

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Российский университет транспорта»

На правах рукописи



МЕЛЬНИКОВ Виктор Александрович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ
ТЕПЛОВОЗОВ 2ТЭ116У С ПРИМЕНЕНИЕМ ДАННЫХ
БОРТОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

2.9.3. Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация
(технические науки)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
ЛАКИН Игорь Капитонович

Москва – 2022 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ОБОСНОВАНИЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	11
1.1 Актуальность диагностирования тепловозов.....	11
1.1.1 Сервисное обслуживание тепловозов.....	11
1.1.2 Роль диагностирования при сервисном обслуживании.....	12
1.1.3 Полигонная система эксплуатации локомотивов.....	14
1.1.4 Статистика отказов тепловозов	15
1.2 МЕТОДЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЗОВ.....	29
1.2.1 Станции реостатных испытаний	29
1.2.2 Диагностические стенды.....	31
1.2.3 Переносные автоматизированные комплексы.....	32
1.2.4 Вибродиагностика.....	33
1.2.5 Бортовые микропроцессорные системы диагностирования	34
1.3 БОРТОВЫЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЗОВ.....	36
1.3.1 Современные отечественные тепловозы как объект исследования	36
1.3.2 Системы управления тепловозов	38
1.3.3 Бортовая система управления МСУ-ТП тепловозов серии 2ТЭ116У ...	44
1.3.4 Диагностическая функциональность МСУ-ТП	45
1.4 ОПЫТ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЗОВ	47
1.4.1 Опыт диагностирования тепловозов.....	47
1.4.2 Опыт разработки алгоритмов диагностирования тепловозов.....	52
1.5 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	59
1.6 ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 1	61
2 АНАЛИЗ ДАННЫХ БОРТОВЫХ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ.....	62
2.1 МЕТОД СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ.....	62
2.1.1 Порядок сбора данных для исследования	62
2.1.2 Обработка данных с использованием программирования	64
2.2 ПОЗИЦИЯ КОНТРОЛЛЕРА МАШИНИСТА	69
2.3 СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ТЕПЛОВОЗА	72

2.4	ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ДИЗЕЛЯ.....	74
2.5	НАПРЯЖЕНИЕ ТЯГОВОГО ГЕНЕРАТОРА	76
2.6	СИЛА ТОКА ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ.....	80
2.7	ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ДВУХДИЗЕЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНОГО ТЕПЛОВОЗА	82
2.8	ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 2	91
3	РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПО ДАННЫМ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЗОВ.....	93
3.1	МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД.....	93
3.2	ПРЕДОТКАЗНЫЕ СОСТОЯНИЯ	94
3.2.1	Определение понятий «Предотказ» и «Предотказное состояние»	94
3.2.2	Нестабильная мощность ДГУ на позиции.....	97
3.2.3	Заниженная мощность ДГУ	98
3.2.4	Превышение допустимой температуры выхлопных газов	99
3.2.5	Предотказное состояние одного цилиндра	100
3.2.6	Броски тока ТЭД	101
3.2.7	Превышение допустимого разброса токов ТЭД.....	102
3.2.8	Эффективность диагностирования предотказных состояний.....	103
3.3	СОКРАЩЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ РЕОСТАТНЫХ ИСПЫТАНИЙ	104
3.3.1	Загруженность станций реостатных испытаний.....	104
3.3.2	Диагностический потенциал МСУ при реостатных испытаниях	107
3.3.3	Возможное сокращение функциональности реостатных испытаний .	109
3.4	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ.....	109
3.5	КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ОДНОТИПНЫХ УЗЛОВ	112
3.6	МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ.....	115
3.7	ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПО ДАННЫМ МСУ	116
3.8	ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА	121

3.9 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ.....	126
3.10 ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 3	127
4 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕПЛОВОЗОВ	129
4.1 ХРОНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ В ГРУППЕ КОМПАНИЙ «ЛОКОТЕХ».....	129
4.2 АРМ «ОСЦИЛЛОГРАФ-3»	131
4.2.1 Функциональность АРМ «Осциллограф-3».....	131
4.2.2 Графический интерфейс АРМ «Осциллограф-3».....	133
4.3 АРМ «УМНЫЙ ЛОКОМОТИВ».....	137
4.4 ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 4	143
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	144
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	146
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	151
ПРИЛОЖЕНИЕ А	172
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	183
ПРИЛОЖЕНИЕ В	195
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	196
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	197
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	198
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж.....	199
ПРИЛОЖЕНИЕ И	200
ПРИЛОЖЕНИЕ К	201
ПРИЛОЖЕНИЕ Л	209
ПРИЛОЖЕНИЕ М.....	210

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Железные дороги являются одним из основных видов транспорта России, обеспечивая более 80 % грузовых перевозок по суше. Значительную часть в расходах ОАО «РЖД» составляет локомотивное хозяйство. На балансе ОАО «РЖД» находится более 32 тыс. секций локомотивов, из них тепловозов – более 13 тыс. секций. От эффективной эксплуатации локомотивов во многом зависит эффективная работа железнодорожного транспорта в целом.

Техническое обслуживание всех видов (ТО-1, ТО-2, ТО-3) составляет 45 % от суммарного времени простоя тепловозов, а плановые текущие ремонты (ТР-1, ТР-2, ТР-3) составляют 22 %, неплановые ремонты (НР) составляют 31 %. При этом коэффициент технической готовности (КТГ) тепловозов ниже 0,8, что недопустимо мало. Система технического обслуживания и ремонтов (ТОиР) нуждается в совершенствовании. Для повышения эффективности эксплуатации локомотивного парка в 2014-м году в ОАО «РЖД» ТОиР локомотивов выполняется сервисными компаниями [5]. Принципиально изменена система мотивации, при которой оплата идёт не за объём выполненных ТОиР, а за полезный пробег локомотивов с учётом соблюдения установленного уровня надёжности. Новая система организации ТОиР потребовала инновационного развития локомотиворемонтного хозяйства.

Современные локомотивы оснащаются микропроцессорными системами управления (МСУ), позволяющими повысить эффективность локомотивной тяги. Одновременно МСУ позволяют диагностировать техническое состояние локомотива, локализовать место возможной неисправности, прогнозировать остаточный ресурс непосредственно в процессе эксплуатации. Использование диагностической информации МСУ при организации ТОиР – важный резерв повышения надёжности локомотивов, снижения стоимости их жизненного цикла. При этом не проработаны методы организации ТОиР с использованием данных МСУ основных узлов тепловозов: дизель-генераторная установка, тяговые электродвигатели и др. Таким образом, анализ диагностических возможностей МСУ современных тепловозов с целью организации перспективной системы ТОиР – актуальная задача.

Степень разработанности темы исследования. Задача диагностирования отечественных локомотивов и их оборудования решалась в трудах учёных: И. П. Исаева [64 – 65], А. И. Володина [23 – 26], В. В. Грачева [39 – 40], А. А. Грищенко [45], С. И. Кима [69], Е. Е. Коссова [74 – 78], В. Н. Пустового [84, 100], И. К. Лакина [86 – 96], Е. А. Никитина [120], Д. Я. Носырева [121 – 122], Е. С. Павловича [133 – 134], В. А. Перминова [141], И. Ф. Пушкарева [150], А. П. Семенова [155 – 165], А. Э. Симсона [172], В. В. Стрекопытова [176 – 178], Э. Д. Тартаковского [181 – 182], А. З. Хомича [189 – 191], А. А. Чернякова [195] и многих других. Накоплен опыт использования диагностических данных МСУ при выполнении ТОиР ведущими мировыми локомотивостроительными компаниями General Electric, Siemens, Alstom, Bombardier, отечественными производителями: ООО ПК «НЭВЗ», ООО «Уральские локомотивы», АО «Коломенский завод», АО «УК «БМЗ». Задачи бортового диагностирования решаются в головных НИИ: ВНИКТИ, ВЭлНИИ, НИИТКД, ВНИИЖТ и в ведущих вузах: ДВГУПС, ИрГУПС, ОмГУПС, ПГУПС, РУТ, СамГУПС, РГУПС.

Применительно к серии тепловозов 2ТЭ116У задача диагностирования по данным МСУ-ТП рассмотрена в трудах М. Ш. Валиева [16] и В. В. Грачева [40 – 41]. Применительно к современным условиям сервисного обслуживания локомотивов задача использования данных МСУ рассматривалась в трудах А. А. Аболмасова [1 – 5], И. И. Лакина [83 – 85], И. В. Пустового [149], И. Ю. Хромова [192].

Комплексное использование данных МСУ тепловозов для организации ТОиР с элементами предиктивного ремонта остаётся актуальной задачей, решение которой выполнено в диссертации применительно к тепловозам серии 2ТЭ116У.

Объект исследования: тепловозы серии 2ТЭ116У, диагностическая функциональность их системы управления (МСУ-ТП).

Предмет исследования: анализ диагностической функциональности системы управления тепловозов 2ТЭ116У для нужд сервисного обслуживания.

Целью исследования является повышение эффективности системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР) локомотивов за счёт комплексного

использования диагностических данных бортовых микропроцессорных систем управления (МСУ) тепловозов.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- 1 выполнить анализ надёжности оборудования тепловозов и обосновать актуальность задачи бортового диагностирования;
- 2 выполнить анализ существующих методов диагностирования тепловозов применительно к условиям ремонтных локомотивных депо при сервисной системе технического обслуживания и ремонта (ТОиР);
- 3 выполнить комплексную вероятностно-статистическую обработку данных МСУ тепловозов серии 2ТЭ116У для различных полигонов их эксплуатации;
- 4 разработать методы диагностирования технического состояния тепловозов по данным бортовых МСУ;
- 5 выполнить анализ по данным МСУ специфических условий эксплуатации магистральных тепловозов на отечественных железных дорогах;
- 6 разработать модель диагностирования тепловозов по данным МСУ;
- 7 практически реализовать предложенные модель и методы.

Научная новизна диссертационной работы. В результате комплексной вероятностно-статистической обработки данных МСУ-ТП тепловозов серии 2ТЭ116У на трёх различных полигонах отечественных железных дорог получены новые объективные данные о реальных режимах эксплуатации и возможностях бортового технического диагностирования по данным МСУ-ТП, в результате чего для тепловозов серии 2ТЭ116У с использованием МСУ-ТП:

- 1 разработана модель технического диагностирования тепловозов;
- 2 разработаны способы диагностирования оборудования тепловозов;
- 3 разработан метод автоматизированного диагностирования однотипного оборудования с использованием корреляционного анализа;
- 4 разработан метод оценки остаточного ресурса оборудования тепловозов;
- 5 выполнена оценка диагностической информативности МСУ тепловозов.

Теоретическая значимость работы. Определены и научно обоснованы пределы диагностической функциональности МСУ тепловозов серии 2ТЭ116У.

Разработаны методы диагностирования оборудования тепловоза серии 2ТЭ116У по данным МСУ (бортовых аппаратно-программных комплексов).

Практическая значимость работы. Разработанные алгоритмы диагностирования тепловозов 2ТЭ116У легли в основу автоматизированных рабочих мест «Осциллограф-3» и «Умный локомотив», которые используются во всех сервисных локомотивных депо группы компаний «ЛокоТех» при формировании индивидуального объёма ТОиР тепловозов (справки о внедрении приведены в приложениях Л и М).

Методология и методы исследования. При анализе диагностических данных бортовых микропроцессорных систем использованы методы теории локомотивной тяги, теории надёжности, теории информации и математические вероятностно-статистические. При разработке метода диагностирования оборудования тепловозов использован метод корреляционного анализа. Расчёты и анализ выполнены с использованием программ, разработанных автором на алгоритмическом языке программирования Visual BASIC for Applications (VBA MS Excel), на которые получено Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ [153].

Положения, выносимые на защиту:

- 1 модель диагностирования тепловозов серии 2ТЭ116У с использованием данных бортовых аппаратно-программных комплексов;
- 2 метод диагностирования однотипных узлов тепловозов серии 2ТЭ116У;
- 3 метод оценки остаточного ресурса оборудования по данным МСУ-ТП;
- 4 способы диагностирования оборудования тепловозов по данным МСУ-ТП
- 5 практическая реализация предложенных модели, методов и способов.

Степень достоверности. Достоверность научных результатов и теоретических положений диссертационной работы достигнута за счёт использования вероятностно-статистических методов обработки данных. Исходные выборки данных тепловозов серии 2ТЭ116У составили более 1,12 млн записей бортовых аппаратно-программных комплексов 126 секций тепловозов по трём полигонам эксплуатации, содержащие суммарный объём статистических данных более 3000 суток (72 тыс. часов).

Результаты теоретических исследований подтверждаются практическим внедрением в работу сервисных локомотивных депо группы компаний ООО «ЛокоТех» в качестве автоматизированных рабочих мест диагностирования (справки о внедрении приведены в приложениях Л и М), что также подтверждает их достоверность.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены, обсуждены и одобрены на 18-и международных и всероссийских научно-практических конференциях (НПК): «Эксплуатационная надёжность подвижного состава» (НИИТКД, Омск, 2013); НПК «Безопасность движения поездов» (РУТ, Москва, 2013, 2022); НПК «Наука МИИТа – транспорту» (РУТ, Москва, 2013 – 2018); НПК «Транспортная инфраструктура Сибирского региона» (ИрГУПС, Иркутск, 2014, 2015); 2-я НПК «Эксплуатационная надёжность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов» (ОмГУПС, Омск, 2014, 2021); НПК «120 лет железнодорожному образованию в Сибири» (КрИЖТ, Красноярск, 2014); НПК "Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов» (МИИТ, ЛокоТех, Москва, 2014, 2015, 2018); НПК «Современные проблемы железнодорожного транспорта» (РУТ, Москва, 2019).

Диссертационная работа обсуждалась на заседаниях кафедры «Электропоезда и локомотивы» (РУТ (МИИТ), г. Москва) в 2016-2022 гг.

Публикации. Основные положения диссертации и полученные результаты опубликованы в 38-ми научных работах, из них 8 статей (одна без соавторов) в изданиях, включенных в перечень ВАК при Минобрнауки России, 8 статей в отраслевых журналах, 4 патента на способ и 1 свидетельство на программное обеспечение. 22 статьи имеют индексацию РИНЦ. Получены патенты на изобретения «Способ управления обслуживанием и ремонтом тягового подвижного состава железнодорожного транспорта и система для его осуществления» [136], «Способ контроля режимов эксплуатации локомотивов» [137], «Способ технического диагностирования оборудования локомотивов и устройство для его осуществления» [138] и «Способ и система для диагностирования промышленного объекта» [139]. Получено свидетельство на программу для ЭВМ «Статистический анализ параметров МСУ-ТП при

эксплуатации тепловозов 2ТЭ116У для их технического обслуживания и ремонта» [153].

Личный вклад соискателя. Автором лично выполнен литературный обзор с анализом надёжности тепловозов, анализ диагностической функциональности микропроцессорных систем управления тепловозов, включая вероятностно статистическую обработку данных МСУ, предложены алгоритмы диагностирования, реализованные в автоматизированных системах диагностирования.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырёх разделов, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 206 источников и 11 приложений. Содержит 210 страниц основного текста, включая 28 таблиц и 57 рисунков.

1 ОБОСНОВАНИЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В первом разделе рассмотрены подходы, применяющиеся к организации сервисного обслуживания локомотивов, а также роль диагностики и анализа информации о техническом состоянии и эксплуатации локомотивов при сервисном обслуживании.

1.1 Актуальность диагностирования тепловозов

1.1.1 Сервисное обслуживание тепловозов

Сервисная система ТОиР локомотивов предполагает поддержание их исправного состояния заводом-изготовителем или его представителем на этапе эксплуатации жизненного цикла локомотива [30 – 31, 188]. Имеется мировая и отечественная тенденции перехода на сервисное обслуживание согласно контракту жизненного цикла (КЖЦ) [188]. Тенденцию можно считать логичным продолжением концепции сервиса, впервые реализованной на автомобильном рынке Г. Фордом [49]. В локомотивном комплексе первыми были компании General Electric, Alstom, Siemens [204]. В ОАО «РЖД» переход на сервисное обслуживание начато в 2012-м году в рамках отраслевой политики выведения непрофильных активов ОАО «РЖД», политики дезинтеграции железнодорожного транспорта.

Для сервисного ТОиР локомотивов созданы частные компании, такие как ООО «ТМХ-Сервис» (с 2017-го года ООО «ЛокоТех-Сервис») для обслуживания локомотивов группы компаний «Трансмашхолдинг» и СТМ-Сервис для обслуживания электровозов компании «Уральские локомотивы» («Синара-Транспортные машины»). В настоящее время весь тяговый подвижной состав железных дорог России находится на сервисном обслуживании [100].

Наряду с явными преимуществами, при внедрении сервисного ТОиР появляются ранее не существовавшие проблемы, технического, технологического и юридического (необходимость разработки новых нормативно-распорядительных документов) характера [188]. Переход на КЖЦ требует решения возникающих проблем, в т.ч. научной их проработкой, в т.ч. объективный контроль технического состояния локомотивов.

1.1.2 Роль диагностирования при сервисном обслуживании

Сервисные компании являются коммерческими, что мотивирует их к повышению эффективности ТОиР. Имеется несколько направлений инновационного развития [110, 123, 130].

- 1 **Сокращение непроизводственных затрат при ТОиР.** Доход сервисных компаний определяется полезным пробегом локомотивов и почти не зависит от компании [157]. Таким образом, повышение эффективности сервиса (в т.ч. повышение прибыльности) возможен в основном за счёт сокращения затрат на ТОиР через оптимизацию производственной, логистической и закупочно-складской деятельности.
- 2 **Повышение надёжности локомотивов.** Повышение эффективности ТОиР возможно за счёт сокращения объёма ТОиР, возможного при повышении надёжности локомотивов, что в основном связано с повышением качества производства локомотивов с последующим исключением конструкционных и производственных отказов.
- 3 **Предупреждение дорогостоящих отказов.** Исключение деградационных и эксплуатационных отказов традиционно решалось системой планово-предупредительных ремонтов, которая и сейчас остаётся основой системы ТОиР. Современные средства диагностирования, включая бортовые, позволяют дополнительно выявлять и предупреждать отказы на этапе их зарождения – в предотказном состоянии. Через мониторинг современными средствами диагностирования можно предупредить отказ за счёт сверхцикловых работ во время планового ТОиР. Повышение стоимости текущего ремонта исключает в дальнейшем наступление дорогостоящего отказа. Такая технология получила название «предиктивный ремонт».

Следует акцентировать внимание на том, что предиктивный ремонт реализуется не вместо планово-предупредительного, а дополнительно к нему. Создаётся новая система управления надёжностью, где главным показателем наряду с интенсивностью отказов становится объём и стоимость сверхцикловых

работ ТООР. Эффект достигается за счёт сокращения числа отказов и unplanned заходов в депо. В конечном счёте сокращается потребный эксплуатационный парк локомотивов [117, 155, 156]. Прогнозируемый ремонт по данным систем диагностирования – мировой тренд повышения надёжности подвижного состава железных дорог [97 – 99, 140, 142]. Предпосылкой является факт, что внезапные отказы – имеют место только из-за ограниченности данных о техническом состоянии объекта диагностирования и условиях его эксплуатации, то есть все отказы по сути являются деградационными. Развитие систем диагностирования позволяет усиливать роль прогнозируемого ремонта.

Опыт наблюдения за локомотивным парком показывает, что время от появления первых признаков неисправности до отказа узла или агрегата, в большинстве случаев составляет от одной недели до нескольких месяцев. Регулярно контролируя параметры работы узлов и агрегатов локомотива, можно обнаруживать отклонения параметров от нормы, свидетельствующие о наличии скрытых неисправностей. Необходима разработка соответствующих алгоритмов для определения дополнительного (сверхциклового) объёма работ на ТООР [188].

При наступлении отказа на линии, определяются потери сервисной компании, которые складываются из неустойки (Н), затрат на работу вспомогательного локомотива ($Z_{л}$) и затрат на работы по ремонту локомотива ($Z_{р}$):

$$Z_o = \sum Z = H + Z_{всп} + Z_{л} + Z_{р} \quad (1.1)$$

$$H = P_{н} * t_{пр} \quad (1.2)$$

$$Z_{всп} = P_{лок} * (t_{пр} + t_{эвак}) \quad (1.3)$$

$$Z_{л} = P_{лок} * (t_{пр} + t_{эвак} + t_{рем}) \quad (1.4)$$

$$Z_{р} = P_{раб} + P_{рк} + P_{лок} * t_{рем} \quad (1.5)$$

где: Z_o – суммарные затраты на 1 случай отказа на линии (руб.); Н – стоимость неустойки (руб.); $Z_{всп}$ – стоимость работы вспомогательного локомотива (руб.); $Z_{л}$ – затраты, связанные с неиспользованием мощности локомотива (руб.); $Z_{р}$ – затраты на работы по ремонту локомотива (руб.); $P_{н}$ – цена одного часа неустойки (руб.), $t_{пр}$ – время простоя в неустойке (час.); $P_{лок}$ – стоимость локомотиво-часа

работы вспомогательного локомотива (руб.); $t_{\text{эвак}}$ – время эвакуации локомотива; $Z_{\text{л}}$ – затраты, связанные с недоиспользованием мощности локомотива (руб.); $P_{\text{раб}}$ – стоимость работ по ремонту локомотива; $P_{\text{рк}}$ – стоимость ремонтного комплекта; $t_{\text{рем}}$ – время, затраченное на ремонт локомотива.

