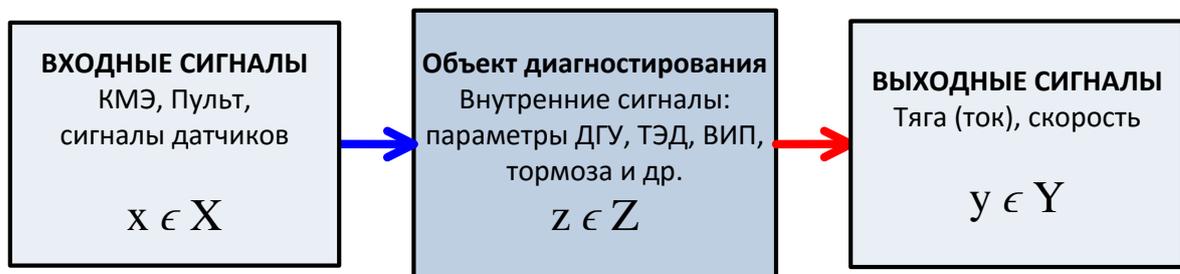


Рисунок 4.1 – Локомотив как объект диагностирования

Современные АПК представляют собой конечные автоматы (Мура и Миля) [67], реализующие функцию преобразования входных сигналов в выходные с учетом предыдущего внутреннего состояния:

$$Y(t+1) = H(t, X(t), Y(t), Z(t)), \quad (4.1)$$

где $Y(t+1)$, $Y(t)$ – множество выходных сигналов на момент окончания вычислений $t+1$ и перед ними в момент времени t ;

– $X(t)$ – множество входных сигналов на момент начала вычислений t ;

– $Z(t)$ – множество внутренних сигналов на момент начала вычислений t ;

- H – оператор перехода АПК как конечного автомата от текущего состояния в момент времени t к состоянию в момент времени $t+1$.

Таким образом, зная оператор перехода H работоспособного локомотива и контролируя входные X и выходные Y параметры локомотива всегда можно проверить правильность его функционирования – соответствия преобразования оператору перехода. Проверка работоспособности предполагает полную проверку всех предусмотренных преобразований оператора H . Основных диагностических параметров теоретически достаточно, чтобы определить работоспособность локомотива. Если же пользоваться данными бортовых АПК по результатам поездки, то следует говорить о проверке правильности функционирования, т.к. локомотив за время поездки мог и не входить в те или иные режимы, тем более использовать все защиты от аварийных режимов. Например, не работать в рекуперации, не применять защиты от короткого замыкания, превышений скорости, тока и др.

Для проверки исправности локомотива требуется существенно больше датчиков для измерения внутренних параметров $z \in Z$:

$$Z(t+1) = H(t, X(t), Y(t), Z(t)). \quad (4.2)$$

Фактически для проверки работоспособности каждого агрегата или узла локомотива надо контролировать его входные и выходные параметры. Если контролировать и работоспособность узлов, то число датчиков будет увеличиваться в геометрической прогрессии и стремиться к бесконечности. Таким образом, задачу проверки исправности локомотива можно считать теоретически нерешаемой: должен существовать компромисс между глубиной поиска и эффективностью диагностирования.

ВЫВОД: АПК позволяют проверять правильность функционирования локомотива, которая при увеличении времени работы (и наблюдения) трансформируется в проверку работоспособности локомотива, т.к. со временем локомотив побывает во всех возможных режимах работы. При этом основные диагностические сигналы не позволяют проверять исправность локомотива. Увеличение числа датчиков внутреннего состояния узлов и агрегатов локомотива повышают глубину диагностирования, но не решают в целом задачу проверки исправности.

4.1.2 Принцип максимальной функциональности

Цель исследования - разработать систему мониторинга с максимальным использованием диагностических возможностей уже существующих бортовых АПК локомотивов. Для анализа возможной диагностической функциональности в диссертации будут проанализированы диагностические данные АПК согласно алгоритму по рисунку 4.2.

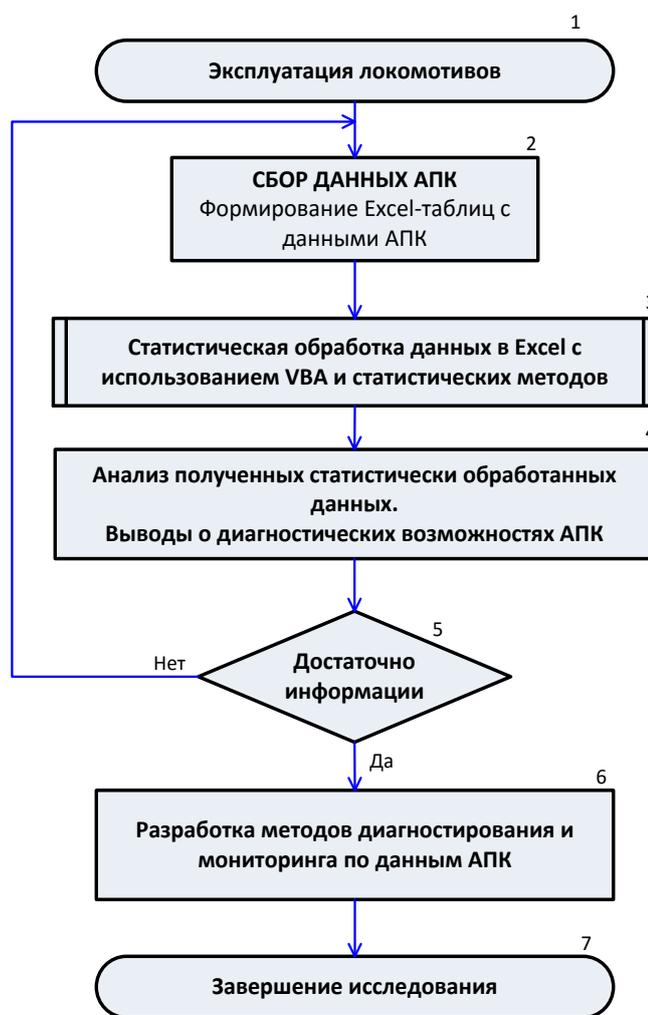


Рисунок 4.2 – Алгоритм анализа данных АПК

При обработке данных в разделе 4 использован статистический подход, аналогичный использованному в разделе 3 (см.п.3.1): достоверность данных проверяется по критерию Пирсона подчинения одному из законов распределения случайной величины. При обработке данных проанализированы следующие показатели: токи ТЭД, скорость движения локомотива, типичные технические режимы эксплуатации, другие доступные параметры. В разделе 1.5 диссертации показано, что все АПК имеют общую структуру построения. Поэтому в работе выполнен анализ диагностических возможностей только МСУЭ ВЛ80р.

4.1.3 Особенности электровозов переменного тока с ВИП

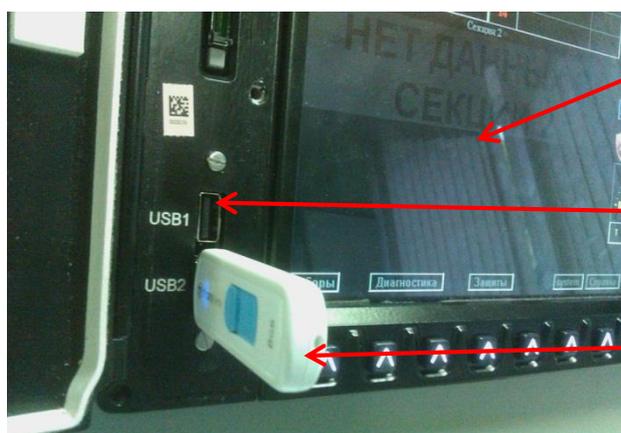
Основу современного парка электровозов переменного тока составляют электровозы с типовой четырёх-зонной системой управления на базе выпрямительно-инверторного преобразователя [104, 195] (ВИП): ВЛ80р, ВЛ85, ВЛ65, ЭП1, ЭП1М, 2ЭС5К, Э5К, 3ЭС5К, 4ЭС5К. Поэтому анализ выполнен на примере одной серии этого семейства электровозов – ВЛ80р, модернизированных АПК типа МСУЭ. Полученные в результате исследований данные являются типичными и для других электровозов переменного тока с ВИП.

Серия электровозов ВЛ80р появилась в конце 70-х и является первой серией электровозов переменного, где вместо диодного моста и группового электромеханического переключателя позиций управления применен реализованный на тиристорах ВИП [104, 149]. При этом принцип работы является общим для всего семейства электровозов с ВИП: эти серии электровозов имеют электронную систему управления, состоящую из ВИП и электронных (в настоящее время – микропроцессорных) систем управления – аппаратно-программных комплексов (АПК). В приводе используются двигатели постоянного тока, каждые два из которых (одна тележка) питаются от одного ВИП. Каждый ВИП имеет восемь плеч, которые согласно алгоритму четырёх зонного управления подключают секции вторичных обмоток трансформатора. В тяге ВИП работает как управляемый выпрямитель, а в рекуперации - как зависимый инвертор [195]. В рекуперации также используются выпрямительные установки возбуждения (ВУВ). Управление работой ВИП и ВУВ осуществляется машинистом с контроллера машиниста (КМЭ), сигналы с которого поступают на вход АПК (БУВИП, МСУД, МСУЭ или др.) [112, 148].

Примечание: серия ВЛ80р была выбрана для анализа из-за доступности данных МСУЭ, которыми в 2011 году были заменены БУВИП-133: автор диссертации принимал участие в испытаниях МСУЭ в сервисном локомотивном депо Боготол-Сибирский (г. Боготол) Красноярской ж.д., в разработке автоматизированного рабочего места (АРМ) расшифровки данных МСУЭ (АРМ МСУЭ), разработке и испытании алгоритмических защит.

4.1.4 Сбор данных

Данные МСУЭ были считаны с локомотивов в сервисном локомотивном депо (СЛД) «Боготол-Сибирский» филиала «Восточно-Сибирский» ООО «ТМХ-Сервис» силами групп диагностики и специалистов ДЦВ Красноярской ж.д. (руководитель к.т.н. В.В.Семченко) с использованием переносных накопителей информации (рисунок 4.3) [146, 147].



Блок индикации МСУЭ с накопителем информации в кабине машиниста

Разъёмы USB для внешних накопителей информации

Переносной flash-накопитель

Рисунок 4.3 – Считывание данных с МСУЭ с использованием flash-накопителя

Данные собраны по 61-у локомотиву серии ВЛ80р и экспортированы в таблицы Excel (таблица 4.1). По каждому локомотиву создана своя таблица данных, содержащая максимально допустимое для Excel число строк данных (каждая строка – одна запись с данными от всех датчиков): 1048576 записей при размере файла в 217 Мб (245 после статистической обработки). Периодичность записи данных: 700 записей в минуту. Каждый файл содержит $1048576 / (700 \cdot 60) = 25$ часов поездки. При этом каждая запись содержит до двух астрономических недель работы локомотива. Таким образом, общее обработанное время работы локомотивов $61 \cdot 25 / 24 = 1525$ часов, что составляет более 635 астрономических суток работы локомотива. Такой объем обработанных данных позволяет констатировать высокую достоверность полученных результатов.

При анализе использованы следующие данные МСУЭ: токи каждого из восьми тяговых электродвигателей двигателей (ТЭД), скорость движения локомотива и заданный режим управления (основные диагностические показатели), а также углы открытия тиристорov ВП (дополнительные диагностические сигналы). Данные обрабатывались отдельно для режима тяги и режима рекуперативного торможения.

Таблица 4.1 – Пример исходных данных МСУЭ (каждая строка – один замер)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
timestamp	timefraction	w	wv	bmode	bpros1	bpros2	bpros3	uierrors	bsec
07.05.2015 17:34	10	478	0	1	2	0	0	0	1
07.05.2015 17:34	110	478	0	1	2	0	0	0	1
07.05.2015 17:34	211	498	0	1	2	0	0	0	1

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
uivoltage	btemperature	blinkfail	bwindow	lz	ivz	i1	i2	i3	i4
0	0	22	2	110	0	400	397	375	391
0	0	22	2	114	0	425	423	400	417
0	0	22	2	117	0	451	449	427	444

21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
i5	i6	i7	i8	i9	i10	i11	i12	if	iv
415	400	420	408	-1	-1	-1	-1	375	0
445	431	451	439	-1	-1	-1	-1	400	0
465	452	472	462	-1	-1	-1	-1	427	0

31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
ai	aiv	vz	dpc1	dpc2	dpc3	dpc4	dpc5	dpc6	dpc7	dpc8	dpc9	dpc10	dpc11	dpc12
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1

46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
vf	av	a0	az	ap	ar	bt	vuvr	idta	fversion	gps_lat	gps_lon	gps_elv	gps_speed
0	0	9	16	20	130	135	0	0	124	0	0	0	0
0	0	9	16	20	130	135	0	0	124	0	0	0	0
0	0	9	16	21	128	135	0	0	124	0	0	0	0

4.1.5 Обработка данных

Для статистической обработки каждого из файлов с данными МСУЭ использовалась специально разработанная автором программа, реализованная на алгоритмическом языке программирования VBA (Visual Basic for Application), используемая как макрос в Excel. В среднем расчёт по каждому локомотиву занимал 7-8 минут на типовом персональном компьютере. Для сокращения времени расчёта программа была оптимизирована: все расчёты производились с использованием специально создаваемых массивов при минимальном обмене данными с таблицами Excel.

Исходные данные по каждому локомотиву (1 048 576 строк) располагались на одном листе Excel. Результаты статистической обработки данных фиксировались на отдельных листах того же файла Excel: «Тяга» - для тягового режима и «Рек.» - для рекуперативного. Затем каждый из этих листов вручную копировался в другой общий для всех электровозов файл Excel “Results”: соответственно в файле Results было создано 61·2 (тяга и рекуперация) = 122 листа с данными расчёта. Для проверки наличия закономерностей данные по 61 локомотиву обработаны как единое целое, после чего сделаны выводы (рисунок 4.4). В таблицах 4.2 – 4.7 приведены результаты обработки данных. В последующих разделах выполнен анализ полученных данных.

Таблица 4.2 – Распределение режимов работы локомотивов ВЛ80р

ВСЕГО НАБЛЮДЕНИЙ	63 638 037	100 %
ТЯГА	34 657 208	54 %
РЕКУПЕРАЦИЯ	7 588 450	12 %
ВЫБЕГ	21 392 379	34 %

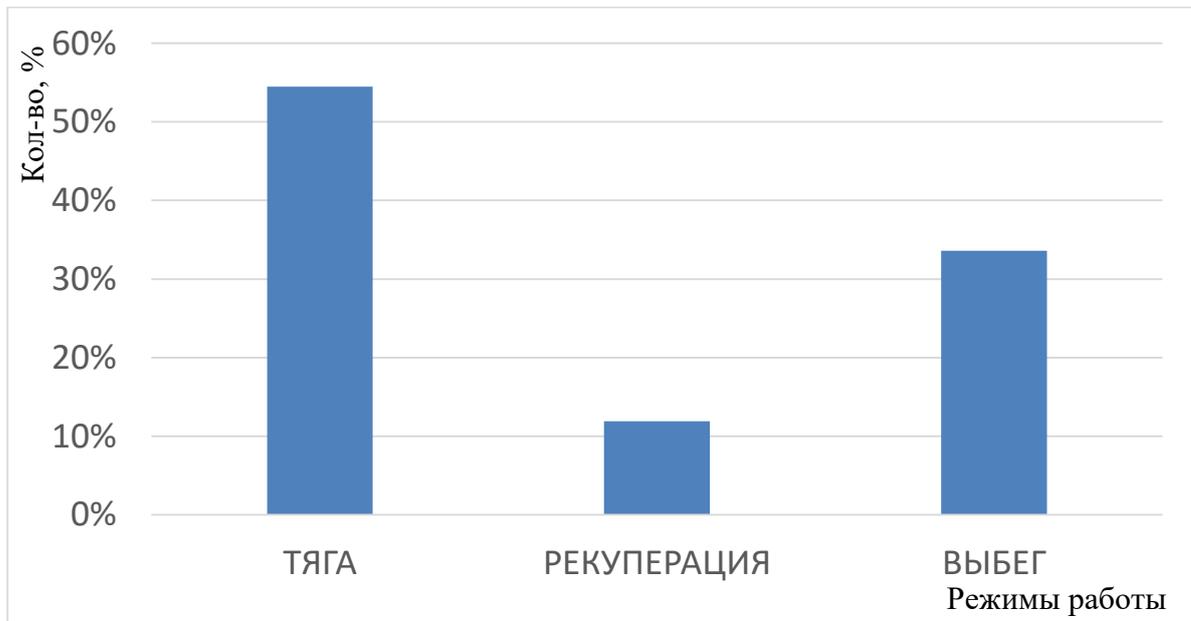


Рисунок 4.4 – Гистограмма режимов работы ВЛ80р

Таблица 4.3 – Распределение токов ТЭД ВЛ80р по данным МСУЭ (по 61-у локомотиву за 3 месяца эксплуатации), А

Тяга	0	<100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000	1000-1100	1100-1200	1200-1300
I1	41 %	2 %	7 %	10 %	11 %	10 %	7,57 %	5,28 %	4,05 %	1,82 %	0,22 %	0,010 %	0,003 %	
I2	41 %	2 %	7 %	10 %	11 %	10 %	7,76 %	5,31 %	3,89 %	1,59 %	0,24 %	0,020 %	0,002 %	
I3	40 %	2 %	7 %	10 %	11 %	10 %	7,75 %	5,36 %	4,09 %	2,06 %	0,53 %	0,064 %	0,006 %	0,0012 %
I4	39 %	2 %	7 %	10 %	12 %	10 %	7,41 %	4,53 %	3,06 %	2,28 %	1,61 %	0,374 %	0,048 %	0,0012 %
I5	40 %	2 %	7 %	10 %	11 %	10 %	7,07 %	4,36 %	3,09 %	2,35 %	1,34 %	0,334 %	0,041 %	
I6	41 %	2 %	7 %	10 %	12 %	10 %	7,45 %	5,12 %	3,80 %	1,73 %	0,26 %	0,018 %	0,003 %	
I7	41 %	2 %	7 %	10 %	11 %	10 %	7,56 %	5,15 %	4,17 %	1,72 %	0,21 %	0,035 %	0,002 %	
I8	41 %	2 %	7 %	10 %	12 %	10 %	7,43 %	5,11 %	3,73 %	1,52 %	0,12 %	0,006 %	0,002 %	
Iср	40 %	2 %	7 %	10 %	11 %	10 %	7,50 %	5,03 %	3,74 %	1,88 %	0,57 %	0,108 %	0,013 %	
ΔI	71 %	21 %	5 %	1 %	0,45 %	0,35 %	0,21 %	0,13 %	0,09 %	0,02 %	0,01 %			

Рек.	0	<100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000	1000-1100	1100-1200
I1	12 %	16 %	16 %	15 %	14 %	12 %	8,2 %	4,1 %	2,2 %	0,7 %	0,10 %	0,01 %	0,00 %
I2	11 %	16 %	15 %	14 %	14 %	12 %	9,3 %	5,2 %	2,4 %	1,3 %	0,34 %	0,08 %	0,02 %
I3	16 %	17 %	15 %	13 %	13 %	11 %	7,9 %	3,9 %	1,7 %	1,1 %	0,26 %	0,03 %	0,01 %
I4	15 %	16 %	16 %	12 %	13 %	11 %	7,6 %	4,0 %	2,1 %	1,4 %	0,71 %	0,25 %	0,29 %
I5	16 %	17 %	15 %	14 %	13 %	10 %	7,2 %	3,4 %	1,8 %	1,2 %	0,72 %	0,23 %	0,14 %
I6	16 %	15 %	17 %	13 %	13 %	11 %	7,4 %	3,4 %	1,6 %	0,5 %	0,24 %	0,13 %	0,02 %
I7	15 %	17 %	16 %	13 %	13 %	11 %	7,7 %	3,5 %	1,9 %	0,9 %	0,22 %	0,10 %	0,03 %
I8	12 %	14 %	16 %	15 %	15 %	12 %	8,8 %	4,5 %	2,3 %	0,8 %	0,17 %	0,02 %	0,00 %
Iср	14 %	16 %	16 %	14 %	14 %	11 %	8,00 %	3,99 %	2,01 %	0,98 %	0,344 %	0,105 %	0,064 %
ΔI	28 %	40 %	21 %	6 %	2 %	1 %	0,40 %	0,28 %	0,17 %	0,07 %	0,02 %	0,0028 %	0,0005 %

Таблица 4.4 – Распределение скоростей движения ВЛ80р, км/ч

а - Тяга

0	<10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	>90
8,6 %	2,6 %	8,8 %	7,8 %	8,8 %	14,7 %	26,8 %	12,4 %	7,94 %	0,27 %	0,01 %

б - Рекуперация

0	<10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
4,3 %	1,4 %	3,5 %	3,7 %	7,0 %	13,5 %	40,2 %	14,6 %	11,40 %	0,24 %

Таблица 4.5 – Распределение углов регулирования ВИП, эл.град

ТЯГА	<10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100-110	110-120	120-130	130-140	140-150	150-160	160-170	170-180
Альфа нулевой	98 %	2 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Альфа задержанный	89 %	11 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Альфа регулируемый	0 %	0 %	0 %	0 %	3 %	6 %	9 %	9 %	9 %	8 %	10 %	10 %	8 %	22 %	0 %	3 %	0 %	0 %

РЕКУПЕРАЦИЯ	<10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100-110	110-120	120-130	130-140	140-150	150-160
Альфа регулируемый	0,001 %	0,00 %	0,37 %	0,35 %	2,7 %	6,5 %	9 %	9 %	9 %	8 %	10 %	10 %	8 %	22 %	0,237 %	3,30 %

Таблица 4.6 – Распределение мощности, кВт

	0	<100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000	>1000
Тяга	40 %	7 %	5 %	3,6 %	3,0 %	2,73 %	2,5 %	2,3 %	2,2 %	2,1 %	2,2 %	22,6 %
Рекуперация	0	23 %	10 %	9 %	8 %	6 %	5 %	5 %	4 %	4 %	4 %	22 %

Таблица 4.7 – Распределение токов по зонам с учётом нулевых токов, А

а – Тяга

№	0	<100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000	1000-1100	1100-1200
Зона 1	37 %	2 %	4 %	3 %	2 %	1 %	0,53 %	0,25 %	0,11 %	0,051 %	0,0236 %	0,0081 %	0,0016 %
Зона 2	0 %	0 %	3 %	3 %	2 %	1,11 %	0,68 %	0,41 %	0,23 %	0,153 %	0,0353 %	0,0039 %	0,0000 %
Зона 3	0 %	0 %	1 %	4 %	4 %	2,20 %	1,13 %	0,69 %	0,54 %	0,337 %	0,0932 %	0,0108 %	0,0000 %
Зона 4	1 %	0 %	0 %	1 %	4 %	6 %	5 %	3,50 %	2,78 %	1,73 %	0,1775 %	0,0044 %	0,0000 %

б – Рекуперация

№	0	<100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000	1000-1100	1100-1200
Зона 1	4 %	2 %	1 %	1 %	1 %	1 %	0,33 %	0,16 %	0,08 %	0,057 %	0,0351 %	0,0042 %	0,0003 %
Зона 2	2 %	1 %	1 %	2 %	2 %	0,98 %	0,51 %	0,29 %	0,22 %	0,199 %	0,1223 %	0,0267 %	0,0031 %
Зона 3	2 %	3 %	3 %	4 %	4 %	3,03 %	2,16 %	1,11 %	0,55 %	0,236 %	0,0543 %	0,0026 %	0,0004 %
Зона 4	2 %	10 %	13 %	8 %	8 %	7 %	5 %	1,93 %	0,79 %	0,45 %	0,0115 %	0,0016 %	0,0000 %

Таблица 4.8 – Распределение токов по зонам без учёта нулевых токов, А

а - Тяга

№	0	<100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000	1000-1100	1100-1200
Зона 1		3 %	6 %	4 %	3 %	2 %	0,88 %	0,42 %	0,18 %	0,081 %	0,0372 %	0,0129 %	0,0025 %
Зона 2		0 %	5 %	5 %	3 %	1,81 %	1,11 %	0,66 %	0,38 %	0,248 %	0,0574 %	0,0066 %	0,0000 %
Зона 3		0 %	1 %	6 %	6 %	3,54 %	1,83 %	1,10 %	0,86 %	0,544 %	0,1519 %	0,0174 %	0,0000 %
Зона 4		0 %	0 %	1 %	7 %	9 %	8 %	5,62 %	4,45 %	2,77 %	0,2854 %	0,0070 %	0,0001 %

б - Рекуперация

№	0	<100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000	1000-1100	1100-1200
Зона 1		2 %	1 %	1 %	1 %	1 %	0,40 %	0,20 %	0,09 %	0,071 %	0,0393 %	0,0045 %	0,0003 %
Зона 2		1 %	1 %	2 %	2 %	1,14 %	0,61 %	0,35 %	0,26 %	0,245 %	0,1528 %	0,0336 %	0,0040 %
Зона 3		3 %	3 %	5 %	5 %	3,32 %	2,37 %	1,24 %	0,63 %	0,279 %	0,0639 %	0,0028 %	0,0004 %
Зона 4		11 %	14 %	8 %	9 %	8 %	6 %	2,20 %	0,99 %	0,62 %	0,0137 %	0,0017 %	0,0000 %

Таблица 4.9 – Распределение токов по скоростям, А

а - Тяга

ТЯГА	0	<100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000	1000-1100	1100-1200
0	5 %	0 %	1 %	1 %	1 %	0 %	0,22 %	0,10 %	0,04 %	0,027 %	0,0145 %	0,0042 %	0,0016 %
до 10 км/ч	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0,11 %	0,07 %	0,04 %	0,019 %	0,0061 %	0,0023 %	0,0001 %
10 - 20 км/ч	4 %	0 %	1 %	1 %	1 %	1 %	0,40 %	0,23 %	0,15 %	0,119 %	0,0305 %	0,0032 %	
20 - 30 км/ч	4 %	0 %	1 %	1 %	1 %	1 %	0,46 %	0,35 %	0,23 %	0,128 %	0,0406 %	0,0068 %	
30 - 40 км/ч	4 %	0 %	1 %	1 %	1 %	1 %	0,54 %	0,39 %	0,37 %	0,285 %	0,0781 %	0,0081 %	
40 - 50 км/ч	5 %	0 %	1 %	1 %	1 %	1 %	0,89 %	1,20 %	1,94 %	1,407 %	0,1007 %	0,0023 %	
50 - 60 км/ч	8 %	1 %	2 %	3 %	3 %	4 %	4,01 %	2,26 %	0,80 %	0,227 %	0,0358 %	0,0001 %	
60 - 70 км/ч	5 %	0 %	1 %	1 %	2 %	3 %	0,58 %	0,17 %	0,09 %	0,045 %	0,0158 %	0,0002 %	
70 - 80 км/ч	2 %	0 %	1 %	1 %	2 %	0 %	0,15 %	0,08 %	0,02 %	0,016 %	0,0075 %	0,0000 %	
80 - 90 км/ч	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0,01 %	0,00 %	0,00 %	0,000 %	0,0000 %	0,0000 %	
ВСЕГО	38 %	3 %	8 %	10%	11 %	10 %	7 %	5 %	4 %	2,27 %	0,330 %	0,027 %	0,002 %

б - Рекуперация

Рекуперация	0	<100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000	1000-1100	1100-1200
0	2 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0,09	0,05	0,02 %	0,019%	0,014%	0,003%	0,0000 %
до 10 км/ч	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0,04%	0,02%	0,01 %	0,003%	0,000%	0,000%	0,0000 %
10 - 20 км/ч	1 %	1 %	0 %	0 %	1 %	0 %	0,1 %	0,08%	0,04 %	0,036%	0,020%	0,000%	0,0000 %
20 - 30 км/ч	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	0 %	0,22%	0,14%	0,09 %	0,053	0,009%	0,001%	0,0002 %
30 - 40 км/ч	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	0,37%	0,21%	0,09 %	0,068%	0,026%	0,003%	0,0000 %
40 - 50 км/ч	1 %	3 %	3 %	2 %	2 %	1 %	0,87	0,40%	0,24 %	0,361%	0,023%	0,001%	0,0000 %
50 - 60 км/ч	2 %	6 %	9 %	7 %	5 %	5 %	3,90%	1,61%	0,74 %	0,297%	0,119%	0,025%	0,0033 %
60 - 70 км/ч	1 %	2 %	3 %	2 %	2 %	3 %	1,31%	0,59%	0,24 %	0,074%	0,008%	0,000%	0,0002 %
70 - 80 км/ч	1 %	2 %	2 %	2 %	2 %	1 %	0,83%	0,39%	0,17 %	0,030%	0,004%	0,001%	0,0001 %
80 - 90 км/ч	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0,02%	0,01%	0,00 %	0,000%	0,000%	0,000%	0,0000 %
ВСЕГО	10 %	16 %	19 %	15 %	14 %	11 %	8 %	3 %	1,64 %	0,94 %	0,22 %	0,04 %	0,0038%

Примечание: все параметры Π рассчитывались как средневзвешенные с учётом времени эксплуатации локомотива T_i с этим значением параметра Π_i : тока, скорости, мощности, угла регулирования и др. При этом общее время наблюдения T в тяге и рекуперации приведено в таблице 4.2.

$$\Pi = (\sum(\Pi_i \cdot T_i)) / T, \text{ где } T = \sum(T_i). \quad (4.3)$$

4.2 СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ МСУЭ

4.2.1 Тяговые токи электровозов

Распределение токов (см. таблицу 4.3) тяговых электродвигателей (ТЭД) в тяге и рекуперации приведено на рисунке 4.5. Чаще всего локомотив работает с токами в диапазоне 300-400А (11 % от общего времени работы в тяге), а также в смежных диапазонах токов 200-300А и 300-400А. При этом распределение значений по 61-у локомотиву является унимодальным (соответствие нормальному закону 0,1 – 0,2 – рисунок 4.6). Нормальному закону подчиняется время езды на выбеге (рисунок 4.7) с вероятностью 0,8 (таблица 4.10), т.к. выбег определяется профилем полигона эксплуатации локомотива.