Примечание: время ремонта $t_{\text{рем}}$ не является частью времени неустойки $t_{\text{пр}}$, т.к. локомотивы, используемые для эвакуации, числятся в эксплуатируемом парке и по договору на сервисное обслуживание оплачиваются как тяга поезда.

Из формул (1.1 – 1.5) следует, что почти все затраты на устранение отказа локомотива на линии определяются временем простоя $t_{\text{пр}}$ и временем эвакуации $t_{\text{эвак}}$ локомотива. Обнаружение отказа на плановом обслуживании или ремонте позволяет сократить время простоя на линии и время эвакуации, исключить оплату штрафов, исключить затраты на вызов вспомогательного локомотива, потери от простоя локомотива [113].

Таким образом, диагностирование и мониторинг технического состояния локомотивов являются эффективным средством сокращения затрат жизненного цикла локомотивов [113].

1.1.3 Полигонная система эксплуатации локомотивов

Применение современных локомотивов, обладающих значительным запасом хода, позволяет осуществлять тягу поездов без отцепки локомотива на расстояния, превышающие длину дистанций пути и отдельных железных дорог, сокращая время в пути за счёт исключения смены локомотива на границе участка обращения. Это привело к появлению полигонной системы эксплуатации локомотива, при которой локомотивы обращаются без отцепки от поезда на полигоне, объединяющем несколько участков обращения, а ТОиР производится по достижению локомотивом нормативного пробега в ближайшем сервисном подразделении. При создании полигонной системы пространство железных дорог России было разделено на 7 полигонов эксплуатации локомотивов:

- Восточный;

- Урало-Сибирский;
- Северный;
- Волжский;
- Южный;
- Московский;
- Октябрьский [31].

Для сервисной компании введение подобной схемы эксплуатации привело к необходимости постоянной оперативной корректировки программы ремонта для каждого сервисного подразделения в условиях невозможности своевременного обнаружения зарождающегося отказа традиционными методами, а также размыванию ответственности за техническое состояние локомотива между всеми СЛД, выполняющими текущий ремонт локомотива на данном полигоне.

Наиболее быстрым и эффективным способом решения данной проблемы является создание для каждого полигона единого информационного пространства, содержащего актуальную информацию о проведённых ремонтах и техническом состоянии каждого локомотива. Так, для обеспечения оперативного планирования программы ремонтов на каждом полигоне созданы Центры управления тяговыми ресурсами (ЦУТР), учёт выполненных по каждому локомотиву ремонтных работ выполняется при помощи системы ТУ-28Э, а учёт выявленных неисправностей выполняется посредством систем ЕСМТ и модуля «Диагностическая карта» ТУ-28Э. Тем не менее, вопрос оперативной диагностики локомотивов в условиях полигонной эксплуатации всё ещё остаётся открытым.

Таким образом, организация ТОиР локомотивов при полигонной схеме эксплуатации требует непрерывного контроля технического состояния локомотивов во время их эксплуатации.

1.1.4 Статистика отказов тепловозов

Договоры сервисного обслуживания предполагают не оплату ТОиР, а оплату за полезный пробег локомотивов. Сокращение затрат на ТОиР за счёт повышения

надёжности локомотивов – один из главных источников повышения эффективности сервисного ТОиР. Для подтверждения тезиса в диссертации выполнен анализ статистики отказов по данным информационных систем АСУТ и ЕСМТ [180].

Для проведения исследования взяты данные по количеству unplanned ремонтов (НР) тепловозов серии 2ТЭ116 всех индексов за 2015-й год по Октябрьской, Свердловской, Северной, и Юго-Восточной железным дорогам (всего 2689 случаев НР для 2013-и тепловозов). Анализ распределения абсолютного количества отказов по пробегу от ремонта объёма «ТР-1» (50 тыс. км пробега) показал наличие максимумами в районе 0, 15, 30 и 50 тыс. км для Октябрьской, Приволжской и Свердловской железных дорог (рисунок 1.1) [180].

Аналогичный анализ с разделением по сериям 2ТЭ116 и 2ТЭ116УД (рисунок 1.2) показывает сходную картину по тепловозам 2ТЭ116 и 2ТЭ116УД. При этом для 2ТЭ116УД присутствует выброс в зоне 40 тыс. км [180].

Анализ пробегов от ремонта объёма «ТР-2» (300 тыс. км пробега) (рисунки 1.3 и 1.4) позволяет выявить наличие локального пика в районе 110 тыс. км для Октябрьской, Приволжской и Свердловской железной дорог (для Юго-Восточной железной дороги этот пик также присутствует, но смещён в зону 80 тыс. км) [180].

Есть два экстремума в распределении по сериям тепловозов (рисунок 1.5). Для серии 2ТЭ116К второй локальный пик отсутствует, а для 2ТЭ116УД он смещён в зону 200 тыс. км [180].

Подробный анализ наработок тепловозов 2ТЭ116УД (рисунок 1.6) выявил наличие повторяющегося характера наработки на unplanned ремонт после ремонта объёма «ТР-2» в диапазоне от 0 до 200 тыс. км [180].

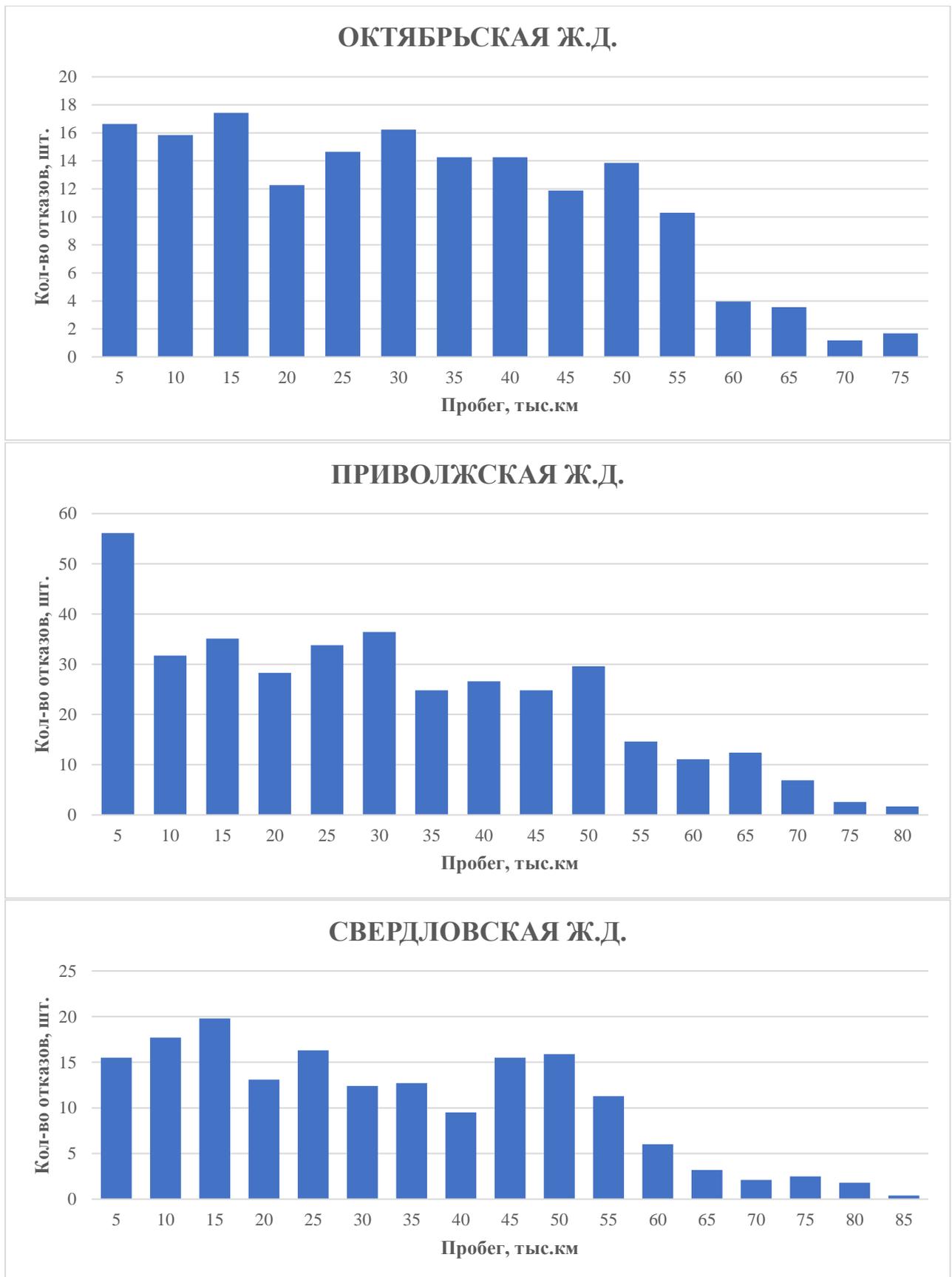


Рисунок 1.1 – Распределение среднего количества отказов на секцию тепловоза 2ТЭ116 всех модификаций в зависимости от пробега после ремонта объёма «ТР-1» по железным дорогам

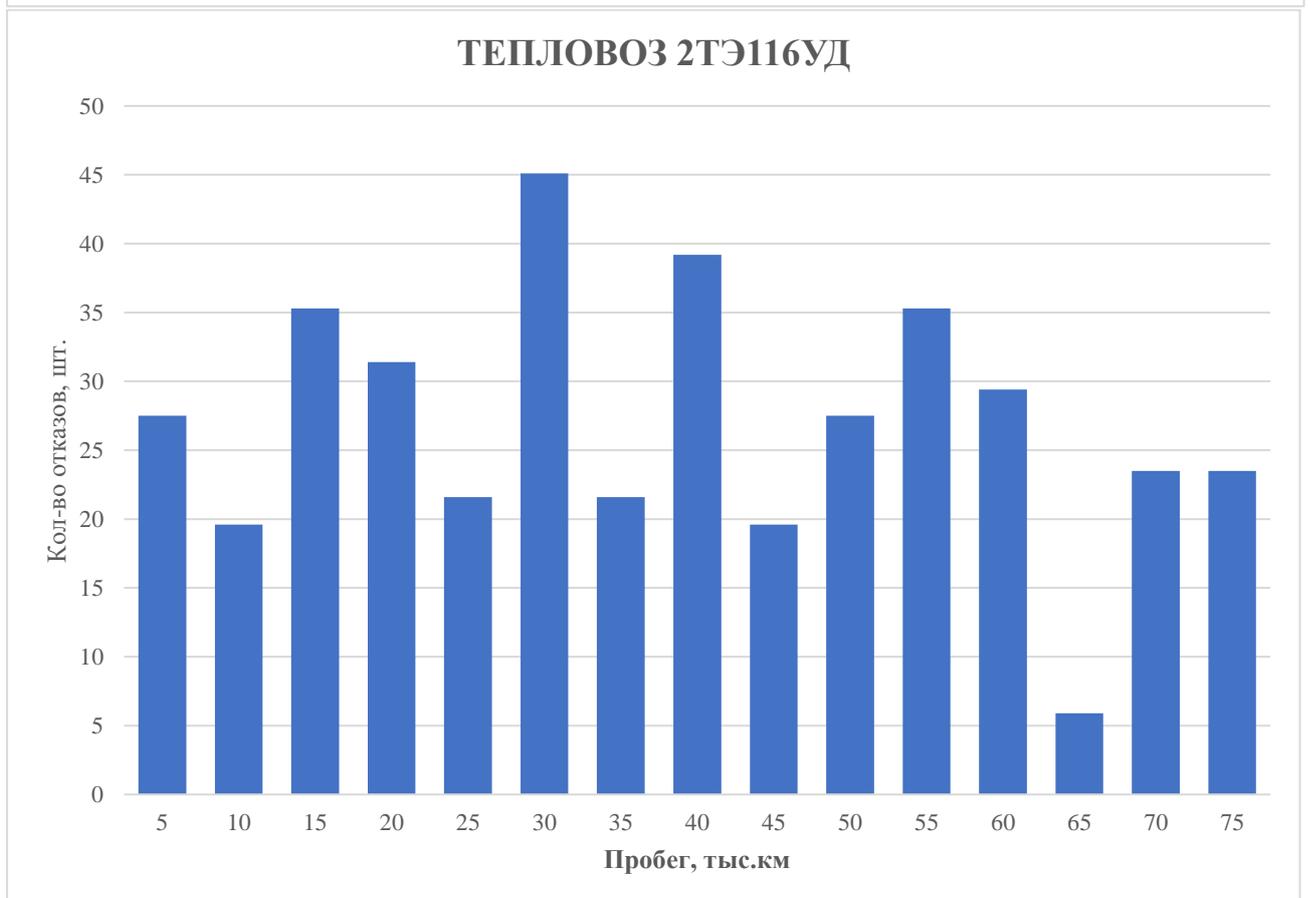
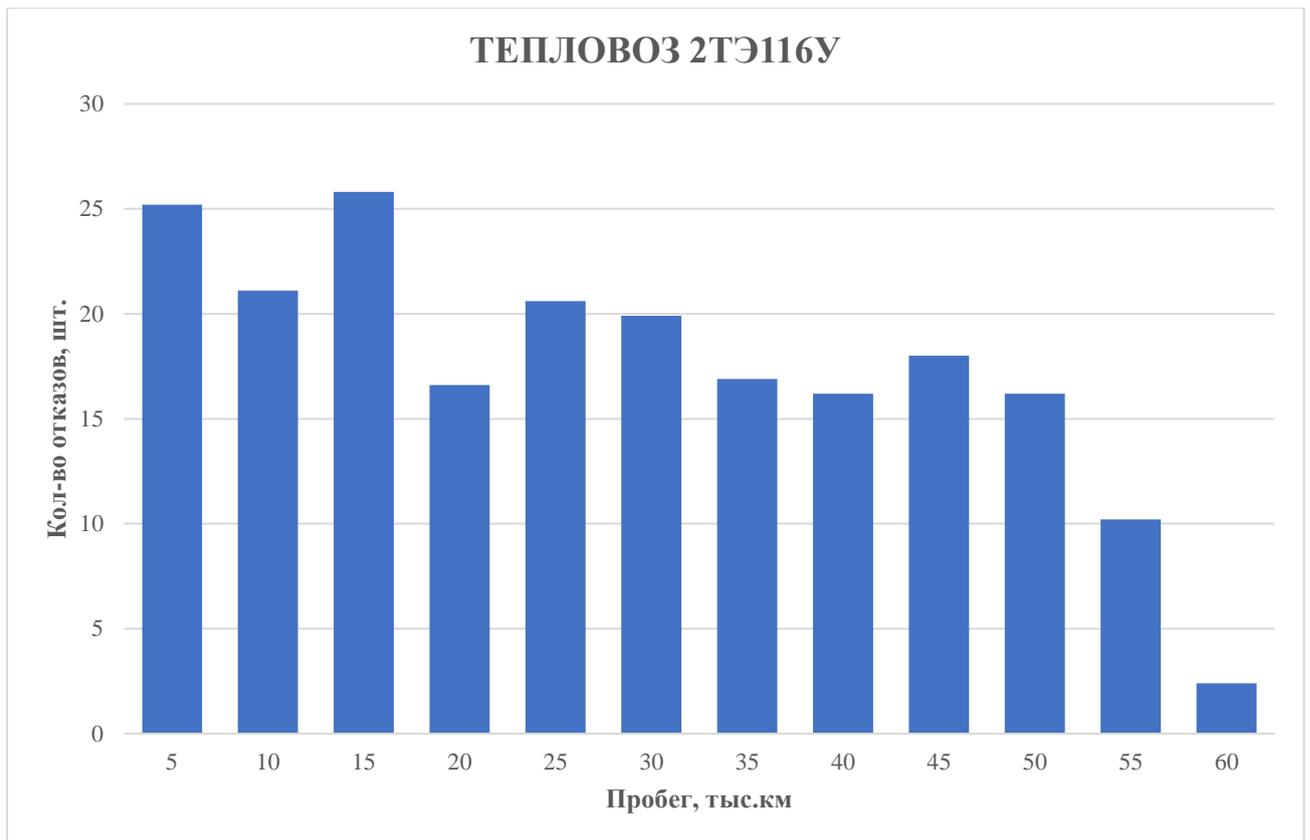


Рисунок 1.2 – Распределение среднего количества отказов на секцию тепловоза в зависимости от пробега после ремонта объёма «ТР-1» по модификациям тепловоза



Рисунок 1.3 – Распределение среднего количества отказов на секцию тепловоза в зависимости от пробега после ремонта объема «ТР-2» по железным дорогам

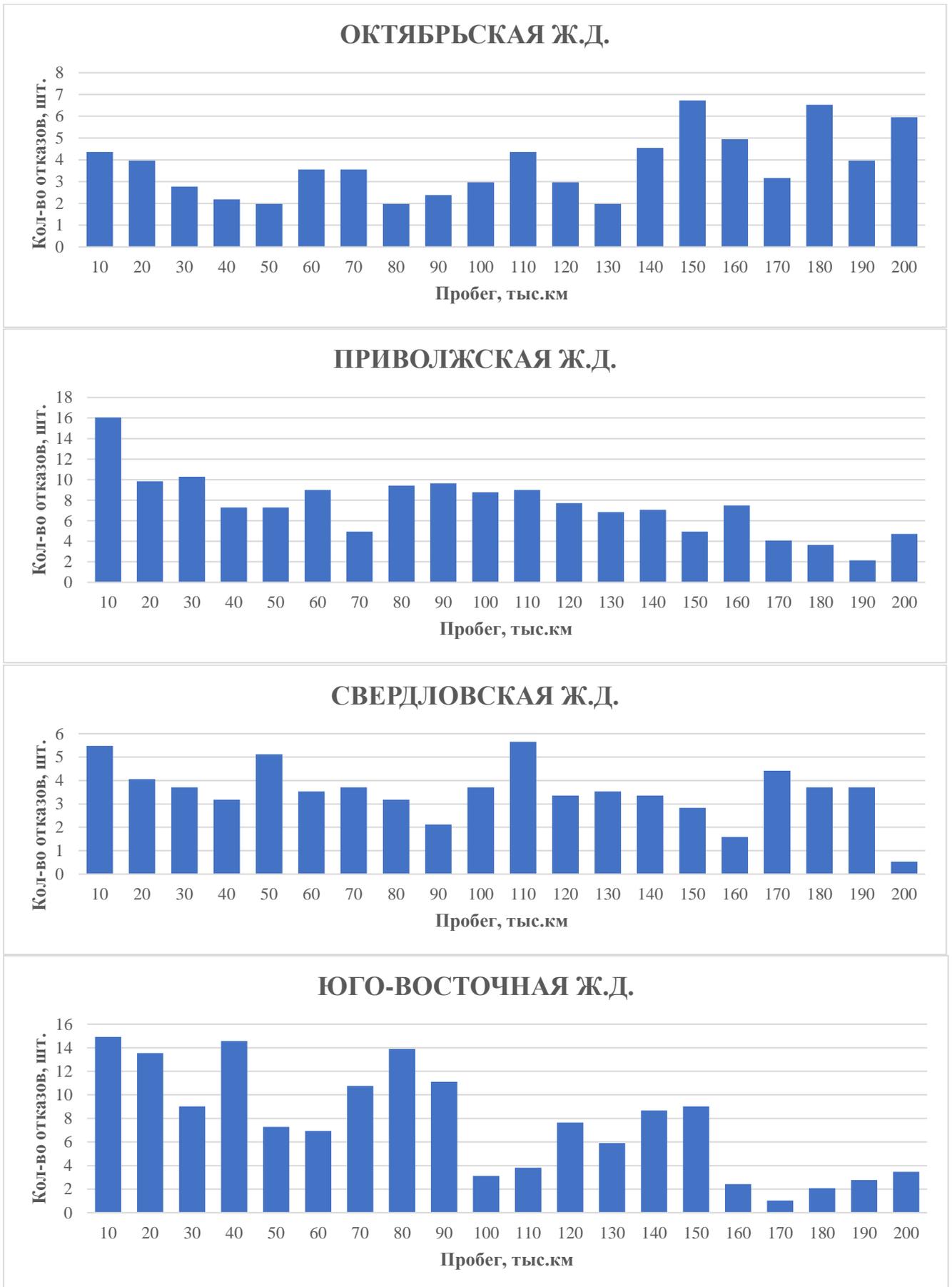


Рисунок 1.4 – Подробный анализ среднего количества отказов на секцию тепловоза в зависимости от пробега после ремонта объема «ТР-2» по железным дорогам