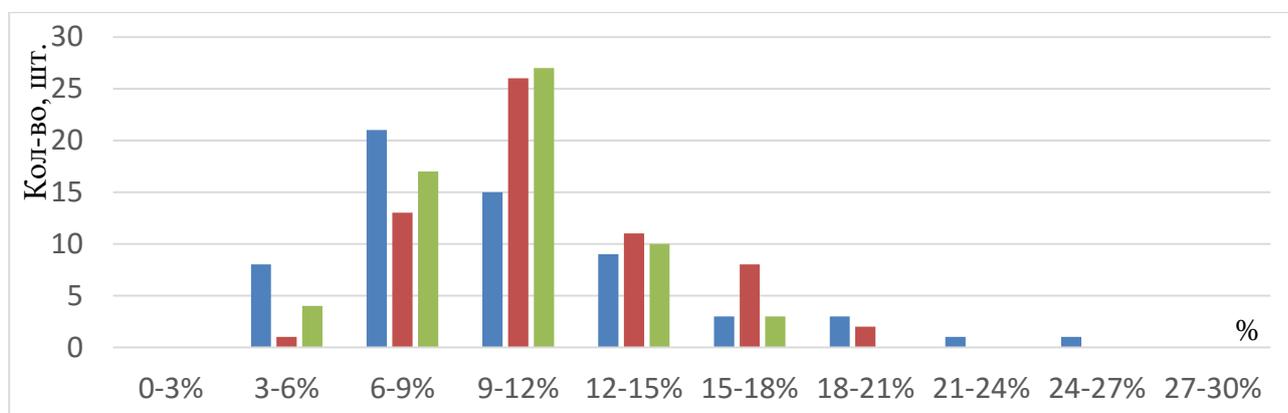
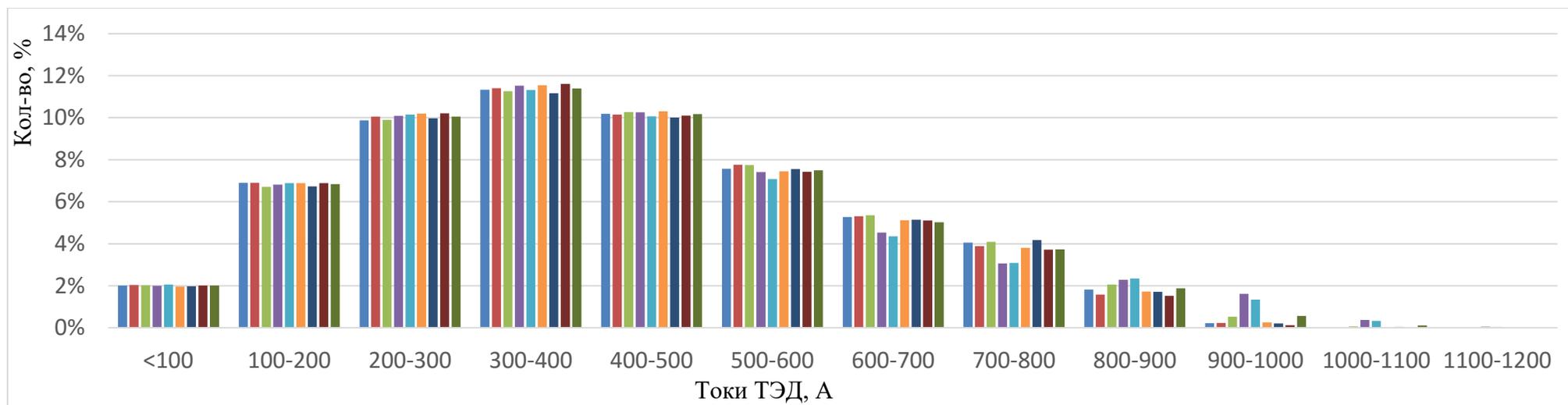


Рисунок 4.6 – Гистограмма распределения токов ТЭД по 61-у локомотиву в диапазонах 200-300А, 300-400А и 400-500А

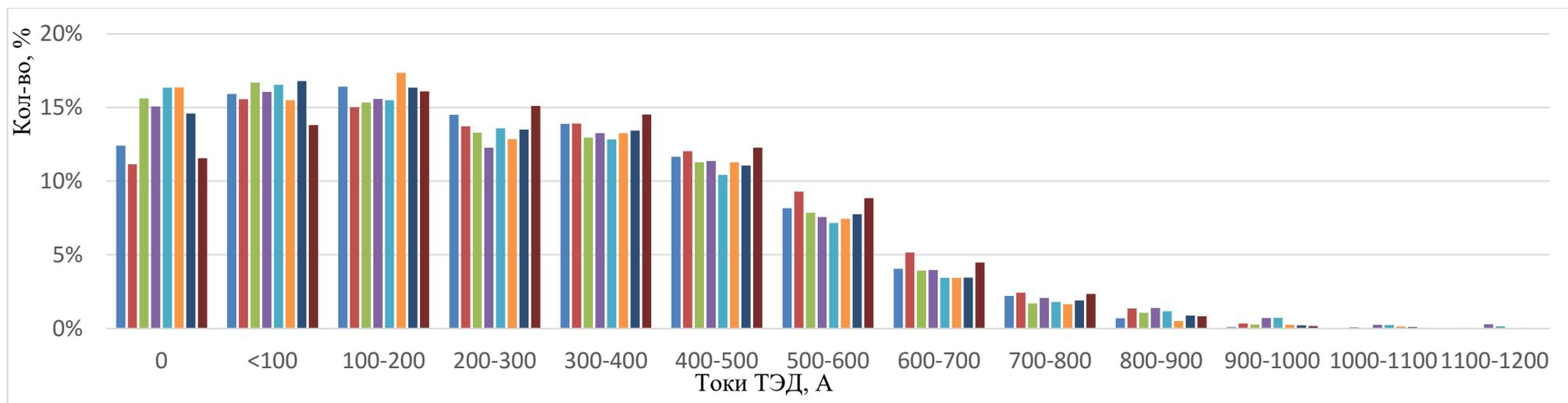
Таблица 4.10 – Данные нормального распределения нулевых токов

Математическое ожидание	38,339
СКО	5,926
Коэффициент вариации	0,155
Расчётное значение χ_{ϕ}	0,276
Теоретическое значение χ_T (P=0.95)	0,21
Вероятность соответствия нормальному закону	0,8

Выполненный анализ показал унимодальность распределений токов во всех диапазонах, что свидетельствует об однородности нагрузки локомотивов в эксплуатации. Вероятность соответствия нормальному закону P не превышала 0,2. Исключением явились токи в рекуперации в диапазоне 100-200А (самый часто встречающийся диапазон – 16 %), где вероятность P с применением защиты от грубых ошибок составило 0,8 (таблица 4.11 и рисунок 4.8).



а - тяга



б - рекуперация

Рисунок 4.5 – Гистограмма распределения токов ТЭД по диапазонам, А

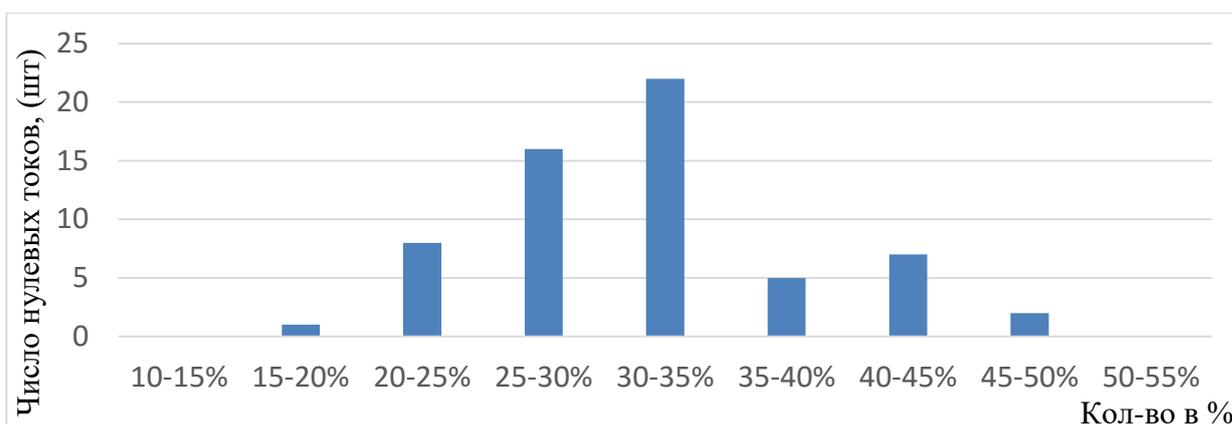


Рисунок 4.7 – Гистограмма распределения нулевых токов ТЭД по 61-у локомотиву, %

Таблица 4.11 - Распределение токов рекуперации в диапазоне 100-200А

Математическое ожидание	19,85
СКО	9,06
Коэффициент вариации	0,46
Расчётное значение для нормального закона χ_{ϕ}	2,03
Теоретическое значение χ_T (P=0.95)	1,61
Вероятность соответствия нормальному закону	0,80

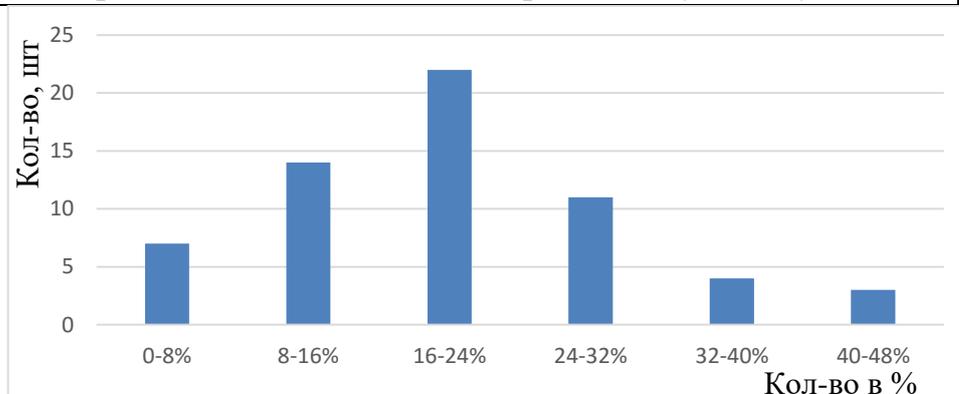


Рисунок 4.8 – Гистограмма распределения токов рекуперации в диапазоне 100-200А ТЭД по 61-у локомотиву, %

Токи ТЭД на практике существенно ниже максимально допустимого тока в 1200А, однако с максимальным током можно ехать не более 5 минут, поэтому даже небольшая доля пятиминутных токов в работе локомотива существенно влияет на надёжность локомотива: из 1500 часов наблюдения токи в 1100-1200А составили всего 12 минут (0,013 %), а токи свыше 1000А – 110 минут (0,12 %). При этом максимально зафиксированный ток составил 1222А, а среднее значение максимального тока по 61-му локомотиву составило 1126А.

При скоростях до 10 км/ч зафиксировано 0,0038 % (204 секунды) тяги с токами свыше 1200А, что является грубым нарушением. Нарушение возможно только при переводе машинистом управления в режим «Ручной», т.к. в режиме «Авто» превышение 1200А невозможно. В ручном режиме машинист мог не видеть ток этого двигателя (амперметры есть только в цепях двух ТЭД секции).

Токи в рекуперации существенно ниже токов в тяге (рисунок 4.9, см. таблицу 4.3), что свидетельствует об использовании машинистами рекуперативного торможения в режиме «Подтормаживание» для поддержания скорости на уровне 50-80 км/ч. Такой режим предъявляет повышенные требования к надёжности системы противокомпаундирования электровозов, обеспечивающей вход в рекуперацию на высоких скоростях с защитой от бросков тока.

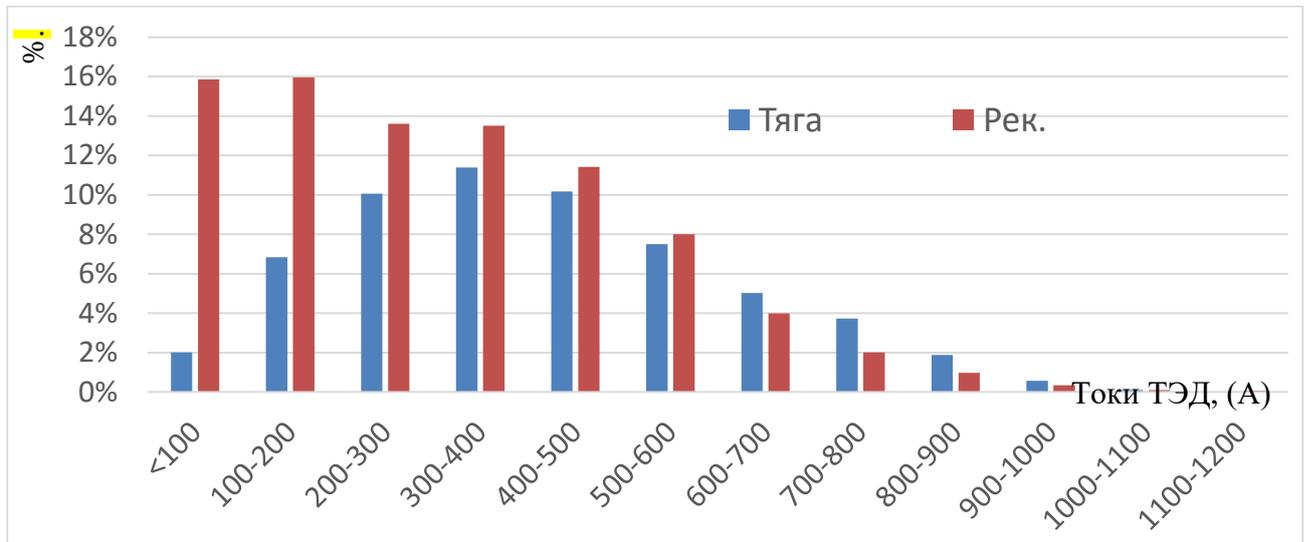


Рисунок 4.9 – Распределение токов в тяге и рекуперации

4.2.2 Скоростные характеристики

В рекуперации (см. таблицу 4.9, рисунок 4.10) преобладают скорости диапазона 50 – 90 км/ч (66 %), что подтверждает предыдущий вывод о преобладании режима «Подтормаживание». Торможение до остановки составляет 5,71 %. В тяге скорость до 20 км/ч составляет 11,14 % , что подтверждает наличие опасных режимов работы при трогании. И в тяге, и в рекуперации самым интенсивным является диапазон 50-60 км/ч (соответственно 27 % и 41 %) – таблица 4.12 и рисунок 4.11.

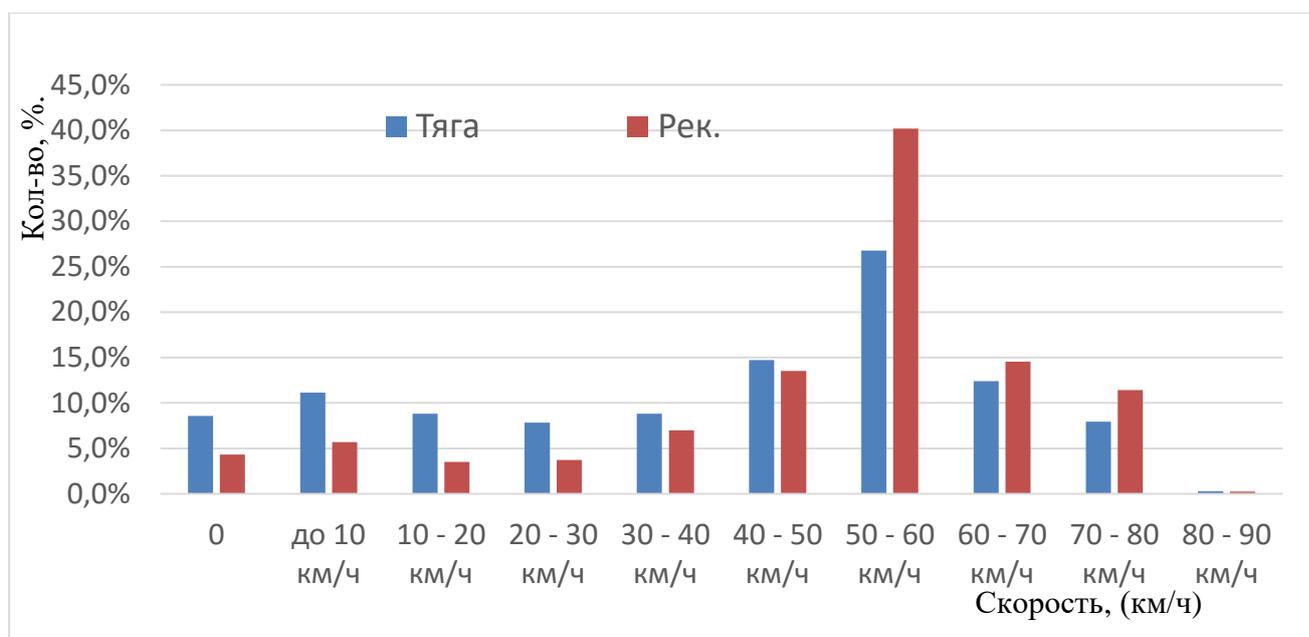


Рисунок 4.10 – Распределение скоростей в тяге и рекуперации, км/ч

Таблица 4.12 - Данные нормального распределения скоростей в диапазоне 50-60 км/ч по 61-му локомотиву

	Тяга	Рек.
Математическое ожидание	26,50	41,33
СКО	7,38	15,38
Коэффициент вариации	0,28	0,37
Расчётное значение χ_{Φ}	2,90	4,18
Теоретическое значение χ_{T} (P=0.95)	2,83	2,83
Вероятность соответствия нормальному закону	0,80	0,70

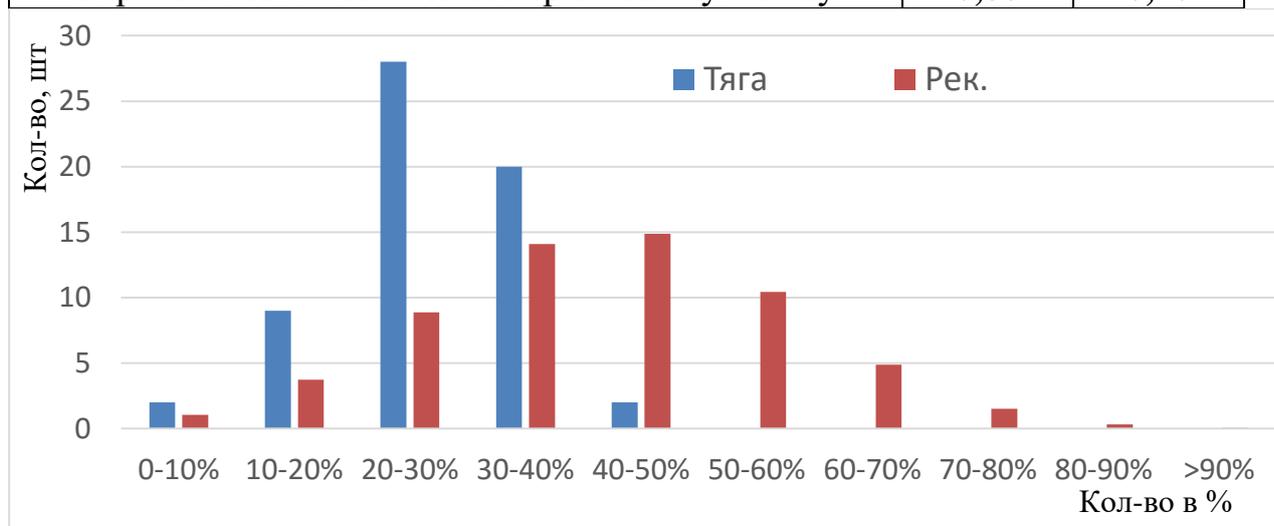


Рисунок 4.11 – Распределение скоростей в диапазоне 50-60 км/ч в тяге и рекуперации по 61-му локомотиву (соответствует нормальному закону)

На скорости до 20 км/ч преобладают токи до 300А (8,5 %), в диапазоне от 20 до 40 км/ч преобладают токи до 600А (11 %), от 40 до 60 км/ч – 300-600А (21,5 %). На высоких скоростях преобладают токи до 600А (таблица 4.13). Основная тяга (69 %) выполняется на скоростях свыше 40 км/ч, из них 47 % тяги выполняется в диапазоне 40-60 км/ч, 22 % - на скоростях свыше 60 км/ч.

Таблица 4.13 – Тяга с токами в различных диапазонах скоростей

	<300А	300-600А	600-900А	900-1200А	ВСЕГО
0-20 км/ч	8,50 %	6,06 %	1,28 %	0,10 %	16 %
20-40 км/ч	5,26 %	6,00 %	2,86 %	0,22 %	14 %
40-60 км/ч	12,04 %	21,55 %	12,84 %	0,23 %	47 %
60-90 км/ч	8,15 %	13,56 %	0,70 %	0,04 %	22 %
ВСЕГО	34 %	47 %	18 %	0,59 %	

4.2.3 Углы открытия тиристоров ВИП

В диссертации выполнен анализ углов открытия тиристоров (см. таблицу 4.5). Гистограмма распределения углов приведена на рисунке 4.12. В тяге преобладает угол в диапазоне 150-160 эл.град. (39 %), что соответствует езде на выбеге в первой зоне с углом 156 эл.град. Также в тяге преобладает угол в диапазоне 20-30 эл.град., что соответствует езде в конце четвёртой зоны с углом регулирования равным минимальному задержанному. Можно выделить ещё одну закономерность: езда с углами, близкими к 90 эл.град., больше, чем с углами, близкими к 0 и 180 эл.град. Это отражает нелинейность (арксинус) роста напряжения при линейном увеличении напряжения управления МСУЭ (БУВИП). Аналогичные закономерности имеют место и в рекуперации, только холостому ходу соответствует угол в диапазоне 130-140 эл.град.

Следует отметить, что попадание угла регулирования в диапазон 0-10 эл.град. соответствует неисправному состоянию, т.к. минимальное значение не может быть меньше 14 эл.град. Аналогично обнаружен неисправный локомотив ВЛ80р-1773, у которого угол регулирования в рекуперации попал в диапазон 150-160 эл.град. Достоверность закономерностей проверена по критерию Пирсона на примере диапазонов 80-90 (тяга и рекуперация) и 150-160 эл.град. (тяга) – таблица 4.14 - 4.15 и рисунок 4.13. Угол 90 эл.град. является унимодальным процессом и

соответствует нормальному закону с вероятностью $P=0,3$. Угол 156 эл.град. соответствует нормальному закону ($P=0,8$), что логично, т.к. ранее было показано, что время выбега также подчиняется нормальному закону.

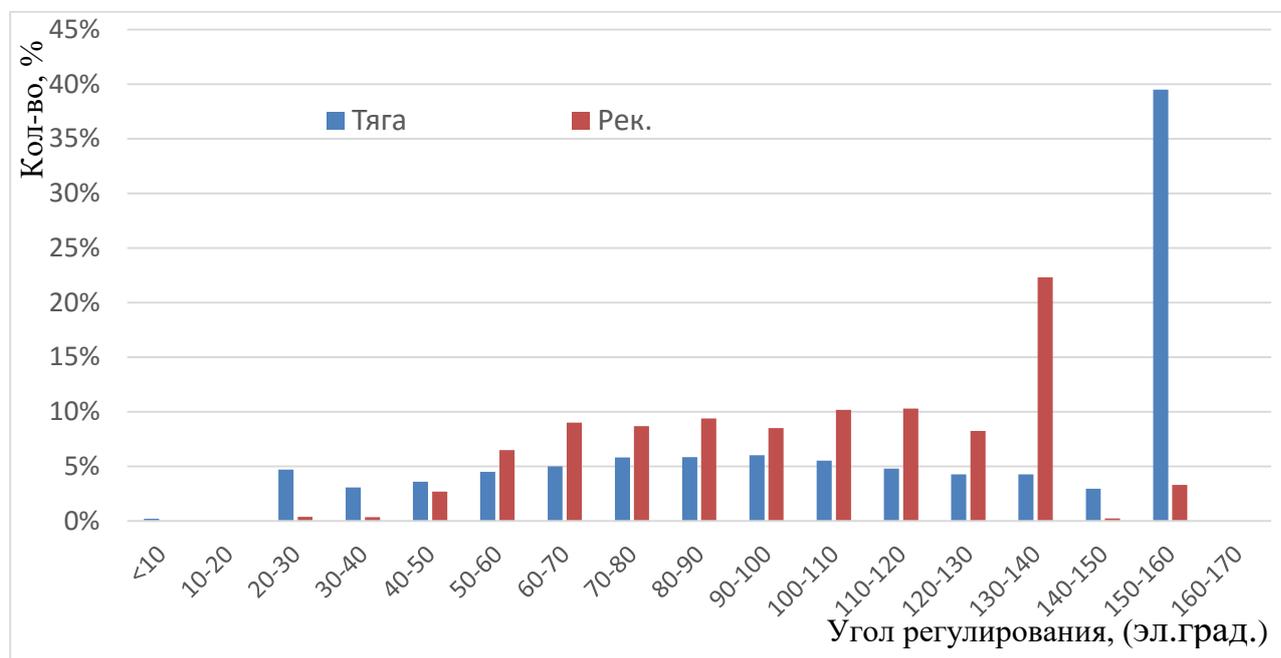


Рисунок 4.12 – Распределение регулируемых углов

Таблица 4.14 – Угол открытия тиристоров в диапазоне 80-90 эл.град.

	Тяга	Рек.
Математическое ожидание	5,78	9,29
СКО	1,56	8,57
Коэффициент вариации	0,27	0,92
Расчётное значение χ_{ϕ}	5,97	139,00
Теоретическое значение χ_T ($P=0.95$)	1,61	2,83
Вероятность соответствия нормальному закону	0,3	0,3

Таблица 4.15 – Угол открытия тиристоров в диапазоне 150-160 эл.град.

	Тяга
Математическое ожидание	39,43
СКО	5,40
Коэффициент вариации	0,137
Расчётное значение χ_{ϕ}	4,91
Теоретическое значение χ_T ($P=0.95$)	4,17
Вероятность соответствия нормальному закону	0,8

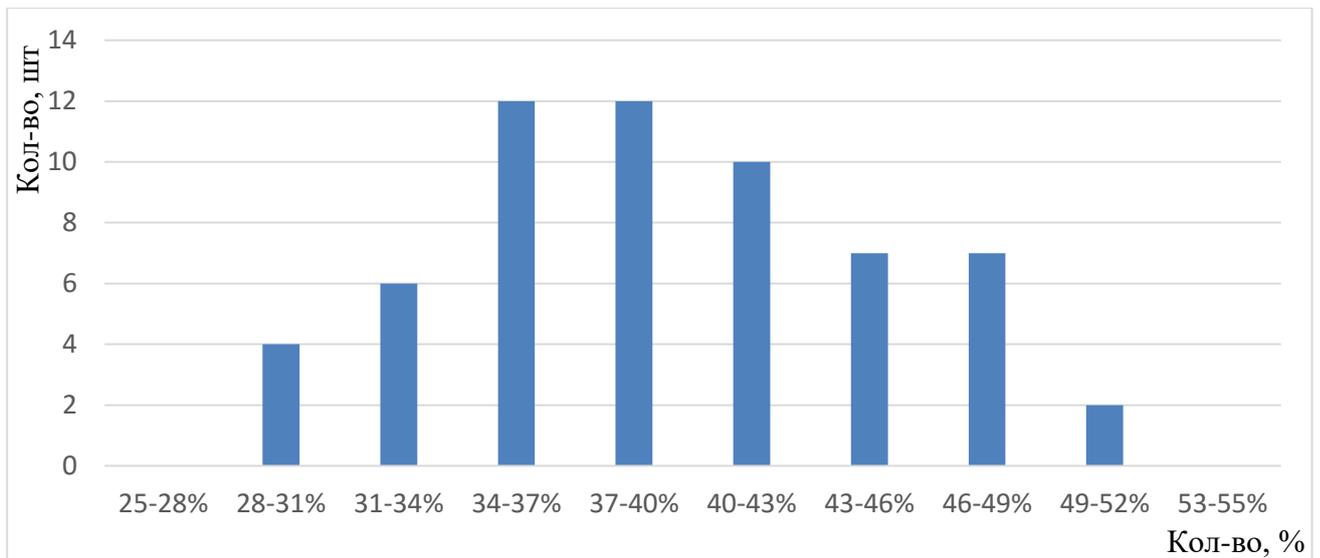


Рисунок 4.13 – Распределение угла в диапазоне 150 - 160 эл.град.

ВЫВОД: углы открытия тиристорov ВПД диагностируют режимы работы локомотивов и неисправности цепей управления, поэтому могут эффективно использоваться при диагностировании.

4.2.4 Реализуемая мощность электровоза

Анализ показал (см. таблицу 4.6), что локомотив значительную часть эксплуатационного времени работает с низкими мощностями: с мощностью менее 1000 кВт электровозы работают 59 % в тяге и 78 % в рекуперации (рисунок 4.14). Поэтому мощность не так информативна как ток ТЭД.