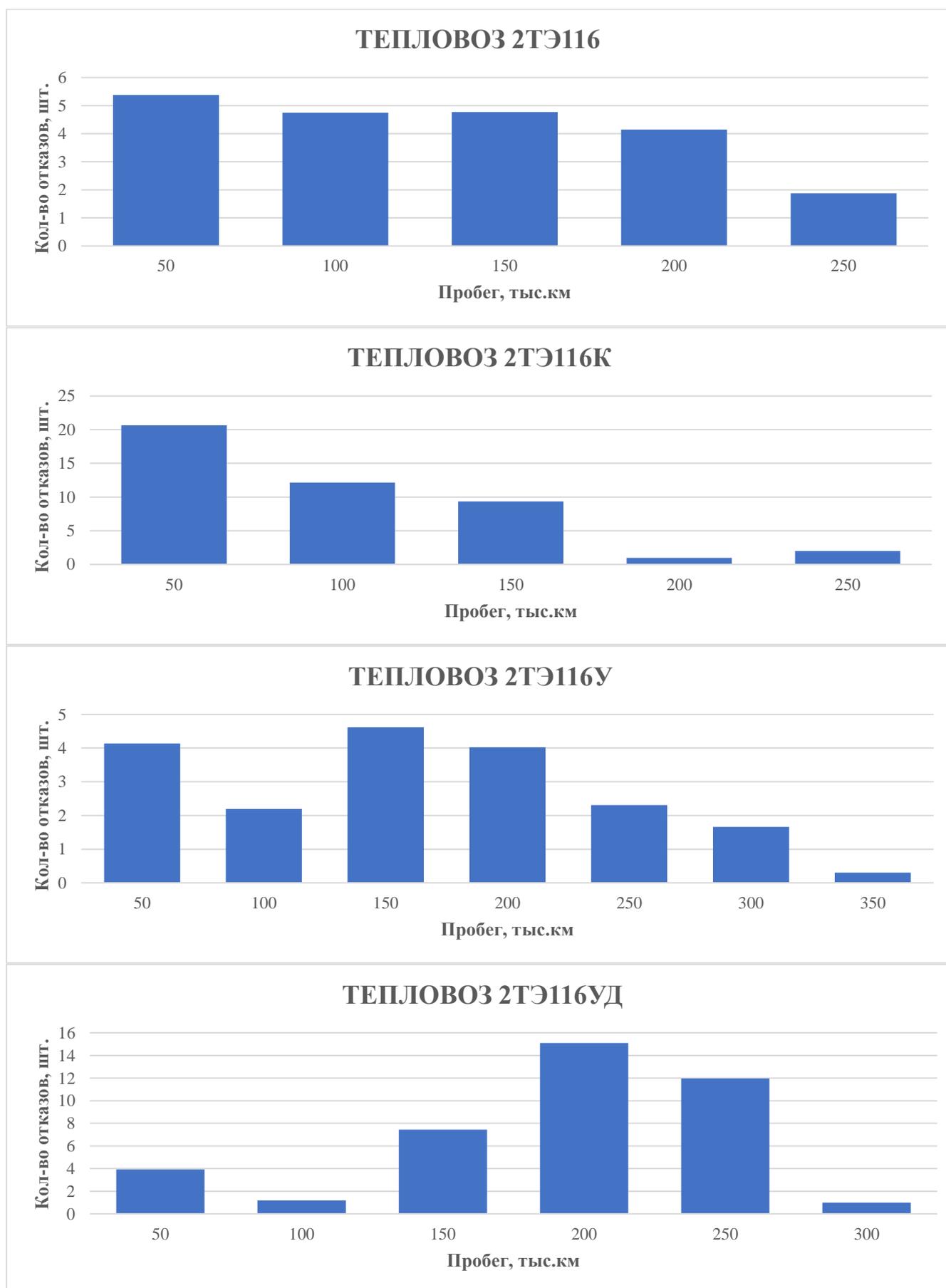


Рисунок 1.5 – Распределение среднего количества отказов на секцию тепловоза в зависимости от пробега после ремонта объёма «ТР-2» по модификациям тепловоза

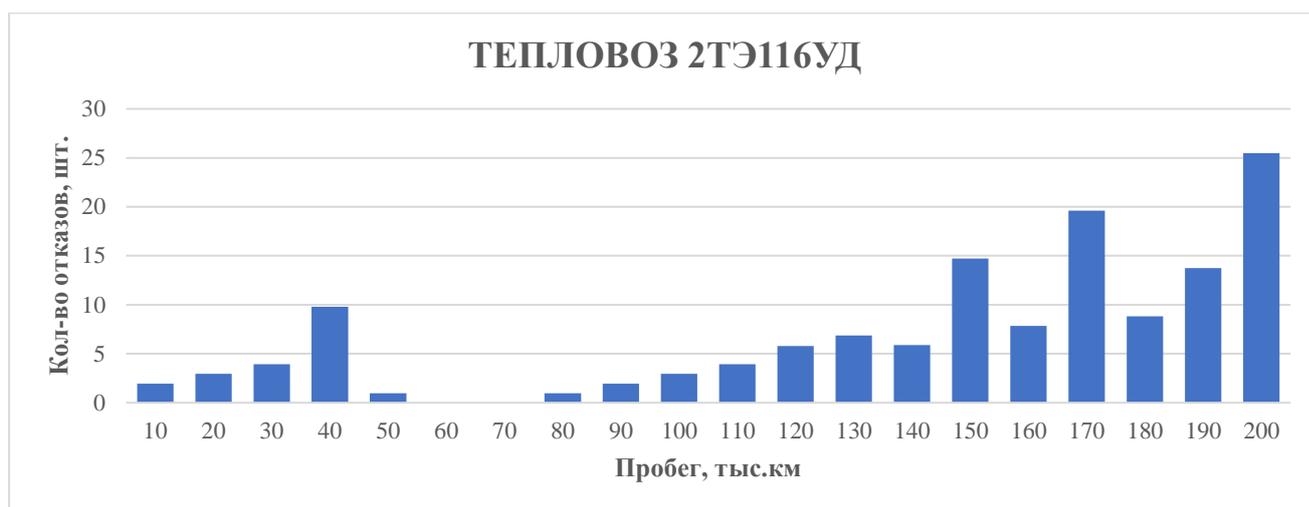


Рисунок 1.6 – Распределение среднего количества отказов на секцию тепловоза в зависимости от пробега после ремонта объёма «ТР-2» для тепловозов серии 2ТЭ116УД

Анализ наработок на unplanned repair after TR-3 repair (рисунок 1.7) по полигонам показал наличие пиков в районе 300 тыс. км для Октябрьской и Приволжской железных дорог и 200 тыс. км для Октябрьской и Свердловской железных дорог, а также двухпиковое распределение для Юго-Восточной железной дороги с пиками в районе 100 и 250 тыс. км [180].

Аналогичный характер постановки на unplanned repair after TR-3 по Юго-Восточной железной дороге (рисунок 1.8) позволяет выявить ярко выраженную закономерность в изменении количества отказов, схожую с классической кривой износа деталей, известной из теории надёжности [180].

Анализ наработок на unplanned repair after average repair (CP) не позволил выявить явную закономерность в изменении количества отказов в зависимости от пробега ни по железным дорогам, ни по сериям, несмотря на наличие внешнего подобия закономерности на общем наборе филиала (рисунок 1.9) [180].

Анализ наработок на unplanned repair after capital repair (KR) показывает наличие слабо выраженной закономерности по Октябрьской, Приволжской и Свердловской железным дорогам с тремя пиками в районе 450 – 500 тыс. км и 750 – 800 тыс. км (рисунок 1.10) [180].

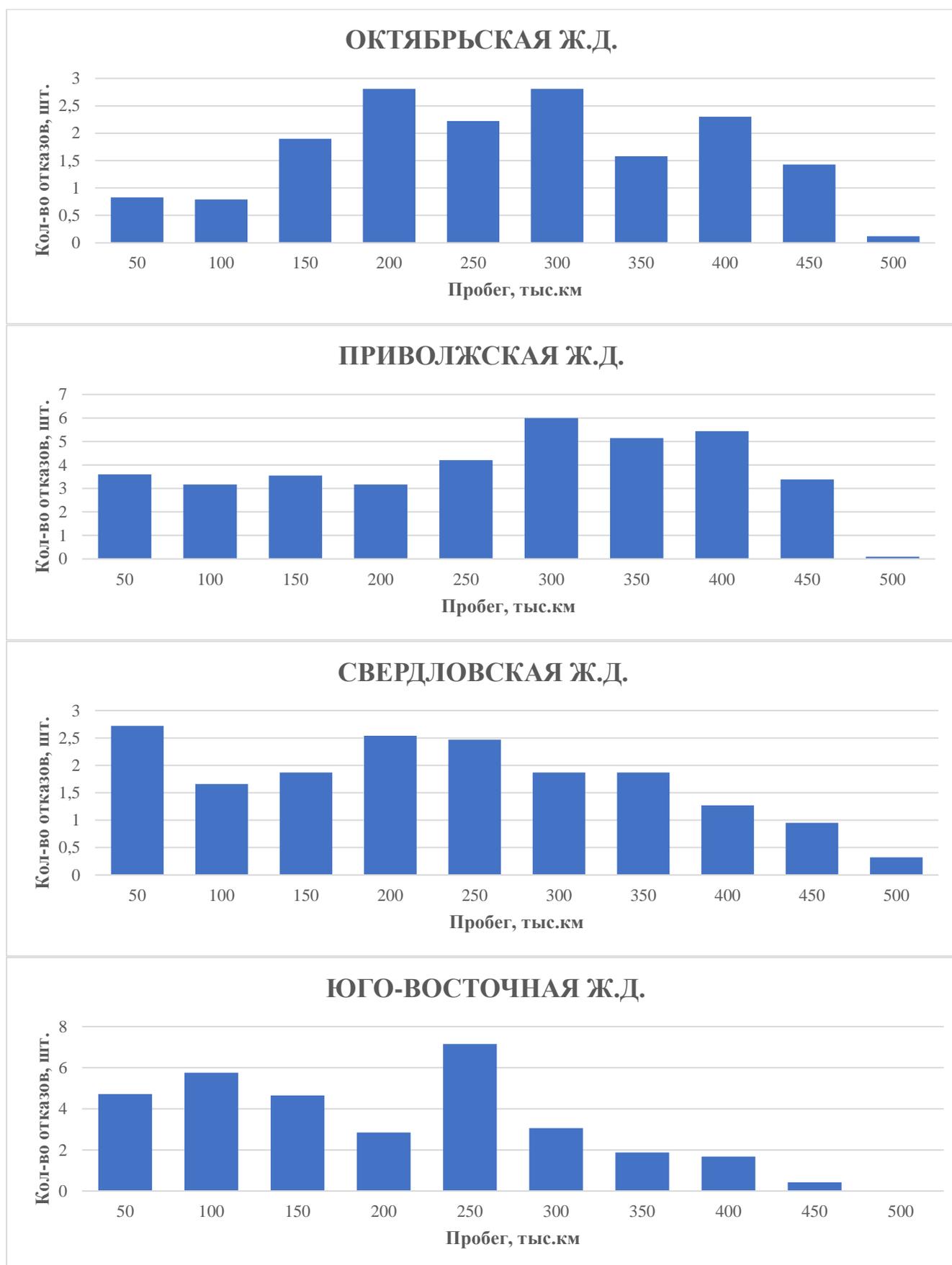


Рисунок 1.7 – Распределение среднего количества отказов на секцию тепловоза в зависимости от пробега после ремонта объема «ТР-3» по железным дорогам



Рисунок 1.8 – Подробный анализ среднего количества отказов на секцию тепловоза в зависимости от пробега после ремонта объёма «ТР-3» по Юго-Восточной железной дороге

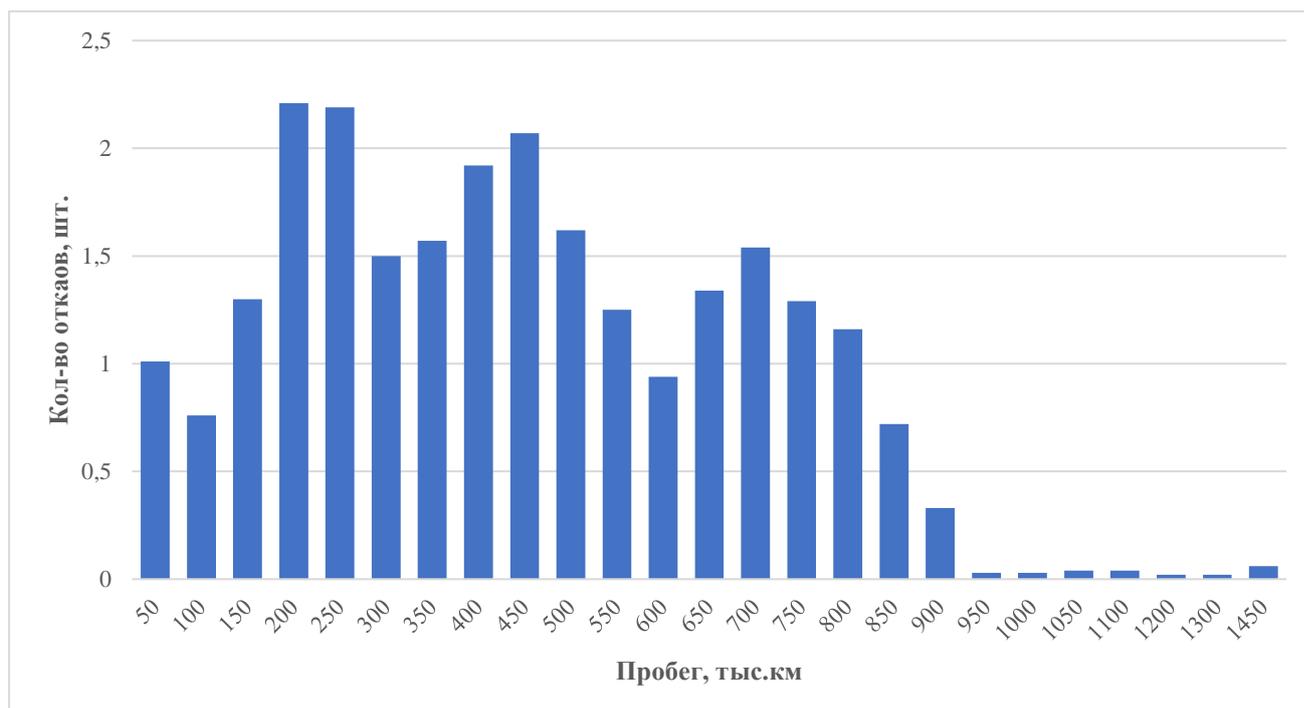


Рисунок 1.9 – Анализ среднего количества отказов на секцию тепловоза в зависимости от пробега после среднего ремонта

Аналогичное распределение выявлено при анализе наработок на неплановый ремонт после капитального ремонта по тепловозам 2ТЭ116 (рисунок 1.11). Также виден третий экстремум в диапазоне 1,150 млн км [180]. По другим модификациям

тепловозов 2ТЭ116 анализ наработки на отказ после КР не выявил закономерностей.

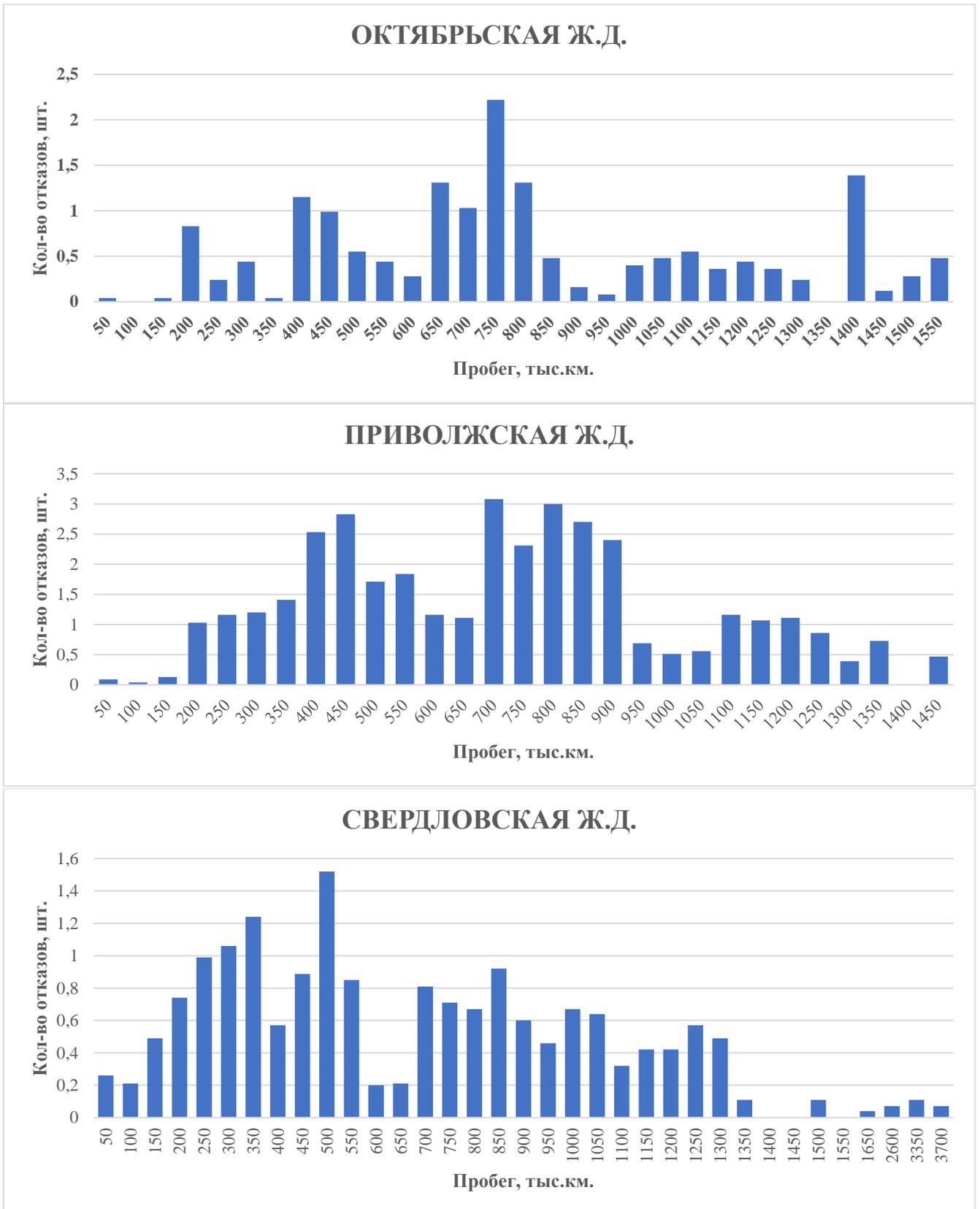


Рисунок 1.10 – Распределение среднего количества отказов на секцию тепловоза в зависимости от пробега после капитального ремонта по железным дорогам



Рисунок 1.11 – Распределение среднего количества отказов на секцию в зависимости от пробега после капитального ремонта по серии тепловозов 2ТЭ116

Таким образом, выполненный анализ показал, что даже при наличии региональных особенностей надёжности тепловозов зависимости количества отказов от пробега после планового ремонта схожи по Свердловской и Октябрьской железным дорогам, частично по Юго-Восточной железной дороге. Более существенные отличия по Приволжской железной дороге.

Основным показателем надёжности локомотива в соответствии с договором сервисного обслуживания (п. 5.3) является коэффициент технической готовности $K_{ТГ}$ – отношение математического ожидания суммарного времени пребывания локомотива в работоспособном состоянии за заданный период времени эксплуатации к математическому ожиданию суммарного времени пребывания локомотива в работоспособном состоянии и простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом за тот же [54] заданный период времени. В совокупности $K_{ТГ}$ интегрировано показывает интенсивность отказов по различным причинам, скорость устранения возникшего отказа и фактическое время простоя на плановых видах обслуживания и ремонта:

$$K_{ТГ} = \frac{T_{рсп}}{T_{рсп} + T_{отп} + T_{плп} + T_{аиз}}, \quad (1.6)$$

где: $T_{рсп}$ — суммарное время пребывания локомотива в работоспособном состоянии за рассматриваемый период эксплуатации; $T_{отп}$ — суммарное время пребывания локомотива в неработоспособном состоянии в связи с ремонтами по причине отказа за рассматриваемый период эксплуатации; $T_{плп}$ — суммарное время пребывания локомотива в неработоспособном состоянии [100] в связи с

проведением планового обслуживания и ремонта за рассматриваемый период эксплуатации; $T_{\text{аиз}}$ — суммарное время ожидания сервисного обслуживания, ожидания эксплуатации и иные административные издержки [111].

Для тепловозов 2ТЭ116 за 2017 г. значение $K_{\text{тг}}$ составило:

$$K_{\text{тг}} = \frac{5811262}{5811262+363748+762031+1449798} = 0,693 .$$

Соотношение показателей, снижающих $K_{\text{тг}}$ тепловозов, приведено на рисунке 1.12.

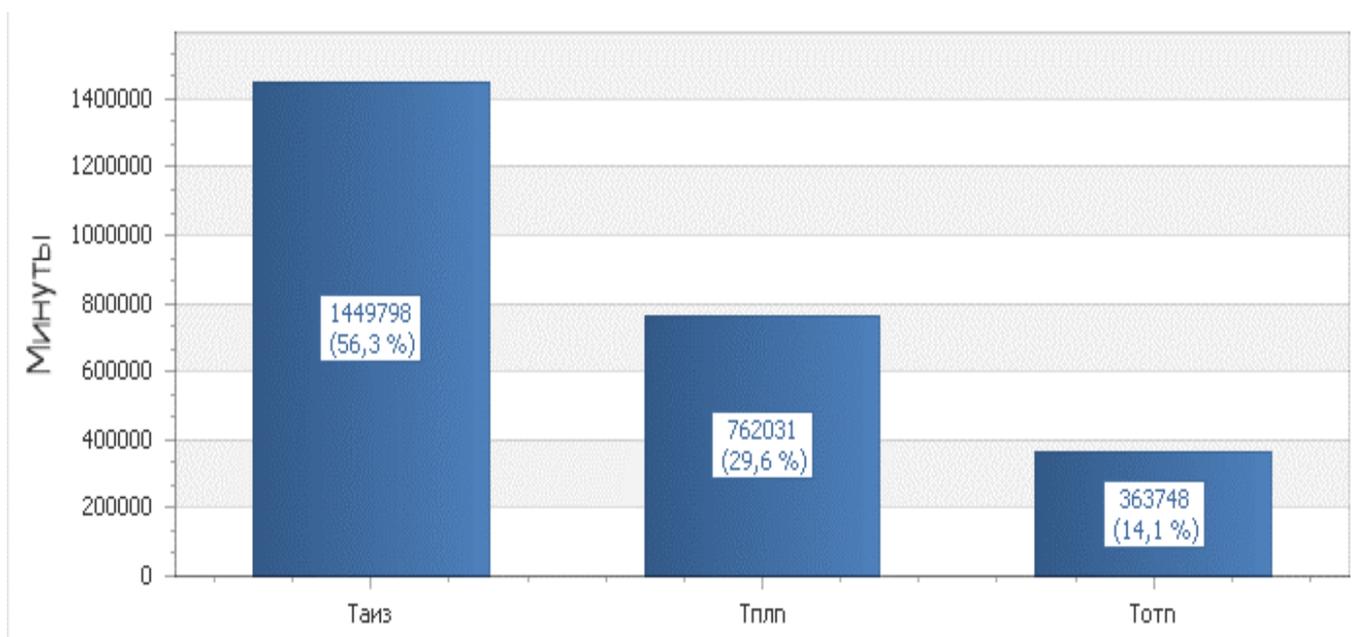


Рисунок 1.12 – Показатели, влияющие на $K_{\text{тг}}$ тепловозов 2ТЭ116

Для тепловоза 2ТЭ116У за тот же промежуток времени значение $K_{\text{тг}}$ составило:

$$K_{\text{тг}} = \frac{6604816}{6604816+489791+713320+1306516} = 0,725.$$

Значения потерь $K_{\text{тг}}$ для тепловозов 2ТЭ116У приведены на рисунке 1.13.

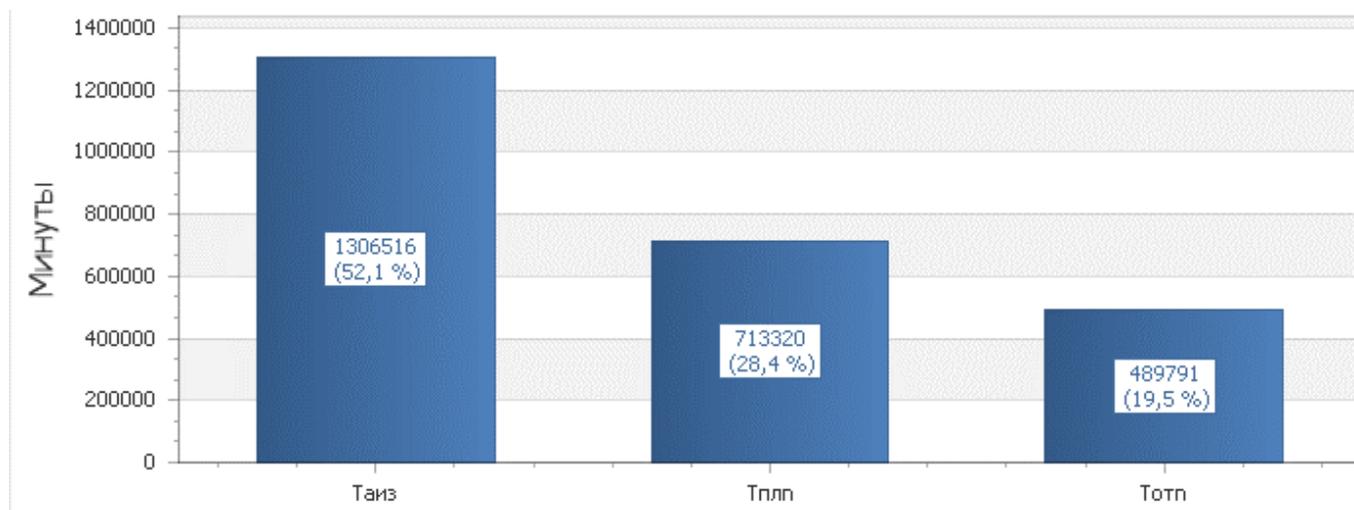


Рисунок 1.13 – Показатели, влияющие на $K_{\text{тг}}$ тепловозов 2ТЭ116У

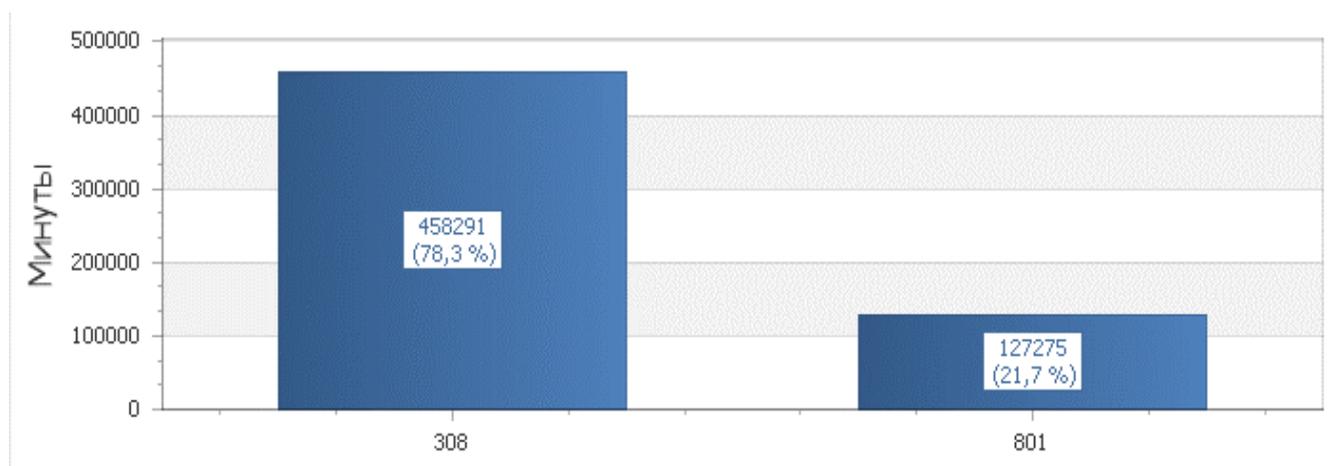
Сходное соотношение снижающих $K_{\text{тг}}$ факторов подтверждает наличие общих влияющих факторов, главным из которых являются административные издержки (56,3 % для 2ТЭ116 и 52,1 % для 2ТЭ116У). Потери $K_{\text{тг}}$ во время планового обслуживания и ремонта составляют 29,6 % и 28,4 % соответственно. Потери $K_{\text{тг}}$ при ремонте по причине отказа для тепловозов 2ТЭ116У составляют 19,5 %.

На рисунке 1.14 приведено сравнение потерь $K_{\text{тг}}$ тепловозов 2ТЭ116У при гарантийном ремонте по вине сервисных локомотивных депо (СЛД) и завода-изготовителя составляет 78,3 % и 21,7 %. Очевиден вывод о необходимости совершенствования системы сервисного обслуживания, в т.ч. за счёт внедрения перспективных систем технического диагностирования в СЛД.

Для оценки готовности к эксплуатации вновь выпускаемых локомотивов (в т.ч. в рамках Контракта жизненного цикла (КЖЦ)) [40] вместо $K_{\text{тг}}$ используется Коэффициент готовности к эксплуатации ($K_{\text{гэ}}$), рассчитываемый как отношение времени в работоспособном состоянии ($T_{\text{рсп}}$) к сумме времени в работоспособном состоянии, плановом ($T_{\text{плп}}$) и неплановом ($T_{\text{отп}}$) обслуживании:

$$K_{\text{гэ}} = \frac{T_{\text{рсп}}}{T_{\text{рсп}} + T_{\text{отп}} + T_{\text{плп}}}. \quad (1.7)$$

Из формулы 1.7 видно, что отличие $K_{\text{гэ}}$ заключается в исключении из расчёта затрат времени на административные издержки.



**Рисунок 1.14 – Потери КТГ из-за unplanned ремонтов тепловозов 2ТЭ116У:
код 308 – НР по вине СЛД, код 801 – НР по вине завода-изготовителя**

Таким образом, отечественные тепловозы нуждаются в повышении их надёжности, в том числе и за счёт внедрения современных автоматизированных систем технического диагностирования.

1.2 МЕТОДЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЗОВ

1.2.1 Станции реостатных испытаний

Ключевым узлом тепловоза является дизель-генераторная установка (ДГУ), настройка и диагностирования которого в условиях депо осуществляется с использованием станции реостатных испытаний. В процессе испытаний ДГУ подключается к внешнему реостату (обычно водяной, реже – с воздушным охлаждением) или внутренним тормозным реостатам тепловоза. С помощью реостата осуществляется регулирование тока тягового генератора и имитация работы электрической схемы на всех возможных при реальной эксплуатации режимах нагрузки [18].

Помимо нагрузочного бака в состав комплекса (рисунок 1.15) включается комплект датчиков и рабочее место оператора, позволяющее обрабатывать результаты испытаний в автоматизированном режиме. Наиболее распространёнными в ОАО «РЖД» являются «Кипарис» и «Алмаз» [112].

Проведение реостатных испытаний после постройки и выполнения крупных заводских или деповских ремонтов (объёмов «ТР-2» и выше) позволяет проверить функционирование дизеля и электрической передачи тепловоза, его систем

управления, а для тепловозов, не оборудованных электронными регуляторами дизеля и системы возбуждения – также настроить работу системы возбуждения генератора до достижения требуемых значений [24, 199].



а) Рабочее место мастера реостатных испытаний



б) Набор датчиков



г) Водяной бак реостата



д) Тепловоз на реостатных испытаниях

Рисунок 1.15 – Оборудование станции реостатных испытаний [98]

С появлением электронных систем управления возбуждением генератора на новых и прошедших модернизацию тепловозах нет необходимости ручной

настройки системы возбуждения тягового генератора за счёт автоматической настройки электронной схемы управления возбуждением что исключает потребность в реостатных испытаниях. Результаты выполненных в последние годы исследований [41, 102] показывают, что наибольший технический эффект для тепловозов, оборудованных МСУ имеет настройка топливной аппаратуры дизеля при проведении реостатных испытаний после ремонтов в объёме «ТР-2» и выше.

Таким образом, станции реостатных испытаний являются основным средством технического диагностирования ДГУ, но предполагают трудо- и энергозатратные испытания в условиях ремонтного или сервисного локомотивного депо. Функцию диагностирования частично может взять на себя бортовые МСУ [95].

1.2.2 Диагностические стенды

Диагностика топливной аппаратуры после демонтажа в депо осуществляется на стендах настройки топливной аппаратуры в топливном цехе. Современные диагностические комплексы семейства 55ДК имеют электронную систему управления, позволяющую не только проводить настройку форсунок и топливных насосов высокого давления в автоматизированном режиме, но и выявлять возможные неисправности и сохранять результаты диагностики с передачей информации на сервер или в систему управления ремонтами. Схожим функционалом обладают и стенды для настройки регуляторов частоты вращения коленчатого вала дизеля [12, 36, 68].

В качестве комплексного решения для электромашинного цеха депо используются информационно-контрольные системы, например, ИКС-ЭМЦ, объединяющие группу настроечных стендов, имеющих помимо диагностических и настроечных функций также возможность управления производственным процессом цеха и учёта оборудования и материалов [36, 68, 119, 123, 198]. В зависимости от потребностей конкретного СЛД, система включает в себя диагностические стенды:

- станция контроля состояния тягового электродвигателя СКП-ЭМЦ ТЭД;
- станция испытания вспомогательных асинхронных электрических машин;

- станция испытания вспомогательных электрических машин постоянного тока;
- система вибродиагностики подшипников ТЭД [126, 127];
- стенд дефектоскопии вала якоря [119];
- установка для проверки изоляции силовых цепей [68].

Аналогичные комплексные системы разработаны и для электроаппаратного (СКП-АЦ), автотормозного (СКП-АвЦ) цехов и пунктов технического обслуживания локомотивов (АСУ ПТОЛ).

Таким образом, в настоящее время разработаны автоматизированные средства диагностирования для всех видов оборудования локомотива и позволяют контролировать исправность оборудования при их ТОиР.

1.2.3 Переносные автоматизированные комплексы

Важным комплексным средством оценки технического состояния электрических цепей локомотивов являются переносные комплексы семейства «Доктор», использующие для диагностики значения:

- возвратного напряжения;
- сопротивления изоляции;
- коэффициента абсорбции;
- индуктивности;
- фактора потерь (тангенса угла потерь);
- добротности.

Диапазон применения комплексов – трансформаторы, кабели силовых цепей и цепей управления, магнитные катушки реле и переключателей, а также элементы магнитной системы (ярмо и магнитные полюсы) электродвигателей. Для оценки свойств изоляции также применяются комплексы «Кедр», позволяющие определять увлажнённость и старение изоляции на основании коэффициента абсорбции, поляризации и возвратного напряжения [68].

Для оценки технического состояния дизеля без проведения реостатных испытаний применяется переносной диагностический комплекс «ПДК», позволяющий оценивать техническое состояние топливной аппаратуры и цилиндропоршневой группы на основании параметров:

- среднего индикаторного давления;
- температуры выхлопных газов на выходе из цилиндров;
- хода иглы форсунки;
- частоты вращения коленчатого вала [5].

Для диагностики подшипников применяются мобильные системы диагностирования семейства МСД, которые могут осуществлять единовременный контроль до 8 подшипников, работая в автономном режиме до 12 часов и передавая данные на единый сервер по беспроводному каналу. Заявленная точность выявления дефектов составляет до 90 % [68, 143].

Для оценки работы системы воздушного охлаждения тяговых электродвигателей применяются переносные комплексы контроля давления воздуха ПМУ СНВ, измеряющие давление в диапазоне от 0 до 500 мм водяного столба с точностью 2,5 %, и имеющие возможность беспроводного обмена данными с сервером или комплексом реостатных испытаний КИПАРИС-5 [68].

Таким образом, имеется комплекс переносных средств, позволяющих оперативно контролировать техническое состояние локомотива при заходе на техническое обслуживание.

1.2.4 Вибродиагностика

Наиболее распространённым семейством автоматизированных диагностических стендов, применяемых в СЛД, являются системы вибродиагностики локомотивов семейств «Вектор» (производства ООО «Ассоциация ВАСТ») и «Прогноз» (производство ОАО «НИИТКД»).

Самые совершенные образцы этих комплексов имеют до 12 каналов измерения вибрации и 2 каналов измерения частоты вращения, что позволяет при средней продолжительности одного замера в 5 минут достигать точности постановки диагноза 95 – 98 % [68].

Основным недостатком применения стационарных диагностических стендов является необходимость постановки локомотива на отдельную позицию, что осложняет их применение и создаёт дополнительные затраты времени на подготовку диагностической позиции и постановку локомотива [95].

1.2.5 Бортовые микропроцессорные системы диагностирования

Первые серийные электронные системы управления локомотивов появились в 1973 – 1974 годах для управления силовыми преобразователями: управляемый выпрямитель возбуждения (УВВ) тепловозов 2ТЭ116 и блок управления выпрямительно-инверторным преобразователем (ВИП) – БУВИП электровозов ВЛ80Р [166 – 169].

Дальнейшее развитие систем управления электровозов происходило поэтапно по мере выпуска новых серий электровозов переменного тока [168]. На настоящий момент можно условно выделить 4 семейства микропроцессорных систем управления (МСУ), устанавливаемых на выпускаемые электровозы:

- 1 МСУД электровозов переменного тока 2(3,4)ЭС5К и ЭП1М(П) [166 – 169, 197];
- 2 МСУД грузовых электровозов постоянного тока 2(3)ЭС4К;
- 3 МПСУ пассажирских электровозов постоянного тока ЭП2К;
- 4 МСУ электровозов с асинхронным приводом (ЭП10, ЭП20, 2ЭС5С); поскольку силовые преобразователи этих серий электровозов изготавливались за рубежом, их системы управления частично (ЭП20, 2ЭС5С) или полностью (ЭП10) изготовлены за рубежом и имеют в основе МСУ зарубежных электровозов;
- 5 МСУ электровозов 2ЭС6 и 2ЭС10;
- 6 Аппаратура БЛОК производства НПО «САУТ».

Первой системой управления тепловозом, построенной на электронных схемах общепромышленного исполнения, стала система управления возбуждением УСТА. Примечательной особенностью системы УСТА было наличие на управляющей плате разъёма DB9, который давал возможность производить запись параметров работы системы при подключении к нему компьютера со специализированным программным обеспечением (ПО).

Результатом дальнейшего развития систем УСТА на новых тепловозах стали МСУ семейства МСУ-Т, устанавливаемые на тепловозах ТЭП70У(БС) и 2(3)ТЭ116У [171, 174]. Отдельной ветвью развития МСУ стали системы МПСУ-ТП тепловозов 2ТЭ25А(АМ) и 2ТЭ25К(КМ). Функционал, архитектура и исполнение систем управления обоих семейств схожи, что объясняется их наследованием от системы УСТА: обе системы имеют отдельные входы для

частотных, дискретных и аналоговых сигналов (вход высокотемпературных (ТХА) и низкотемпературных (ТСМ) сигналов также реализован отдельно).

Ряд отличительных особенностей имеют МСУ, устанавливаемые на локомотивы при проведении КРП. Эти МСУ, как правило, имеют ограниченную функциональность, сильно зависящую от комплектации локомотива при модернизации.

- 1 МСУД-ИРИС. Система устанавливается на электровозы ВЛ80ТК и ВЛ80СК при модернизации (на электровозы ЭП1 данная система устанавливалась при строительстве). При функциональности и архитектуре, схожей с другими системами семейства МСУД, не имеет возможности накопления данных (на ЭП1 проблема частично решена при установке систем автоведения УСАВП за счёт записи данных на съёмный накопитель РПДА).
- 2 Унифицированный пульт управления (УПУ). Пульт управления с дисплейным модулем (ДМ) на базе промышленного компьютера GERSYS [41], устанавливающийся в дополнение к системе УСТА на отдельные тепловозы 2(3)ТЭ10МК и ЧМЭЗЭКО при модернизации, а также на все тепловозы ТЭМ18ДМ при выпуске. Имеет расширенный (по сравнению с УСТА) набор датчиков, а также возможность сохранения диагностической информации на съёмный USB-накопитель при его наличии в пути следования (после установки доработанного ПО возможна также функция записи в собственную память).
- 3 Мезонинный процессорный модуль (МПМ) разработки АО «ВНИКТИ». Являясь продолжением совершенствования системы УСТА, представляет собой плату, устанавливающуюся вместо управляющей платы УСТА на любые тепловозы, оборудованные системой УСТА-5. Будучи не оборудованным собственным дисплейным модулем, имеет встроенный накопитель информации с возможностью считывания данных через USB-порт, а также GPS, GPRS и Wi-Fi передатчики.

Принципиальной особенностью всех МСУ современных локомотивов наличие пользовательского интерфейса в виде дисплейного модуля в кабине машиниста, на котором отображается актуальная информация о работе локомотива и доступен ряд диагностических функций. Также, большинство дисплейных

модулей имеет возможность сохранения информации о работе МСУ локомотива в собственную память с возможностью дальнейшего считывания данных посредством переносного накопителя.

В общем случае МСУ наряду с приборами безопасности являются самым вандалоустойчивым источником информации о работе локомотива в связи с невозможностью эксплуатации локомотива при их неисправности.

Таким образом, основным современным направлением развития систем диагностирования являются бортовые системы технического диагностирования на базе МСУ.

Несмотря на то, что тенденция использования данных бортовых систем локомотивов при организации их обслуживания наблюдается повсеместно, полный переход на диагностику локомотивов по данным МСУ в настоящий момент не представляется целесообразным [98] по причине как технического несовершенства датчиков МСУ, так и многократного увеличения стоимости МСУ при расширении диагностического потенциала.