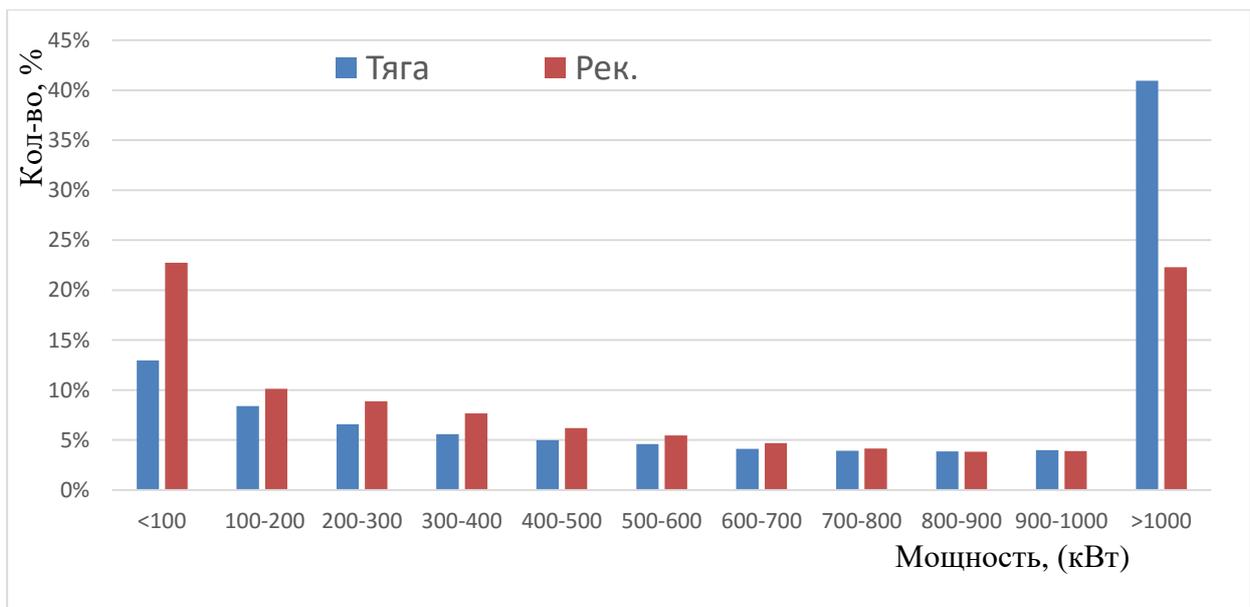
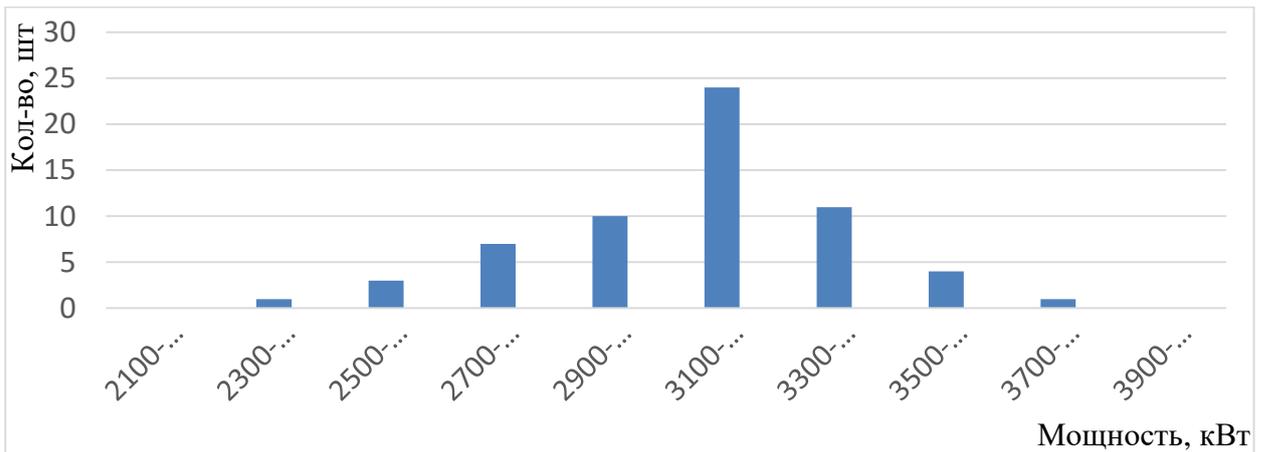


Рисунок 4.14 – Распределение мощности электровозов

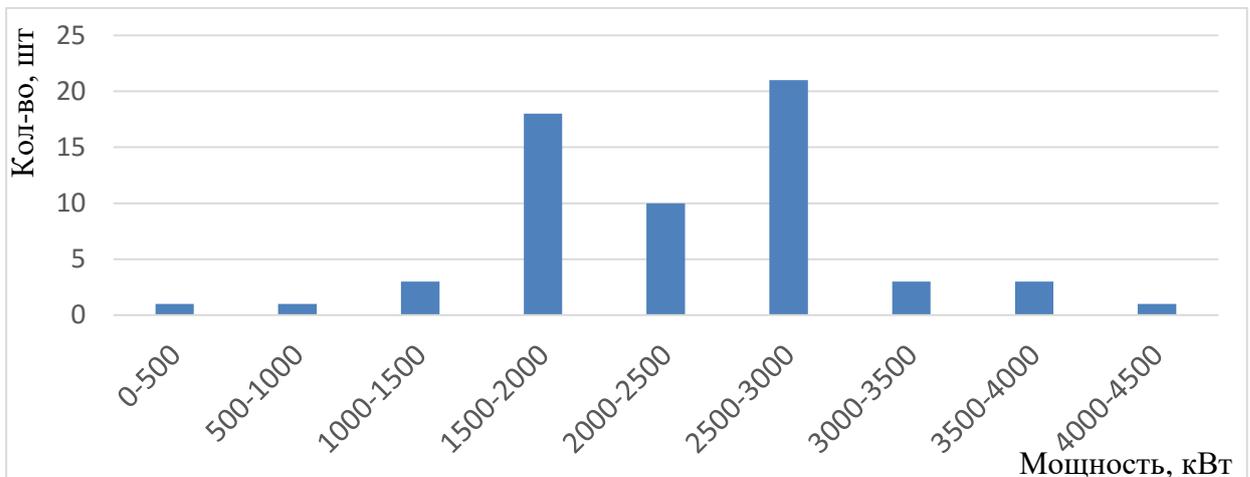
На рисунке 4.15 приведено распределение максимальной мощности, зафиксированной за время наблюдения, а в таблице 4.16 – соответствие нормальному закону распределения. В тяге имеет место ярко выраженный унимодальный процесс с соответствием нормальному закону $P=0,5$. В рекуперации нет ни соответствия нормальному закону, ни унимодальности.

Таблица 4.16 – Максимальная мощность локомотива

	Тяга	Рек.
Математическое ожидание	3 145	2 315
СКО	262	729
Коэффициент вариации	0,08	0,31
Расчётное значение χ_{ϕ}	4,75	14,96
Теоретическое значение χ_T ($P=0.95$)	2,83	2,20
Вероятность соответствия нормальному закону	0,50	0,02



а - Тяга



б - Рекуперация

Рисунок 4.15 – Распределение максимальной мощности электровозов

При длительной мощности в тяге ВЛ80р в 5760 кВт максимальная наблюдаемая не превышала 4000 кВт, а средняя максимальная составила 3145 кВт. В рекуперации максимальная мощность локомотива достигала 4148 кВт, но средняя была меньше, чем в тяге: 2315 кВт.

Максимальная мощность локомотива в реальной эксплуатации составляет 55 % от номинальной. При этом в эксплуатации постоянно фиксируется перегрузка локомотива: не выдерживается скорость на руководящем подъёме, имеется боксование, превышаются пятиминутные токи - мощность локомотива не является информативным параметром для системы мониторинга.

ВЫВОД: мощность электровозов не является информативным показателем.

4.2.5 Разброс токов

Отдельно следует остановиться на таком опасном предотказном состоянии как разброс токов ТЭД (см. таблицу 4.4), который может приводить к боксованию с последующим отказом ТЭД: круговому огню по коллектору или срезу шестерни тягового редуктора. В таблице 4.17 приведены данные по разбросу токов. Очевидно, что разброс токов недопустимо большой. На рисунке 4.16 приведено распределение разброса токов.

Таблица 4.17 – Средние значения токов и их разброс, А

Средний ток, А	Тяга	Рек.
ТЭД 1	396	287
ТЭД 2	394	317
ТЭД 3	409	272
ТЭД 4	435	290
ТЭД 5	427	280
ТЭД 6	395	266
ТЭД 7	393	273
ТЭД 8	386	302
Минимальный средний	370	211
Максимальный средний	447	371
Средняя разница токов ТЭД	76	161
Максимальная разница токов ТЭД	328	287



Рисунок 4.16 – Распределение разброса токов по 61-му электровозу

Нормальному и логнормальному закону данные тягового режима не подчиняются ($P=0,1$). Данные разброса токов в рекуперации оказались соответствующими логнормальному распределению (таблица 4.18, $P = 0,95$). Это единственный случай в исследовании, когда закон распределения оказался логнормальным с высокой вероятностью.

Таблица 4.18 – Соответствие распределения разброса токов нормальному и логнормальному законам

	Рек., Норм.	Рек., Лог.норм.
Математическое ожидание	156	
СКО	72	
Коэффициент вариации	0,46	
Расчётное значение χ_{ϕ}	9,78	2,14
Теоретическое значение χ_T ($P=0.95$)	2,2	2,2
Вероятность соответствия нормальному закону	0,1	0,95

Дополнительно выполнен анализ разброса токов, приведенного к максимальному среднему. Расчёт показал, что приведение разброса тока к максимальному повышает достоверность данных (таблица 4.19). В тяге выявлен бимодальный процесс, второй из которых подчиняется нормальному закону распределения случайной величины ($P=0,98$). В рекуперации выявлен унимодальный процесс с нормальным распределением ($P=0,5$).

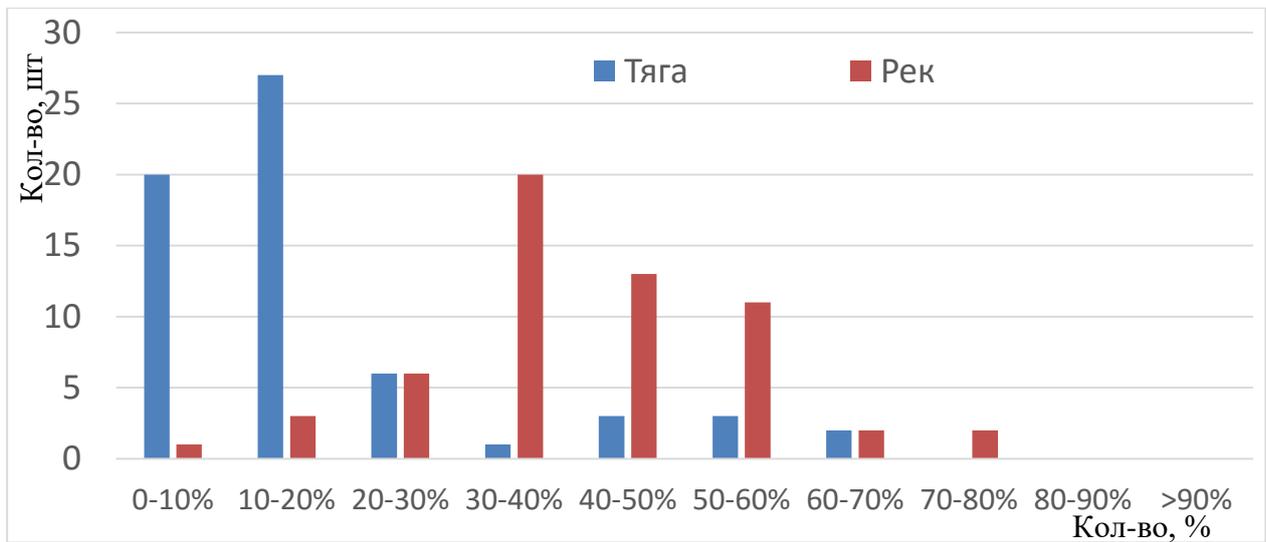


Рисунок 4.17 – Распределение разброса токов, приведенных к максимальному среднему по 61-му электровозу

Таблица 4.19 – Соответствие распределения приведенного разброса токов нормальному закону распределения случайной величины

	Тяга Σ	Тяга 1	Тяга 2	Рек
Математическое ожидание		18		41
СКО		15		15
Коэффициент вариации		0,84		0,36
Расчётное значение χ_{ϕ}	57,10	7,18	1,36	5,59
Теоретическое значение χ_{T} (P=0.95)	2,83	2,83	2,83	2,83
Вероятность соответствия нормальному закону	0,3	0,3	0,98	0,5

В технических условиях электровозов не указан допустимый разброс токов. Принято разброс свыше 100А считать предотказным состоянием. Распределение разбросов токов до 100А нормальному закону не подчиняется. В рекуперации в 82 % времени разброс токов превышал 30 %. В тяге ситуация лучше, но при этом 25 % времени разброс токов превышал 20 %.

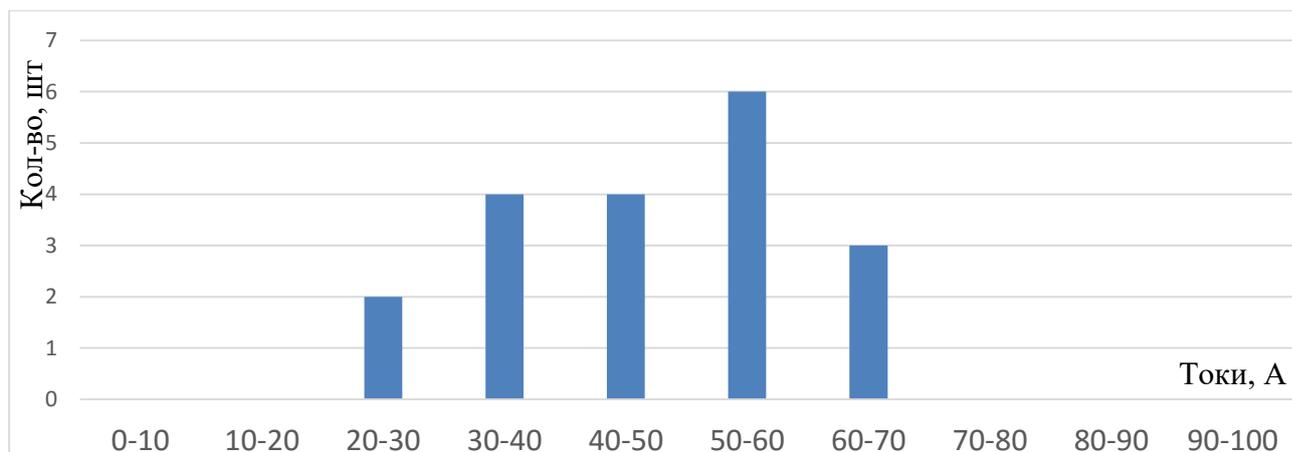
Выявленный разброс токов позволяет сделать вывод о необходимости индивидуального регулирования токов каждого ТЭД как в тяге, так и в рекуперации. Для существующих локомотив необходим подбор ТЭД по характеристикам. В рекуперации необходим подбор резисторов блока балластных сопротивлений. Очевидна необходимость перехода на индивидуальное управление каждым ТЭД.

4.2.6 Корреляционный анализ

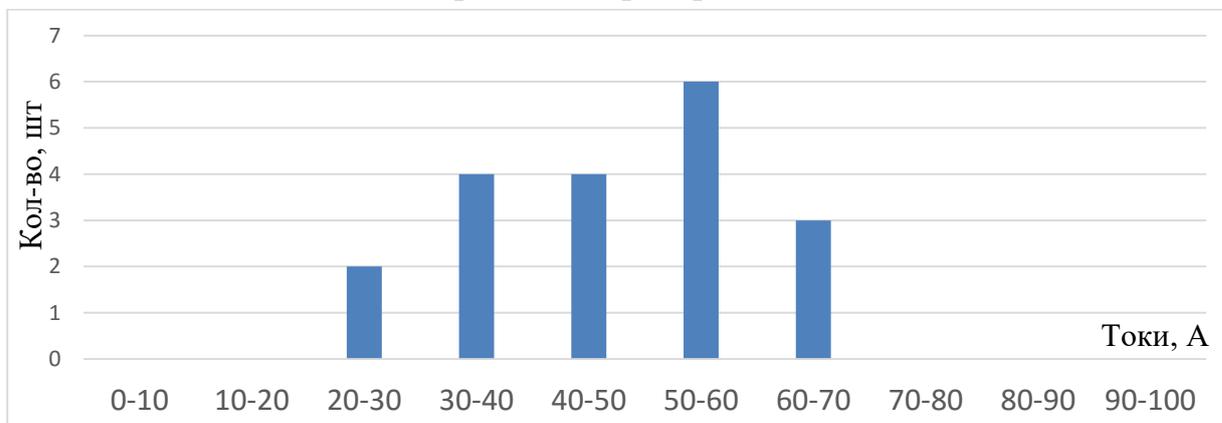
В совместных исследованиях [110] показано, что корреляционный анализ является эффективным средством выявления предотказных состояний у однотипного оборудования локомотивов. Выполненный анализ на примере токов ТЭД подтвердил эффективность корреляционного анализа (таблица 4.20 и 4.21).

Шесть локомотивов (выборки 6, 24, 29, 39, 40, 41) имели отрицательные коэффициенты корреляции ($R < 0$). Во всех случаях причиной оказался неисправный датчик тока. Эти наблюдения исключены из наблюдения.

У 19-и локомотивов (выборки 2, 3, 4, 7, 15, 17, 18, 20, 23, 37, 38, 45, 48, 49, 51, 52, 57, 58, 59) коэффициент корреляции близок к 1 ($R \geq 0,995$). Анализ показал, что токи у этих локомотивов с небольшим разбросом и он подчиняется нормальному закону (рисунок 4.18 и таблица 4.22). При этом разброс токов не превышал 64А, а минимальный составил всего 24А. Таким образом, коэффициент корреляции однозначно выявляет исправные локомотивы.



а – Распределение разброса токов, А



б - Распределение удельного разброса токов, %

Рисунок 4.18 – Распределение токов при $R > 0,995$

Таблица 4.20 – Коэффициенты корреляции токов ТЭД со средним значением тока в тяге

	Коэффициенты корреляции								Токи средние, А							
	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8
1	0,971	0,971	0,971	0,971	0,846	0,841	0,958	0,965	369	347	358	349	223	245	379	370
2	0,999	0,999	0,999	0,998	0,997	0,999	0,999	0,999	437	427	449	488	462	434	456	447
3	0,999	0,997	0,995	0,994	0,997	0,999	0,999	0,998	451	452	447	458	475	441	466	440
4	0,996	0,998	0,997	0,997	0,995	0,998	0,997	0,998	498	485	507	481	518	489	455	469
5	0,996	0,998	0,997	0,997	0,995	0,998	0,997	0,998	498	485	507	481	518	489	455	469
6	-0,513	-0,526	-0,524	0,996	0,995	-0,529	-0,517	-0,522	313	287	281	2626	2525	274	303	277
7	0,996	0,996	0,995	0,996	0,995	0,996	0,995	0,995	323	319	325	313	309	301	307	313
8	0,990	0,989	0,991	0,992	0,987	0,993	0,992	0,993	388	390	404	389	413	378	391	388
9	0,994	0,993	0,992	0,995	0,991	0,995	0,996	0,996	420	424	406	410	414	396	408	404
10	0,991	0,991	0,992	0,992	0,980	0,981	0,982	0,980	343	329	347	348	377	334	322	322
11	0,997	0,998	0,997	0,995	0,994	0,998	0,997	0,997	526	502	500	538	543	501	537	505
12	0,997	0,997	0,997	0,994	0,996	0,997	0,997	0,997	502	500	555	570	541	558	535	545
13	0,994	0,995	0,997	0,992	0,994	0,997	0,998	0,996	499	509	477	511	511	465	477	452
14	0,995	0,994	0,993	0,993	0,993	0,994	0,994	0,995	450	436	427	457	443	431	429	422
15	0,999	0,999	0,999	0,997	0,999	0,999	0,999	0,999	484	467	469	446	472	466	460	472
16	0,933	0,931	0,930	0,933	0,950	0,948	0,945	0,943	452	427	485	442	400	400	397	368
17	0,999	0,998	1,000	0,999	0,997	0,999	0,999	0,999	400	375	390	392	421	426	408	384
18	0,998	0,998	0,998	0,994	0,995	0,997	0,998	0,998	462	456	485	487	455	470	484	475
19	0,766	0,770	0,772	0,765	0,779	0,777	0,770	0,775	333	335	320	339	154	152	147	155
20	0,997	0,995	0,999	0,997	0,997	0,998	0,997	0,997	503	501	495	507	508	472	502	457
21	0,967	0,967	0,988	0,982	0,986	0,987	0,986	0,986	459	470	501	507	513	479	487	440

	Коэффициенты корреляции								Токи средние, А							
	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8
22	0,959	0,933	0,975	0,966	0,973	0,958	0,978	0,978	341	322	321	326	326	343	316	322
23	0,997	0,999	0,999	0,998	0,997	0,999	0,999	0,999	343	378	394	388	385	386	395	387
24	-0,099	-0,102	-0,320	0,987	0,986	-0,308	-0,104	-0,106	259	266	340	1533	1489	348	242	261
25	0,961	0,961	0,959	0,967	0,959	0,957	0,956	0,954	328	332	330	357	360	353	348	354
26	0,958	0,960	0,959	0,960	0,958	0,954	0,949	0,951	342	355	346	351	352	342	328	336
27	0,996	0,997	0,977	0,984	0,995	0,997	0,996	0,997	333	377	319	347	381	359	367	355
28	0,960	0,961	0,950	0,946	0,958	0,959	0,962	0,963	453	438	457	431	418	431	452	451
29	-0,811	-0,809	-0,808	0,999	0,999	-0,806	-0,806	-0,810	181	187	194	6076	6086	190	185	172
30	0,485	0,487	0,485	0,897	0,889	0,485	0,485	0,482	386	378	378	498	466	390	376	367
31	0,997	0,997	0,995	0,963	0,996	0,998	0,997	0,997	458	479	489	512	517	480	472	488
32	0,996	0,997	0,997	0,995	0,996	0,998	0,998	0,998	406	384	394	414	397	400	397	401
33	0,677	0,677	0,729	0,734	0,746	0,730	0,805	0,803	176	187	309	301	304	284	194	190
34	0,999	0,999	0,999	0,998	0,995	0,999	0,999	0,999	458	468	472	463	518	437	485	435
35	0,376	0,372	0,370	0,899	0,899	0,321	0,356	0,353	385	393	415	580	587	421	432	402
36	0,989	0,996	0,995	0,993	0,992	0,994	0,993	0,995	371	373	379	377	388	367	387	360
37	0,999	0,999	0,999	0,998	0,996	0,999	0,998	0,999	452	482	482	474	466	429	470	448
38	0,998	0,998	0,998	0,997	0,996	0,995	0,996	0,998	404	407	418	427	413	407	400	383
39	-0,619	-0,635	-0,625	0,995	0,995	-0,625	-0,630	-0,624	393	364	384	3649	3653	385	366	378
40	-0,646	-0,667	-0,646	0,998	0,998	-0,649	-0,650	-0,655	251	267	262	3402	3376	270	241	270
41	-0,574	-0,092	0,793	0,498	0,499	0,795	-0,069	-0,592	452	501	1927	2010	1978	1889	481	395
42	0,998	0,998	0,998	0,999	0,992	0,997	0,998	0,999	464	454	516	464	499	487	485	454
43	0,962	0,958	0,954	0,953	0,957	0,947	0,961	0,959	323	309	359	345	358	340	332	316

	Коэффициенты корреляции								Токи средние, А							
	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8
44	0,946	0,940	0,937	0,937	0,937	0,928	0,942	0,945	319	317	365	392	386	375	318	324
45	0,999	0,998	0,998	0,996	0,998	0,998	0,997	0,997	443	418	436	475	442	436	423	430
46	0,990	0,990	0,990	0,988	0,988	0,991	0,989	0,991	472	503	489	531	494	482	479	495
47	0,998	0,996	0,997	0,992	0,996	0,997	0,998	0,998	385	368	398	376	382	400	365	385
48	0,997	0,998	0,997	0,997	0,997	0,998	0,997	0,998	485	507	522	495	491	501	516	525
49	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,998	414	416	409	417	398	416	411	390
50	0,349	0,348	0,352	0,935	0,925	0,326	0,324	0,320	274	265	276	358	353	283	280	297
51	0,999	0,998	0,998	0,996	0,998	0,998	0,997	0,997	443	418	436	475	442	436	423	430
52	0,998	0,998	0,998	0,996	0,996	0,950	0,997	0,998	353	370	359	376	366	334	366	341
53	0,991	0,991	0,989	0,988	0,991	0,932	0,991	0,991	366	364	359	362	373	381	367	369
54	0,998	0,997	0,998	0,998	0,996	0,998	0,999	0,998	456	423	472	452	448	442	448	438
55	0,898	0,895	0,886	0,890	0,912	0,898	0,922	0,920	370	351	409	411	373	361	340	328
56	0,993	0,984	0,993	0,993	0,994	0,994	0,993	0,994	291	262	298	302	284	268	275	288
57	0,999	0,996	0,999	0,996	0,999	0,999	0,999	0,999	392	425	399	397	371	369	396	364
58	0,998	0,999	0,999	0,996	0,997	0,999	0,999	0,999	387	361	379	369	357	354	359	370
59	0,999	0,999	0,999	0,996	0,997	0,998	0,999	0,998	457	453	479	478	472	437	454	452
60	0,973	0,976	0,997	0,989	0,997	0,997	0,996	0,998	448	448	485	507	458	478	466	453
61	0,991	0,992	0,993	0,992	0,991	0,994	0,686	0,987	355	351	367	381	371	378	306	352

Таблица 4.21 – Результаты анализа по коэффициенту корреляции R

№	Значение R	Номера выборок	Анализ
1	$R < 0$	6, 24, 29, 39, 40, 41	Неисправность датчиков тока
2	$R \geq 0,995$	2, 3, 4, 7, 15, 17, 18, 20, 23, 37, 38, 45, 48, 49, 51, 52, 57, 58, 59	Локомотив исправен, характеристики ТЭД очень близкие. Разброс токов в среднем менее 50А. Максимальный – 64А Минимальный – 24А.
3	$R_1 \geq 0,995$ $R_2 \geq 0,99$	8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 36, 42, 46, 47	Аналогично группе 2
4	$R_1 \geq 0,995$ $R_2 \geq 0,9$	16, 21, 22, 25, 26, 27, 28, 43, 60	Аналогично группам 2 и 3, но разброс токов больше
5	$R_1 \geq 0,9$ $R_2 < 0,5$	1, 61	Отключение ТЭД или группы ТЭД.
6	$R < 0,7$	50	Отключение секций, повышенное боксование
7	$R < 0,5$	35	Отключение секций

Таблица 4.22 – Распределение разброса токов при $R \geq 0,995$

	I	I/Imax Норм.	I/Imax Лог.
Математическое ожидание	46	10	
СКО	12	2	
Коэффициент вариации	0,261	0,238	
Расчётное значение χ_{ϕ}	2,944	0,985	0,933
Теоретическое значение χ_T (P=0.95)	2,83	1,61	1,61
Вероятность соответствия нормальному закону	0,8	0,95	0,98

Третья группа – это локомотивы, у которых основная группа ТЭД имеет $R_1 \geq 0,95$, но вторая группа ТЭД имеет несущественно сниженный коэффициент корреляции: $0,9 \geq R_2 > 0,95$. Анализ показал, что отличий от второй группы нет. Таким образом, группы можно объединить.

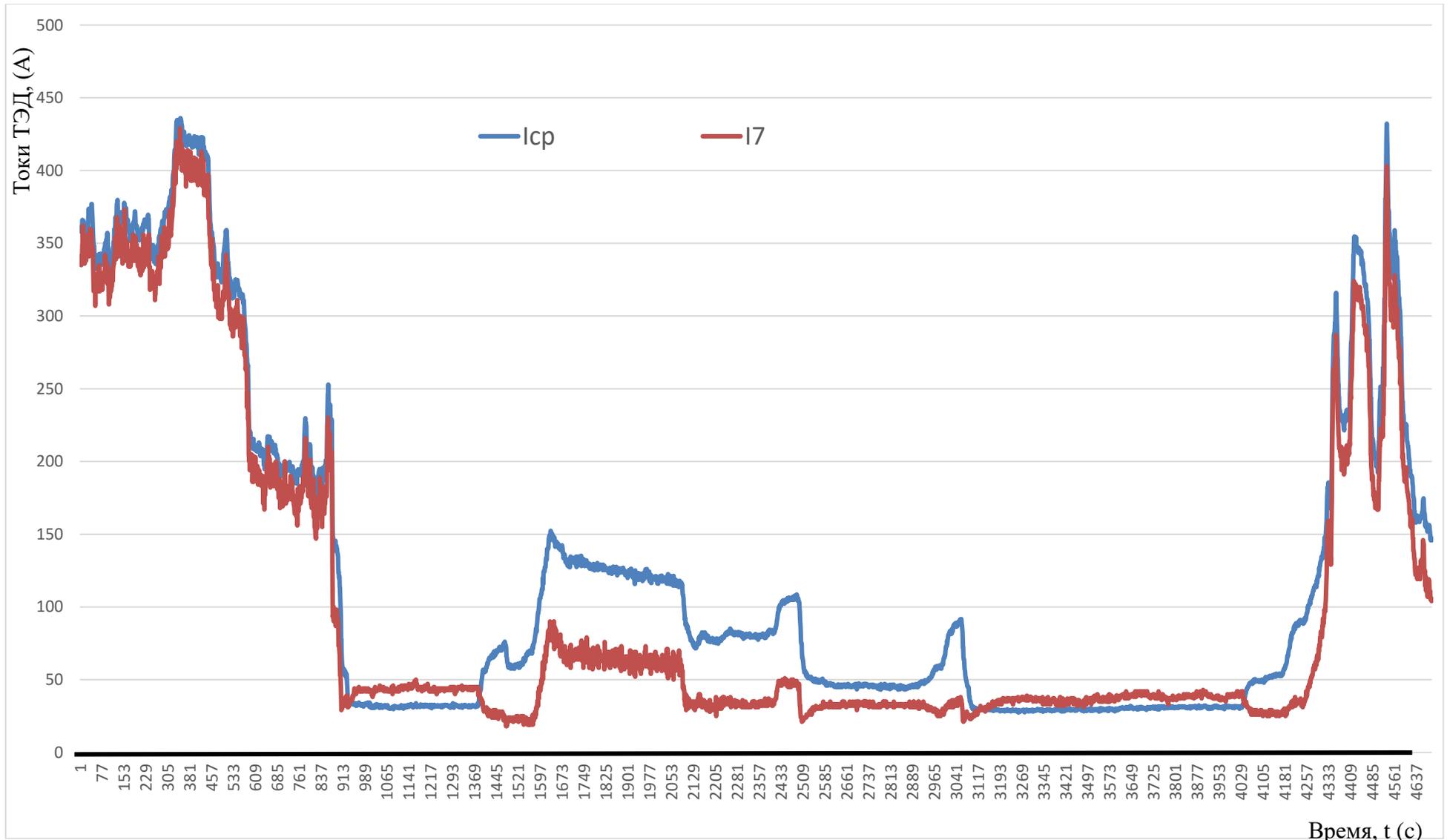
Четвёртая группа аналогична предыдущим двум, но минимальный уровень R снижен до 0,9. Результаты аналогичные, но средний разброс с 46А возрос до 57А, а максимальное значение – до недопустимого 117А. Можно считать диапазон коэффициента корреляции от 0,9 до 0,95 как «разрегулировку» - требуется настройка силовой цепи или подбор характеристик оборудования.