Для определения потенциала применения МСУ в диагностике необходимо выполнение подробного анализа их диагностического потенциала и определения возможностей переноса диагностической функциональности с диагностических стендов СЛД в МСУ.

1.3 БОРТОВЫЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЗОВ

1.3.1 Современные отечественные тепловозы как объект исследования

Модельный ряд выпускаемых в настоящий момент тепловозов представлен главным образом сериями 2ТЭ25КМ, 3ТЭ25К2М, ТЭП70БС и ТЭМ18ДМ. Также, к новым тепловозам можно отнести выпускавшиеся до недавнего времени серии 2ТЭ116У, 3ТЭ116У и ТЭП70У и выпускавшиеся до недавнего времени экспериментальные серии тепловозов 2ТЭ25К и 2ТЭ25А.

Производство тепловозов 2ТЭ25К было начато в 2002 г. на Брянском тепловозостроительном заводе с целью обновления парка грузовых тепловозов, однако отсутствие у завода опыта в крупносерийном производстве грузовых

тепловозов, а также наличие ряда конструктивных недоработок обусловило невысокий темп производства, и, после вхождения в ЗАО «Трансмашхолдинг» Луганского тепловозостроительного завода, в качестве основной серии грузового тепловоза принят 2ТЭ116У [108]. После прекращения производства 2ТЭ116У и 3ТЭ116У в 2014 г. принято решение о локализации производства грузовых тепловозов в Брянске, для чего конструкция 2ТЭ116У была переработана с максимальной унификацией с тепловозом 2ТЭ25К. Новая серия тепловозов получила индекс 2ТЭ25КМ.

Тепловозы 2ТЭ116У, 2ТЭ116УМ, 3ТЭ116У, 2ТЭ25К и 2ТЭ25КМ имеют в основе конструкцию тепловоза 2ТЭ116 с дизелем 16ЧН26/26 (12ЧН26/26 у 2ТЭ25К), передачей переменного тока и электрическим приводом вспомогательных машин. Важным усовершенствованием этих серий является замена электронного блока управления возбуждением микропроцессорной системой, а также замена выпрямительной установки управляемым выпрямителем с поосным регулированием силы тяги.

Отдельным ответвлением от серий 2ТЭ116У и 2ТЭ25КМ являются тепловозы 2ТЭ116УД и 3ТЭ25К2М, отличающиеся 12-цилиндровым дизелем GEVO12 производства General Electric (США). Данный подход имеет свои преимущества и недостатки, и единого мнения о его эффективности на настоящий момент нет.

Дальнейшее совершенствование конструкции тепловозов 2ТЭ25К привело к появлению тепловоза 2ТЭ25А, имеющего передачу переменного тока с асинхронными тяговыми электродвигателями, тяговый преобразователь с функцией поосного регулирования, асинхронный привод вспомогательных машин с системой плавного пуска и тележки с радиально-устанавливающимися колёсными парами. Однако высокая себестоимость производства, большое количество конструктивных проблем и сложные условия эксплуатации тепловозов 2ТЭ25А привели к прекращению производства этих тепловозов.

Производство тепловозов ТЭП70У было начато в 2006 г. в качестве замены морально устаревшей серии тепловозов ТЭП70, на тот момент также претерпевшей ряд доработок. ТЭП70У отличались от ТЭП70 наличием микропроцессорной

системы управления и усовершенствованным пультом управления. Дальнейшим совершенствованием серии ТЭП70 стала модификация ТЭП70БС, на которой был добавлен вспомогательный генератор с системой энергоснабжения поезда, а механический регулятор частоты вращения коленчатого вала дизеля был заменён на электронный [9].

Тепловозы ТЭМ18ДМ, серийно выпускаемые Брянским тепловозостроительным заводом, являются усовершенствованной версией тепловоза ТЭМ18, основными изменениями в которой являются наличие реостатного тормоза, электронной системы управления возбуждением тягового генератора (УСТА), системой электронного управления топливоподачей дизеля ЭСУВТ, кондиционера и унифицированного пульта управления (УПУ).

Таким образом, конструкция всех современных тепловозов представляет собой незначительно видоизменённый вариант советских тепловозов 2ТЭ116, ТЭП70 и ТЭМ18, в достаточной мере описанных в научных трудах, что позволяет при разработке методики их диагностирования применять уже апробированные методические подходы.

1.3.2 Системы управления тепловозов

Электронные системы устанавливаемым на борт локомотивов называют аппаратно-программными комплексами (АПК). К ним относят микропроцессорные системы управления (МСУ), системы ресурсосбережения (РТС) и системы безопасности (КЛУБ, БЛОК, САУТ).

К аппаратно-программным комплексам (АПК), устанавливаемым на локомотив, относят МСУ, системы ресурсосбережения (РТС) и системы безопасности (КЛУБ, БЛОК, САУТ). У локомотивов МСУ имеют схожую структуру (рисунок 1.16), состоящую из датчиков, преобразователей сигнала, управляющей стойки, дисплейного модуля (или блока индикации) и встроенного запоминающего устройства [14, 39, 65, 77, 137].

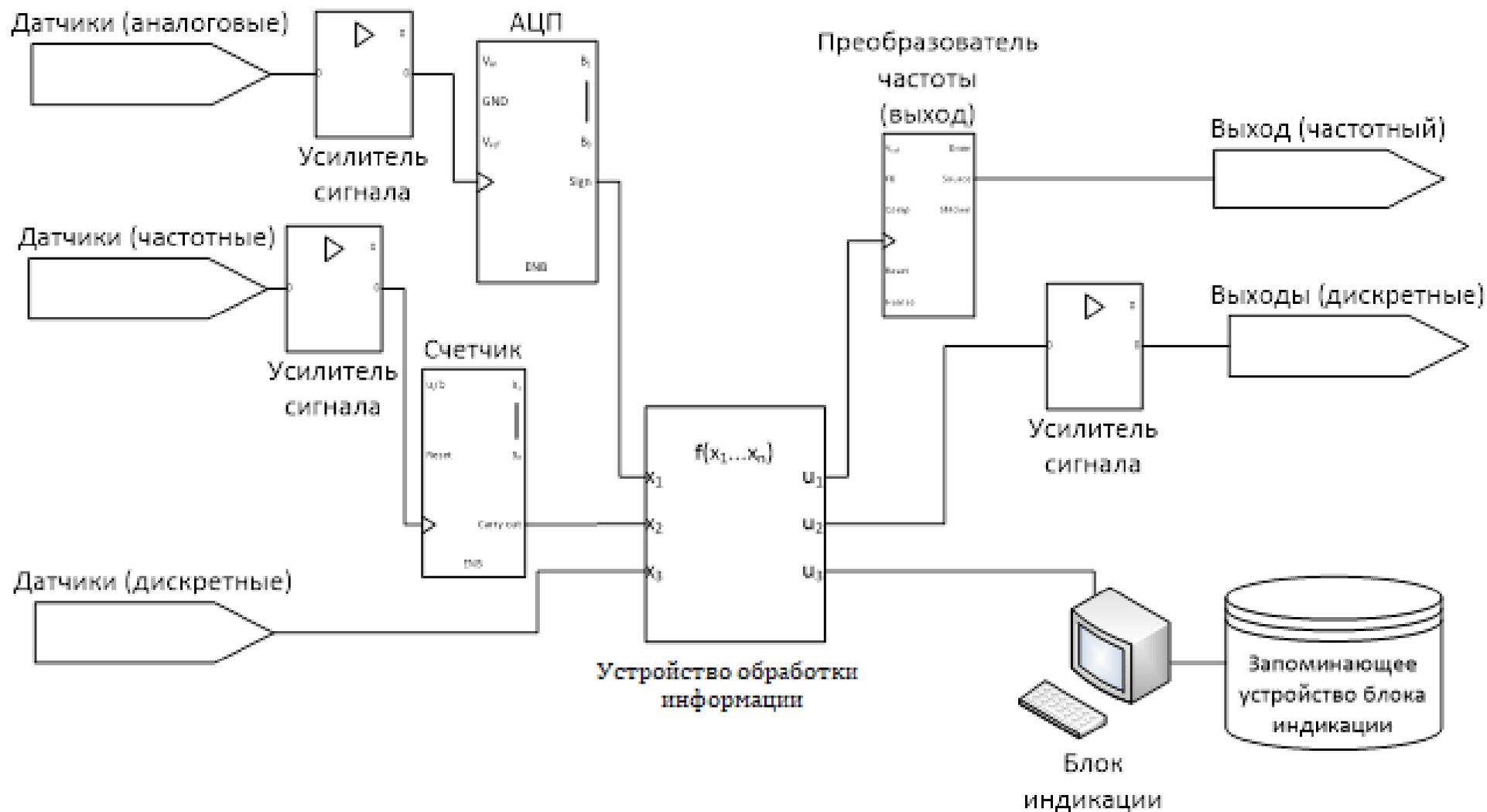


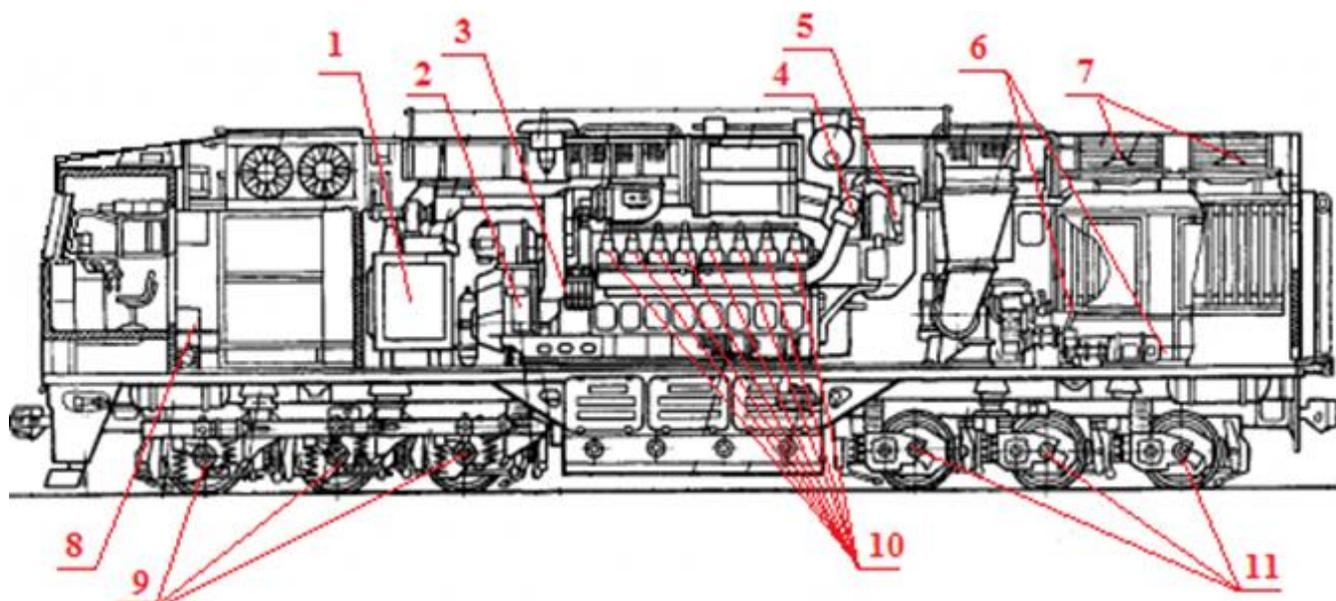
Рисунок 1.16 – Принципиальная схема системы управления современного локомотива [133]

Принцип работы МСУ заключается в формировании в устройстве обработки информации (УОИ) и передаче на управляемое оборудование (через усилители, сервоприводы или модули широтно-импульсной модуляции) управляющих импульсов на основании дешифрованного (через аналого-цифровые или частотно-цифровые преобразователи) сигналов датчиков [148]. Для передачи и получения информации МСУ используется дисплейный модуль с органами управления, а для обмена информацией с централизованным сервером может использоваться GPRS-канал. В качестве встроенного запоминающего устройства используется встроенный жёсткий диск дисплейного модуля [137, 174].

Среди МСУ силовыми установками тепловозов, разработанных и испытанных на российских железных дорогах, есть мало серийные МСУ «МАРС» (АОЗТ «Димикрос»), система регулирования и защиты дизеля СКРЗД (ОАО ХК «Коломенский завод»), автоматическая система управления АСУБ "Локомотив"[15]. Наибольшее распространение на тепловозах получили системы производства АО «ВНИКТИ»: Унифицированная система автоматического управления электрической передачей и электроприводом тепловоза (УСТА), устанавливаемая на тепловозах как при проведении модернизации, так и при выпуске, а также Микропроцессорные системы управления тепловозом (семейство МСУ-Т) [137, 174]. Для всех микропроцессорных систем тепловоза характерны следующие особенности:

- наличие периферийной системы датчиков (от нескольких единиц до нескольких сотен штук), охватывающих основные либо наиболее критичные, с точки зрения работы локомотива, узлы [66, 137, 174]. Примеры параметров, получаемых датчиками тепловоза 2ТЭ116У и его электрического оборудования приведена на рисунках 1.17 и 1.18;
- наличие центрального информационно-вычислительного модуля с системой аналоговых, дискретных и частотных входов для обработки сигналов датчиков;

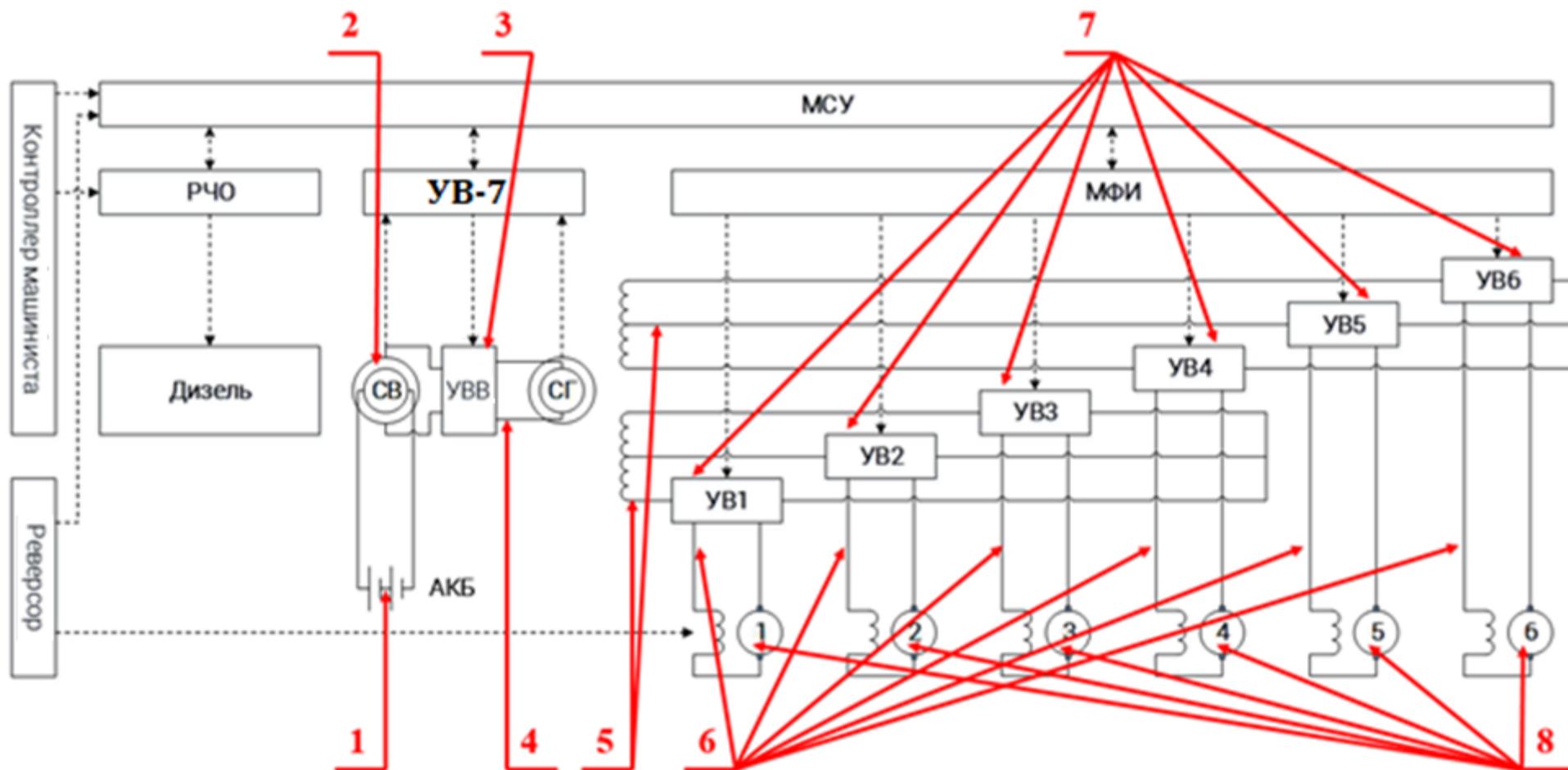
- наличие пользовательского интерфейса (экран с системой управляющих кнопок);
- наличие программируемого устройства обработки информации [137, 174].



1 – датчики тока каналов выпрямительной установки, 2 – датчики частоты вращения коленчатого вала, 3 – датчики температуры выхлопных газов на входе в турбокомпрессор, 4 – датчики частоты вращения ротора турбокомпрессора, 5 – датчики температуры воды на входе и выходе из радиаторов охлаждения, 6 – датчики включения мотор-вентиляторов охлаждения, 7 – датчики заданного угла открытия тиристоры выпрямительной установки, 8 – датчики частоты вращения колёсных пар, 9 – датчики температуры выхлопных газов на выходе из цилиндров, 10 – датчики токов ТЭД [89].

Рисунок 1.17 – Расположение основных датчиков МСУ-ТП тепловоза 2ТЭ116У

Большинство МСУ имеют встроенные алгоритмы выявления отказов оборудования локомотива для своевременного предупреждения локомотивной бригады о возникших проблемах. Эта их особенность явилась основой для разработки методов диагностирования локомотивов по данным бортовых микропроцессорных систем управления [137, 174].



1 – ток и напряжение аккумуляторной батареи, 2 – частота напряжения возбудителя, 3 – угол открытия тиристоров УВВ, 4 – ток возбуждения возбудителя, 5 – напряжение статорных обмоток СГ, 6 – ток и напряжение ветвей УВ, 7 – угол открытия тиристоров УВ1...УВ6, 8 – частота вращения якорей ТЭД, АКБ – аккумуляторная батарея, БУВ – блок управления возбуждением тягового генератора, МФИ – моль формирования импульсов, РЧО – регулятор частоты вращения коленчатого вала дизеля, СВ – синхронный возбудитель, СГ – тяговый синхронный генератор, УВ1...УВ6 – управляемые тяговые выпрямители, УВВ – управляемый выпрямитель возбуждения.

Рисунок 1.18 – Параметры электрической цепи в МСУ тепловоза 2ТЭ116У

Все новые отечественные тепловозы имеют бортовые МСУ. Выпущенные ранее серии тепловозов при модернизации также оснащаются МСУ [2, 99 – 100, 174]. Список систем управления отечественных тепловозов насчитывает порядка десяти систем пяти различных семейств, отличающихся, главным образом, функциональностью и набором анализируемых данных [77, 137].

- 1 Системы автоведения семейства УСАВП. Изначально разработанная компанией ООО «АВП-Технологии» как система автоматического ведения тепловоза, УСАВП также имеет систему датчиков для слежения за работой дизеля, температурами теплоносителей и электрической передачи тепловоза (что выгодно отличает её от систем контроля расхода топлива, отслеживающих работу передачи лишь косвенно). Информационно-вычислительный модуль УСАВП заносит в память параметры работы тепловоза, и, впоследствии, может передавать их двумя способами: через GPRS-антенну в ИВЦ дороги или через специальный накопитель информации на 64 Мб в депо приписки [77, 137].
- 2 МСКУД тепловозов ТЭМ7А разработки АО «Людиновский тепловозостроительный завод» является бортовой системой управления маневровых тепловозов серии ТЭМ7А последних выпусков [154].
- 3 МПСУ-ТП разработки АО «ВНИКТИ» для управления оборудованием тепловозов серий, 2ТЭ25К, 2ТЭ25КМ, и 2ТЭ25А. На тепловозах 2ТЭ25А и 2ТЭ25КМ система МПСУ-ТП устанавливается в комплекте с модулем АСК, передающим данные о работе тепловоза через беспроводные сети GPRS и Wi-Fi [77, 137].
- 4 УСТА разработки АО «ВНИКТИ» для автоматического управления оборудованием тепловозов серии ТЭ10, ТЭП70, ТЭМ18 и 2ТЭ116 (замена устаревших систем тепловозной автоматики при капитальном ремонте) предназначена для поддержания стабильной работы дизель-генераторной установки и электрической передачи тепловоза с функциями диагностирования [77, 137].
- 5 МСУ-ТП, МСУ-ТЭ, МСУ-ТЭА разработки АО «ВНИКТИ», являются развитием УСТА, получила существенно больший набор датчиков и управляющих функций при схожей архитектуре самой системы. В отличие от УСТА, МСУ-Т встраивается в новые тепловозы 2(3)ТЭ116У, ТЭП70БС 2ТЭ70

и их функциональность закладывается в работу тепловоза ещё на стадии его проектирования. 2(3)ТЭ116У и ТЭП70БС также оснащаются системой АСК для организации беспроводной передачи данных [77, 137].