В качестве пятой группы рассмотрена ситуация, когда у одного-двух ТЭД коэффициент корреляции существенно ниже. В этой группе пришлось дополнительно рассмотреть сами исходные данные.

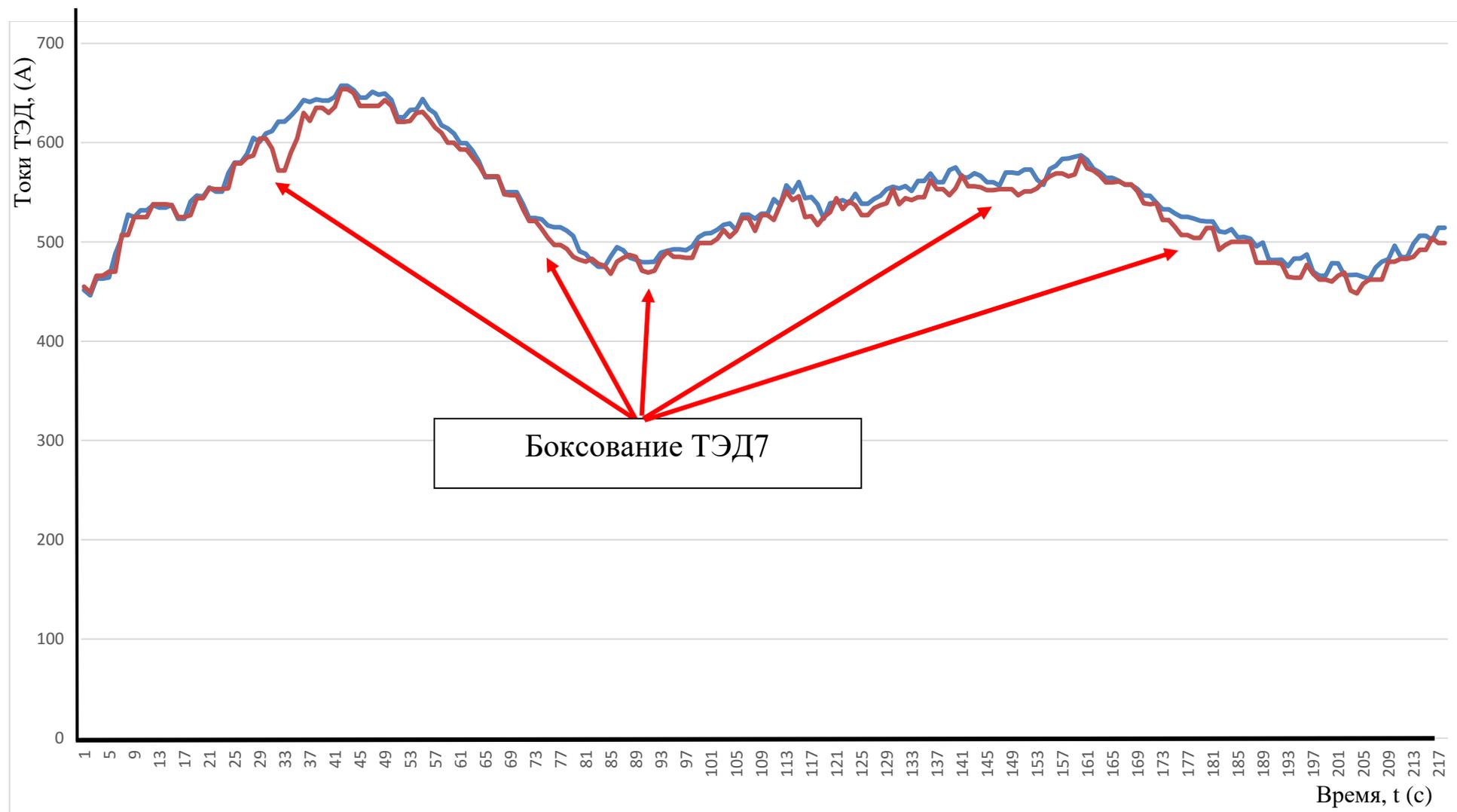
У локомотива ВЛ80р-1868 (наблюдение № 61 по таблице 4.20) 7 токов ТЭД имеют $R > 0,99$, а у ТЭД 7 $R=0,686$. При этом у двигателя 7 средний ток оказался минимальным – 306А (разброс 57А от среднего), а у остальных – в диапазоне 351-381А (разброс 30А). Анализ поездок показал, что причиной низкого коэффициента корреляции стало постоянное боксование 7-й колёсной пары (рисунок 4.19). Это же стало причиной более низкого чем у других ТЭД среднего тока. Таким образом, причина низкого коэффициента корреляции у одного ТЭД может быть повышенное боксование из-за разброса характеристик самого ТЭД или профиля бандажей колёсных пар.

У электровоза ВЛ80р-1818 (наблюдение № 50 по таблице 4.20) коэффициенты корреляции у ТЭД 1-3, 6-7 в диапазоне 0,32-0,35, а у ТЭД 4-5 – 0,935 и 0,925. При этом средние токи у ТЭД с низким коэффициентом – 260-300А, а с высоки – 358 и 353. Анализ показал, что у ТЭД 4 и 5 не работали датчики, из-за чего их показание было 15 тыс., что и привело к таким показаниям. В остальном электровоз работал исправно (рисунок 4.20), но с большим разбросом токов.

У электровоза ВЛ80р-1830 (наблюдение № 55 по таблице 4.20) коэффициенты корреляции всех восьми ТЭД находятся в диапазоне 0,88-0,92. Средние токи при этом в диапазоне 328-411А (разброс 83А). Анализ исходных данных показал, что имели место отключения отдельных ВИП (3 и 4, 1 и 2). И вообще работа локомотива была неустойчивой (рисунок 4.22). При отключенных двух ВИП локомотив подвергался перегрузке, о чём свидетельствует постоянное боксование. Таким образом, снижение коэффициентов корреляции всех ТЭД даже до уровня 0,9 явно свидетельствует о кратковременной неисправности локомотива и опасных режимах работы.

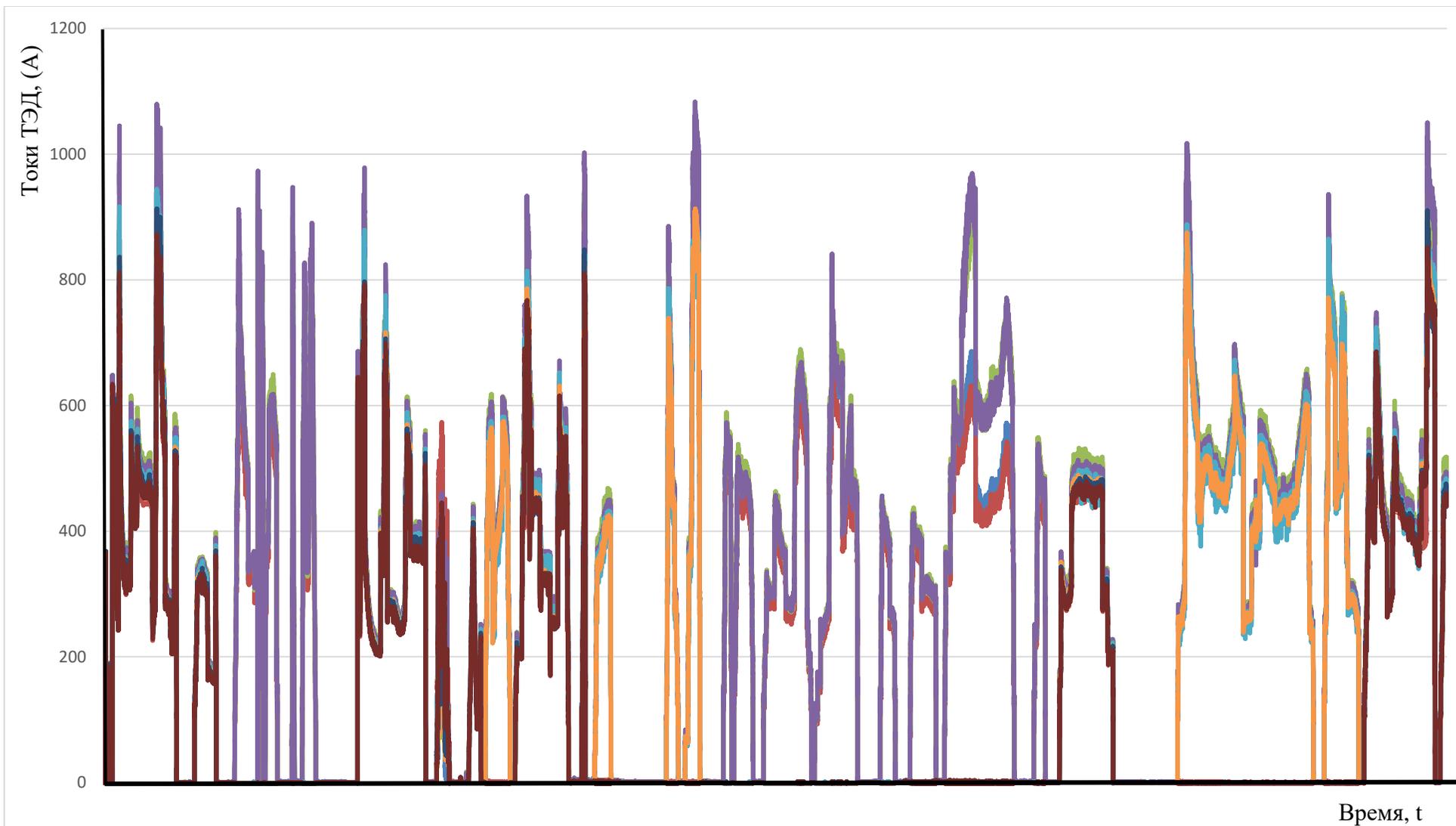


a – За 3 часа тяги



б – За 7 минут тяги

Рисунок 4.19– Отклонение тока ТЭД7 от среднего у ВЛ80р-1868 ($R=0,686$)



а - За 60 часов наблюдения



б – за 16 минут наблюдения

Рисунок 4.20 – Неустойчивая работа ВЛ80р-1830 ($0,88 < R < 0,92$)

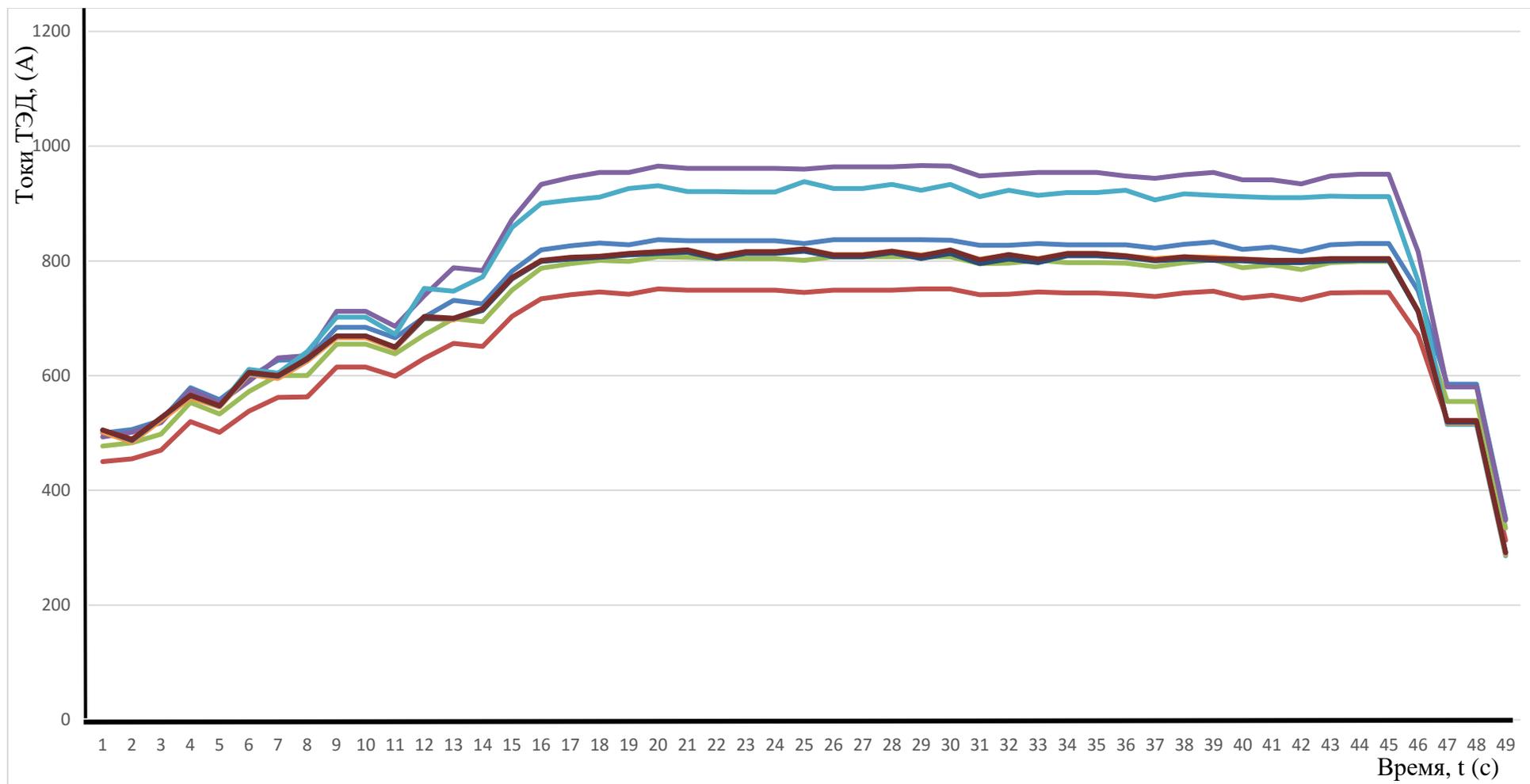
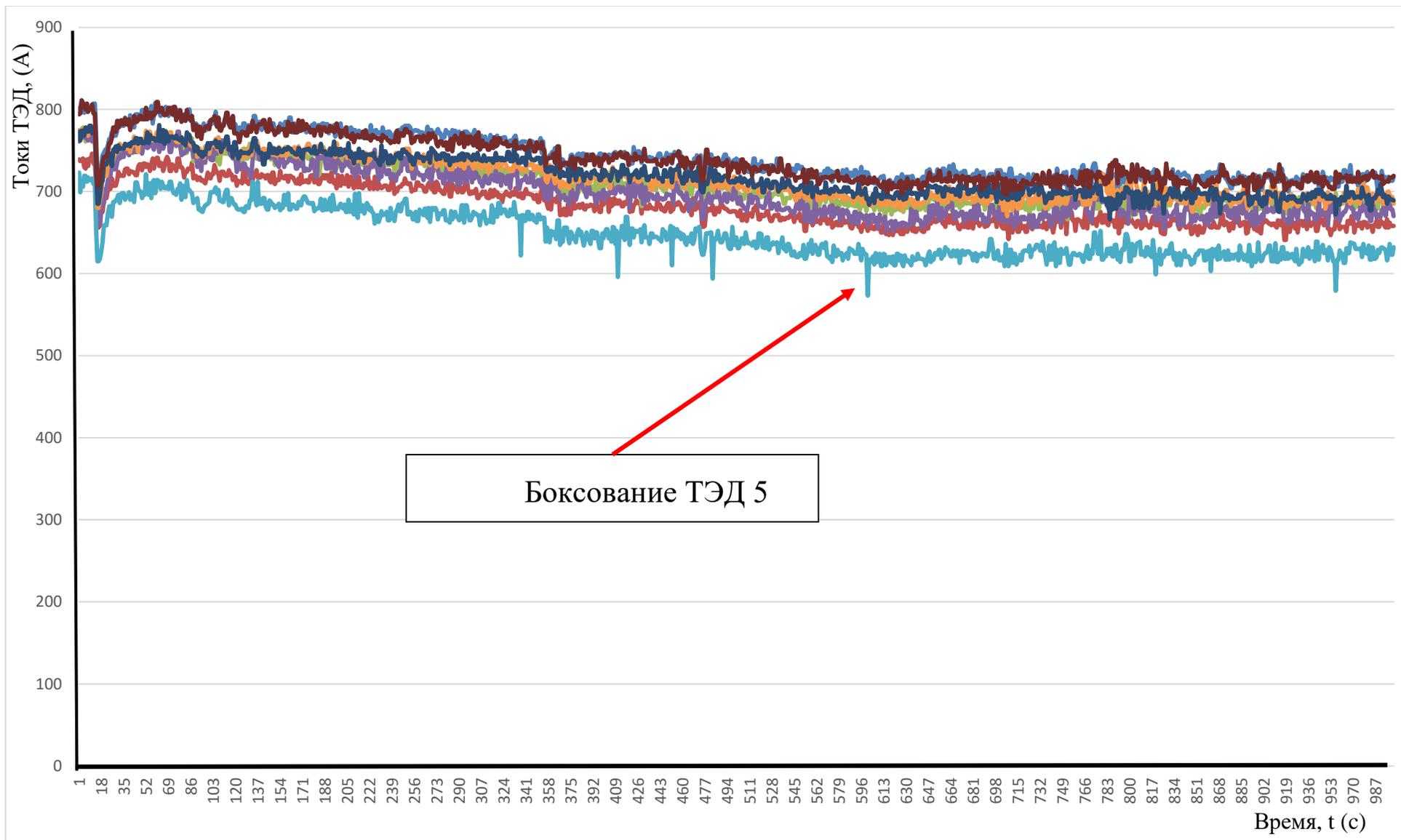
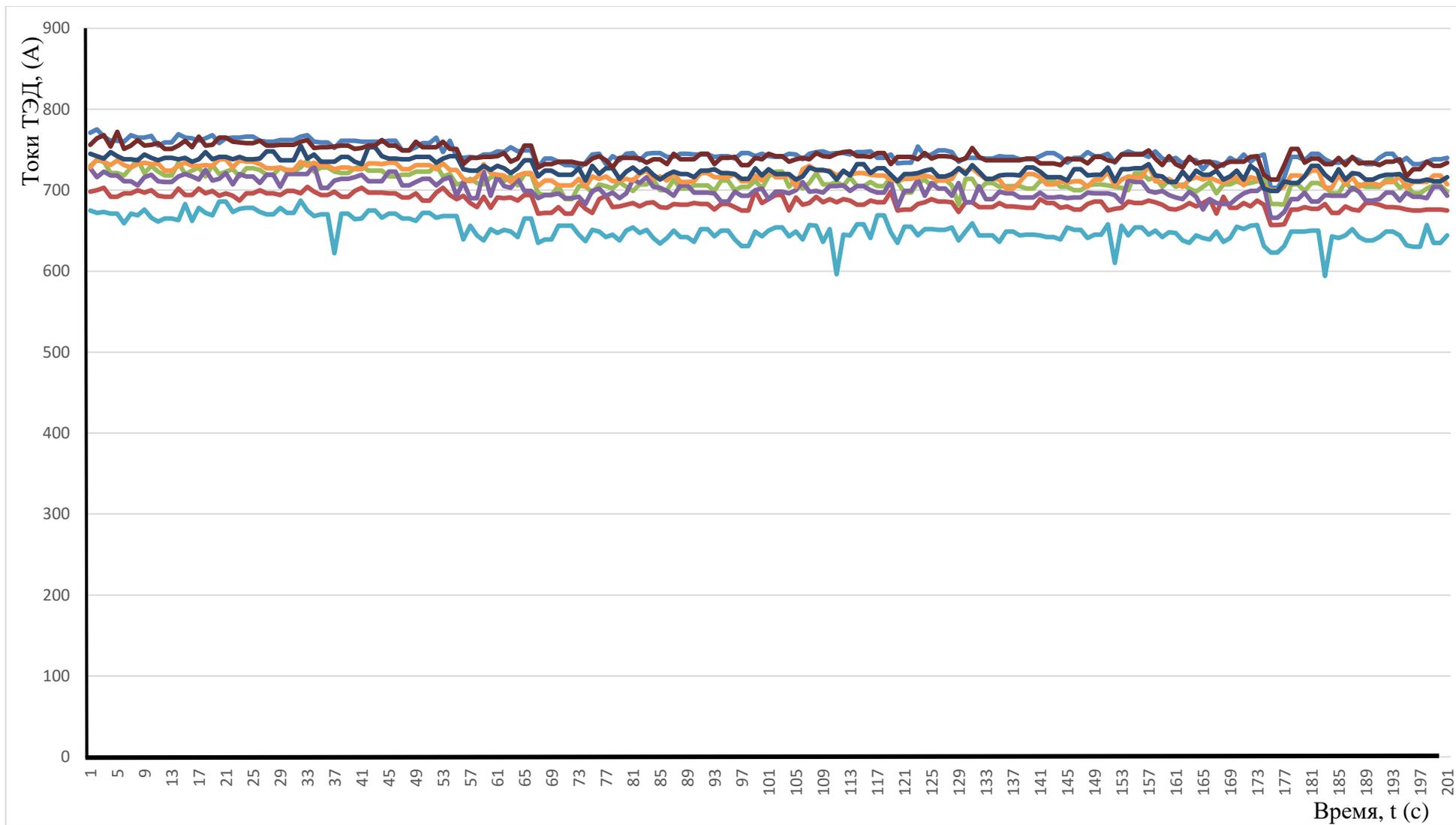


Рисунок 4.21 – Работа ВЛ80р-1818 с большим разбросом токов



a – За 30 минут тяги



б – За 7 минут тяги

Рисунок 4.22 – Работа ВЛ80р-1747 с низким коэффициентом корреляции у 5-го и 6-го ТЭД

У электровоза ВЛ80р-1612 (наблюдение № 19 по таблице 4.21) коэффициенты корреляции находятся в диапазоне 0,77-0,78, при этом токи первой секции находятся в диапазоне 333-339А, а у второй 152-155А. Анализ исходных данных показал, что у локомотива не было боксований и токи имели небольшой разброс. Но при этом многократно имело место отключение второй секции, что и привело к одинаково низкому коэффициенту корреляции, и в два раза меньшему среднему току ТЭД второй секции. Это можно было понять по коэффициенту корреляции между средними токами первой и второй секции, который составил $R_{12} = 0,194$. Таким образом, наряду с коэффициентами корреляции токов ТЭД со средним имеет смысл контролировать коэффициенты корреляции токов ТЭД одной тележки, тележек между собой, между секциями.

У электровоза ВЛ80р-1747 (наблюдение № 1 по таблице 4.20) коэффициенты корреляции у ТЭД 1-4,7-8 находятся в диапазоне 0,958 - 0,971, а у ТЭД 5 и 6 – на уровне 0,84. При этом у первой группы ТЭД токи в диапазоне 347-370А), а у двух отличающихся коэффициентом – 223 и 245 А соответственно. Анализ исходных данных показал (рисунок 4.22), что у локомотива не было аварийных отключений, но при этом в диапазоне высоких токов имел место большой разброс токов (до 180А). При этом имело место постоянное боксование, особенно у КМБ5. У КМБ6 боксования не было, но имело место одновременное отключение КМБ 5 и 6 (одна тележка и общий ВИП).

Таким образом, корреляционный анализ показал, что коэффициенты корреляции R являются эффективными индикаторам исправности локомотива: в этом случае $R > 0,995$. При $R > 0,99$ в целом можно диагностировать исправное техническое состояние. При снижении коэффициента корреляции одного или нескольких ТЭД до уровня $R > 0,9$ диагностируется предотказное состояние, например, повышенный разброс токов. Снижение коэффициента корреляции ниже 0,9 однозначно диагностирует наличие постоянных или кратковременных неисправностей электровоза.

ВЫВОД: корреляционный анализ является эффективным методом Мониторинга, в т.ч. управления рисками.

4.2.7 Диагностическая функциональность МСУ

Самыми информативными диагностическими сигналами МСУЭ являются токи ТЭД, по которым диагностируется целый ряд опасных режимов эксплуатации и предотказных состояний колёсно-моторного блока: превышение максимально допустимых токов; боксование колёсных пар (резкое уменьшение тока буксующего КМБ); недопустимо большой разброс токов; временное отключение ТЭД или группы ТЭД; неисправное состояние даже с неизвестной причиной по корреляции токов между собой.

Второй по информативности группой сигналов являются углы открытия тиристорov ВИП, по которым можно диагностировать неисправности силового преобразователя и его системы управления: неисправность датчиков угла коммутации, приводящих к отсутствию ограничения регулируемых узлов; неисправность блока балластных сопротивлений, приводящих к недопустимо большому разбросу токов и даже к невозможности войти в рекуперативный режим; неправильная регулировка минимального угла открытия тиристорov.

Сигнал скорости является вспомогательным для анализа токовых режимов работы электропривода. Эффективность использования сигнала скорости существенно снижена отсутствием информации о профиле пути и дислокации локомотива. Если состыковать МСУЭ с прибором безопасности КЛУБ-У, то можно существенно расширить диагностическую функциональность аппаратно-программных комплексов электровозов переменного тока.

Для реализации модели системы Мониторинга по данным АПК можно рассчитывать следующие нечёткие множества: завышенный пятиминутный ток, ток длительного режима, превышенный максимальный ток, большой разброс токов ТЭД, завышенное напряжение на ТЭД, частое срабатывание защит, частое отключение ТЭД, частое отключение ВИП, частое отключение секции, повышенное боксование, высокая скорость, низкая скорость, длительный простой, езда в ручном режиме, езда в автоматическом режиме, пониженная скорость на руководящем подъёме, следование на руководящий подъем с пониженной скоростью.

4.3 АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ ЗАЩИТЫ ЛОКОМОТИВОВ

4.3.1 Принцип защиты от опасных режимов эксплуатации

Выполненный анализ позволил выявить значительное число нарушений режимов эксплуатации локомотивов, приводящих к повышенной интенсивности отказов: нарушение скоростного режима на руководящих подъёмах, повышенное боксование, повышенные токи, повышенное напряжение – от этих и других опасных режимов эксплуатации можно защититься путём дополнения программного обеспечения бортовых аппаратно-программных модулей (АПК) специальными алгоритмами, почему защиты и предлагается называть алгоритмическими. При минимальных затратах можно существенно повысить надёжность локомотивов. Алгоритмические защиты реализованы на примере электровозов серии ВЛ80р, оборудованных МСУЭ.

Программное обеспечение МСУЭ, как и у МСУД электровозов серий «Ермак», ЭП1 и др., во многом повторяет алгоритмы, отлаженные ещё на «жёсткой» логике цифровых блогов управления типа БУВИП-133 электровозов серий ВЛ80р, ВЛ85 и аналоговых блоков управления типа БАУ-002 электровозов ВЛ85. Основным управляемым параметром в МСУЭ является параметр «Мощность ВИП» W , изменяющим своё целочисленное значение от 0 до 10000. В соответствие со значением W на ВИП подаются импульсы управления от 9 до 160 эл.град:

$W = 0$: нет управления;

$W \in [1-2500]$: первая зона управления;

$W \in [2501-5000]$: вторая зона управления;

$W \in [5001-7500]$: третья зона управления;

$W \in [7501-10000]$: четвёртая зона управления.

Входными сигналами МСУЭ являются сигналы задания машиниста режима работы – тяга или рекуперация, тока $I_{\text{зад}}$, скорости $V_{\text{зад}}$. Эти сигналы сравниваются с сигналами с датчиков тока $I_{\text{факт}}$ (по одному в цепи каждого ТЭД) и скорости $V_{\text{факт}}$ (скорость вращения нескольких колёсных пар). В зависимости

от разницы фактических и заданных значений в соответствии с законами автоматического управления выбирался темп нарастания или уменьшения $\Delta W/\Delta t$.

Автоматическое управление дополняется защитами, которые приводят, либо к ограничению управляющего сигнала W , либо к снижению/увеличению темпа роста управляющего сигнала $\Delta W/\Delta t$. Например, в МСУЭ есть защита от боксования, когда при возникновении разности частот вращения колёсных пар или при резком падении тока одного или нескольких ТЭД, уменьшается значение W . При превышении максимальной скорости также уменьшается W с последующим уменьшением тока и силы тяги. W уменьшается и при достижении максимального тока. Перерасчёт параметров осуществляется каждые 10 мс перед выбором алгоритма управления на следующий полупериод управления. Аналогично предлагается реализовать дополнительные алгоритмические защиты.

4.3.2 Превышение пятиминутных токов

При трогании поезда с места (особенно в диапазоне скоростей 10-20 км/ч – см.п.4.3) машинистам допускается следовать с током 1200А до пяти минут. Машинисты следуют с этим током гораздо дольше. Защититься от этого нарушения не так просто, т.к. ток может отличаться от значения 1200А. Однако при этом общий объем выделенного тепла Q известен:

$$Q = I^2 \cdot r \cdot t, \quad (4.4)$$

где: I, r – ток сопротивление ТЭД;

t – время наблюдения.

Предлагается при допущении, что за $t=5-10$ минут отвода тепла практически не будет, рассчитывать максимально допустимое выделенное тепло, которое не должно превышать максимальное значение:

$$Q_{\text{MAX}} = 1200\text{А} \cdot 1200\text{А} \cdot 5 \cdot 60 \cdot 0,1 = 43,2 \text{ МДж}. \quad (4.5)$$

Примечание: За сопротивление r принимается среднее значение сопротивления цепи ТЭД - 0,1 Ом.

Таким образом, предлагается следующий алгоритм работы:

– подготавливается сумматор выделенного тепла $Q = 0$;

– с момента превышения током значения часового тока начинает суммироваться накапливаемое тепло $Q = \sum I \cdot I \cdot \Delta t$;

– данные суммируются за последние 10 минут; по достижении времени наблюдения 10 минут начинают вычитаться первые значения:

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

– по мере приближения значения Q к Q_{MAX} ограничивается рост W , а по достижении критического значения ток ограничивается на уровне значения длительного режима.

Примечание: аналогичную защиту от превышения часового тока по предложенному алгоритму реализовать нельзя, т.к. необходимо учитывать отвод тепла, для чего следует иметь данные о температуре окружающего воздуха, потоке воздуха и др.

4.3.3 Завышенное напряжение на ТЭД

Второй опасный режим – завышенное напряжение на ТЭД, возникающее из-за превышения напряжения в контактной сети с 29 кВ до 32 кВ. В МСУЭ нет датчика напряжения в контактной сети или на ТЭД, поэтому для реализации защиты в силовую цепь ТЭД необходимо установить датчик напряжения. При достижении опасного напряжения прекращается увеличение параметра W . Если напряжение в контактной сети продолжает расти, то W уменьшается. И наоборот: если напряжение в контактной сети стало уменьшаться, то параметр W начинает изменяться в соответствии со значением параметров $I_{\text{ЗАД}}$, $V_{\text{ЗАД}}$, $I_{\text{ФАКТ}}$, $V_{\text{ФАКТ}}$.

4.3.4 Следование в руководящий подъём со скоростью ниже заданной

Следование в руководящий подъём со скоростью ниже заданной приводит к перегреву ТЭД [79, 83] и дальнейшему пробою изоляции. МСУЭ не имеет информации о дислокации локомотива – её можно взять из приборов безопасности (КЛУБ-У, САУТ-ЦМ и др.) по имеющемуся протоколу обмена данными на базе CAN-интерфейса. В этом случае предлагается следующий алгоритм:

– в случае следования по руководящему подъёму контролируется минимально допустимая скорость V_{MIN} ;

- если фактическая скорость $V_{\text{ФАКТ}}$ приближается к минимальной $V_{\text{МИН}}$, то увеличивается сила тяги поезда через ток ТЭД путём повышения значения параметра W ; контролируется отсутствие превышения максимального тока;
- если достигнуто максимальное значение тока $I_{\text{ФАКТ}} = I_{\text{МАХ}}$, а скорость всё-таки стала ниже минимального значения $V_{\text{ФАКТ}} = V_{\text{МИН}}$, то ток плавно снижается до значения длительного режима. Если поезд остановился, то следует вызвать вспомогательный локомотив.

4.3.5 Превышение весовой нормы поезда

Превышение весовой нормы непосредственно не влияет на работу локомотива, более того, информации о массе поезда в МСУЭ нет. Однако завышенная масса поезда проявит себя через повышенное боксование, необходимость длительного следования с пятиминутным током, невозможность «взять» руководящий подъём со скоростью больше минимальной $V_{\text{ФАКТ}} \geq V_{\text{МИН}}$. Остаётся опасность неконтролируемой паразитной продольной динамики поезда.

Защита от превышения массы поезда осуществляется опосредовано.

4.3.6 Отключение автоматического управления

Алгоритмические защиты МСУЭ некоторые машинисты воспринимают как мешающие вести поезд, называя МСУЭ «ленивым» и «туго думающим»: защиты существенно снижают эффективность тяги, сохраняя при этом сам локомотив исправным. Поэтому машинисты часто переходят на ручной режим управления, тем самым обходя защиты.

Ручной режим был важен на первом этапе внедрения автоматизированных систем, когда автоматические алгоритмы были не отлажены и могла возникнуть опасность отказа системы управления. Такая ситуация может возникнуть и сейчас, например, из-за отказа датчиков. Поэтому исключить ручной режим управления полностью нельзя.

Предлагается в случае переключения МСУЭ в режим «Ручной» ограничивать ток ТЭД на уровне длительного тока. Кроме того, производить разбор причин переключения как предотказного состояния.

4.3.7 Частое срабатывание защит

При срабатывании защит машинист имеет возможность её восстановить и продолжить движение. Это обычная ситуация, однако в случае возникновения неисправности (например, короткое замыкание в силовой цепи) многократные попытки восстановить защиту могут привести к более опасному отказу, например, пожару. Поэтому машинистам предписано восстанавливать защиту не более трёх раз. Предлагается после четырёх восстановлений защит ограничивать максимальный ток на уровне длительного режима.

4.3.8 Дополнительные алгоритмические защиты

Одна из причин пробоя изоляции двигателя – отсутствие прогрева ТЭД перед поездкой. Поэтому предлагается при **отсутствии прогрева ТЭД** ограничивать ток на уровне 200-300А, пока не будет накоплено определенное количество тепла.

Для предотвращения боксования при тяге тяжёлых поездов машинисты **применяют вспомогательный тормоз**, что может приводить к перегреву бандажей с дальнейшим их проворотом. МСУЭ не контролирует давление в тормозных цилиндрах, поэтому для реализации защиты нужна модернизация локомотива. Тогда в случае появления давления в тормозных цилиндрах следует плавно уменьшить значение параметра W до нуля.

Опасное нарушение – «**перепробег**» локомотива, который приводит к повышенному износу и даже отказу оборудования локомотива. МСУЭ не имеет информации о последних ТО и ТР, поэтому защита в настоящее время нереализуема. Если вводить в МСУЭ данные о ТОиР и допустимые пробеги, то можно ограничивать максимальный ток на уровне длительного режима, тем самым делая невозможным дальнейшую интенсивную эксплуатацию локомотива.

Разброс токов – ещё один опасный режим, приводящий к недоиспользованию мощности локомотива или боксованию, а в рекуперации – отсутствию торможения. Предлагается ограничивать ток по максимальному току ТЭД и выдавать сообщение о предотказном состоянии.

5 ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

В разделе описана практическая реализация предложенной автором модели системы мониторинга при сервисной форме обслуживания локомотив.

5.1 МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

В диссертации на основании выполненного анализа мирового и отечественного опыта разработки и внедрения систем мониторинга (раздел 1), предложенной структуры модели системы мониторинга технического состояния локомотивов с использованием методов теории нечётких множеств (раздел 2), анализа возможностей информационных систем локомотивного комплекса (раздел 3) и бортовых аппаратно-программных комплексов (раздел 4) разработана модель системы Мониторинга, суть которой заключается в следующем:

- 5.1.1 На базе одного из Центров обработки данных (ЦОД) устанавливается специализированный сервер, работающий в Интернет-пространстве, на базе которого создаётся единое информационное пространство, в котором аккумулируется информация об эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте, а также техническом состоянии локомотива. Сервер функционирует по общепринятым принципам с использованием типового программного обеспечения.
- 5.1.2 Первым источником информации являются информационные системы ОАО «РЖД» (АСУЖТ): прежде всего система управления движением поездов АСОУП, система контроля отказов КАС АНТ, обработки маршрутов машинистов ЦОММ (ИОММ), АСУ локомотивного хозяйства АСУТ и др. Данные АСУЖТ поступают из системы передачи данных (СПД) ОАО «РЖД» через защищенный интерфейс «VIP NET», для чего разрабатывается специальное программное обеспечение запроса данных из информационных систем АСУЖТ.
- 5.1.3 Данные информационных систем анализируются непосредственно для контроля пробегов, наличия отказов, перепростоя в депо, нарушений режимов эксплуатации и др., для чего используется специально разрабатываемый Модуль Мониторинга (ММ).

- 5.1.4 Вторым источником информации являются бортовые аппаратно-программные комплексы локомотивов (АПК), данные с которых считываются при помощи переносных flash-накопителей, переносных компьютеров, по радиоканалу в стандарте Wi-Fi или GPRS (GSM). Желательно создание единого информационного пространства диагностических данных АПК, однако очень большой объем данных пока не позволяет этого сделать: в единое информационное пространство передаётся только обработанная информация, полученная в результате расшифровки диагностических данных и последующего диагностирования.
- 5.1.5 Данные АПК также анализируются для непосредственного выявления выхода параметров за допуски, наличия отказов или предотказных состояний, нарушений режимов эксплуатации, для чего используются специально разрабатываемые автоматизированные рабочие места (АРМ) расшифровки данных АПК, в т.ч. АРМ МСУЭ.
- 5.1.6 В случае недостатка данных АПК используются данные деповских автоматизированных систем технического диагностирования (АСТД).
- 5.1.7 В информационном пространстве системы Мониторинга предварительно пишутся и периодически уточняются (по циклу PDCA) программы для периодического расчёта рисков отказа локомотивов с использованием вероятностно-статистических методов теории надёжности и логических уравнений ожидания опасных событий с использованием методов теории нечётких множеств.
- 5.1.8 Периодически (раз в час, сутки, неделю, месяц и др.) данные АСУЖТ и АПК обрабатываются, производится расчёт рисков.
- 5.1.9 В случае, если риск превышает заранее установленный уровень безопасности, система Мониторинга сигнализирует об опасной ситуации как при запросе информации пользователем, так и интерактивно путём рассылки SMS-сообщений, e-mail-рассылки, вывода «всплывающих» окон на экран монитора и др.
- 5.1.10 Периодически проверяется эффективность прогнозирования рисков и уточняются логические утверждения, параметры нечётких множеств и др.

5.2 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ АПК

5.2.1 Ручной режим диагностирования по данным АПК

Для мониторинга технического состояния локомотивов по данным АПК в сервисных локомотивных депо (СЛД) сервисной компании ООО «ТМХ-Сервис» в 2012 – 2015 годах созданы группы диагностики, в задачи которых входит считывание информации с бортовых АПК с дальнейшей их расшифровкой. После расшифровки данных АПК определяются предотказные состояния, работоспособность (правильность функционирования локомотивов), а также нарушения режимов эксплуатации. По результатам выполненных исследований для электровозов переменного тока предложены алгоритмы диагностирования. Для расшифровки данных АПК используются соответствующие автоматизированные рабочие места (АРМ): специализированное программное обеспечение, позволяющее расшифровывать данные, считанные с АПК.

На рисунке 5.1 показан пример выявления предотказных состояний в «ручном» режиме путём последовательного просмотра данных. Такой режим работы АРМ удобен для анализа конкретной нестандартной ситуации. Ручной режим нашёл широкое применение в сервисных локомотивных депо, где есть локомотивы с бортовыми аппаратно-программными комплексами. При мониторинге такой режим работы не удобен, т.к. полная расшифровка данных одной поездки занимает от 3-х до 5-и часов. Кроме того, требуется высокая квалификация диагноста. Поэтому все данные расшифровывать не удаётся: часто разбор производится только после наступления отказа с целью разбора обстоятельств инцидента.

На базе уже существующих АРМ необходимо разработать новую автоматизированную функциональность диагностирования и формирования соответствующего кода ошибки. Желательна передача кодов обнаруженных инцидентов в режиме online по радиоканалу в центр Мониторинга.

Таким образом, ручной режим диагностирования является достаточно эффективным, хоть и временным функциональным элементом системы Мониторинга.



а - Повышенное боксование одной колёсной пары



б - Отказ второй ступени ослабления поля

Рисунок 5.1 – Примеры «ручного» обнаружения неисправностей электровозов серии ВЛ80С депо Карасук по данным УСАВП (токи ТЭД)

Необходим переход на АРМ с функцией автоматизированного диагностирования. В дальнейшем желателен перевод функциональности АРМ в программное обеспечение бортовых АПК, в т.ч. с функцией передачи кодов состояний в центр Мониторинга в режиме online.

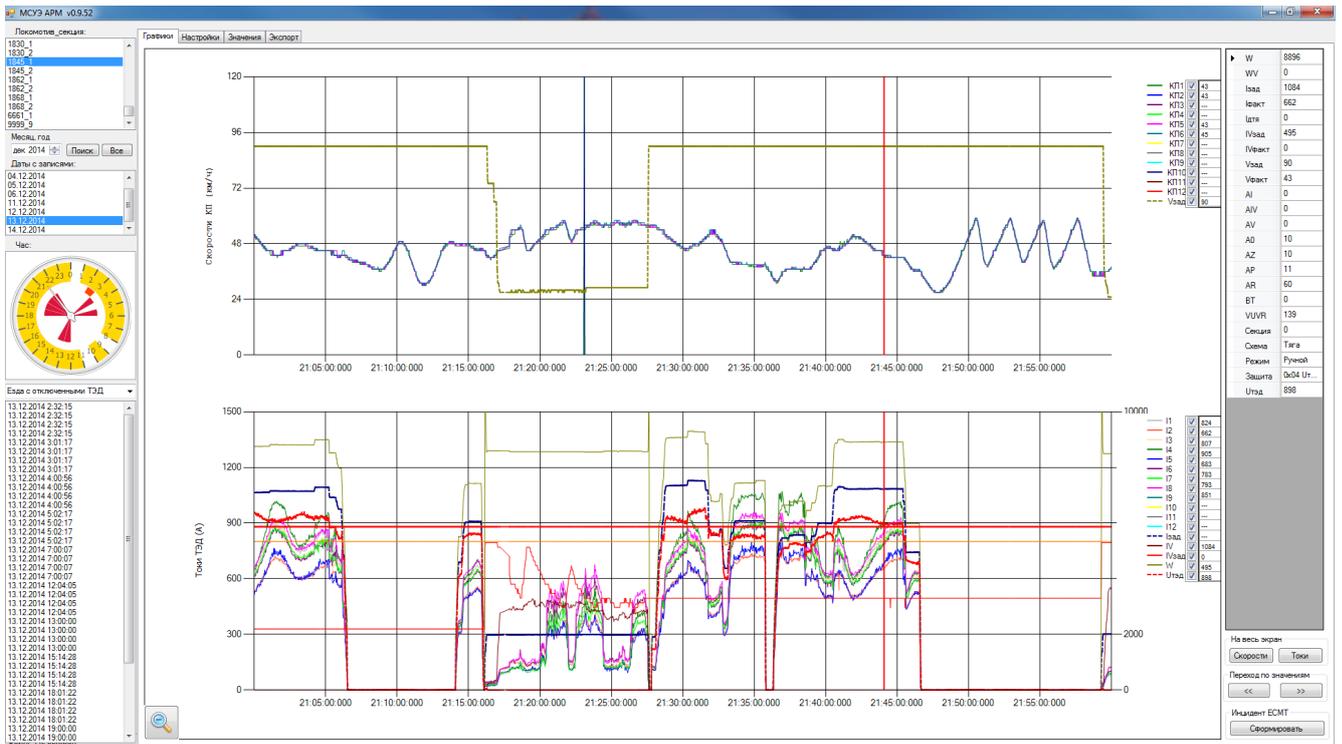
5.2.2 Автоматизированное рабочее место МСУЭ

Автором диссертации на основании выполненных исследований предложен алгоритм автоматизации мониторинга по данным АПК применительно к электровозам переменного тока серии ВЛ80р с АПК типа МСУЭ, который реализован в АРМ МСУЭ силами ЗАО «Дорожный центр внедрения Красноярской железной дороги» (ДЦВ Красноярской ж.д.) [146-148]. На рисунке 5.2 приведены сканы основных окон АРМ МСУЭ. АРМ позволяет автоматизировано (в поисковом режиме) находить инциденты: неисправности, предотказные состояния и нарушения режимов эксплуатации. В АРМ МСУЭ также реализованы элементы исследовательской функциональности, позволяющие анализировать режимы работы локомотива. Предусмотрена возможность экспорта данных в Excel. Именно по этим данным автором диссертации выполнен анализ, результаты которого приведены в разделе 4.

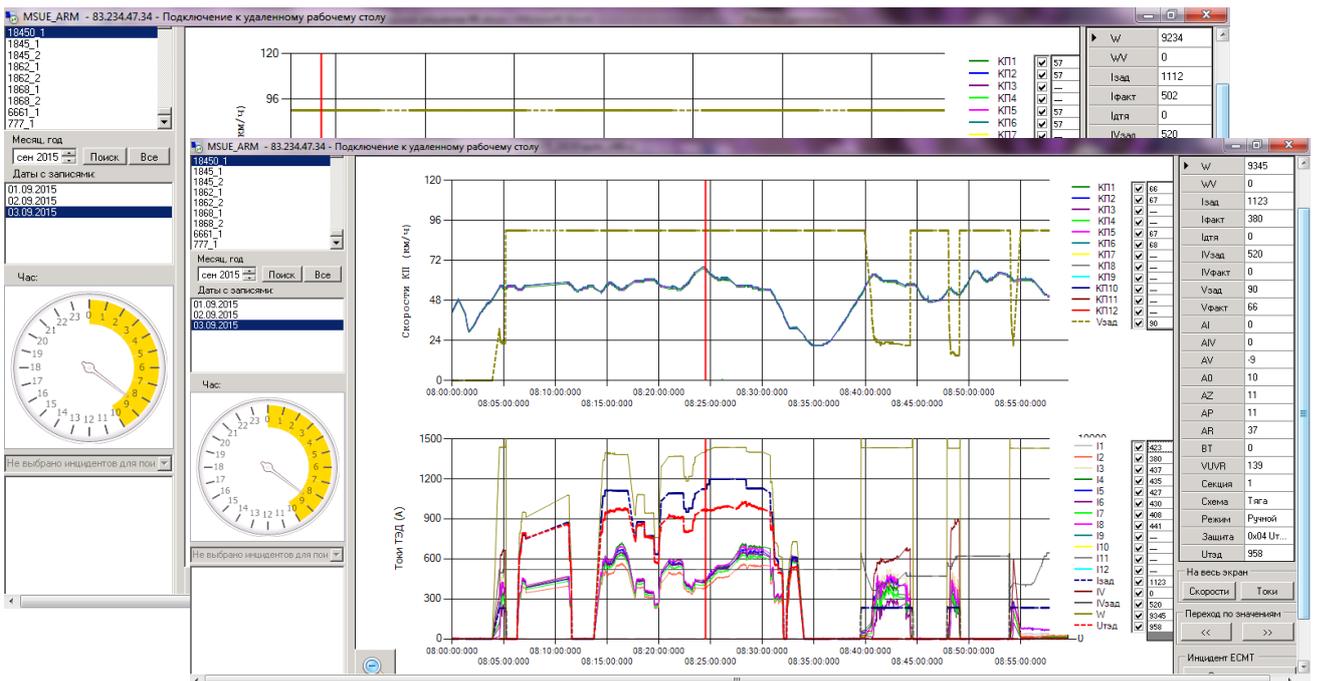
АРМ МСУЭ внедрён в СЛД «Боготол-Сибирский» на рабочих местах группы диагностики. Кроме того, АРМ МСУЭ используется в самом ДЦВ Красноярской ж.д. при диагностировании, техническом обслуживании и ремонте как самих МСУЭ, так и силовых электронных установок (ВИП, ВУВ и др.) на ПТОЛ станций Мариинская, Тайшет и Карымская, а также в Центре ремонта электроники компании в СЛД «Боготол-Сибирский» (г. Боготол Красноярского края).

Контроль технического состояния локомотива по данным МСУЭ позволил, прежде всего, обеспечить исправное состояние системы управления, включая датчики тока, скорости, угла коммутации и др. Во-вторых, по данным МСУЭ контролируется техническое состояние силового оборудования – прежде всего, выпрямительно-инверторных преобразователей (ВИП). В результате число отказов электронного оборудования (информационного и силового) снижено до 0,5 % от общего числа отказов, при том что в СЛД других полигонов число отказов электронного оборудования достигает 25 % от общего их числа.

Примечание: в технологии ДЦВ Красноярской ж.д. следует отметить, что отказы электронного оборудования устраняются на пунктах технического обслуживания (ПТОЛ) на станциях Мариинская, Тайшет и Карымская Восточного полигона.



а – Пример 1 экранной формы



б – Пример 2 экранной формы

Рисунок 5.2 – АРМ МСУЭ электровозов серии ВЛ80р

Основной способ сбора данных – с помощью переносного flash-накопителя. В ДЦВ Красноярской ж.д. предложена схема дистанционного сбора данных с электровозов (рисунок 5.3), которая во многом является типовой, но важен опыт мониторинга, накопленный в ДЦВ и СЛД «Боготол-Сибирский».

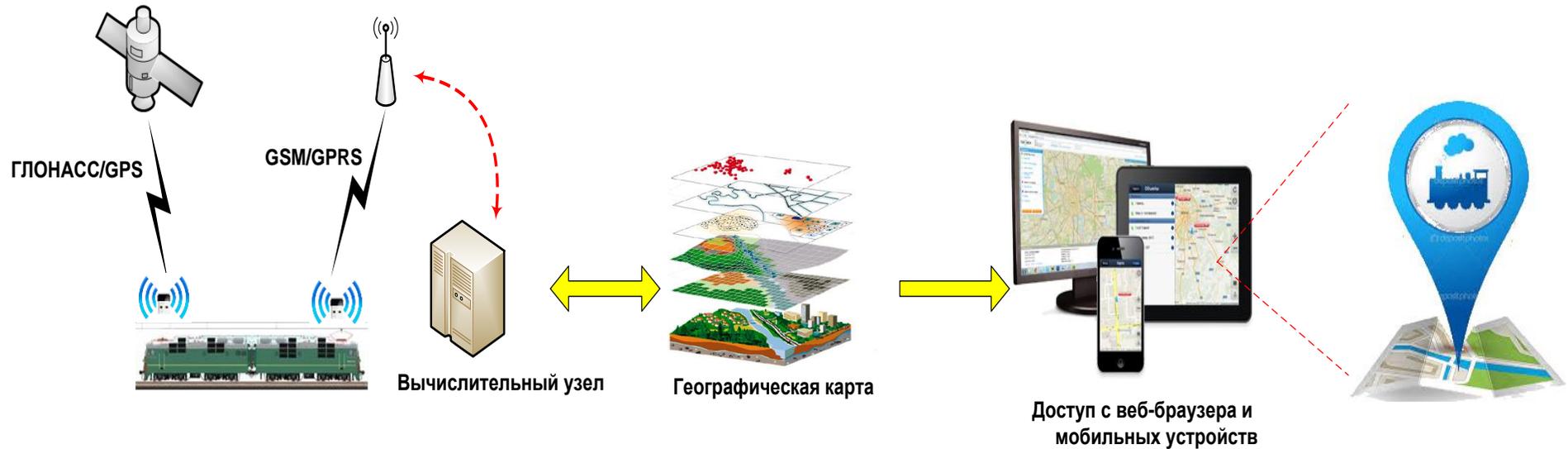


Рисунок 5.3 – Мониторинг диагностической информации в режиме online в ДЦВ Красноярской ж.д. [173]

ПРИМЕЧАНИЕ: если МСУЭ ВЛ80р модернизировать GPS/ГЛОНАСС-приёмником и GPRS/GSM-передатчиком, то даже на уже существующем подвижном составе можно реализовать передачу диагностической информации в режиме online. Кроме того, наличие информации о дислокации электровоза позволит реализовать защиту от опасного нарушения режима эксплуатации «Движение на руководящем подъёме со скоростью ниже заданной».

Таким образом, опыт мониторинга технического состояния электровозов ВЛ80р подтверждает реализуемость предложенной в диссертации модели системы Мониторинга.

5.2.3 Алгоритмические защиты

Предложенные алгоритмические защиты (см.п.4.4) были реализованы на электровозе ВЛ80р-1698, а позже – ВЛ80р-1845 приписки эксплуатационного локомотивного депо (ТЧЭ) «Боготол» Красноярской ж.д. (рисунок 5.4) Алгоритмы реализованы силами разработчика МСУЭ – ДЦВ Красноярской ж.д. на базе сервисного локомотивного депо (СЛД) «Боготол-Сибирский».



*а - электровоз ВЛ80р-1698
во время испытаний*



*б - монитор МСУЭ, по которому
осуществлялся контроль алгоритмов*

Рисунок 5.4 – Электровоз ВЛ80р-1698 с алгоритмическими защитами

Необходимость защиты от повышенного напряжения на ТЭД показана на рисунке 5.5а: напряжение в контактной сети во время испытаний превышало 32 кВ при допустимых 29 кВ. В цепи ТЭД был установлен датчик напряжения (рисунок 5.5б) типа LEM (lv 100/sp84), который был подключен к МСУЭ (рисунок 5.6). В результате реализован предложенный алгоритм. Для питания датчика установлен источник двуполярного питания ± 24 В. Испытания показали высокую востребованность защит от превышения напряжения 950 В на ТЭД. Пример срабатывания защиты приведён на рисунке 5.7



а - Напряжение в контактной сети по данным штатного вольтметра электровоза (32 кВ)

б – датчик напряжения ТЭД

Рисунок 5.5 – Контроль напряжения на ТЭД

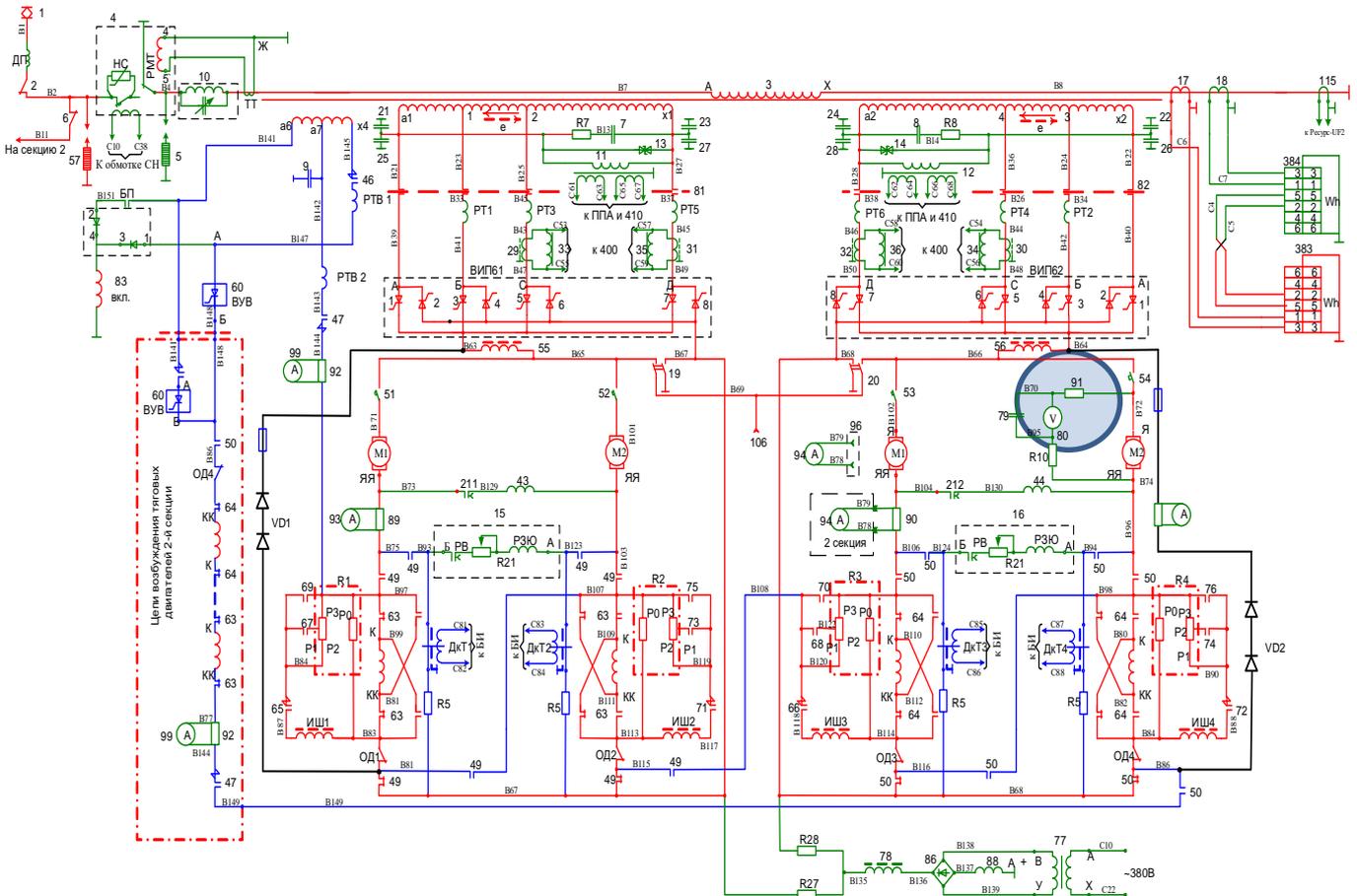


Рисунок 5.6 - Модернизированная силовая схема электровоза: поставлен датчик напряжения в цепь тягового электродвигателя двигателя (ТЭД)

На рисунке 5.8 показано срабатывание защиты при попытке машиниста скрыть свои нарушения режимов эксплуатации путём отключения монитора бортового компьютера, в котором находится накопитель информации. В этом случае ток программно (алгоритмически) ограничивается на уровне тока длительного режима.

Следующее массовое нарушение - превышение пятиминутных токов при трогании и разгоне поезда (допускается следование с током 1200 А не более пяти минут). Программа контролирует выделяемую на ТЭД энергию. В случае превышения допустимого значения программа увеличивает угол открытия тиристоров, тем самым снижая напряжение на тяговых электродвигателях (ТЭД) до безопасных значений (рисунок 5.9).

Защита от боксования: в случае, если программно обнаружено боксование (по разности скоростей колёсных пар или по разности токов), то программа увеличивает угол открытия тиристоров, тем самым снижая напряжение на тяговых электродвигателях (ТЭД). Снижение напряжения происходит плавно до прекращения боксования (рисунок 5.10). На экран монитора выводится соответствующее сообщение. В базе данных АПК фиксируется соответствующая информация.