Таким образом, тепловозы имеют МСУ, бортовой компьютер для информирования машиниста, в т.ч. по техническому состоянию локомотива, а также набор датчиков, достаточный для выполнения оперативной диагностики, что создаёт необходимые предпосылки для создания комплексной системы диагностирования тепловозов по данным МСУ.

1.3.3 Бортовая система управления МСУ-ТП тепловозов серии 2ТЭ116У

С 2008 года тепловозы серии 2ТЭ116У оснащаются специально разработанной и прошедшей полный цикл сертификации встроенной системой управления МСУ-ТП.

МСУ-ТП обеспечивает работу устройства обработки информации (УОИ) и дисплейного модуля (ДМ) в соответствии с установленным программным обеспечением (ПО) с целью выполнения предусмотренных функций [79, 95, 174]. МСУ-Т имеет встроенную подсистему диагностики оборудования, позволяющую получать информацию о случаях отказа и некорректного функционирования систем тепловоза непосредственно на экран блока индикации, что позволяет локомотивной бригаде контролировать техническое состояние.

Контролируемые в МСУ-ТП параметры можно разделить на цифровые (принимают значение да/нет), аналоговые (давление, температура, сила тока, напряжение) и частотные (скорость, частота вращения). Параметры используются как для управления приводом, так и для задач диагностирования оборудования тепловоза в полностью автоматическом режиме. Алгоритмы диагностирования оборудования тепловоза МСУ-ТП работают на протяжении всего времени работы системы и сравнивают значения параметров работы оборудования с установленными допусками с учётом режимов работы. Если параметр работы оборудования выходит за допуски, на экран дисплейного модуля выводится тревожное сообщение, содержащее описание инцидента и требуемые от машиниста действия. Получив сообщение, машинист подтверждает факт его

прочтения, закрыв окно сообщения специальной клавишей на дисплейном модуле. При необходимости (в процессе эксплуатации или при сервисном обслуживании в депо), все контролируемые системой параметры могут быть представлены на экране ДМ в графическом виде упрощенных структурных схем систем или в виде стрелочных приборов (манометров, термометров и т.д.).

Несмотря на значительное количество встроенных в МСУ-ТП алгоритмов диагностики, опыт диагностирования тепловозов показал недостаточность существующего набора диагностических сообщений для использования при обслуживании и ремонте дизель генераторной установки, вспомогательных систем тепловоза и его электрической передачи. Диагностические сообщения МСУ являются удобным дополнением к вновь разработанным алгоритмам диагностики т.к. позволяют оценить полноту информации о техническом состоянии тепловоза, получаемой локомотивной бригадой.

Система хранения данных МСУ-ТП устроена таким образом, что, при переполнении выделенного в энергонезависимой памяти хранилища диагностических файлов, новый файл записывается с удалением самого старого файла. Среднее время хранения файлов в памяти информационно-вычислительного модуля, полученное по результатам работы с системой составляет порядка 100 часов (от 4-х дней до 1-й недели в зависимости от интенсивности эксплуатации) [95, 174]. Объем файла с информацией за 1 час работы секции тепловоза достигает 3 Мб: архив за 100 часов работы секции составляет около 250 Мб, что создаёт необходимость обработки до 40 Гб данных в день [56].

1.3.4 Диагностическая функциональность МСУ-ТП

Современные бортовые МСУ обладают одним существенным с точки зрения диагностики недостатком: невозможностью получения заданной нагрузки ДГУ и электрической передачи локомотива. Поскольку для настройки и контроля селективной (внешней) характеристики ДГУ тепловоза необходимо моделировать изменение тока генератора [24], возникающее вследствие изменения ЭДС ТЭД, с точки зрения диагностики принципиальной становится возможность изменять сопротивление нагрузки ДГУ. Возможность современных МСУ формировать

селективную характеристику по предварительно заданным алгоритмам позволила исключить настройку работы электрической передачи из процесса реостатных испытаний, но задачу диагностики это решить не позволило.

Несмотря на то, что современные тепловозы имеют возможность нагружения генератора на реостаты системы реостатного торможения (что, в настоящий момент, активно используется в процессе реостатных испытаний), сопротивление тормозных реостатов, в силу конструкции системы реостатного торможения, изменить невозможно [24].

Дополнительной проблемой, решение которой требует наличия стационарного испытательного пункта, является низкая надёжность ряда датчиков (например, максиметры, используемые при измерении давления сжатия и вспышки по цилиндрам), используемых в процессе диагностики, что делает невозможной установку этих датчиков на борт локомотива на постоянной основе.

Таким образом, имеющегося в МСУ набора датчиков недостаточно для полного охвата оборудования тепловоза, однако на основании имеющихся данных возможно диагностирование наиболее часто встречающихся и дорогостоящих неисправностей оборудования.

Представляемые в виде графиков параметры МСУ-Т сами по себе являются удобным материалом для проведения анализа работы локомотива в случае обработки единичного файла. Однако при проведении текущего мониторинга технического состояния тепловозов, ручной анализ работы локомотивного парка представляется весьма затруднительным в силу целого ряда факторов:

- необходимость анализа большого объёма информации;
- большая требуемая точность анализа информации;
- ненужная операция догрузки файла конфигурации;
- монотонность работы оператора.

В настоящий момент существуют достаточные как технические, так и теоретические предпосылки для использования информации бортовых микропроцессорных систем тепловозов в целях диагностики.

Система МСУ-ТП тепловозов 2ТЭ116У располагает набором датчиков, аналогичным станции реостатных испытаний, а работа системы в движении

тепловоза позволяет контролировать процессы, которые невозможно увидеть при стационарных испытаниях.

Существующий в настоящий момент теоретический аппарат, будучи дополненным вычислительными мощностями современных компьютеров, позволяет описывать процессы, происходящие в агрегатах тепловоза при его работе с точностью, достаточной не только для построения выводов об исправности конкретного элемента конструкции, но и прогнозирования его работы.

В настоящий момент всё ещё остаётся актуальной проблема применения имеющихся методов к используемому на практике процессу диагностирования локомотивов в СЛД в условиях использования имеющегося набора диагностических параметров и реальных режимов работы локомотивов, в ряде случаев, не позволяющих применять имеющиеся теоретические наработки.

Таким образом, задачей исследования является разработка алгоритмов диагностирования технического состояния тепловоза 2ТЭ116У по данным, получаемым из системы МСУ-ТП на основании статистической обработки результатов наблюдения за работой тепловоза. Для этого в диссертационной работе проведены исследования режимов работы тепловозов и их оборудования, характерных неисправностей и их проявлений, а также имеющегося опыта диагностирования отечественных тепловозов.

1.4 ОПЫТ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЗОВ

1.4.1 Опыт диагностирования тепловозов

Локомотивным подразделением компании General Electric – General Electric Transportation Systems (GETS) накоплен сорокалетний опыт диагностики локомотивов по данным бортовых МСУ [96]. Сформированная GETS система диагностики, ставшая прототипом для многих (как иностранных, так и отечественных) систем состоит из ситуационного центра, расположенного непосредственно при локомотивостроительном заводе в городе Эри (Erie, США) и специалистов-диагностов, находящихся непосредственно на территории локомотивных депо (рисунок 1.19).

Процесс бортовой диагностики локомотива реализован посредством бортовой МСУ типа Bright Star, осуществляющей непрерывный опрос датчиков и диагностику по аналогии с отечественными МСУ. Отличие системы состоит в наличии единой системы кодов ошибок (более 6 тыс. различных кодов), каждому из которых соответствует свой тип инцидента.

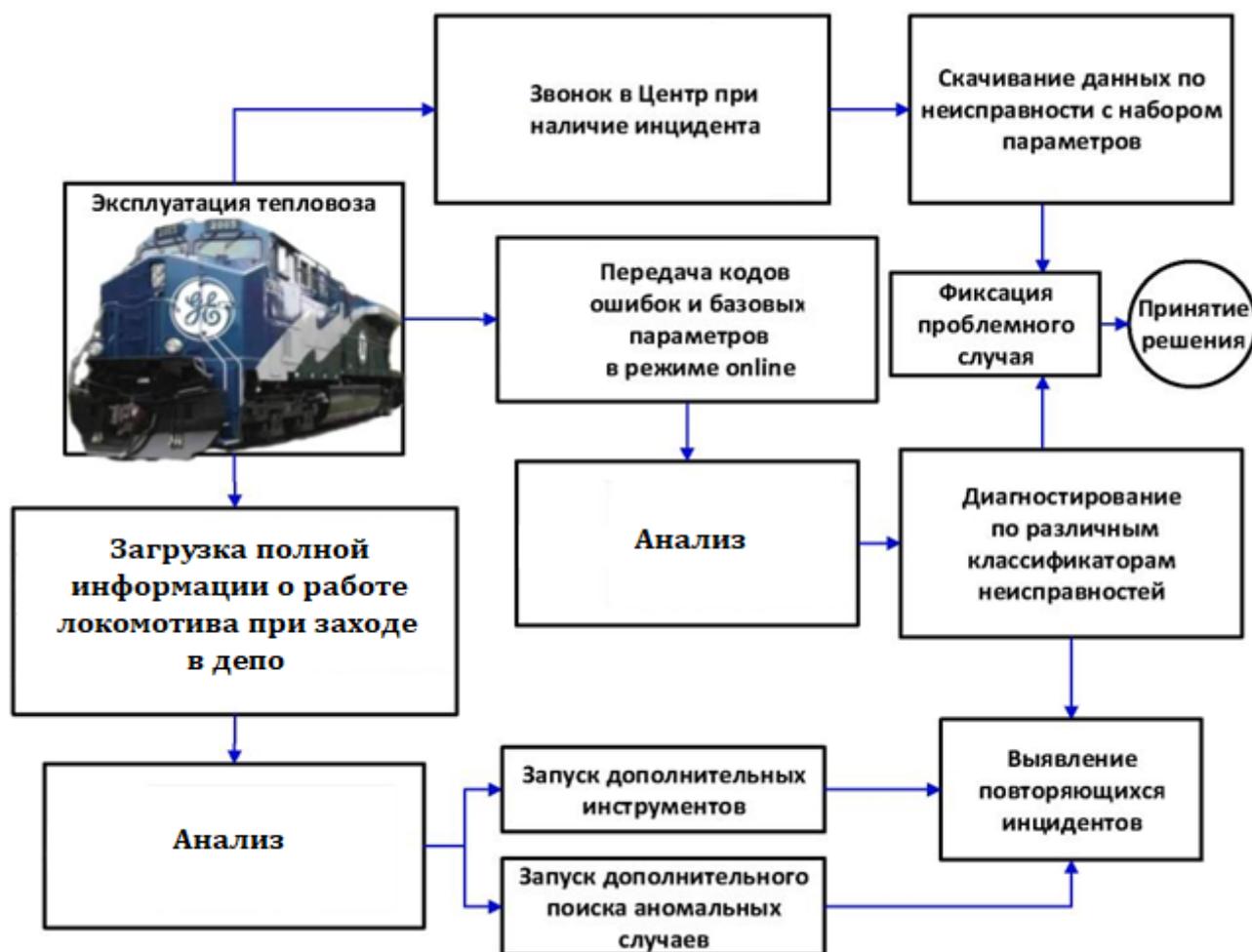


Рисунок 1.19 – Схема мониторинга тепловозов компании General Electric [96]

При выявлении инцидента в процессе работы МСУ, код ошибки выявленного инцидента в течение нескольких секунд отправляется на сервер системы и поступает оператору ситуационного центра на рассмотрение. Большинство кодов предполагает типовой сценарий действий (от сброса тревожного сообщения до постановки секции в неплановый ремонт). Рассмотрение кода оператором предполагает выбор одного из возможных вариантов. Однако в случае развития нетипового сценария при очередном заходе локомотива в депо производится считывание данных для их дальнейшей расшифровки на стационарном компьютере с целью выявления корневой причины инцидента. Нарботанные корневые

причины в дальнейшем вносятся в новый типовой сценарий действий. Система находится в эксплуатации более 10 лет, но постоянно совершенствуется. Таким образом, Центр мониторинга GE состоит из:

- ситуационный центр, в котором оперативные решения принимаются специально обученными диспетчерами по данным бортовых МСУ;
- разработчики системы (специалистов как компьютерного, так и локомотивного профиля): сопровождение и развитие системы;
- центр поддержки принятия решений по корректирующим воздействиям по результатам обработки и анализа информации МСУ локомотивов [85].

Система мониторинга General Electric (GE) доказала свою высокую эффективность. Информация из открытых источников показывает сокращение повторных отказов на 50 %, сокращение времени поиска отказавшего узла на 25 % и времени непроизводительного простоя – на 23 % [85].

Аналогичные GE системы создают большинство мировых производителей локомотивов. Локомотивное подразделение канадской компании Bombardier - Bombardier Transportation Services реализует аналогичную систему на локомотивах, использующих архитектуру TRAXX (в т.ч. на отечественных электровозах ЭП10 и 2ЭВ120) [140, 145]. Разработанная в соответствии с европейским стандартом ERTMS [203 – 204], система отличается от аналогичной системы GETS дополнительной возможностью передачи диагностических сигналов через стационарные считывающие устройства, а также рядом внедренческих решений, специфичных для использования на скоростном подвижном составе [203]. Из-за высокой стоимости эксплуатации и малого размера отечественного парка локомотивов производства Bombardier, данная система не нашла применения.

Первой отечественной электронной информационной системой, внедрённой на железной дороге, была система интегрированной обработки маршрутов машиниста (ИОММ), разрабатываемой на протяжении более 40 лет. В существующем варианте ИОММ является частью системы централизованной обработки маршрутов машиниста (ЦОММ) [6, 71, 151, 173, 185].

Опыт анализа режимов эксплуатации тепловозов в отечественных локомотивных депо накоплен в ходе расшифровки скоростемерных лент

механических скоростемеров (ЗСЛ2М) специализированными группами расшифровки, в обязанности которых входит в т.ч. и контроль корректности действия локомотивных бригад. Совершенствование приборов безопасности локомотивов, применение комплексов КПДЗ, КЛУБ и БЛОК привело в т.ч. и к автоматизации работы групп расшифровки с помощью применения специализированного программного обеспечения (ПО) – автоматизированных рабочих мест (АРМ) расшифровщика. Для расшифровки и хранения информации электронных накопителей приборов безопасности создана система АСУ НБД [6, 8, 58, 60, 61, 63, 68, 72, 100].

Для диагностики современных отечественных локомотивов 2ЭС6 и 2ЭС10 научно-производственным объединением САУТ (НПО САУТ) совместно с компанией-производителем локомотивов ОАО «Синара-Групп» разработана система СВЛТР, позволяющая обрабатывать и хранить информацию с датчиков МСУ с передачей по каналу GPRS данных о текущем местоположении локомотива и коды ошибок МСУ. Аналогично решениям GETS и BTS в системе предусмотрено рабочее место диспетчера в операционном центре, расположенном в городе Екатеринбурге. В компетенцию диспетчера СВЛТР входит принятие оперативных решений на основании поступающих в режиме online кодов ошибок и информации о местоположении локомотива по данным GPS. Для более подробного анализа данных об инцидентах в системе присутствует возможность считывания файлов МСУ при заходе локомотива в депо и детализированного просмотра параметров работы систем локомотива вручную при помощи специализированного АРМ диагноста [154].

Принципиальным отличием системы АСК разработки АО «ВНИКТИ» (г. Коломна) от описанных выше систем является возможность не только хранения, но и передачи в режиме online всех параметров работы локомотива, включая информацию с датчиков МСУ. Аналогичная система БРПД создана в ВЭлНИИ совместно с ЗАО «ЛЭС» (г. Новочеркасск), но в отличие от системы АСК, позиционируется как полноценная система диагностики и поддержки принятия решений, имеет свой диспетчерский центр на территории НЭВЗ [51]. Примечательной особенностью систем АСК и БРПД является возможность их последующей установки на локомотивы, оборудованные системами УСТА (АСК)

и МСУД (БРПД) в процессе проведения деповских ремонтов, что позволяет существенно расширить диагностический функционал МСУ [59].

Семейство систем автоматического ведения поезда УСАВП разработки ООО «АВП-Технология» (г. Москва) имеет схожую диагностическую функциональность за исключением функции онлайн передачи данных (в штатном исполнении системы отсутствует). Однако проблема решается с применением дополнительного подключения комплекса БР-7М, передающего в режиме online через коротковолновый радиоканал. УСАВП устанавливается как на новые (в виде встраиваемого решения), так и на уже находящиеся в эксплуатации (при капитальном ремонте) локомотивы [50, 184].

ЗАО «ДЦВ Красноярской железной дороги» совместно с ОмГУПС разработало, изготовило и установило на ста электровозах серии ВЛ80Р микропроцессорную систему управления электровозом (МСУЭ) вместо изначально стоявших БУВИП. Разработана и протестирована система, позволяющая накапливать информацию МСУ и автоматически передавать её на переносное устройство диагноста (ноутбук или смарт телефон) при обнаружении устройства в зоне доступа (например, при заходе локомотива в депо) [57, 98, 116, 167 – 169].

Среди бортовых систем, устанавливаемых на старые локомотивы, следует выделить системы ресурсосбережения АПК «БОРТ» и РПДА, также имеющие функцию передачи данных в режиме online через канал связи GPRS [7, 13, 50]. Общим недостатком систем автоведения и ресурсосбережения является значительно меньший набор регистрируемых параметров (порядка 30 – 50 параметров против 200 – 400 у МСУ).

Таким образом, традиционная схема реализации МСУ локомотивов предполагает регистрацию параметров работы локомотива на борту с передачей в режиме online тревожных сообщений для использования в ситуационном центре. Наблюдается устойчивая тенденция к расширению объёма передаваемых данных вплоть до передачи всех параметров, регистрируемых датчиками МСУ.

1.4.2 Опыт разработки алгоритмов диагностирования тепловозов

Совершенствованием систем и алгоритмов диагностирования технического состояния тепловозных и судовых дизелей занимаются специалисты крупнейших отраслевых научных организаций, в том числе: ВНИИЖТ, ВНИКТИ, ВНИКТИ, ДВГУПС, ИрГУПС, ОмГУПС, ПГУПС, РУТ (МИИТ), РГУПС и СамГУПС и др. Задачи повышения эффективности диагностики тепловозных дизелей рассмотрены в научных трудах А. А. Аболмасова [1 – 5], М. Ш. Валиева [16], А. И. Володина, [23 – 26], Б. В. Васильева [17], В. А. Гапановича [29 – 31], В. В. Грачева [40 – 41], Е.В.Горюнова [36], А. В. Грищенко [45 – 46], В. Н. Игина [62], И. П. Исаева [64 – 65], С. И. Кима [69], В. И. Киселёва [70], Е. Е. Коссова [74 – 78], И. И. Лакина [83 – 85], И. К. Лакина [86 – 96], А. А. Мурзина [118], Е. А. Никитина [120], Д. Я. Носырева [121 – 122], Е. С. Павловича [133 – 134], В. А. Перминова [141], И. Ф. Пушкарева [150], А. П. Семенова [155 – 165], А. Э. Симсона [172], Я. К. Скоифуса [175], Т. В. Ставрова [10, 11, 22, 32, 141], В. В. Стрекопытова [176 – 178], Э. Д. Тартаковского [181 – 182], Н. А. Фуфрянского [187], А. З. Хомича [189 – 191], А. А. Чернякова [195], В. А. Четвергова [196] и др. Задача остается актуальной из-за низкой надёжности тепловозов.

Специфика тепловозных дизелей связана с ограничениями по габариту силовой установки, наличием жестких требований в части безопасности эксплуатации и большим эксплуатируемым парком, что является существенным отличием от стационарных и судовых дизелей и исключает установку крупногабаритного диагностического оборудования. В то же время, в силу критической важности дизеля для функционирования тепловоза как тяговой единицы, существует острая необходимость получения оперативной информации о его техническом состоянии.

Цилиндропоршневая группа дизеля представляет собой один из наиболее сложных узлов дизеля для осуществления непрерывного контроля. При этом, с точки зрения надёжности работы дизеля этот узел имеет наибольший приоритет. На настоящий момент самым распространённым в локомотивных депо способом неразрушающего контроля технического состояния узлов дизеля является анализ на наличие продуктов износа (стружка, сажа) в масле и отработавших газах.

Известные исследования [125, 134, 135] показывают, что интенсивность износа деталей коррелирует с содержанием в масле продуктов износа, причём эта зависимость близка к линейной. На данный момент как в России, так и за рубежом спектроскопия масла на содержание стружки является стандартной практикой при выполнении диагностики и оценке остаточного ресурса двигателей внутреннего сгорания.