Испытания алгоритмических защит на полигоне Красноярской ж.д. показали их высокую эффективность. Зафиксировано три «схода локомотива с кольца». После захода локомотива с сервисное локомотивное депо и разбора причин во всех трёх случаях оказалось, что причиной было срабатывание алгоритмических защит из-за попыток машиниста нарушить режимы эксплуатации.

ВЫВОД: Для обеспечения надёжной работы локомотивов необходимо дополнить программное обеспечение бортовых аппаратно-программных комплексов алгоритмическими защитами. При этом затраты сводятся к доработке программного обеспечения и перепрограммированию АПК. Алгоритмические защиты – один из самых низко затратных способов повышения надёжности отечественных локомотивов.



Рисунок 5.7 – Ограничение напряжения на ТЭД на уровне 950 В: с ростом напряжения управления $U_{УПР}$ не происходит рост напряжения на ТЭД $U_{ТЭД}$

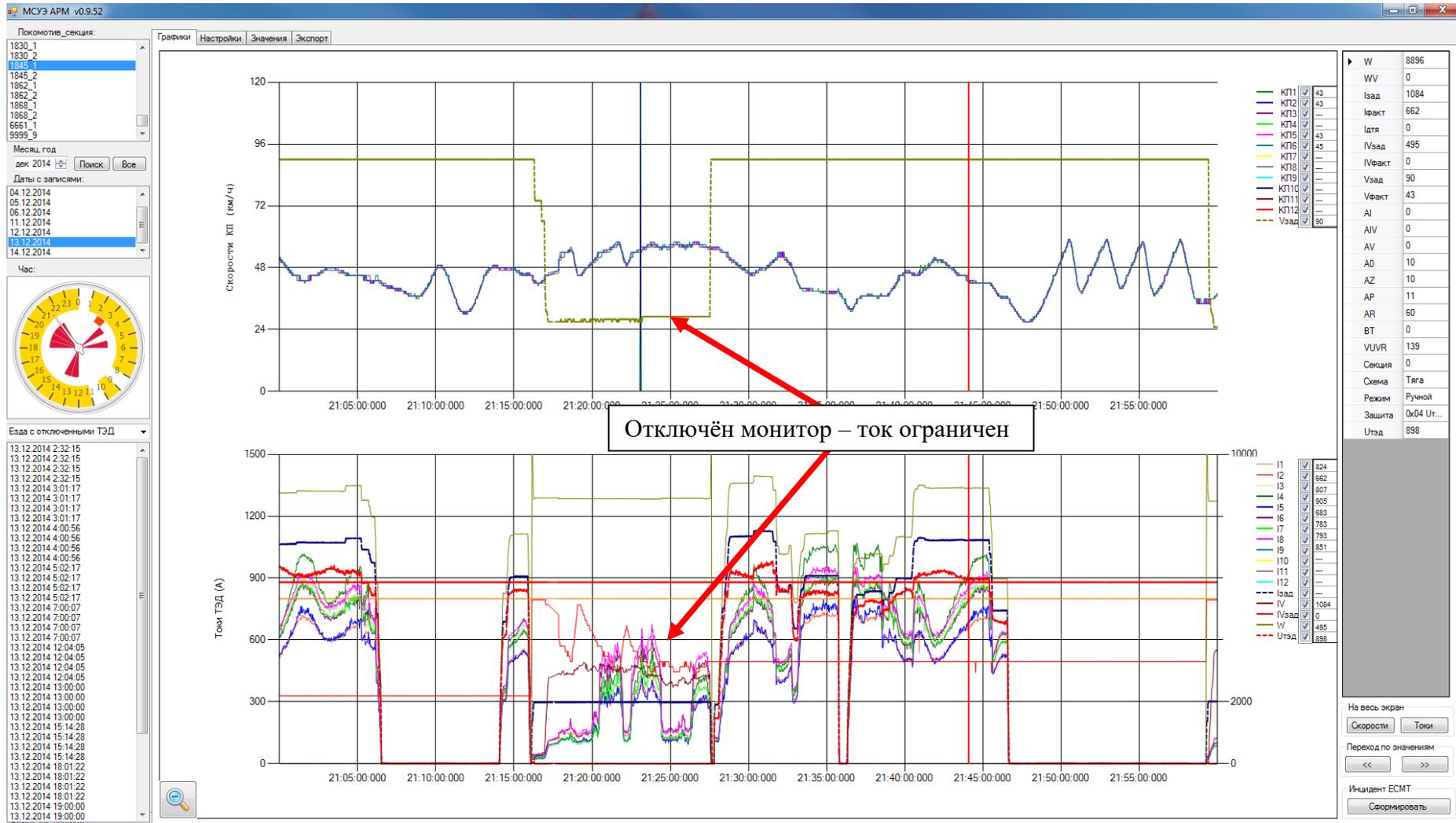


Рисунок 5.8 – Ограничение тока ТЭД при отключении монитора или переходе в ручной режим

Автоматическое ограничение больших токов после длительного следования
с токами свыше 1000А



Рисунок 5.9 – Защита электровоза от перегрева ТЭД



Рисунок 5.10 – Защита от боксования и перегрева

5.3 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В ОАО «РЖД» с 2013 созданы 7 Центров управления тяговыми ресурсами (ЦУТР) [121]. Для планирования ТОиР локомотивов сервисными компаниями при ЦУТР созданы отделы – Центры мониторинга эксплуатации локомотивов – ЦМ, а при депо – производственно-диспетчерские отделы (ПДО), на базе которых реализованы алгоритмы, предложенные в разделе 3.3 диссертации: были подготовлены соответствующие технические требования (ТТ) – на каждую из пяти предложенных функций. По заданию сервисной компании «Локомотивные технологии» в компании «АВП Технология» разработано программное обеспечение, в основу которого легли предложенные ТТ. Программное обеспечение апробировано и внедрено в опытную эксплуатацию.

Модуль «Мониторинг Пробегов» (ММ1) позволяет отслеживать суточные и среднесуточные пробеги локомотива, пробеги от плановых видов ТОиР (рисунок 5.11), вычислять за заданный период по заданным сериям и депо коэффициент технической готовности (КТГ), анализировать источники потерь.

Модуль «Прогнозное планирование ТОиР» (ММ2) позволяет рассчитывать график заходов локомотивов на плановые виды ТОиР (рисунок 5.12).

Модуль «Оперативное планирование ТОиР» (ММ3) позволяет формировать оперативный график захода локомотивов в депо на плановые виды ремонта с точным временем и датой на ближайшее 3-е суток (рисунок 5.13).

Модуль «Управление НР» (ММ4) позволяет управлять восстановлением отказавшего локомотива (рисунок 5.14).

Модуль «Контроль выдачи из ТОиР» (ММ5) позволяет контролировать выдачу локомотивов с ремонта, управлять восстановлением отказавшего локомотива от момента поломки на линии до выхода его из депо (рисунок 5.15).

Модуль «Геоинформационная система» (ММ6), позволяет отслеживать положение секций локомотивов на интерактивной карте (рисунок 5.16). Модуль представляет собой интерактивную карту, отображающую местонахождение локомотивов в режиме on-line.

Суточные пробеги
 Пробеги от ТОиР
 Среднесуточные пробеги

Забайкальская, ТЧЗ-11 ЗА | Серия: 23С5К, 23С5К, ВЛ80С | От: 27.03.2016 | СППР: Выберите из списка | Обновить | Шаблоны
 РЖД ТМХ | До: 28.03.2016 | Excel

Локомотив		Текущее состояние							Суточные пробеги				
№	Сек.	Дорога	Дело приписки	Код	Состояние	Тип	Дата	Дислокация	27.03.2016				
									км	час	КТГ	тонно*км-брутто	км
Серия: 23С5К													
Серия: 23С5К													
Серия: ВЛ80С (Продолжено на следующей странице)													
6	А	ЗСБ	ТЧЗ-10 З-СИБ	1	ГОЛП	Исправное	29.03.2016 6:38	Краснозерское	832	24	0,919	5 006 534	943
6	Б	ЗСБ	ТЧЗ-10 З-СИБ	1	ГОЛП	Исправное	29.03.2016 6:38	Краснозерское	832	24	0,919	5 006 534	943
7	А	ЗСБ	ТЧЗ-10 З-СИБ	105	ОЖ.РАБОТЫ	Исправное	28.03.2016 23:48	ТЧПУ-71 З-СИБ	218	24	1,000	316 516	405
7	Б	ЗСБ	ТЧЗ-10 З-СИБ	105	ОЖ.РАБОТЫ	Исправное	28.03.2016 23:48	ТЧПУ-71 З-СИБ	218	24	1,000	316 516	405
8	А	ЗСБ	ТЧЗ-10 З-СИБ	103	ПРОСТ.ОТПР	Исправное	29.03.2016 7:40	Артышт2	686	24	1,000	2 552 276	1 121
8	Б	ЗСБ	ТЧЗ-10 З-СИБ	103	ПРОСТ.ОТПР	Исправное	29.03.2016 7:40	Артышт2	686	24	1,000	2 552 276	1 121

Страница 1 из 3 (Всего строк: 1536) | Записей на странице: 200

а – Окно MMI Суточные пробеги

Пробеги от ТОиР | Выбор модуля | Отчеты | KozlovaEN | Выйти

Суточные пробеги
 Пробеги от ТОиР
 Среднесуточные пробеги

Забайкальская, ТЧЗ-11 ЗА | Серия: 23С5К, 23С5К, ВЛ80С | Дата: 28.03.2016 | 90 - 100% | 100 - 110% | Более 110% | Обновить | Шаблоны | Excel

Информация на 28.03.2016 18:00 (мск)

Перетяните заголовок колонки, чтобы сгруппировать

Локомотив		Текущее состояние							ТР-2							
Серия	№	Сек.	Дорога	Дело приписки	Код	Состояние	Тип	Дата	Дислокация	Пробег		Норма		Дата	Пробег	
										км	час	км	час	дата	км	час
23С5К	200	А	ЗАБ	ТЧЗ-11 ЗАБ	1	ГОЛП	Исправное	29.03.2016 7:57	Чита 1	155 416	337	250 000	0	13.04.2015 0:00	409 912	770
23С5К	200	Б	ЗАБ	ТЧЗ-11 ЗАБ	1	ГОЛП	Исправное	29.03.2016 7:57	Чита 1	155 416	337	250 000	0	13.04.2015 0:00	409 912	770
23С5К	210	А	ЗАБ	ТЧЗ-11 ЗАБ	1	ГОЛП	Исправное	29.03.2016 8:09	Ерофей павлович	201 102	487	250 000	0	07.11.2014 0:00	201 102	487
23С5К	210	Б	ЗАБ	ТЧЗ-11 ЗАБ	1	ГОЛП	Исправное	29.03.2016 8:09	Ерофей павлович	201 102	487	250 000	0	07.11.2014 0:00	201 102	487
23С5К	211	А	ЗАБ	ТЧЗ-11 ЗАБ	1	ГОЛП	Исправное	29.03.2016 8:23	Ульякан	228 792	488	250 000	0	07.11.2014 0:00	228 792	488
23С5К	211	Б	ЗАБ	ТЧЗ-11 ЗАБ	1	ГОЛП	Исправное	29.03.2016 8:23	Ульякан	228 792	488	250 000	0	07.11.2014 0:00	228 792	488
23С5К	212	А	ЗАБ	ТЧЗ-11 ЗАБ	113	СДАЧА БРГ.	Исправное	29.03.2016 7:38	Сквородино	15 716	23	250 000	0	04.03.2016 0:00	278 993	473

Страница 1 из 14 (Всего строк: 656) | Записей на странице: 50

б – окно MMI Пробеги от ТОиР

Суточные пробеги
 Пробеги от ТОиР
 Среднесуточные пробеги

Забайкальская, ТЧЗ-11 ЗА | Серия: 23С5К | От: 01.01.2016 18:00 | СППР: Выберите из списка | Обновить | Шаблоны
 РЖД ТМХ | Номер локомотива: Все | До: 31.01.2016 18:00 | Excel

Перетяните заголовок колонки, чтобы сгруппировать

Локомотив		Текущее состояние							Среднесуточные пробеги		
Серия	№	Сек.	Дорога	Дело приписки	Код	Состояние	Тип	Дата	Дислокация	Среднесуточный пробег (км)	КТГ
										23С5К	191
23С5К	191	Б	ЗАБ	ТЧЗ-11 ЗАБ	1	ГОЛП	Исправное	29.03.2016 7:15	Зилово	533.33	0,924
23С5К	192	А	ЗАБ	ТЧЗ-11 ЗАБ	102	ПРОСТ.ПРИБ	Исправное	29.03.2016 8:20	Могоча	371.83	0,965
23С5К	192	Б	ЗАБ	ТЧЗ-11 ЗАБ	102	ПРОСТ.ПРИБ	Исправное	29.03.2016 8:20	Могоча	371.83	0,965
23С5К	193	А	ЗАБ	ТЧЗ-11 ЗАБ	1	ГОЛП	Исправное	29.03.2016 8:15	Чита 1	288.63	0,961
23С5К	193	Б	ЗАБ	ТЧЗ-11 ЗАБ	1	ГОЛП	Исправное	29.03.2016 8:15	Чита 1	288.63	0,961
23С5К	194	А	ЗАБ	ТЧЗ-11 ЗАБ	1	ГОЛП	Исправное	29.03.2016 3:14	Теплое озеро	284.93	0,715
23С5К	194	Б	ЗАБ	ТЧЗ-11 ЗАБ	1	ГОЛП	Исправное	29.03.2016 3:14	Теплое озеро	284.93	0,715
23С5К	195	А	ЗАБ	ТЧЗ-11 ЗАБ	102	ПРОСТ.ПРИБ	Исправное	29.03.2016 8:20	Могоча	310.77	0,980

Страница 1 из 1 (Всего строк: 64) | Записей на странице: 200

в – Среднесуточные пробеги

Рисунок 5.11 – Мониторинг эксплуатационных показателей локомотивов

Все Серия: ЭЭС5К, ЭЭС5К, ВЛ80Р, ВЛ8С Год: 2016 Обновить Шаблоны
 РЖД ТМХ Дата расчета: 27.03.2016 Excel

Дорога ремонта Депо ремонта Серия

Вид ремонта	Количество ремонтов											
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	
ТО-2	-	-	6	20	20	22	20	26	20	14	26	
Серия: ЭЭС5К январь 0, февраль 0, март 39, апрель 102, май 123, июнь 177, июль 141, август 114, сентябрь 120, октябрь 132, ноябрь 123, декабрь 126, итого 1197												
ТР-3	-	-	18	9	18	15	6	6	9	3	6	
ТР-2	-	-	3	0	6	6	3	0	0	0	3	
ТР-1	-	-	9	9	12	66	57	30	18	42	30	
ТО-2	-	-	9	84	87	90	75	78	93	87	84	
Серия: ВЛ80Р январь 0, февраль 0, март 0, апрель 15, май 12, июнь 12, июль 15, август 12, сентябрь 12, октябрь 12, ноябрь 12, декабрь 15, итого 117												
ТР-1	-	-	0	0	0	3	0	0	0	3	0	
ТО-2	-	-	0	15	12	9	15	12	12	9	12	
Дело ремонта: СЛД-22 НИЖНЕБУДИНСКОЕ январь 0, февраль 0, март 6, апрель 24, май 22, июнь 16, июль 29, август 26, сентябрь 20, октябрь 25, ноябрь 18, декабрь 23, итого 209												
Серия: ВЛ80Р январь 0, февраль 0, март 6, апрель 24, май 22, июнь 16, июль 29, август 26, сентябрь 20, октябрь 25, ноябрь 18, декабрь 23, итого 209												
ТР-3	-	-	3	3	0	0	0	7	4	0	0	
ТР-1	-	-	0	5	3	2	8	0	2	6	4	
ТО-2	-	-	3	16	19	14	21	19	14	19	14	

Итого: 0 Итого: 0 Итого: 4102 Итого: 21182 Итого: 22909 Итого: 22605 Итого: 22682 Итого: 22496 Итого: 22226 Итого: 22554 Итого: 2261

Страница 1 из 3 (Всего строк: 263) 1 2 3 Записей на странице: 200

Рисунок 5.12 – Прогнозное планирование, годовой план ремонта

Суточные пробеги Все Серия: ВЛ80Р Дата: 28.03.2016 90 - 100% 100 - 110% Более 110% Обновить Шаблоны
 Пробеги от ТОиР Номер локомотива: Все РЖД ТМХ Excel

Информация на 28.03.2016 18:00 (мск)

Перетяните заголовок колонки, чтобы сгруппировать

Серия	№	Сек.	Дорога	Депо приписки	Код	Состояние	Тип	Дата	Дислокация	ТР-1						
										Пробег		Норма		Дата		
										км	час	км	час	дата	Пробег	
ВЛ80Р	1655	А	КРС	ТЧЗ-1 КРАС	309	ТР1-ТО4	Обслуживание	29.03.2016 3:57	ТЧР-11 КРАС	50 019	70	45 454	100	13.01.2016 0:00	270 701	428
ВЛ80Р	1582	А	КРС	ТЧЗ-1 КРАС	309	ТР1-ТО4	Обслуживание	29.03.2016 3:57	ТЧР-11 КРАС	50 019	70	45 454	100	13.01.2016 0:00	202 309	304
ВЛ80Р	1867	Б	КРС	ТЧЗ-1 КРАС	535	ОЖЛЕР.РЕМ	Обслуживание	28.03.2016 9:46	ТЧР-9 КРАС	49 236	84	45 454	100	28.12.2015 0:00	246 478	433
ВЛ80Р	1867	А	КРС	ТЧЗ-1 КРАС	535	ОЖЛЕР.РЕМ	Обслуживание	28.03.2016 9:46	ТЧР-9 КРАС	49 236	84	45 454	100	28.12.2015 0:00	246 478	433
ВЛ80Р	1727	Б	КРС	ТЧЗ-3 КРАС	113	СДАЧА БРГ.	Исправное	29.03.2016 8:25	Канск-Енисейск	48 898	79	45 454	100	09.01.2016 0:00	338 550	576
ВЛ80Р	1727	А	КРС	ТЧЗ-3 КРАС	113	СДАЧА БРГ.	Исправное	29.03.2016 8:25	Канск-Енисейск	48 898	79	45 454	100	09.01.2016 0:00	338 550	576
ВЛ80Р	1829	Б	ВСБ	ТЧЗ-2 В-СИБ	7	О.С.П	Исправное	29.03.2016 9:42	Слюдян I	48 552	109	45 454	0	08.12.2015 0:00	91 379	191

а – выбор кандидатов на ТОиР

Боготол Вид ремонта: ТР Серия: ВЛ80С Номер локомотива: Все Шаблоны

Серия	Номер	Секц.	Текущая дислокация	Наличие инцидентов	Нормат. пробег	Ср.сут. пробег	28.09.2015			29.09.2015			30.09.2015					
							Прогнозируемый пробег	Рем. поз. №		Прогнозируемый пробег	Рем. поз. №		Прогнозируемый пробег	Рем. поз. №				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
ВЛ80С	612	А	Уяр	Нагрев буксы 2кп	45000	800	49100		V		49900				50700			
ВЛ80С	612	Б	Уяр		45000	800	49100		V		49900				50700			
ВЛ80С	2015	А	Иркутск		50000	800	49980				50780	V			51580			
ВЛ80С	2015	Б	Иркутск		50000	800	49980				50780	V			51580			
ВЛ80С	1348	А	Хилок		50000	750	47250				48000				48750	V		
ВЛ80С	1348	Б	Хилок	Отключ. ТЭД 2	50000	750	47250				48000				48750	V		
ВЛ80С	2114	А	Карымская	Ползун 4кп	50000	750	44880				45630				46380			
ВЛ80С	2114	Б	Карымская		50000	750	44880				45630				46380			

б – составленный 3-х суточный график

Рисунок 5.13 – Оперативное планирование

Все Серия: ВЛ80Р, ВЛ80С По дате На тек. момент Состояния: Все Обновить Шаблоны Excel

Отменить фильтрацию

ТПС	Серия	Номер	Секция	Дорога	Филиал	Приписка (СЛД)	Фиксация в НР	Текущая дислокация	Текущее состояние	Дата	Номер поезда	Масса поезда	Причина постановки
ВЛ80Р N81510	ВЛ80Р	1510	А	Красноярская	Восточно-Сибирский	Богол.-Сибирский	Неплановый ремонт по рекламации к ремонту или модернизации на заводе	ТЧР-17 В-СИБ	Неплановый ремонт по рекламации к ремонту или модернизации на заводе	29.03.2016 6:41	0	0	
ВЛ80Р N81510	ВЛ80Р	1510	Б	Красноярская	Восточно-Сибирский	Богол.-Сибирский	Неплановый ремонт по рекламации к ремонту или модернизации на заводе	ТЧР-17 В-СИБ	Неплановый ремонт по рекламации к ремонту или модернизации на заводе	29.03.2016 6:41	0	0	
ВЛ80Р N81531	ВЛ80Р	1531	А	Красноярская	Восточно-Сибирский	Богол.-Сибирский	Ожидание передачи ремонтному предприятию для проведения непланового ремонта	ТЧР-10 КРАС	В процессе непланового ремонта	28.03.2016 9:15	0	0	
ВЛ80Р N81531	ВЛ80Р	1531	Б	Красноярская	Восточно-Сибирский	Богол.-Сибирский	Ожидание передачи ремонтному предприятию для проведения непланового ремонта	ТЧР-10 КРАС	В процессе непланового ремонта	28.03.2016 9:15	0	0	

Страница 1 из 3 (Всего строк: 116) 1 2 3 Записей на странице: 50

Рисунок 5.14 – Управление восстановлением отказавших локомотивов

Все Серия: ВЛ85 По дате На тек. момент Виды ремонта: Все Обновить Статистика Шаблоны Excel Диаграмма

Отменить фильтрацию

Перечислите заголовки колонок, чтобы сгруппировать

Локомотив				Текущее состояние				Дата и время начала оказания		Дата постановки		Время простоя, час		Общие время ремонта		Среднезад. простоя, час		Мин. время простоя, час	
ТПС	Серия	Номер	Секция	Приписка	Код	Состояние	Дата	Дислокация	Дата	Время	План	Факт	Норма	Факт	Общее	Среднезад.	Мин. время	простоя, час	простоя, час
ВЛ85 N866	ВЛ85	66	А	ТЧЭ-2 В-СИБ	308	НЕПЛ.РЕМ.	28.03.2016 14:17	СЛД-24 ТАЙШЕТ	28.03.2016 14:17	154						14,4		2,97	
ВЛ85 N866	ВЛ85	66	Б	ТЧЭ-2 В-СИБ	308	НЕПЛ.РЕМ.	28.03.2016 14:17	СЛД-24 ТАЙШЕТ	28.03.2016 14:17	154						14,4		2,97	
ВЛ85 N8160	ВЛ85	160	А	ТЧЭ-2 В-СИБ	532	ОЖ.НЕПЛ.РЕМ.	29.03.2016 6:50	ТЧР-22 В-СИБ	28.03.2016 9:31	76		28.03.2016 10:47		2	4	14,4		2,97	
ВЛ85 N8160	ВЛ85	160	Б	ТЧЭ-2 В-СИБ	532	ОЖ.НЕПЛ.РЕМ.	29.03.2016 6:50	ТЧР-22 В-СИБ	28.03.2016 9:31	76		28.03.2016 10:47		2	4	14,4		2,97	
ВЛ85 N8221	ВЛ85	221	А	ТЧЭ-2 В-СИБ	308	НЕПЛ.РЕМ.	28.03.2016 7:33	ТЧР-22 В-СИБ	24.03.2016 15:47	5266		28.03.2016 7:33				14,4		2,97	
ВЛ85 N8221	ВЛ85	221	Б	ТЧЭ-2 В-СИБ	308	НЕПЛ.РЕМ.	28.03.2016 7:33	ТЧР-22 В-СИБ	24.03.2016 15:47	5266		28.03.2016 7:33				14,4		2,97	
ВЛ85 N8170	ВЛ85	170	А	ТЧЭ-2 В-СИБ	529	ТО-58	29.03.2016 5:12	ТЧР-17 В-СИБ	01.03.2016 8:00	38761		28.03.2016 6:01	28.03.2016 6:02	1	648	266,53		266,53	
ВЛ85 N8170	ВЛ85	170	Б	ТЧЭ-2 В-СИБ	529	ТО-58	29.03.2016 5:12	ТЧР-17 В-СИБ	01.03.2016 8:00	38761		28.03.2016 6:01	28.03.2016 6:02	1	648	266,53		266,53	
ВЛ85 N8237	ВЛ85	237	А	ТЧЭ-2 В-СИБ	1	ГОЛ.П.	29.03.2016 9:28	Нижегородский	27.03.2016 19:27	283		29.03.2016 5:48		30	35	56,08		23,72	
ВЛ85 N8237	ВЛ85	237	Б	ТЧЭ-2 В-СИБ	1	ГОЛ.П.	29.03.2016 9:28	Нижегородский	27.03.2016 19:27	283		29.03.2016 5:48		30	35	56,08		23,72	
ВЛ85 N8164	ВЛ85	164	А	ТЧЭ-2 В-СИБ	1	ГОЛ.П.	29.03.2016 10:15	Иркутск	27.03.2016 13:50	619		28.03.2016 5:23		6	17	14,4		2,97	
ВЛ85 N8164	ВЛ85	164	Б	ТЧЭ-2 В-СИБ	1	ГОЛ.П.	29.03.2016 10:15	Иркутск	27.03.2016 13:50	619		28.03.2016 5:23		6	17	14,4		2,97	
ВЛ85 N824	ВЛ85	24	А	ТЧЭ-2 В-СИБ	1	ГОЛ.П.	29.03.2016 9:13	Зима	27.03.2016 22:37	11		27.03.2016 22:48				14,4		2,97	

Страница 1 из 1 (Всего строк: 22) 1 Записей на странице: 50

Рисунок 5.15 – Контроль выдачи локомотивов с ремонта

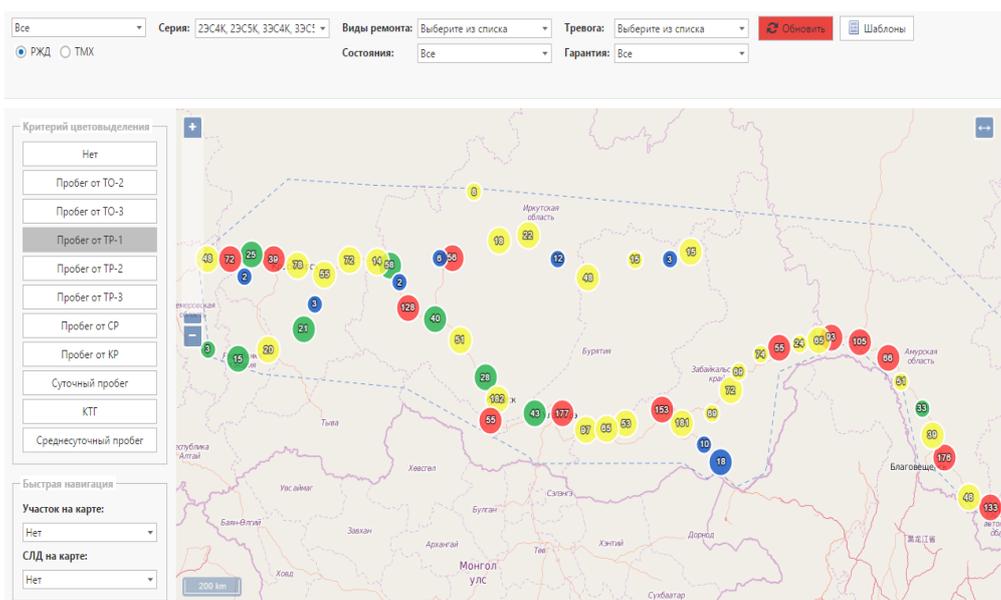


Рисунок 5.16 – Геоинформационная система мониторинга

5.4 РАЗРАБОТКА СППР

Третья составляющая модели (управление рисками) реализована в виде самостоятельного модуля «Система поддержки принятия решений» (СППР), основным понятием которого является риск $R \in [0, 1]$ отказа локомотива. В **основном окне СППР** содержится информация об имеющихся алгоритмах расчёта рисков R : представляет собой таблицу, каждой строке которой соответствует один из ранее сформированных рисков R . Столбцам таблицы соответствуют параметры Риска: имя риска R ; статус (запущен не запущен; периодичность запуска; время запуска; фильтр (регион, СЛД, серия); допуски на R , при которых фиксируется риск (например, если указано 0,7, значит при достижении этого значения будет зафиксирован риск); допуски на тренд риска: увеличение/уменьшение значения R ; текущее значение R и дата последнего расчёта; действия, предпринимаемые при наступлении риска R (создание ЛРИ, ЛРП, e-mail и/или sms-рассылка; автор, имеющий право изменить правило.

Окно просмотра результатов расчёта рисков R предназначено для просмотра результатов расчёта риска R (рисунок 5.17): представляет собой таблицу, каждой строке которой соответствуют результаты расчёта рассматриваемого риска. В столбцах содержится информация о результатах расчёта: дата, значения отдельных элементов R_i , значение риска.

Основное окно логических утверждений R_i предназначено для просмотра в виде списка ранее созданных логических утверждений R_i (рисунок 5.18). Содержит таблицу, каждой строке которой соответствует одно логическое утверждение R_i . В столбцах содержится информация о логическом утверждении, главной из которой является: наименование логического утверждения R_i ; вес инцидента m_i ; формула.

Основное окно нечётких множеств аналогично двум предыдущим основным окнам и предназначено для просмотра созданных нечётких множеств FS различных типов (рисунок 5.19). Окно содержит таблицу, каждой строке которого соответствует одно нечёткое множество. В столбцах содержатся данные о нечётком множестве, главными из которых является: наименование нечёткого множества FS ; основной параметр FS ; данные о функции принадлежности μ .