Исполнение средств анализа свойств масла, применявшихся до недавнего времени, было исключительно стендовым, что позволяло применять их только в стационарном варианте, на территории ремонтного предприятия или в специализированных химико-технологических лабораториях, что объясняет отсутствие опыта применения данного подхода к бортовой или оперативной диагностике [10 – 11, 28, 193, 201, 202, 206].

Распространённым подходом к оценке работы цилиндропоршневой группы дизеля является параметрический метод, при применении которого оценка технического состояния производится на основании данных о давлении газов в цилиндрах – индикаторной диаграммы. На данный момент хорошо исследовано и применяется на практике несколько подходов к оценке индикаторных параметров, в числе которых контроль индикаторного давления, снятие осциллограммы давления в рабочей камере цилиндра при работе дизеля и оценка методом остаточного вакуума. Каждый из этих способов имеет свою специфику, обуславливающую специфику его применение [44, 47, 73].

Способ анализа индикаторной диаграммы обладает высокой чувствительностью к неисправностям таких элементов цилиндропоршневой группы как топливные насосы высокого давления (ТНВД), форсунки и клапаны, а сам параметр среднего индикаторного давления характеризует мощность, вырабатываемую в процессе сгорания топлива (получившую название индикаторная мощность). Параметр индикаторной мощности, в свою очередь, позволяет не только осуществлять поцилиндровый контроль качества работы дизеля, но и оценивать его общий КПД (на основании параметров индикаторной и выходной мощности). Примером диагностического комплекса, использующего данный параметр, является КДП «Магистраль» [18], за годы успешной эксплуатации зарекомендовавший себя как устройство, обеспечивающее точную и

быструю оценку качественных параметров работы дизеля. При использовании комплекса, оценка параметров производится путём сопоставления реальной (полученной на испытуемом дизеле) индикаторной диаграммы с выбранной из диаграмм других цилиндров эталонной диаграммой с дельнейшим определением разности давлений и характерных паттернов в их изменении, свидетельствующих о нарушении компрессии (износ, заклинивание поршневых колец или прогар клапанов), нарушении процесса сгорания (прогар сопла или зависание иглы форсунки, каплепадение топлива, заклинивание клапана ТНВД) или общем снижении давления в воздушном коллекторе дизеля (засор воздушных фильтров или неисправность турбокомпрессора).

Общим недостатком описанных ранее методов является невозможность непрерывного контроля диагностических параметров по причине необходимости присутствия рабочего органа датчика непосредственно в камере сгорания цилиндра (что, при длительной и интенсивной эксплуатации дизеля приводит к выходу датчиков из строя). При исследовании режимов работы дизелей предпринимались попытки определения рабочих параметров по косвенным признакам (вибрация, усилия в креплениях цилиндрических крышек), однако такие измерения не обеспечивают требуемой для диагностики точности.

Перспективным методом качественного контроля процесса сгорания в цилиндрах дизеля является контроль угловой скорости вращения коленчатого вала, с определением её изменения на характерных для каждого цилиндра углах поворота коленчатого вала. Известные подходы [42] предполагают прокручивание коленчатого вала от стороннего источника в двух режимах: при наличии компрессии (индикаторные краны закрыты) и при её отсутствии (индикаторные краны открыты). Применяемый метод позволяет обнаруживать дефекты, связанные с нарушением условий трения и герметичности камеры сгорания. Недостатками данного метода являются повышенные требования к точности и дискретности (частоте измерений) датчика угла поворота, а также снижением точности применительно к многоцилиндровым дизелям.

Перспективным теоретическим методом оценки качества рабочего процесса двигателей внутреннего сгорания является применение при анализе информации симплексов – параметров, получаемых математически из известного набора

параметров. Симплексы реагируют на изменение технического состояния дизеля, но при этом инвариантны по отношению к его режиму работы. В кандидатской диссертации М.Ш. Валиева, обоснована целесообразность применения симплекса C_u , вычисляемого по формуле:

$$C_u = \frac{P_c}{t_{ог}}, \quad (1.8)$$

где: P_c – давление в конце сжатия; $t_{ог}$ – температура отработавших газов на выходе из цилиндра [16].

Опыт применения метода на низкооборотных тепловозных и судовых дизелях показал, что при нагрузке близкой к номинальной (80 – 100 %) указанные величины остаются постоянными. Данные, полученные при сравнении заведомо исправных дизелей с неисправными, показали, что отклонение значения симплекса C_u от номинального может свидетельствовать о таких неисправностях дизеля, как нарушение компрессии, неисправности турбокомпрессора и предотказное состояние топливной аппаратуры, а сам параметр может использоваться для индикации предотказного состояния в отдельном цилиндре дизеля.

Использование симплексов для диагностики дизелей тепловозов, оборудованных МСУ, возможно с применением датчиков температуры выхлопных газов: так, если на позициях контроллера машиниста (ПКМ) 13 – 15 при нормальных значениях давлений топлива и наддува отношение индикаторного давления к температуре выхлопных газов остаётся постоянным, снижение индикаторного давления в одном цилиндре вследствие его неисправности приведёт к значительному увеличению температуры газов на выходе данного цилиндра без существенного изменения температуры на режимах частичной нагрузки (ПКМ 5-7) и холостого хода (ПКМ 0). В случае отказа топливной аппаратуры (прогар сопла форсунки, каплепадение топлива) существенное изменение температуры газов на выходе из одного цилиндра будет наблюдаться как на номинальном режиме, так и в режиме частичной нагрузки.

Следует отметить, что в силу большого количества возможных причин и сценариев наступления отказа, диагностика цилиндропоршневой группы дизеля на основании комплексной модели процесса сгорания («виртуальный двойник») показала низкую интерпретируемость результатов в сравнении с использованием

наборов простых моделей, дополненных алгоритмами диагностики. Поэтому в рамках дальнейшей работы задача диагностирования в большей степени решалась посредством методов Теории информации [200].

Ряд исследований топливной экономичности дизеля показали зависимость параметра удельного расхода топлива от технического состояния дизеля на всех режимах эксплуатации. Для установившегося режима эксплуатации дизель-генераторной установки тепловоза справедливо допущение что тепловозная характеристика дизеля совпадает с экономической (т.е. эффективная мощность для данной частоты вращения коленчатого вала соответствует максимальному эффективному КПД). Исследования влияния технического состояния дизеля на его экономические характеристики получили продолжение в трудах других учётных ХИИТ (А. Э. Симсон [172], А. З. Хомич [189 – 191]) и ВНИИЖТ (А. И. Володин [23 – 26]). Следует отметить вклад в проработку теоретических и практических аспектов диагностики тепловозных дизелей, который внесли: А.И. Давыдов [48] М. П. Бабел [78], Н. Н. Иванченко [194], Е. Е. Коссов [74 – 78], А. П. Кудряш [81], Е. А. Никитин [120], Э. А. Пахомов [150], С. И. Сухопаров [76], Э. Д. Тартаковский [181, 182], О. И. Тупицын [190], Г. А. Фофанов [186]. Теория о влиянии на эксплуатационные показатели дизеля его технического состояния и режимов загрузки подтверждается и рядом других исследований [9, 15, 41, 76], позволивших создать актуальные методы оценки топливной экономичности тепловозов, которые легли, в т.ч. и в основу систем анализа расхода топлива и ресурсосбережения, эксплуатируемых на локомотивах ОАО «РЖД». Другим следствием выполненных исследований стала корректировка настройки дизелей для приведения их рабочей характеристики к экономической с целью снижения расхода топлива. Эффективность совершенствования рабочей характеристики тепловозных дизелей при приведении рабочей характеристики к экономической в зоне 80 – 100 % от номинальной мощности доказан опытом их эксплуатации [76].

В других работах [152] предлагается улучшать экономические характеристики дизеля за счёт настройки индикаторных параметров дизеля в процессе реостатных испытаний на значения, предсказанные на основании регрессионного анализа статистики режимов эксплуатации тепловозного дизеля. Однако, данные исследования были выполнены для дизелей серии 10Д100, и не

могут в полной мере применяться к дизелям Д49. Схожая методика применительно к дизелям Д49 предложена в работе [103]. Отличия методики заключаются в аппроксимации статистически полученных полиномиальных зависимостей удельного расхода топлива методом наименьших квадратов.

В работе [45] рассмотрена возможность повышения топливной эффективности маневрового тепловоза за счёт применения многодизельной схемы, позволяющей снизить затраты на привод вспомогательного оборудования. Проблему необходимости прогрева дизеля перед стартом предлагается решить за счёт объединения систем охлаждения дизелей и электрического привода вспомогательных агрегатов. Тема продолжена в работе одного из соавторов статьи [80], предлагающего применение многодизельной схемы с дизелями различной мощности. При проектировании тепловоза мощность дизелей предлагается определять на основании статистики режимов работы с применением метода оптимизации Хука-Дживса. По результатам моделирования получено потенциальное повышение КПД тепловоза на 1 – 5% за счёт применения объединённой системы охлаждения дизелей и снижения затрат на привод вспомогательного оборудования.

Исследования расхода топлива тепловозами в процессе их эксплуатации показали, что все факторы, влияющие на удельный эксплуатационный расход топлива, можно условно разделить на конструктивные и эксплуатационные. На первые влияют особенности дизеля, заложенные при его проектировании (экономическая и экологическая характеристики дизеля, тип привода вспомогательных машин), а на вторые – режимы эксплуатации (план, профиль, свойства пути, весовые нормы) и специфика обслуживания локомотивов (межремонтные интервалы, качество диагностики, обслуживания и настройки дизеля).

Исследования в области экономичности различных режимов работы тепловозов маневрового парка [82] показали преобладание 0 ПКМ (от 50 до 76 % времени эксплуатации тепловоза с запущенным дизелем). При этом основной объём выполненной работы (в зависимости от условий эксплуатации) приходился на ПКМ 1 (для работы на вытяжке) и 2 (для работы на сортировочной горке). Другие исследования [80] показывают даже большие затраты времени работы

дизеля на холостой ход: при среднем для сети железных дорог России значении в 60 %, на отдельных станциях данное значение может достигать 80 %. Эксплуатационный КПД тепловоза в данных условиях эксплуатации составляет 12 – 14 %.

Аналогичные исследования для магистральных тепловозов [102] показали, что КПД дизеля на ненормальных режимах работы снижается под влиянием переходных процессов, а также по причине относительного увеличения затрат мощности на собственные нужды (т.к. для многих процессов (таких как привод ТНВД, водяных и масляных насосов) затраты мощности на 1 оборот коленчатого вала остаются постоянными, снижение мощности дизеля не снижает затрат на собственные нужды). Выполненный в работе анализ также показал, что магистральные тепловозы основное время работают с нагрузкой, не превышающей 60% от номинальной. В рамках анализа установлено, что малое время работы на номинальных режимах отчасти вызвано необходимостью прогрева дизеля при простое в основных и оборотных депо, продолжительность которого составляет до 50% от всего бюджета времени тепловоза. Наблюдаемые в результатах анализа различия в суммарной продолжительности использования одних и тех же позиций контроллера объяснены различиями в массе поезда, профиле пути и характере работы тепловоза.

В исследовании [102] отмечается, что в эксплуатации основное время работы дизель-генераторной установки 21-29ДГ тепловоза 2ТЭ25К приходится на 10, 12 и 12 ПКМ, что расходится с практикой настройки удельного эффективного расхода топлива современных дизелей.

Также следует отметить вклад учёных кафедры «Электрическая тяга» МИИТ в разработку применяемых на железной дороге методов статистического управления локомотивным парком. Так основанные на цикле PDCA методы оценки качества ремонта и остаточного ресурса локомотивов [27, 33 – 35, 180], разработанные И. П. Исаевым [64, 65], А. В. Горским [34, 36], А. А. Воробьёвым [27] и А. В. Скребковым [33] успешно внедрены в локомотивных депо Рыбное и Красный Лиман при участии специалистов Московской железной дороги (В. Т. Стрельников [179]). Дальнейшее совершенствование этих методов позволило прогнозировать потребность в трудовых и материальных ресурсах.

Исследования, выполненные ведущими транспортными институтами России и СНГ, позволили создать теоретический аппарат для описания процессов, имеющих место в тепловозном дизеле. Однако до сих пор, эти исследования находили своё воплощение лишь в виде отдельных рекомендаций и правок в технологию диагностирования.

Все выпускаемые в настоящий момент локомотивы в той или иной степени оборудованы бортовыми электронными системами МСУ и/или РТС, обеспечивающими считывание и первичный анализ данных с датчиков, а также передачу данных в режиме online. Новые локомотивы оборудуются системами управления (МСУД электровозов 2(3)ЭС5К, 2(3)ЭС4К, ЭП1М, ЭП2К и МСУ-ТП(Э,А) тепловозов 2(3)ТЭ116У и ТЭП70БС), а выпущенные ранее оснащаются системами автоведения (УСАВП) или ресурсосбережения (РПДА, БОРТ) при проведении крупных заводских или деповских ремонтов. И те, и другие системы позволяют обеспечить первичную диагностическую функциональность (проверка соблюдения мощности и частоты вращения коленчатого вала дизеля по позициям контроллера, контроль температуры теплоносителей), однако МСУ обладают существенно большим потенциалом в силу большего набора датчиков.

1.5 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведённый анализ литературных источников позволил установить, что:

- управление надёжностью при сервисном обслуживании позволяет совместить преимущества планово-предупредительной системы проведения работ и оперативного реагирования на происходящие события за счёт более полного использования информационного потенциала современного общества;
- несмотря на то, что тенденция использования данных бортовых систем локомотивов при организации их обслуживания наблюдается повсеместно, полный переход на диагностику локомотивов по данным МСУ в настоящий момент не представляется целесообразным по причине как технического несовершенства датчиков МСУ, так и многократного увеличения стоимости МСУ при расширении диагностического потенциала;
- система МСУ-ТП обладает широким охватом оборудования, а её данные содержат исчерпывающее количество информации для проведения

диагностирования и текущего мониторинга работы основных узлов тепловоза. Диагностирование по данным МСУ-ТП технически возможно.

Несмотря на наличие или возможность реализации передачи данных в режиме online у всех современных МСУ, в силу ряда технических причин (в т.ч. политика РЖД в области информационной безопасности) наиболее актуальным способом передачи данных является применение переносных накопителей информации. Тем не менее, возможности МСУ и РТС отвечают требованиям диагностики, а анализ данных МСУ можно считать работоспособным методом диагностики технического состояния локомотивов.

Набор сигналов современных МСУ не позволяет достоверно осуществлять диагностику остова дизеля, экипажной части, распределительных редукторов, а также пневматического оборудования тепловоза.

Задача исследования заключается в максимальном использовании возможностей существующих в МСУ параметров для диагностики дизеля и его систем, турбокомпрессора, тягового генератора, ТЭД и тормозного компрессора. Дальнейшее исследование решено производить в следующем порядке:

- 1 выполнить анализ надёжности оборудования тепловозов и обосновать актуальность задачи бортового диагностирования;
- 2 выполнить анализ существующих методов диагностирования тепловозов применительно к условиям ремонтных локомотивных депо при сервисной системе ТОиР;
- 3 выполнить комплексную вероятностно-статистическую обработку данных МСУ тепловозов серии 2ТЭ116У для различных полигонов их эксплуатации;
- 4 разработать способы диагностирования технического состояния тепловозов по данным бортовых МСУ;
- 5 выполнить анализ по данным МСУ специфических условий эксплуатации магистральных тепловозов на отечественных железных дорогах;
- 6 оценить диагностическую информативность МСУ-ТП;
- 7 разработать модель диагностирования тепловозов по данным МСУ;
- 8 практически реализовать предложенные модель и методы.

1.6 ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 1

Таким образом, ремонт с учётом текущего технического состояния при сервисном обслуживании позволяет совместить преимущества планово-предупредительной системы проведения работ и оперативного реагирования на происходящие события за счёт более полного использования информационного потенциала современного общества. Это требует доработки системы ТОиР локомотивов в части повышения оперативности и точности диагностирования локомотивов в депо, а также усиления контроля локомотива на линии с применением средств автоматизации для поддержания уровня надёжности локомотивов.

На современном уровне технического развития наиболее актуальным средством решения поставленной задачи является проведение текущего мониторинга технического состояния с целью выявления отказов и предотказных состояний. Внедрение методов математического анализа и статистики в мониторинг позволяет строить тренды и с их помощью прогнозировать работоспособность с выявлением опасных тенденций и принимать предиктивные меры за счёт:

- сокращения затрат на неплановое обслуживание локомотива за счёт случаев остановки локомотива в пути следования;
- сокращения времени диагностирования локомотива на путях депо;
- сокращения времени ожидания запчастей и персонала за счёт заблаговременного определения неполадок до захода локомотива в депо.

Сделанный вывод подтверждается опытом мировых лидеров локомотивостроения – General Electric, Bombardier и Alstom.

2 АНАЛИЗ ДАННЫХ БОРТОВЫХ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ

2.1 МЕТОД СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

2.1.1 Порядок сбора данных для исследования

Настоящая научная работа была начата автором в период становления сервисной системы технического обслуживания и ремонта локомотивов, которая была внедрена в ОАО «РЖД» с 1 июля 2014 года [53]. Необходимо было выстраивать взаимоотношения железнодорожной отрасли с внешними сервисными компаниями. Возросла роль средств диагностирования для оценки технического состояния локомотивов. В это время в компании ООО «ТМХ-Сервис» (в настоящее время – ООО «ЛокоТех-Сервис» в составе группы компаний «ЛокоТех») [170] было принято решение определить диагностические возможности бортовых микропроцессорных систему управления (МСУ), в том числе выполнить анализ и разработать соответствующую технологию ТОиР применительно к магистральным грузовым тепловозам.

В основу методологии проводимого исследования положен вероятностно-статистический анализ большого объёма данных бортовых микропроцессорных систем управления (МСУ) типичного представителя отечественных магистральных тепловозов серии 2ТЭ116У. В силу конструктивной схожести, прежде всего силовой установки и режимов ее загрузки в эксплуатации, результаты исследования работы тепловозов 2ТЭ116У применимы к выпускаемым в настоящее время АО «УК «БМЗ» (г. Брянск) магистральным грузовым тепловозам серий 2ТЭ25КМ и 3ТЭ25К2М. Серия 2ТЭ116У была выбрана для анализа, поскольку на момент начала исследования по ней был наработан большой объём диагностической информации по различным полигонам эксплуатации.

Тепловозы серии 2ТЭ116У имеют МСУ типа МСУ-ТП (разработчик и изготовитель АО «ВНИКТИ», г. Коломна), которая в процессе управления тягой тепловоза обрабатывает данные датчиков, расположенных в различных видах оборудования локомотива. Обработанные данные передаются в дисплейный модуль (ДМ) в кабину машиниста, где сохраняются на встроенном жёстком магнитном диске каждые 3 раза в секунду. ДМ используются для отображения машинисту информации о техническом состоянии локомотива.

Эти данные также можно использовать для диагностирования в процессе ТОиР, для чего предусмотрена возможность с помощью flash-накопителя считать файлы и перенести их на стационарный компьютер и продолжить анализ с использованием специализированного программного обеспечения – программы диагностирования «Осциллограф» разработки АО «ВНИКТИ». По результатам исследований, выполненных в рамках настоящей диссертации, программа диагностирования была существенно доработана до версии «Осциллограф-3», которая и была внедрена в сервисных локомотивных депо группы компаний «ЛокоТех». Затем была разработана новая программа диагностирования АРМ «Умный локомотив», которая и используется в настоящее время. Справки об использовании в обоих АРМ результатов исследования автора приведены в приложениях Л и М.

С помощью программы «Осциллограф» считанные с помощью flash-накопителей данные МСУ-ТП экспортированы в электронные таблицы формата Excel, что позволило автору выполнить самостоятельный комплексный анализ данных. В настоящем разделе приводятся основные данные, полученные в процессе анализа и обладающие научной новизной.

Для получения объективной информации рассмотрены три различных полигона эксплуатации тепловозов: Октябрьская (44 секции сервисного локомотивного депо (СЛД) «Санкт-Петербург Сортировочный Витебский», 11489 суток), Приволжская (42 секции СЛД «Волгоград», 1191 сутки) и Свердловская (40 секций СЛД «Тюмень», 484 суток) железные дороги. Всего выполнен анализ по 126 секциям тепловозов серии 2ТЭ116У за 3164 суток эксплуатации. Общее число проанализированных записей МСУ – 13,67 млн. Общий объём данных – более 2,8 Гб. Данные рассмотрены как в целом, так и по каждому полигону в отдельности.

Таким образом, объём собранной автором исходной информации МСУ-ТП магистральных тепловозов серии 2ТЭ116У позволяет объективно статистически достоверно оценить особенности эксплуатации магистральных тепловозов на отечественных железных дорогах и также возможность диагностирования с использованием бортовых МСУ.

2.1.2 Обработка данных с использованием программирования

Скачанные с локомотивов данные обработаны с использованием специально разработанных алгоритмов и соответствующего программного обеспечения, разработанного автором в среде Excel на алгоритмическом языке VBA (Visual BASIC for Applications) [183]. На пакет программ получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ [153].