№	1	2	3	4	5	6	7	8
Кнопки	Редактировать	Удалить	снять с публикации	Скопировать	Опубликовать	Добавить риск R	«Основное окно логических утверждений Ri»	«Основное окно нечётких множеств FS»

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Поле	Имя риска	Описание риска	Значение риска	Принятые действия	1 зона риска "Зелёная" не существенная	Действие при достижении 1-й зоны риска	Кому	Описания сообщения	2 зона риска "Жёлтая" не значительная	Действие при достижении 2-й зоны риска

№	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Поле	Кому	Описания сообщения	3 зона риска "Оранжевая" значительная	Действие при достижении и 3-й зоны риска	Кому	Описание сообщения	4 зона риска "красная" критическая	Действие при достижении 4-й зоны риска	Кому	Информация 1

№	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Поле	Информация 2	Информация n	Описания сообщения	Выбор логических утверждений	Периодичность расчёта риска	Время начала расчёта риска	Номер недели, на которой производится расчёт для месяца.	День недели расчёта риска	Автор	ID R

Рисунок 5.17 – Окно просмотра результатов расчёта

№	1	2	3	4	5	6
Кнопки	Редактировать	Удалить	снять с публикации	Скопировать	Опубликовать	Добавить Ri

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Поле	Имя утверждения Ri	Описание логического утверждения	Формула утверждения	Вес риска mi	Величина риска при расчёте	Автор	ID Ri	Дата последнего расчёта	Значение при последнем расчёте

Рисунок 5.18 – Окно логических утверждений

№	1	2	3	4	5	6
Кнопки	Редактировать	Удалить	снять с публикации	Скопировать	Опубликовать	Добавить FS

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Поле	Имя FS	Описание FS	Параметр X	Диапазон отсутствия признака ($\mu = 0$)	Диапазон присутствия признака ($\mu = 1$)	Переходная функция	Автор	Структура TMX - C	Серия	ID FS
1	ПрТР1	Перепробег до ТР1 в километрах	Текущие пробеги от ТР1 в километрах	50 000	70 000	Равномерно	Иванов Иван Иванович	TMX-C	ВЛ80с	1

Рисунок 5.19 – Основное окно нечётких множеств

Следующая группа окон – **окна формирования элементов СППР** (рисунок 5.20), основными из которых являются: нечёткие множества FS – основа СППР (см.гл.2.4); логические утверждения R_i , формируемые из нечётких множеств FS; риски, состоящие из совокупности логических утверждений R_i .

Общий принцип построения алгоритмов СППР следующий: формируются необходимые нечёткие множества FS (FSS, FSM, FST и др.) с использованием окон формирования FS (несколько для различных типов FS); формируются необходимые логические утверждения R_i ; формируется риск R как совокупность выбранных R_i ; для каждого R по заданным правилам производится расчёт риска с выводом полученной информации.

Основой СППР является понятие «Нечёткое множество» (Fuzzy Set – FS): утверждение, которое может принимать значения от 0 (значение контролируемого параметра не принадлежит множеству: $\mu = 0$) до 1 (значение контролируемого параметра полностью соответствует множеству: $\mu = 1$). Виды предлагаемых типов нечётких множеств описаны в разделе 2.

Окно формирования логических утверждений позволяет, используя нечёткие множества FS и логические действия над ними, формировать логическое утверждение, достоверность которого (риск наступления) R_i изменяется от 0 (нет риска) до 1 (100 % риск).

Окно расчёта рисков управляет расчётом рисков R. Окно содержит следующие поля для задания риска R: имя риска R, текстовое поле описания R, перечень логических утверждений R_i , входящих в состав риска R. В окне задаётся: наименование риска. значение риска R, ниже которого он считается несущественным (нет риска), значение риска R, ниже которого он считается незначительным, значение риска R, ниже которого он считается существенным. Также задаётся периодичность расчёта риска; время суток для расчёта риска; номер недели, на которой производится расчёт для месяца.

ВЫВОД: предложенный в разделе 2 метод управления рисками с использованием нечётких множеств дополнен методикой её практической реализации. Сформированы соответствующие технические требования. СППР также реализована в Excel.

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Поле	Имя FS	Описание FS	Параметр X	Диапазон отсутствия признака ($\mu = 0$)	Диапазон присутствия признака ($\mu = 1$)	Переходная функция	Автор	Структура ТМХ - С	Серия

а – окно формирования нечётких множеств FS

№	1	2	3	4	
Поле	Имя утверждения Ri	Описание логического утверждения	Вес риска mi	Конструктор набора формулы	

Конструктор набора формулы

Добавить FS

Добавить действие

$$A \text{ and } B \text{ or } C \text{ and } B = (A*B)+(C*B)=(0,4*0,6)+(0,85*0,6)=0,75$$

б – окно формирования логических утверждений Ri

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Поле	Имя риска	Описание риска	1 зона риска "Зелёная" не существенная	Действие при достижении 1-й зоны риска	Кому	Описания сообщения	2 зона риска "Жёлтая" не значительная	Действие при достижении и 2-й зоны риска	Кому

№	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Поле	Описание сообщения	3 зона риска "Оранжевая" значительная	Действие при достижении 3-й зоны риска	Кому	Описания сообщения	4 зона риска "красная" критическая	Действие при достижении 4-й зоны риска	Кому	Информация 1

№	19	20	21	22	23	24	25	26
Поле	Информация 2	Информация n	Описания сообщения	Выбор логических утверждений	Периодичность расчёта риска	Время начала расчёта риска	Номер недели	День недели расчёта риска

Конструктор набора логических утверждений

в – окно формирования рисков R

Рисунок 5.20 – Окна формирования СППР

5.5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

В настоящем разделе выполнена технико-экономическая оценка эффективности внедрения системы мониторинга технического состояния локомотивов по предложенной в диссертации модели (система Мониторинга).

Экономическая эффективность железнодорожного транспорта определяется объёмом перевезенных грузов и пассажиров. При этом объём перевозок практически не зависит от надёжности локомотивов: за счёт резервирования локомотивного парка потери поездо-часов составляют менее 3 % от общего объёма потерь. И это значение следует считать завышенным, т.к. нет данных о потерях ОАО «РЖД» от «недоперевезенных» грузов, более того, возможности железнодорожного транспорта в настоящее время в полном объёме не востребованы.

Локомотивный комплекс рассматривается как затратная часть: в терминологии единой комплексной системы управления финансами и ресурсами ОАО «РЖД» (ЕК АСУФР) – это «место возникновения затрат». Таким образом, повышение надёжности локомотивов не повышает доход транспорта, а сокращает расходы на содержание локомотивного парка.

Важным показателем повышения доходов является пропускная способность железнодорожных участков. Однако и тут факторы, влияющие на пропускную способность со стороны тяги (участковая скорость, масса поезда, время следования по перегону), могут быть обеспечены за счёт увеличения силы тяги путём увеличения секционности локомотивов, использования толкачей и др. Значит повышение надёжности локомотивов и в этом случае позволит снизить затраты, а не повысить пропускную способность.

ВЫВОД: любые инновации в локомотивном комплексе приводят к сокращению затрат на осуществление тяги поездов и практически не влияют на доходную часть железнодорожного транспорта.

Рассмотрим структуру затрат локомотиворемонтного комплекса и статьи затрат, на которые может повлиять предлагаемая система Мониторинга:

1. **Сокращение затрат на содержание эксплуатируемого парка.** Общий парк локомотивов превышает 20 тыс.секций, эффективность использования

которых достаточно точно характеризуется коэффициентом технической готовности (КТГ): в разделе 3.6 показано, что главные факторы, влияющие на КТГ – это простой в ожидании плановых ремонтов: составляет 19 % потерь (прежде всего ТО-2: 17 %). 15 % потерь КТГ составляет ожидание непланового ремонта. И только 30 % потерь КТГ составляют собственно ремонты (16 % - ТО-2, 13 % - все остальные виды ТОиР). Система мониторинга, прежде всего, может повлиять на сокращение потерь КТГ в ожидании ремонтов за счёт планирования заходов локомотивов в СЛД. В полном объёме убрать ожидание ремонтов невозможно, т.к. их полное устранение приведёт к существенному увеличению стоимости инфраструктуры. Но, за счёт планирования постановки локомотивов на ТОиР и НР, можно (по экспертным оценкам) уменьшить простой на 20-50 %. Даже при сокращении потерь на простое на 20 % КТГ возрастёт с существующего среднего значения 0,8 до 0,82 $((1-0,8) \cdot (19 \% + 15 \%) \cdot 20 \%)$. Это означает уменьшение парка на 400 локомотивов, что (при стоимости новой секции в среднем 50 млн.руб.) составит не менее 20 млрд.руб.

2. **Сокращение затрат на планово-предупредительные ремонты: ТОиР** носит плановый характер и составляют более 80 млрд.руб. в год. Существенного влияния на плановые расходы у системы Мониторинга нет.
3. **Сокращение затрат на неплановые ремонты (НР).** В разделе 3 показан объём НР: на каждое сервисное депо приходится от 5 до 10 НР в день. Неплановые ремонты обходятся в более 5 млрд.руб. в год. Мониторинг по данным бортовых аппаратно-программных комплексов (АПК) – как показано в разделе 4 – позволяет регистрировать предотказные состояния и предотвращать возникновение НР. Опыт эксплуатации автоматизированных рабочих мест расшифровки данных АПК (АРМ МСУ) в сервисных локомотивных депо (СЛД) показывает, что число НР за счёт системы Мониторинга может быть уменьшено на четверть, т.е. на 1,25 млрд.руб.
4. **Сокращение нарушений режимов эксплуатации.** В разделе 4 показано, что нарушения режимов эксплуатации, приводящих к отказу локомотивов, носит постоянных характер. По экспертным оценкам нарушения режимов эксплуатации являются причиной от 30 до 50 % всех отказов. Мониторинг

режимов эксплуатации локомотивов по данным АПК, разбор нарушений и внедрение алгоритмических защит позволит исключить до 90 % всех нарушений на локомотивах, имеющих АПК: таких локомотивов в парке ОАО «РЖД» более 7 тыс. секций, т.е. 35 % . Число НР должно сократиться на 10,5 %, что даст эффект не менее 0,5 млрд.руб. в год.

5. **Затраты на материально-техническое обеспечение (МТО)** запасными деталями и другими товарно-материальными ценностями (ТМЦ). Затраты на ТМЦ составляют более 10 млрд.руб. Их сокращение возможно за счёт повышения качества планирования: пересодержание складов в СЛД оценивается в 10 %. Система мониторинга позволит сократить пересодержание склада на 50 %, что составит 0,5 млрд.руб.
6. **Повышение управляемости.** Ещё в трудах основателя теории автоматического управления (Кибернетики) Норберта Винера [14, 15] доказано, что управление, прежде всего, связано со сбором и обработкой информации. Поэтому нельзя переоценить роль системы Мониторинга в управлении локомотивным, а главное – локомотиворемонтным комплексом. Система мониторинга должна существенно повысить качество управления, сократить непроизводительные издержки. Однако в денежном эквиваленте оценить повышение управляемости достаточно сложно.
7. **Кумулятивный эффект.** Кроме непосредственного экономического эффекта от системы мониторинга следует отметить повышение общей культуры сервисного обслуживания локомотивов: прозрачность информации, её достоверность, факторный анализ и другие достоинства системы Мониторинга не могут не повлиять на повышение эффективности локомотиворемонтного комплекса в целом.

Таким образом, эффект от внедрения системы Мониторинга можно оценить в объеме не менее 22 млрд.руб. При этом расходы на внедрение системы мониторинга не превысят 1 млрд.руб. с учётом необходимости закупки IT-оборудования на протяжении внедрения в течение 3-х лет. Таким образом, внедрение системы мониторинга является заведомо окупаемым.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований получены новые научно обоснованные технические и технологические решения и разработки, направленные на совершенствование организации ремонта и повышение эксплуатационной надёжности магистральных электровозов. Их применение позволит повысить информативность контроля технического состояния локомотивов в эксплуатации, сократить число unplanned ремонтов и объём дополнительных работ во время плановых ремонтов и снизить продолжительность простоя локомотивов в ремонте.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы состоят в следующем:

1. Разработана модель системы мониторинга технического состояния локомотивов, основу которой составляют система сбора информации (с бортовых аппаратно-программных комплексов (АПК) локомотивов, информационных систем железнодорожного транспорта и деповских автоматизированных систем технического диагностирования) и аналитическая система управления рисками наступления отказов.
2. Выполнен анализ факторов, влияющих на эксплуатационную надёжность магистральных электровозов, и определены информативные диагностические сигналы для системы мониторинга их технического состояния в эксплуатации. Наиболее информативными для системы мониторинга диагностическими сигналами АПК являются токи тяговых электродвигателей (ТЭД). По их значению, скорости изменения, разбросу, взаимной корреляции и др. диагностируется как техническое состояние цепей управления, силовых цепей и оборудования, так и нарушения режимов эксплуатации. Второй группой диагностических сигналов являются сигналы скорости вращения колёсных пар, по которым контролируется скорость движения поезда, наличие буксования и юза, а в сочетании с током - разброс характеристик колёсно-моторных блоков. Дополнительные диагностические сигналы (срабатывание защит, температура, давление, напряжение в контактной сети, на ТЭД и в цепях локомотива и другие сигналы с аналоговых и бинарных

датчиков) позволяют повысить качество и глубину диагностирования. При этом, от диагностирования правильности функционирования и работоспособности можно переходить к проверке исправности.

3. Разработаны алгоритмы автоматизированного диагностирования технического состояния электровозов на базе автоматизированного рабочего места (АРМ) расшифровки данных МСУЭ. АРМ внедрён в сервисном локомотивном депо «Боготол-Сибирский», а также используется в Дорожном центре внедрения Красноярской ж.д.
4. Доказано, что корреляционный анализ параметров однотипного оборудования электровозов между собой (например, токов ТЭД, скоростей вращения колёсных пар) с другими параметрами локомотива позволяет выявлять наличие предотказных состояний.
5. Теоретически обоснована, с использованием методов теории нечётких множеств в сочетании с методами управления рисками, методами статистического анализа и управления надёжностью, адекватность параметров системы мониторинга диагностических узлов локомотивов их техническому состоянию.
6. Информационные системы железнодорожного транспорта позволяют в системе Мониторинга анализировать параметры эксплуатации локомотивов, которые являются обязательным дополнением к диагностической информации АПК.
7. Разработаны алгоритмические защиты для опасных режимов эксплуатации электровозов, в т.ч. связанных с превышением предельно допустимых токовых нагрузок. Доказано, что значительная часть нарушений режимов эксплуатации может быть исключена за счёт применения в программном обеспечении аппаратно-программных комплексов алгоритмических защит от опасных (обладающих риском отказа) режимов работы локомотива. Разработанные алгоритмические защиты испытаны на электровозах серии ВЛ80р с МСУЭ и показали свою высокую эффективность.
8. Предложены метод и аналитическая система управления рисками при организации и выполнении ремонта локомотивов на базе

автоматизированной системы управления сервисной компании. Разработаны технические требования на систему поддержки принятия решений (СППР) при организации ремонта локомотивов с использованием теории нечётких множеств и теории надёжности.

9. Разработанная модель системы Мониторинга внедрена в работу сервисной локомотивной компании ООО «ТМХ-Сервис» группы компаний «Локомотивные технологии» в виде программного модуля мониторинга, автоматизированного рабочего места расшифровки данных АПК, алгоритмических защит и системы поддержки принятия решений (СППР). Практическая реализация модели подтверждает правильность предложенных технических и технологических решений.
10. Использование данных мониторинга технического состояния локомотивов в эксплуатации, при организации ремонта, позволяет снизить число unplanned ремонтов и объём дополнительных работ во время плановых ремонтов локомотивов, а также продолжительность простоя локомотивов в депо.
11. Достоверность полученных в диссертации результатов и выводов доказана большим объёмом обработанных статистических данных, как информационных систем железнодорожного транспорта, так и данных бортовых аппаратно-программных комплексов локомотивов.
12. В качестве рекомендаций и перспективы дальнейшей разработки темы диссертации предлагается проведение исследований по совершенствованию системы мониторинга с развитием логического аппарата на базе теории нечётких множеств и расширением числа диагностических параметров, дальнейшая интеграция системы Мониторинга в автоматизированную систему управления сервисным техническим обслуживанием и ремонтом локомотивов для обеспечения их работоспособности в эксплуатации.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

Система Мониторинга – система мониторинга режимов эксплуатации и технического состояния локомотивов.

АПК – бортовые аппаратно-программные комплексы локомотивов.

АРМ – автоматизированное рабочее место (компьютерная программа).

АРМ МСУ – АРМ расшифровки данных АПК.

БАУ-002 – блок автоматического управления электровозов ВЛ85.

БУВИП – блок управления ВИП электровозов ВЛ80р и ВЛ85.

ВИП – выпрямительно-инверторный преобразователь.

Г. – год или город в зависимости от контекста.

Др., т.п., в т.ч. – другие, тому подобное, в том числе.

Ж.д. – железная дорога.

ЖДРМ – система локомотиворемонтных заводов компании Желдорремаш.

КМБ – колёсно-моторный блок локомотивов.

МПС – министерство путей сообщения СССР и РФ.

МСУ – микропроцессорные системы управления, синоним АПК.

МСУД, МСУЭ, МСУ-ТЭ, МСУ-ТП – модели АПК (МСУ) локомотивов.

НР – неплановый ремонт отказавшего локомотива с заходом в СЛД.

ПТОЛ – пункт технического обслуживания ТО-2 локомотивов.

РЖД - ОАО «РЖД», Российские железные дороги.

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

ТОиР – техническое обслуживание и ремонт локомотивов, система планово-предупредительных ремонтов и обслуживания, принятая для в РЖД.

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

ТПС – тяговый подвижной состав.

ТЧЭ – эксплуатационное локомотивное депо.

ТЭД – тяговый электродвигатель КМБ.

ЦТ – центральная дирекция тяги РЖД.

VBA – Visual Basic for Application.

FMEA – Failure Mode and Effects Analysis, анализ видов и последствий отказов.

Online – «находящийся в состоянии подключения»: режим работы, при котором все действия выполняются сразу, а не откладываются, например, до сеанса связи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аболмасов, А.А. Технические требования на модуль статистики [Текст] / А.А. Аболмасов. – М. : ООО «Локомотивные технологии», 2015 г. - 93 с.
2. Аболмасов, А.А. Применение принципов «встроенного качества» для повышения надежности локомотивов [Текст] / А.А. Аболмасов, В.А. Мельников, И.И. Лакин // Локомотив информ. – 2015. – №5-2015. – С. 28 – 30.
3. Автоматизированная система оперативного управления перевозками. Дорожный уровень. База данных АСОУП-2 [Текст] / –М.: НИИАС, 2005. 24с.
4. Автоматизированная система ведения и анализа графика исполненного движения – ГИД «Урал – ВНИИЖТ» [Электронный ресурс]. <http://scbist.com/stati-po-scb/1013-gid-ural.html>.
5. Аникина О.В. Совершенствование методов эксплуатации магистральных локомотивов грузового движения в условиях создания новой модели управления перевозочным процессом [Текст] / О.В. Аникина // автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Новосибирск, 2001. с.4-5.
6. Антоненко, И.Н. Автоматизация управления ремонтом тягового подвижного состава [Текст] / Железнодорожный транспорт. – 2005. – №9-2005. – С. 52 – 55.
7. Айзинбуд, С. Я. Эксплуатация локомотивов [Текст] / С. Я. Айзинбуд, П. И. Кельперис //М.: Транспорт – 1990. - 261 с.
8. Аппаратно-программный комплекс «БОРТ» [Текст] / - Омск: НИИТКД, 2005, 604 с.
9. «Ассоциация Деминга», официальный сайт [Электронный ресурс]. www.deming.ru.
10. АСУТ НБД-2 – Современное средство управления безопасностью и надёжностью локомотивов [Электронный ресурс]. –М.: Точка опоры, № 170, 2013. (<http://www.to-inform.ru/index.php/arkhiv/item>).
11. Бабков, Ю.В. Прямой и косвенный способы определения уровня энергетической эффективности тепловозов [Текст] / Ю.В. Бабков, Ю.И. Клименко, В.А. Перминов // – М.: Железнодорожный транспорт, 2015 № 3, с.55-60.
12. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей [Текст] /Е.С. Вентцель. — М.: Высш. шк., 1999. — 576 с.
13. Викисловарь [Электронный ресурс]. <http://ru.wiktionary.org/wiki>

14. Винер, Н. Человек управляющий [Текст] / Н. Винер. – СПб: Питер, 2001. -288 с.
15. Винер, Н. Кибернетика или Управление и связь в животном и машине [Текст] / Н. Винер. – М.: Наука; Главная редакция изданий для зарубежных стран, 1983. – 344 с.
16. Внедрение методологии УРРАН в локомотивном комплексе ОАО «РЖД». Презентация [Текст] /. – М.: НИИАС. 2013. – 17 с.
17. Вовк, А.А. Основы общей теории статистики [Текст] / А.А. Вовк. – М.: Маршрут, 2006. – 240 с.
18. Воробьев, А.А. Основы технологии производства подвижного состава [Текст] / А.А. Воробьев, А.В. Горский// - М.: МИИТ, 228 с.
19. Воротилкин, А.В. Локомотивный комплекс и перспективы его развития [Текст] / А.В. Воротилкин // – М.: Локомотив, 2011, № 1 с.2-5.
20. Гапанович, В.А. Построение системы ситуационного управления чрезвычайными ситуациями в ОАО «РЖД». [Текст] / В.А. Гапанович, И.Н. Розенберг, А.М. Замышляев // - М.: Надежность. 2010 - № 4. С. 2-11.
21. Гапанович, В.А. Некоторые вопросы управления ресурсами и рисками на железнодорожном транспорте на основе состояния эксплуатационной надежности и безопасности объектов и процессов (проект УРРАН). [Текст] / В.А. Гапанович, А.М. Замышляев, И.Б. Шубинский // Надежность. 2011. № 1 (36). С. 2-8.
22. Гапанович, В.А. Система адаптивного управления техническим содержанием инфраструктуры железнодорожного транспорта (проект УРРАН) [Текст] / В.А. Гапанович, И.Б. Шубинский, Е.Н. Розенберг, А.М. Замышляев // Надежность. - М, 2015, № 2 (53). С. 4-11.
23. 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 // - М: Надежность. 2011, № 4 (39). С. 56-68.
24. Гапанович, В.А. Математическое и информационное обеспечение системы УРРАН [Текст] / В.А. Гапанович, И.Б. Шубинский, А.М. Замышляев // Надежность - М, 2013. № 1 (44) С. 3-11.
25. Головин, В.И. Аппаратура системы автоматического управления торможением поездов САУТ-ЦМ [Текст] / В.И. Головин // - М: МПС РФ, 2013. - 28 с.
26. Грачёв, А.А. Системы автоматизации и информационные технологии управления перевозками на железных дорогах [Текст] /

- В.А. Гапанович, А.А. Грачёв и др. под ред. В.И.Ковалёва, А.Т.Осьминина, Г.М.Грошева. – М.: Маршрут, 2006. – 544 с.
27. Глущенко, А. Д. Динамика тяговых электродвигателей тепловозов [Текст] / А. Д. Глущенко, В. И. Юшко. - Ташкент : Фан УзССР, 1980. - 168 с.
 28. 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.
 29. Горский, А.В. Стратегия интеллектуального ремонта локомотивов [Текст] / А.В. Горский, А.А. Воробьёв, А.В. Скребков // –М.: Локомотив, 2012 № 7. С. 56 - 59.
 30. Горский, А.В. Надёжность электроподвижного состава [Текст] / А.В. Горский, А.А. Воробьёв // - М.: УМЦ ЖДТ. 2005. 303 с.
 31. 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 г. - с.144-152.
 32. Горский, А.В., Оптимизация системы ремонта локомотивов [Текст] / А.В. Горский, А.А. Воробьёв. –М.: Транспорт, 1994, 209 с.
 33. Головаш, А.Н. Вероятностная модель оценки результатов диагностирования [Текст] / А.Н. Головаш, В.Г. Шахов // –Омск: Омский научный вестник, 2008, № 2. С. 11-14.
 34. Головаш, А.Н. Проблемы и решения сервисного обслуживания локомотивов [Текст] / А.Н. Головаш // Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов: материалы первой международной научно-практической конференции – М.: ООО «ТМХ-Сервис», 2014 г. - с.141-143.
 35. ГОСТ 20911-89 Техническая диагностика. Термины и определения [Текст]. 1989, 12 с.
 36. ГОСТ Р 52122-2003 Техническая диагностика. Локомотивы магистральные. Встроенные системы диагностирования. Общие требования [Текст]. 2003, 46 с.
 37. ГОСТ Р ИСО 9000-2008 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь [Текст]. 2008, 53 с.
 38. ГОСТ Р ИСО 31000-2010. Менеджмент риска. Принципы и руководство [Текст]. 2010, 19 с.

39. ГОСТ Р 54504-2011, Безопасность функциональная. Политика, программа обеспечения безопасности. Доказательство безопасности объектов железнодорожного транспорта [Текст]. 2011, 38 с.
40. ГОСТ Р 54505-2011, Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте [Текст]. 2011, 49 с.
41. ГОСТ Р 51897-2011, Менеджмент риска. Термины и определения [Текст]. 2011, 12 с.
42. ГОСТ Р 51814.2-2001. Системы качества в автомобилестроении. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов [Текст]. 2001, 23 с.
43. Давыдов, А.И. Повышение эффективности системы анализа и нормирования энергопотребления на тягу поездов [Текст]. Автореферат диссертации на соискание учёной степени канд. техн. наук. – Омск, ОмГУПС, 2012. - 18 с.
44. Давыдов, Ю.А. Принципы моделирования информационной системы локомотивного депо [Текст] / Ю.А. Давыдов. - Хабаровск , 2000. - 163 с.
45. Давыдов, Ю.А. Моделирование, оптимизация и контроль информационных потоков локомотивного депо [Текст] / Ю.А. Давыдов ; Дальневост. гос. ун-т путей сообщ. - Хабаровск : ДВГУПС, 2001. - 116 с.
46. Давыдов, Ю.А. Интерактивная система диагностирования объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта [Текст] / С.К. Пляскин, Ю.А. Давыдов, М.Ю. Кейно // Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов: материалы первой международной научно-практической конференции – М.: ООО «ТМХ-Сервис», 2014 г. - с. 237-241.
47. Диагностика электровоза ВЛ80с с помощью системы автоведения УСАВП-ГПТ [Электронный ресурс]. <http://avpt.ru/product/usavp>.
48. Деминг, Э. "Выход из кризиса" [Текст] / Э. Деминг – Тверь: Изд-во "Альба", 1994. – 497 с.
49. Дистанционный контроль технического состояния электровозов НЭВЗ [Электронный ресурс]. – Новочеркасск: Официальный сайт ЗАО «Локомотивные электронные системы» <http://zaoles.ru/>.
50. Договор № 285 от 30.04.2014 Между ОАО «РЖД» и ООО «ТМХ-Сервис» о переходе на полный сервис (на 30 лет) [Текст]. –М.: ОАО «РЖД», 2014, 150 с.
51. Дулин, С.К. Аспекты пространственной согласованности географической информационной системы [Текст] / С.К. Дулин, И.Н. Розенберг, В.И. Уманский // Системы и средства информатики. Выпуск 21. № 2.- М.: ТОРУС ПРЕСС, 2011. – С. 73-96.

52. Единая система мониторинга работы бортовых систем (ЕСМ БС) [Электронный ресурс]. –М.: Официальный сайт ЗАО «ИНФОКОМ». <http://infokom.org/edinaya-sistema-bortovih-sistem/>.
53. Единая корпоративная автоматизированная система управления трудовыми ресурсами (ЕК АСУФР) [Электронный ресурс]. –М.: Официальный сайт ОЦРВ. http://www.ocrv.ru/projects/index.php?ELEMENT_ID=2048
54. Житенёв, Ю.А. Интеллектуальные системы на службе транспорту [Текст] / Ю.А. Житнёв // - М.: Локомотив, 2010, № 7, с.6-10.
55. Заде, Л.А., Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближённых решений [Текст] / Л.А. Заде. – М.: Мир, 1976. – 166 с.
56. Зайнетдинов, Р.И. BigData VS Small Data: инновационные технологии сбора и обработки информации о техническом состоянии наукоёмкой техники [Текст] / Р.И.Зайнетдинов, И.В.Гадолина. – М.: Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении, 2015, с.44-46.
57. Замышляев, А.М. Автоматизация процессов комплексного управления техническим содержанием инфраструктуры железнодорожного транспорта [Текст] / А.М. Замышляев // Автореферат дис. доктора технических наук: 05.13.06 / . гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ. Москва. 2013.
58. 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. - М: 2011 № 2. С. 86-100.
59. Зорин, В.И. Современные системы интервального регулирования и обеспечения безопасности движения поездов [Текст] / Е.Н. Розенберг, В.И. Зорин, Е.Е. Шухина, В.А. Воронин // Автоматика, связь, информатика – М, 2005 г., № 12, с.22-23.
60. Игин, В.Н. Научные основы анализа и контроля энергетической эффективности эксплуатируемого парка локомотивов [Текст] / В.Н. Игин // Докторская диссертация. –М.: МИИТ, 2002, 286 с.
61. Иностранные слова в русском языке [Электронный ресурс]. <http://www.wikijournal.ru/index.php>
62. Информационно-аналитическая система АСУ ЗМ [Электронный ресурс]. – М.: сайт СЦБИСТ. <http://scbist.com/wiki/25678-asu-zm.html>.
63. Иньков, Ю.М. Диагностирование локомотивов методом статистического последовательного анализа энергозатрат по поездкам [Текст] / Ю.М. Иньков,

- В.П. Феоктистов, Н.Г. Шабалин // Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов: материалы первой международной научно-практической конференции – М.: ООО «ТМХ-Сервис», 2014 г. - с.158-160.
64. Иньков, Ю.М. Эксплуатация и ремонт электроподвижного состава магистральных железных дорог [Текст] : учеб. пособие / Ю. М. Иньков, В. П. Феоктистов, Н. Г. Шабалин; под общ. ред. Ю.М. Инькова. - М. : Изд-во МЭИ, 2011. - 384 с.
65. Исаев, И.П. Стремитесь познавать: Методологический подход к исследованию и решению технических проблем железнодорожного транспорта [Текст] / И.П. Исаев. – М.: Транспорт, 1988. - 159 с.
66. Исикава, К. Японские методы управления качеством [Текст] / Кауро Исикава – М.: Экономика, 1988, 199 с.
67. Карацуба, А. А. Решение одной задачи из теории конечных автоматов [Текст] / А.А. Карацуба // УМН, т. 15, № 3(93), с. 157—159.
68. Карибский, В.В. Основы технической диагностики [Текст] / Карибский В.В., Пархоменко П.П., Согомонян Е.С., Халчев В.Ф. -М.: Энергия, 1976. -464 с.
69. Киселев, В.И. Эксплуатация и техническое обслуживание подвижного состава [Текст] / Под редакцией В.А.Гапановича, В.И. Киселева, И.К. Лакина – М.: «ИРИС ГРУПП», 2012. – 576 с.
70. Киселев, В.И. Опыт сервисного обслуживания локомотивов [Текст] / В.И. Киселев, И.И. Лакин, // Железнодорожный транспорт. – 2014. – №4-2014. – С. 64 – 67.
71. Киселев, В.И. Автоматизация управления рисками отказов локомотивов [Текст] / В.И.Киселев, И.И.Лакин // Локомотив. –2015.– №9-2015.– С. 37–38.
72. Киселев, В.И. Использование нечётких множеств в информационных системах локомотивного комплекса для поддержки принятия решений [Текст] / В.И. Киселев, И.И. Лакин // Труды МИИТ: шестнадцатая НПК "Безопасность движения поездов". – 2015. – С. II-68.
73. Комплексная автоматизированная система управления железнодорожным транспортом [Текст] / Под редакцией Петрова А.П. – М.: Транспорт, 1977 г. – 599 с.
74. Комплексная автоматизированная система учёта, контроля устранения отказов технических средств и анализа их надёжности [Электронный ресурс]. – М.: НИИАС. Сайт СЦБИСТ. <http://scbist.com/sistemy-centralizacii-i-blokirovki/1570-kasant.html>

75. Концепция постоянного улучшения инновационной деятельности ОАО «РЖД» [Текст]. Утверждена Департаментом технической политики ОАО «РЖД» 31 ноября 2010 г. – М.: ОАО «РЖД», 2010 – 79 с.
76. Космодамианский, А.С. Автоматические системы управления локомотивов [Текст] / Луков Н.М., Космодамианский А.С. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. – 429 с.
77. Космодамианский, А.С. Автоматические системы управления локомотивов [Текст] / Луков Н.М., Космодамианский А.С. Учебник для вузов ж.-д. транспорта – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. – 429 с.
78. Космодамианский, А.С. Автоматические системы регулирования [Текст] / – М.: РГОТУПС, 2004. – 40 с.
79. Космодамианский, А.С. Автоматическое регулирование температуры обмоток тяговых электрических машин локомотивов: Монография [Текст] / – М.: Маршрут, 2005. – 256 с.
80. Бочаров, С.М. Использование информации АПК «Борт» для изменения периодичности технического обслуживания (ТО-3) и текущего ремонта маневровых тепловозов [Текст] / С.М. Кузнецов, В.М. Бочаров // Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава: материалы всероссийской научно-технической конференции с международным участием – Омск: ОмГУПС, 2011, с. 227-233.
81. Лакин, И.И. Планово-предупредительный вид ремонта тягового подвижного состава с учётом его технического состояния [Текст] / И.И. Лакин, // Материалы второй всероссийской научно-технической конференции с международным участием "Эксплуатационная надёжность подвижного состава", ОмГУПС, Омск, 2013. – С. 23 – 27.
82. Лакин, И.И. Мониторинг режимов эксплуатации локомотивов по диагностическим данным бортовых МСУ [Текст] / И.И. Лакин, // Труды V международной научно-практической конференции "Транспортная инфраструктура Сибирского региона", ИрГУПС, Иркутск, 2014. – С. 44 – 46.
83. Лакин, И.И. Мониторинг и диагностирование технического состояния локомотивов [Текст] / И.И. Лакин, А.А. Аболмасов, В.А. Мельников, - Berlin: LAP Lambert Academic Publishing AG & CO.KG, 2014. – 136 с.
84. Лакин, И.И. Особенности эксплуатации локомотивов на больших перегонах [Текст] / И.И. Лакин, // Материалы первой международной научно-

- практической конференции «Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов», ТМХ-Сервис. – 2014. – С. 181 – 185.
85. Лакин, И.И. Мониторинг технического состояния и режимов эксплуатации локомотивов [Текст] / И.И. Лакин, // Материалы всероссийской НПК с международным участием «120 лет железнодорожного образования в Сибири», КрИЖТ, Красноярск, 2014. – С. 70 – 76.
86. Лакин, И.И. Методология мониторинга технического состояния и режимов эксплуатации локомотивов [Текст] / И.И. Лакин, // Труды второй всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов», ОмГУПС, Омск, 2014. – С. 25 – 31.
87. Лакин, И.И. Техническое обслуживание и ремонт локомотивов с использованием бортовых микропроцессорных систем управления [Текст] / И.И. Лакин, А.А. Аболмасов, В.А. Мельников // Локомотив. – 2015. – №2-2015. – С. 4 – 7.
88. Лакин, И.И. Применение принципов «встроенного качества» для повышения надежности локомотивов [Текст] / А.А. Аболмасов, В.А. Мельников, И.И. Лакин // Локомотив информ. – 2015. – №5-2015. – С. 28 – 30.
89. Лакин, И.И. Сетевое планирование ремонта сервисных локомотивов [Текст] / И.И.Лакин, И.В.Пустовой // Локомотив. –2015. –№7-2015. –С. 6–10.
90. Лакин, И.И. Использование методов теории нечётких множеств при управлении рисками в системе мониторинга эксплуатации локомотивов [Текст] / И.И. Лакин // Труды VI Международной научно-практической конференции «Транспортная инфраструктура сибирского региона», ИрГУПС, Иркутск, 2015. – С. 338 – 343.
91. Лакин, И.И. Возможность бортовых АПК локомотивов для мониторинга их технического состояния [Текст] / И.И. Лакин // Материалы третьей всероссийской НПК с международным участием «Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава», ОмГУПС, Омск, 2015. – С. 102 – 107.
92. Лакин, И.И. Нечёткие множества в системе поддержки принятия решений информационных систем локомотивного комплекса [Текст] / И.И. Лакин // - Известия Транссиба. – 2015. – №3-2015. – С. 24 – 30.
93. Лакин, И.И. Анализ эксплуатационных показателей локомотивов [Текст] / И.И. Лакин, // Материалы Седьмой Международной научно-практической конференции «Транспортная инфраструктура Сибирского региона», ИрГУПС, Иркутск, 2016. – С. 17 – 20.

94. Лакин, И.И. Мониторинг технического состояния локомотивов по данным АСОУП [Текст] / И.И. Лакин, // Материалы Конференции «Наука МИИТа - транспорту». – 2016. – С. I-68.
95. 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.
96. Лакин, И.К. Автоматизированная система управления локомотивным хозяйством. АСУТ [Текст] / Под редакцией И.К. Лакина – М.: ОЦВ, 2002, 516 с.
97. Лакин, И.К., Модель управления рисками отказов локомотивов [Текст] / И.К. Лакин, А.А. Аболмасов, В.А. Мельников // Мир Транспорта (МИИТ), 2013, № 6.
98. Лакин, И.К. Анализ основных показателей работы железнодорожного транспорта [Текст] / И.К.Лакин // Транспорт РФ - 2007 - № 1 с.60-63.
99. Лакин, И.К., Аболмасов А.А. Особенности применения статистических методов анализа при управлении надёжностью локомотивов [Текст] / Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов: материалы второй международной научно-практической конференции. –М.: ООО «Локомотивные технологии», 2015 г. с.180-185.
100. Лapidус, В.А. Всеобщее качество (TQM) в российских компаниях [Текст] / В.А. Лapidус. –М.: ОАО «Типография Новости», 2000, - 432 с.
101. Лецкий, Э.К. Управление и информационные технологии на железнодорожном транспорте [Текст] / Э.К. Лецкий, Л.П. Тулупов, И.Н. Шапкин, А.И. Самохвалов. –М.: Транспорт. – 2005 г. – 407 с.
102. Липа, К.В. Автоматизированная система управления надёжностью 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.
103. 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, В.А.Мельников, И.И.Лакин, А.А.Баркунова, И.В.Пустовой. – М.: ООО «Локомотивные Технологии», 2015. – 212 с.
104. Лозановский, А.Л. Надёжность и эффективность электровозов ВЛ80р в эксплуатации [Текст] / Капустин Л.Д., Копанёв А.С., Лозановский А.Л. –М.: Транспорт, 1986. – 240 с.

105. Луков, Н.М. Автоматическое регулирование температуры двигателей [Текст] / Н.М. Луков. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
106. Мальцев, Е.А. Система управления электровозом ВЛ80Р,СК [Электронный ресурс]. 1987. – Красноярск. Сайт Софтальянс <http://softalliance.net>.
107. Масааки, И., Кайдзен: ключ к успеху японских компаний [Текст] / Масааки Имаи – М.: Альпина Бизнес Букс, 2011. – 274 с.
108. Материалы из Википедии <http://ru.wikipedia.org/wiki>.
109. Матюхин, В.Г. Искусственный интеллект транспорта (ИСУЖТ) [Электронный ресурс]. / – М.: Сайт «официальный справочник. [http://federalbook.ru/files/SVAYZ/saderzhanie/Том %2012/VII/Matyuhin.pdf](http://federalbook.ru/files/SVAYZ/saderzhanie/Том%2012/VII/Matyuhin.pdf)
110. Мельников, В.А. Алгоритмическая защита локомотивов [Текст] / В.А. Мельников, А.А. Аболмасов, И.И. Лакин // Локомотив. – 2015. – №3-2015. – С. 8 – 10.
111. Методы экспертных оценок. Метод Делфи [Электронный ресурс]. Научная электронная библиотека. <http://www.monographies.ru/ru/book/section?id=166>
112. Микропроцессорная система управления электровозов переменного тока МСУЭ –Красноярск [Электронный ресурс]. Официальный сайт ЗАО «ДЦВ Красноярской ж.д.» <http://dcv.ru/>
113. Митрохин, Ю.В. Стандарты качества локомотивного хозяйства [Текст] / Митрохин Ю.В., Алфёров В.Ю., Семченко В.В., Лакин И.К. - Красноярск: Издательство ДЦВ Красноярской ж. д., 2011. – 60 с.
114. Митрохин, Ю.В. Модель постоянного улучшения на Российском железнодорожном транспорте [Текст] / И.К.Лакин, Ю.В.Митрохин, В.Ю.Алфёров. – Berlin: Lambert Academic Publishing, 2011. – 79 с.
115. Митрохин, Ю.В. Применение принципа постоянного улучшения на железнодорожном транспорте [Текст] / Митрохин Ю.В., Алфёров В.Ю., Катцын Д.В., Лакин И.К. - Красноярск: Издательство дорожного центра внедрения Красноярской железной дороги, 2010. – 64 с.
116. Мозгалевский, А.В. Техническая диагностика [Текст] / Мозгалевский А.В., Гаскаров Д.В. - М.: Высшая школа, 1975. - 207 с.
117. Морозов, В.Н. Приоритетные задачи производственного блока холдинга [Текст] / – М.: Железнодорожный транспорт, 2011, № 2, с.4-12.
118. Назаров, О.Н. Совершенствование методов определения и сравнительного анализа тягово-энергетических показателей пригородных электропоездов [Текст] / О.Н. Назаров // Научная библиотека диссертаций и авторефератов. 2000.

119. Недосеков, А.Н. Стратегические ориентиры производства транспортной техники [Текст] / А.Н. Недосеков // – М.: Локомотив, 2008, № 11 с.5-7.
120. НИИТКД. Официальный сайт. Технологическое и диагностическое оборудование для депо [Электронный ресурс]. www.niitkd.com.
121. ОАО «РЖД» совершенствует систему управления локомотивным парком. Саморегулируемая организация Союз Участников Железнодорожного Рынка. Официальный сайт [Электронный ресурс]. http://www.sujr.ru/news/_p97_aview_b745
122. Обзор ERP системы: SAP R3 [Электронный ресурс]. –М.: Сайт «ШЕ Журнал». <http://iteranet.ru/it-novosti/2013/12/26/obzor-erp-sistemy-sap-r3/>.
123. ОМИКС, официальный сайт [Электронный ресурс]. –Омск.: <http://om-x.ru>
124. ОМИКС ВАКС, официальный сайт [Электронный ресурс]: <http://www.vibrotek.ru>
125. ОМИКС. Официальный сайт. Технологическое и диагностическое оборудование для депо [Электронный ресурс]. <http://www.om-x.ru/depo>
126. Основные понятия и определения теории нечетких множеств. Электронная научная библиотека [Электронный ресурс]. http://sernam.ru/book_gen.php?id=15.
127. 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 и др. // – М.: ВНИИЖТ, 2006, 100 с.
128. Осяев, А.Т. Вопросы совершенствования системы ремонта электроподвижного состава при применении средств и методов технического диагностирования [Текст] : сб. науч. тр. / А.Т. Осяев. . - М. Транспорт. ВНИИ ж.-д. трансп. ; Под ред. А.Т. Осяева. 1991. - 117 с.
129. Панфёров, В.И. Концепция комплексной системы диагностики тягового подвижного состава. Принципы и общие положения [Текст] / Панфёров В.И., Хацкелевич А.А., Борцов П.И., Осяев А.Т., Киржнер Д.Л., Перминов В.А., Ким С.И., Бобков Ю.В., Федотов М.Д., Рабинович М.Д., Никифоров Б.Д., Донской А.Л., Вербицкий В.С. и др // – М.: ОЦВ, 2001, 37 с.
130. Пархоменко, П.П. Основы технической диагностики (Применение вычислительных машин в исследованиях и управлении производством) [Текст] / М.: Энергия, 1976, 464 с.
131. Первая локомотивная компания, официальный сайт [Электронный ресурс]. <http://1-plk.com>.

132. Плакс, А.В. Дефектоскопия механической части электрического подвижного состава [Текст] / А.В. Плакс, А.П. Зеленченко. - СПб. - 1998. - 23 с.
133. Покровский, С.В. Система управления и диагностики электровоза ЭП10 [Текст] / Под редакцией д.т.н. С.В.Покровского. –М.: Интекст, 2009 – 356 с.
134. Попов, Ю.А. Перспективные разработки ПКБ ЦТ [Текст] / Ю.А. Попов. Локомотив-информ – 2013 - № 9 –с.38-43.
135. Приказ Минтранса РФ от 25.12.2006 Об утверждении положения «О порядке служебного расследования и учета транспортных происшествий и иных, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта, событий» [Текст]. 2006, 6 с.
136. Приказ Минтранса России от 8 июня 2012 г. № 163 «Порядок проведения оценки уровня содержания автомобильных дорог общего пользования федерального значения» [Электронный ресурс]. <http://www.mintrans.ru/documents>
137. Просви́ров, В.Б. Эксплуатация локомотивов и локомотивное хозяйство: Учебник для вузов ж.-д. транспорта [Текст] / В.В. Иванов, Ю.Е. Просви́ров, В.Б. Скоркин, А.С. Шапшал; под ред. Ю.Е. Просви́рова// Самара, 2010. - 320 с.
138. Пузанков, А.Д. Методы расчёта и использования показателей надёжности в эксплуатации [Текст] / А.Д. Пузанков. – М.: МИИТ, 2004. – 112 с.
139. Пузанков, А.Д. Статистические методы обработки выборочных данных наблюдений или экспериментов. Методические указания [Текст] / А.Д. Пузанков – М.: МИИТ, 2000, 52 с.
140. Пузанков, А.Д. Управление качеством локомотивного хозяйства [Текст] / А.Д. Пузанков. –М.: МИИТ, 2009. – 262 с.
141. Розенберг, Е.Н. Многоуровневая система управления и обеспечения безопасности движения поездов [Текст] / Е.Н. Розенберг. - Докторская диссертация –М: МИИТ, 317 с.
142. Розенфельд, В.Е. Теория электрической тяги [Текст] / В.Е. Розенфельд, И.П. Исаев, Н.Н. Сидоров.- М.: Транспорт, 1983 - 328 с.
143. СВЛТР. Система мониторинга дислокации и технического состояния электровозов 2ЭС6 и 2ЭС10 (Синара) [Электронный ресурс]. Официальный сайт ТрансИнфоПроект: <http://www.trans-ip.ru/svltr.html>.
144. Свод требований корпоративной интегрированной системы менеджмента качества ОАО «РЖД» [Текст]. Распоряжение ОАО «РЖД» от 30.06.2010 № 1412р.

145. Семенов, А.П. На основе средств технического диагностирования и информационных технологий [Текст] / А.С.Вайсбурд, А.Н.Головащ, А.П.Семенов –М.: Железнодорожный транспорт, 2012, № 7
146. Семченко, В.В. Микропроцессорная система управления и диагностирования электровозов ВЛ80р. МСУЭ. Учебное пособие по эксплуатации. [Текст] / И.Е. Чмилев, О.А.Терегулов, А.В. Раздобаров, В.В. Семченко, И.К. Лакин, Е.А. Мальцев, М.Н. Турсунов, Е.Н. Зиновьев, А.Г. Замятной // – Красноярск: Издательство дорожного центра внедрения Красноярской ж.д., 2011. – 64 с.
147. Семченко, В.В. Особенности эксплуатации и технического обслуживания электровозов ВЛ80Р с МСУЭ [Текст] / А.Г. Замятной, Е.Н. Зиновьев, Д.Л. Киржнер, И.К. Лакин, Е.А. Мальцев, Ю.В. Митрохин, В.В. Семченко, О.А. Терегулов, М.Н. Турсунов, И.Е. Чмилев // - Красноярск: Издательство дорожного центра внедрения Красноярской железной дороги, 2011. – 60 с.
148. Семченко, В.В. Особенности эксплуатации и технического обслуживания электровозов ВЛ80Р с МСУЭ [Текст] / Ю.В.Митрохин, Д.Л.Киржнер, В.В.Семченко, О.А.Терегулов, Е.А.Мальцев, А.Г.Замятной, М.Н.Турсунов, Е.Н.Зиновьев // - Красноярск: Издательство дорожного центра внедрения Красноярской железной дороги, 2011. – 60 с.
149. Семченко, В.В. Диагностирование систем управления электровозов переменного тока с тиристорными преобразователями [Текст] / Лакин И.К., Семченко В.В., Чмилев И.Е. // – М.: LAP Lambert Academic Publishing AG & CO.KG, 2010. – 168 с.
150. Семченко, В.В. Анализ режимов эксплуатации электровозов серии ВЛ80р [Текст] / В.В. Семченко, Е.А. Мальцев, И.И. Лакин // Локомотив / – 2015. – №11-2015. – С. 40 – 41.
151. Семченко, В.В. Эксплуатация и техническое обслуживание электронных систем управления электровозов переменного тока [Текст] / В.В.Семченко, И.К.Лакин, И.Е.Чмилев –Красноярск: Издательство дорожного центра внедрения Красноярской железной дороги, 2010. – 72 с.
152. Семченко, В.В. Оптимизация ремонта электронного оборудования электровозов переменного тока восточного полигона [Текст] / Семченко В.В., Лакин И.К., Мальцев Е.А., Чевер А.А. // Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов: материалы второй международной научно-практической конференции –М: ООО «Локомотивные технологии», 2015 г. – С.269-279.

153. Система автоматической идентификации подвижного состава (САИ ПС) [Электронный ресурс]. – М.: Официальный сайт ОЦВ. <http://npogdps.com/assets/files/07-11/sai.pdf>
154. Стандарт ОАО «РЖД». СТК 1.10.010 Корпоративная интегрированная система менеджмента качества ОАО «РЖД» [Текст]. Термины и определения. – М.: ОАО «РЖД», 2009, 20 с.
155. Стандарт ОАО «РЖД». СТК 1.10.014. Планирование и оценка результатов улучшений показателей [Текст]. – М.: ОАО «РЖД», 2009.
156. Стандарт ОАО «РЖД». СТК 1.10.011. Основные принципы и положения [Текст]. – М.: ОАО «РЖД», 2009.
157. Стандарт ОАО «РЖД». СТК 1.10.012. Модель основных процессов [Текст]. – М.: ОАО «РЖД», 2009.
158. Стандарт ОАО «РЖД». СТК 1.10.013. Руководство по применению модели основных процессов [Текст]. – М.: ОАО «РЖД», 2009.
159. Стандарт ОАО «РЖД». СТК 1.10.001. Нормативные документы корпоративной системы менеджмента качества ОАО «РЖД». Основные положения [Текст]. – М.: ОАО «РЖД», 2009.
160. Стандарт ОАО «РЖД». СТК 1.10.002. Порядок разработки, согласования и утверждения [Текст]. – М.: ОАО «РЖД», 2009.
161. Стандарт ОАО «РЖД». СТК 1.10.003. Руководство по качеству. Порядок изложения, оформления, разработки, утверждения и внесения изменений [Текст]. – М.: ОАО «РЖД», 2009.
162. Стандарт ОАО «РЖД». СТК 1.10.004. Корректирующие и предупреждающие мероприятия [Текст]. – М.: ОАО «РЖД», 2009.
163. Стандарт ОАО «РЖД». СТК 1.10.005. Решение проблем качества при техническом обслуживании и ремонте подвижного состава и объектов инфраструктуры [Текст]. – М.: ОАО «РЖД», 2009.
164. Стандарт ОАО «РЖД». СТК 1.05.515.3 Методы и инструменты улучшений. Диаграмма Исикавы [Текст]. – М.: ОАО «РЖД», 2009.
165. Стандарт ОАО «РЖД». СТК 1.05.515.2 Методы и инструменты улучшений. Анализ Парето [Текст]. – М.: ОАО «РЖД», 2009.
166. Стандарт ОАО «РЖД». СТК 1.05.515.6 Методы и инструменты улучшений. Z-график и исследование вариабельности [Текст]. – М.: ОАО «РЖД», 2009.
167. Стандарт ОАО «РЖД». СТК 1.05.515.5 Методы и инструменты улучшений. Исследование разброса параметра. Гистограммы [Текст]. – М.: ОАО «РЖД», 2009.

168. Стандарт ОАО «РЖД». СТК 1.05.515.1 Методы и инструменты улучшений. Методы решения проблем. 8 шагов [Текст]. – М.: ОАО «РЖД», 2009.
169. Стандарт ОАО «РЖД». СТК 1.05.515.7 Методы и инструменты улучшений. Формат корректирующих действий. Метод «5W+1H+1S» [Текст]. – М.: ОАО «РЖД», 2009.
170. Стратегия развития холдинга «РЖД» на период до 2030 года и основные приоритеты его развития на среднесрочный период до 2015 года. ОАО «РЖД» [Текст], 2010. – 93 с.
171. Стратегические направления научно-технического развития ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 года («Белая книга» ОАО «РЖД») [Текст]. – М.: ОАО «РЖД», 2006, 200 с.
172. Скребков, А.В. Определение оптимальной структуры ремонтного цикла электровозов в конкретных условиях эксплуатации [Текст] / – М.: МИИТ, 2003, 137 с.
173. Современные системы мониторинга состояния подвижного состава и инфраструктуры [Текст] / – М.: Железные дороги мира, 2013, № 7, с.56-63.
174. СТО 1.02.033-2010, Управление ресурсами на этапах жизненного цикла, рисками и анализом надежности (УРРАН). Порядок идентификации опасностей и рисков [Текст]. 2011, 12 с.
175. СТО 02.039-2011 Человеческие факторы в системе управления безопасностью движения [Текст]. 2011, 18 с.
176. СТО 02.038-2011 Риск-менеджмент в организации обеспечения безопасности движения [Текст]. 2011, 14 с.
177. СТО 02.040-201 Показатели процессов, влияющих на безопасность движения [Текст]. 10 с.
178. Стрельников, В.Т. Комплексное управление качеством технического обслуживания и ремонта электровозов [Текст] / Стрельников В.Т., Исаев И.П. – М.: Транспорт, 1980, 207 с.
179. Сугак, Е.В. Надёжность технических систем [Текст] / Под общ.ред. Е.В.Сугака и Н.В.Василенко. – Красноярск: НИИ СУВПТ, 2000, 608 с.
180. Сысоева, Е.А. Железнодорожная реформа: Предварительные итоги [Текст] / Е.А. Сысоева // Локомотив. – 2008 - № 7 с.5-6.
181. Тимченко, А.Ю. Единая автоматизированная система учёта дизельного топлива в ОАО «РЖД» [Текст] / А.Ю. Тимченко // Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Институт инженерной физики. – Коломна, 2012, 24 с.

182. Тишанин, А.Г. Совершенствование работы технических средств - основа обеспечения безопасности движения поездов [Текст] / Тишанин А.Г. // Железнодорожный транспорт. – 2011 - № 3 с.4-7.
183. Тушканов, Б.А. Электровоз ВЛ80р: Руководство по эксплуатации [Текст] / Б.А.Тушканов, Н.Г.Пушкарев, Л.А.Позднякова и др. –И.: Транспорт, 1992. – 480 с.
184. Тэрано, Т. Прикладные нечёткие системы [Текст] / Тэрано, Т., Асаи К., Сугэно М. – М.: Мир, 1993. – 368 с.
185. УСАВП-Т. Универсальная система автоведения магистральных тепловозов [Электронный ресурс]. Официальный сайт ООО «АВП Технология». <http://www.avpt.ru/sa/usavp-t>
186. Устройства железнодорожной автоматики и телемеханики [Электронный ресурс]. – М: Официальный сайт ОАО «РЖД»: http://annrep.rzd.ru/reports/public/ru?STRUCTURE_ID=4251
187. Фалеев, М.И. Надёжность технических систем и техногенный риск [Текст] / Акимов В.А., Лапин В.Л., Попов В.М., Пучков В.А., Томаков В.И., Фалеев М.И. – М.: Деловой экспресс, 2002. – 88 с.
188. Феоктистов, В.П. Задачи повышения безопасности в системе технической эксплуатации подвижного состава [Текст] / В.И. Киселёв, В.П. Феоктистов // - (Безопасность движения поездов: Труды шестой научно-практической конференции: в 2-х т. ; Т.2 ОАО "РЖД". ВНИИЖТ. ВНИИАС. МИИТ. - М. : МИИТ, 2005. стр. VI-12-13.
189. Феоктистов, В.П. Автоматизированная система управления локомотивным хозяйством (АСУТ) [Текст] / А.Ю. Тимченко, И.К. Лакин, А.А. Воробьев, А.В. Горский, В.П. Феоктистов, Ю.В. Смирнов // – М.: МИИТ, 2001. – 42 с.
190. Форсайт (Foresight) [Текст]. Учебник. Развёрнутый конспект. –М: Общество знаний (European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions), 2003. – 31 с.
191. Функциональная стратегия ОАО «РЖД» управления качеством. распоряжение ОАО «РЖД» [Текст]: распоряжение ОАО «РЖД» от 15 января 2007г. № 46р
192. Хитоси Куме. Статистические методы повышения качества [Текст]. – М.: Финансы и статистик, 1990. – 300 с.
193. Четвергов, В.А. Надёжность локомотивов [Текст] / В.А. Четвергов, А.Д. Пузанов // –М: Маршрут, 2003. – 415 с
194. Шабалин, Н.Г. Организация эксплуатации и технического обслуживания тягового подвижного состава с использованием современных

- информационных технологий [Текст]. Диссертация на соискание учёной степени канд. техн. наук. Н.Г. Шабалин. - М, МИИТ, 1999. – 171 с.
195. Шабалин, Н.Г. "Электронное оборудование электровоза ВЛ80Р ремонт и техническое обслуживание" [Текст] / В.Н. Горбань, А.Л. Донской, Н.Г. Шабалин. – М.: Транспорт, 1984, 183 с.
196. Шабалин, Н.Г. Автоматизированная система управления качеством технологических процессов на железнодорожном транспорте (АСУ КТП). Техническое предложение [Текст] / – М: «Железнодорожные технологии», 2004, 348 с.
197. Шантаренко, С.Г. Совершенствование технологической готовности технического обслуживания и ремонта тягового подвижного состава [Текст] / С.Г. Шантаренко. – М.: Научная библиотека диссертаций и авторефератов.
198. Шантаренко, С.Г. Инженерные методы анализа и обеспечения эксплуатационной надёжности колёсно-моторных блоков локомотивов новых серий [Текст] / С.Г. Шантаренко // Материалы всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава», Омск, ОмГУПС. 2011. - С.72-79.
199. Шубинский, И.Б. Основные научные и практические результаты разработки системы УРРАН [Текст] / И.Б. Шубинский, А.М. Замышляев // - М: Железнодорожный транспорт. – 2012. – №10-2012. – С. 23–28.
200. Экологическая стратегия ОАО "РЖД" на период до 2015 года и на перспективу до 2030 года [Текст]: распоряжение ОАО «РЖД» от 13 февраля 2009г. № 293р
201. ERTMS Solutions. [Электронный ресурс]. <http://www.ertmsolutions.com>.
202. ERTMS. What is ERTMS [Электронный ресурс]. <http://www.ertms.com/2007v2/what.html>.
203. ETCS. Координация внедрения систем ETCS на европейской сети [Электронный ресурс]. <http://www.css-rzd.ru/zdm/2005-10/05107.htm>.
204. Google – поисковая система [Электронный ресурс]. <https://www.google.com>.
205. Hedlund, Eric. Apparatus and Method for Performance and Fault Analysis. Патент США WO 01/31450 [Text] / HEDLUND Eric, RODDY Nicholas, GIBSON David, BLILEY Richard // – США: General Electric Company, 2001 – 58 с.
206. Zadeh, L.A. Fuzzy Sets – NY [Text] / L.A. Zadeh // Information and control. – 1965. – №8-1965. – С. 338–353.