Блок-схема алгоритма обработки данных приведена на рисунке 2.1. По скачанным в Excel-таблицы исходным данным $x_i \in X$ (блок 1) на первом этапе (блоки 2 – 5) производится проверка анализируемого распределения на наличие грубых ошибок по правилу трёх сигм [20]: после расчёта математического ожидания M параметра $x_i \in X$ и его среднеквадратичного отклонения σ для дальнейшего рассмотрения оставляются только данные, вошедшие в диапазон $M \pm 3 \cdot \sigma$. Производится несколько итераций, пока не будут выполнены условия:

$$M = \sum_{i=1}^{max} \frac{x_i}{max}, \quad (2.1)$$

$$D(x) = \sum_{i=1}^{max} \frac{(x_i - M)^2}{(max - 1)}, \quad (2.2)$$

$$\sigma = \sqrt{D(x)} \quad (2.3)$$

$$M + 3 * \sigma \geq x_i \geq M - 3 * \sigma, \quad (2.4)$$

$$x_i \in X_{3\sigma}, \quad (2.5)$$

где: max – общее число данных на очередной итерации чистки данных; $X_{3\sigma}$ – множество данных, полученных после их очистки по правилу трёх сигм.

После очистки данных по правилу трёх сигм проверяется унимодальность данных (блоки 6 – 10). Этот важный этап позволяет оценить, является ли полученная выборка $X_{3\sigma}$ принадлежащей одному процессу (унимодальная выборка) или в ней замешано два (бимодальный процесс) и более (полимодальный процесс). Такая проверка позволяет защитить от ложных выводов, популярным примером которого является «средняя температура по больнице» [87, 88].

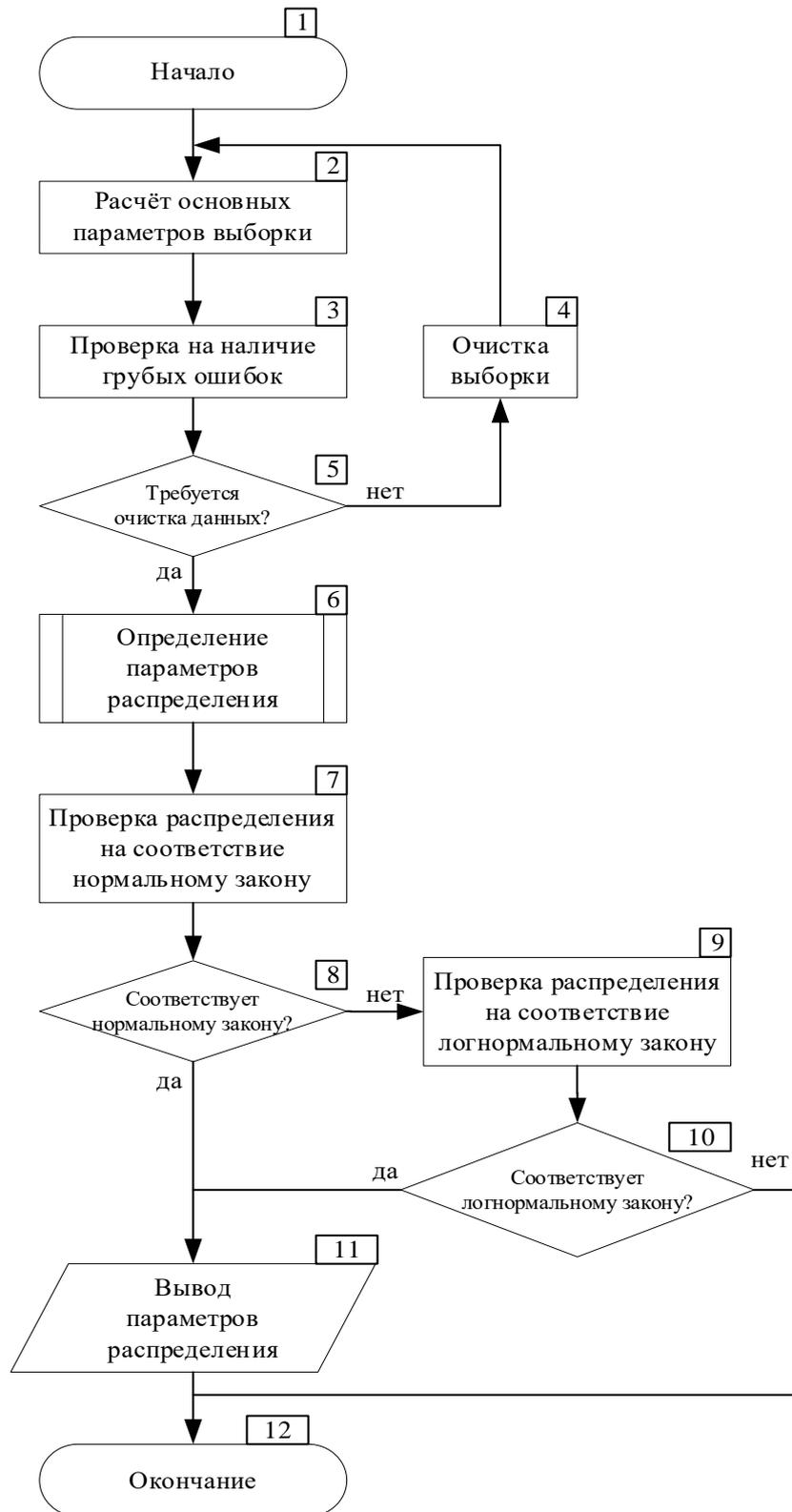


Рисунок 2.1 – Блок-схема процесса обработки данных

Проверку выборки $X_{3\sigma}$ на унимодальность предлагается произвести через наличие соответствия распределения случайной величины $x_i \in X_{3\sigma}$ одному из законов распределения случайной величины [20]: по закону больших чисел в теории вероятности среднее значение выборки данных при увеличении объема

выборки стремится к математическому ожиданию одного из законов распределения (равномерного, нормального, экспоненциального и др.).

Оценка соответствия в диссертации выполнена с использованием критерия согласия Пирсона [21], позволяющего оценить значимость различий между фактическим и теоретическим распределениями случайной величины. Необходимо вычислить «критерий согласия χ^2 » («хи-квадрат») с дальнейшим определением вероятности соответствия выборки данных $X_{3\sigma}$ закону распределения (с использованием таблицы критерия Пирсона):

$$\chi^2 = \sum (\Delta x_n - \Delta x_T)^2 / \Delta x_T, \quad (2.5)$$

$$\Delta x_T = T \cdot P_n, \quad (2.6)$$

$$P_j = \int_{x_{n1}}^{x_{n2}} f(x) dx \quad (2.7)$$

где: N – число интервалов разбиения гистограммы распределения $x_i \in X_{3\sigma}$; n – текущий рассматриваемый интервал распределения; Δx_n – практическое количество попаданий в n -й диапазон; Δx_T – теоретическое количество попаданий в n -й диапазон; P_n – теоретическая вероятность попадания в n -й интервал; $f(x)$ – функция плотности распределения случайной величины; x_{n1} , x_{n2} – границы диапазона n [21].

По вычисленному значению χ^2 по таблице Пирсона определяется вероятность соответствия закону распределения случайной величины из условия:

$$\chi^2_{\text{табл}} \geq \chi^2, \quad (2.8)$$

где: $\chi^2_{\text{табл}}$ – табличное значение χ^2 , удовлетворяющее условию 2.8.

Далее производится анализ физического смысла полученного распределения.

Исходные данные каждой секции локомотива за все сутки наблюдения скачиваются в отдельный лист единого файла Excel формата xlsm (допускающего написание VBA-программ. Максимальное число суток наблюдения одной секции – 179. Соответственно максимальное число строк $\text{max} = 179 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 3 = 773\ 280$ при допустимом в Excel 1 млн строк. Таким образом, под каждую секцию можно отнести один лист, вид которого приведён в таблице 2.1.

Листы имеют имена, соответствующие их порядковому номеру: «1», «2», «3» и т.д., что позволяет легко организовать в программе последовательный перебор листов от $n = 1$ до $n = 126$ (число рассматриваемых секций) с использованием функции преобразования числа в строку *CStr*. В программе следует задать диапазон листов для анализа. Число данных в каждом листе программа определяет автоматически по первой встреченной пустой строке.

В каждой строке листов с исходными данными, начиная с шестой, хранятся данные МСУ-ТП указанной секции локомотива за одно измерение (дата и время события указаны в первом столбце). Далее по столбцам записаны, позиция контроллера машиниста (ПКМ, с нулевой до 15-й), обороты дизеля (об/мин), напряжение на выходе тягового генератора (В), токи тяговых электродвигателей (ТЭД, А), скорость локомотива (км/ч) и другая информация, фиксируемая МСУ-ТП и анализируемая в настоящей работе.

В результате работы программы по считанным с МСУ-ТП данным тепловозов серии 2ТЭ116У и вручную с использованием программы «Осциллограф» введённых в таблицу Excel, производится автоматический расчёт вероятностно-статистических параметров с использованием написанной VBA-программы для дальнейшего анализа полученных результатов, который приведён в последующих подразделах настоящего раздела.

Примечание: в данных МСУ-ТП отсутствует координата дислокации локомотива на момент записи данных – эти данные есть только в бортовой системе безопасности КЛУБ-У. В конструкции локомотива предусмотрена, но не реализована возможность получения в МСУ-ТП координаты из КЛУБ-У (по CAN-интерфейсу). Поэтому в выполненном анализе не рассматривалась масса поезда, профиль, показания светофоров и ограничения скоростей.

Таблица 2.1 – Пример исходных данных, полученных из МСУ-ТП тепловоза 2ТЭ116У

Позиция контроллера машиниста	Частота вращения коленчатого вала дизеля	Напряжение на зажимах тягового генератора	Сиял тока якоря ТЭД1	Сиял тока якоря ТЭД2	Сиял тока якоря ТЭД3	Сиял тока якоря ТЭД4	Сиял тока якоря ТЭД5	Сиял тока якоря ТЭД6	Фактическая скорость тепловоза	Температура воды на выходе из дизеля	Температура воды на входе в дизель
4	675	208,62	310,37	451,64	431,15	420,9	412,12	412,12	16	74	66
4	675	211,55	318,42	453,84	435,54	421,63	412,12	412,85	17	74	66
4	674	214,48	306,71	447,98	430,42	415,04	406,99	409,19	17	74	66
4	675	214,48	300,85	445,79	428,95	412,12	404,8	407,72	16	74	66
4	675	216,67	300,12	443,59	427,49	407,72	398,94	406,26	16	74	66
4	675	218,87	303,05	442,13	426,76	410,65	403,33	404,8	16	74	66
4	676	219,6	309,64	441,4	422,36	409,19	401,14	402,6	16	74	66
4	676	220,33	309,64	435,54	420,17	404,8	396,74	399,67	16	74	66
4	676	222,53	306,71	438,47	420,9	404,06	394,55	401,87	16	74	66
4	677	223,26	300,12	433,34	412,12	401,14	395,28	394,55	17	74	66
4	678	224,72	299,39	431,88	412,85	399,67	390,16	395,28	17	74	66
4	679	232,78	292,8	418,7	403,33	390,16	385,03	387,23	18	74	66
4	679	234,24	291,34	419,44	401,87	388,69	382,84	384,3	18	74	66
4	678	237,17	289,14	420,17	398,94	388,69	379,91	383,57	18	74	66
4	678	237,17	288,41	415,04	397,48	385,03	381,37	380,64	18	74	66
5	678	239,36	288,41	415,78	397,48	381,37	373,32	379,91	18	74	66
5	679	241,56	292,8	412,12	397,48	384,3	378,44	379,91	18	74	67
5	684	241,56	278,89	412,85	393,08	381,37	375,52	378,44	19	74	67
5	692	243,76	280,36	409,92	390,16	381,37	374,05	374,05	19	74	67
5	703	245,22	280,36	409,19	391,62	377,71	370,39	375,52	19	74	67

В АСУЖТ используются информационные системы АСОУП и ГИД «Урал», фиксирующие дислокацию локомотивов во времени с точностью до перегона. Однако информации о режимах работы локомотивов при этом нет. Выполняемые во время опытных поездок испытания не обладают достаточной статистической достоверностью. Поэтому собранные данные (см. подраздел 2.1) несут новую информацию о режимах эксплуатации локомотивов. Для анализа информация МСУ разделена на группы.

- 1 Дизель включён. Обороты дизеля больше нуля. Позиция контроллера машиниста (ПКМ) больше нуля. Ток тяговых двигателей больше 0. Скорость больше нуля. Это основной режим работы тепловоза для тяги поездов. В этом режиме выполнен основной анализ. Анализируются токи ТЭД, езда на различных ПКМ, скорость и другие характеристики тягового режима.
- 2 Дизель включён, скорость больше 0. Позиция ПКМ = 0. Ток ТЭД равен нулю. Режим выбега локомотива.
- 3 Дизель включён, скорость равна 0. Позиция ПКМ = 0. Ток ТЭД равен нулю. Локомотив простаивает.
- 4 Дизель отключён. Обороты дизеля равны нулю. Эти режим не рассматривается.

При этом, поскольку объёмы выборки позволяют применять к исследуемым параметрам закон больших чисел, для каждого из рассматриваемых распределений параметров выполнялась проверка на соответствие однопараметрическому закону распределения на основании критерия Пирсона.

2.2 ПОЗИЦИЯ КОНТРОЛЛЕРА МАШИНИСТА

Позиция контроллера является ключевым параметром управления режимами работы дизель-генераторной установки (ДГУ), позволяющим судить о режиме работы тепловоза [131, 132].

Результаты выполненного в работе анализа приведены на рисунке 2.2. Большую часть времени (37 %) тепловоз работает на позиции 0 (режим холостого хода). Из ходовых позиций наибольшее время локомотив работает на позициях 5, 6, далее идут позиции 1 и 13. Позиции 8, 14 и 15 практически не используются.

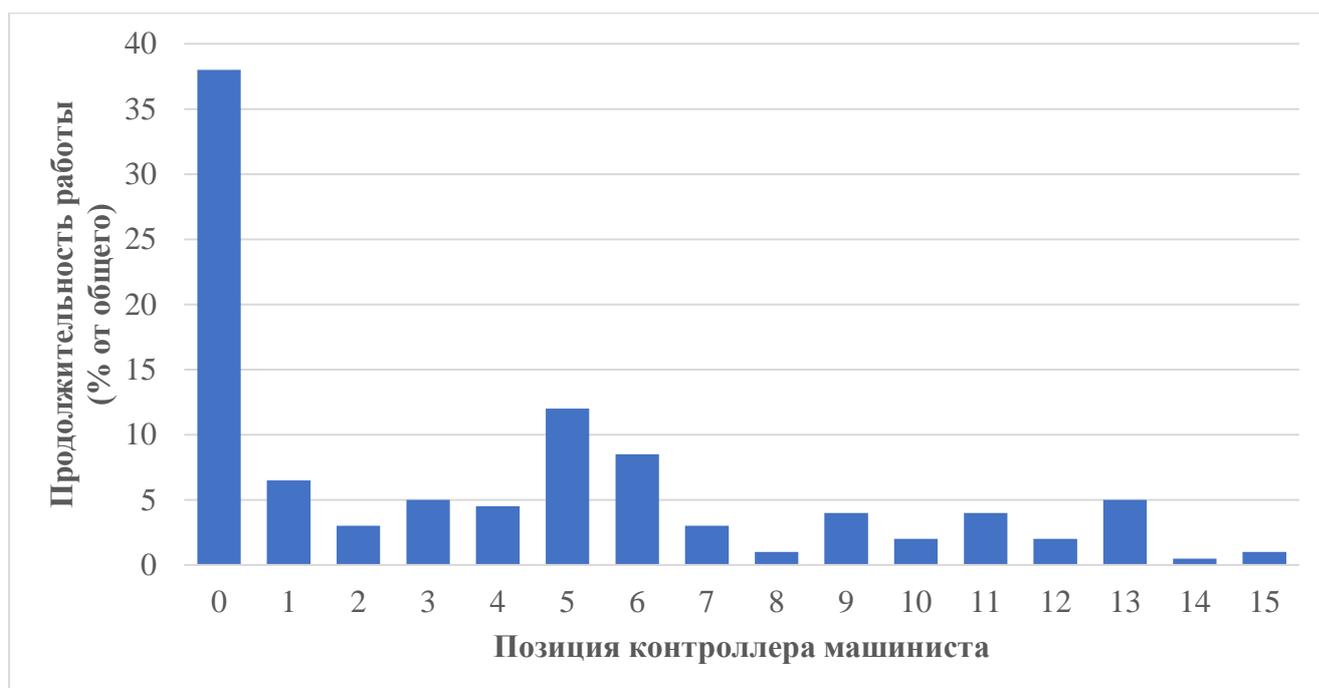


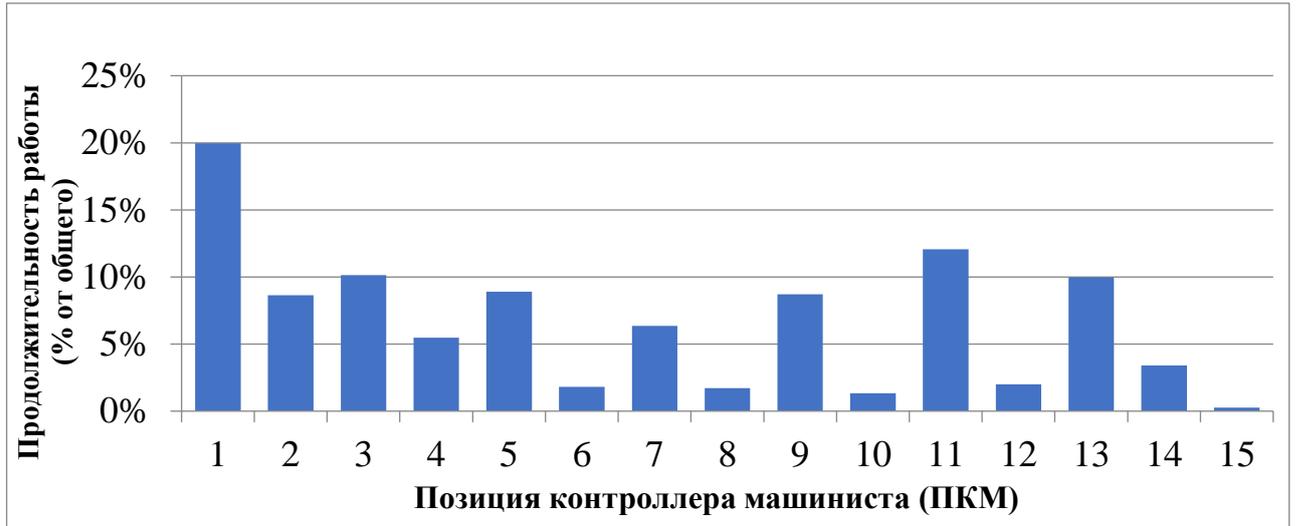
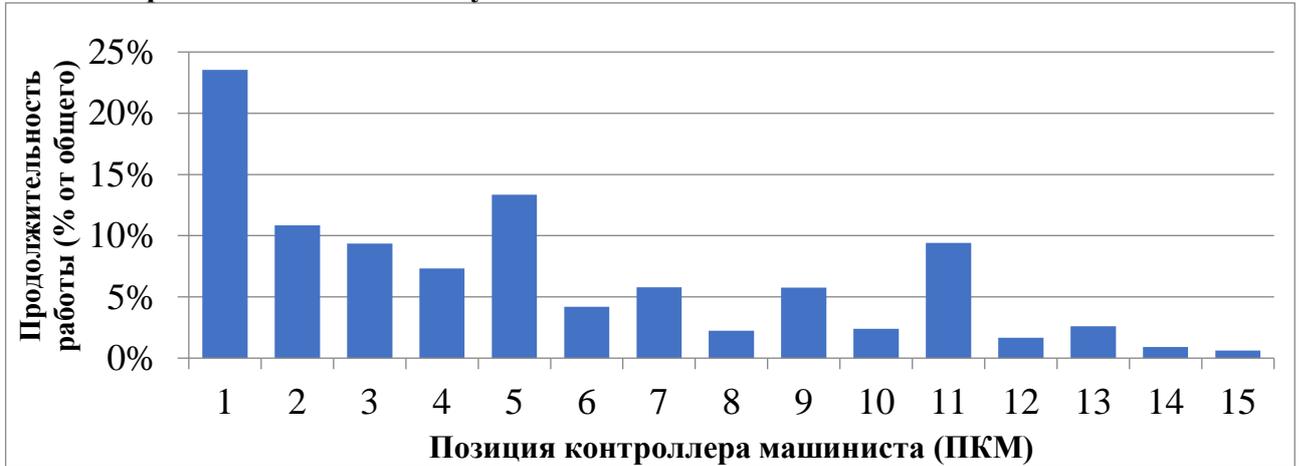
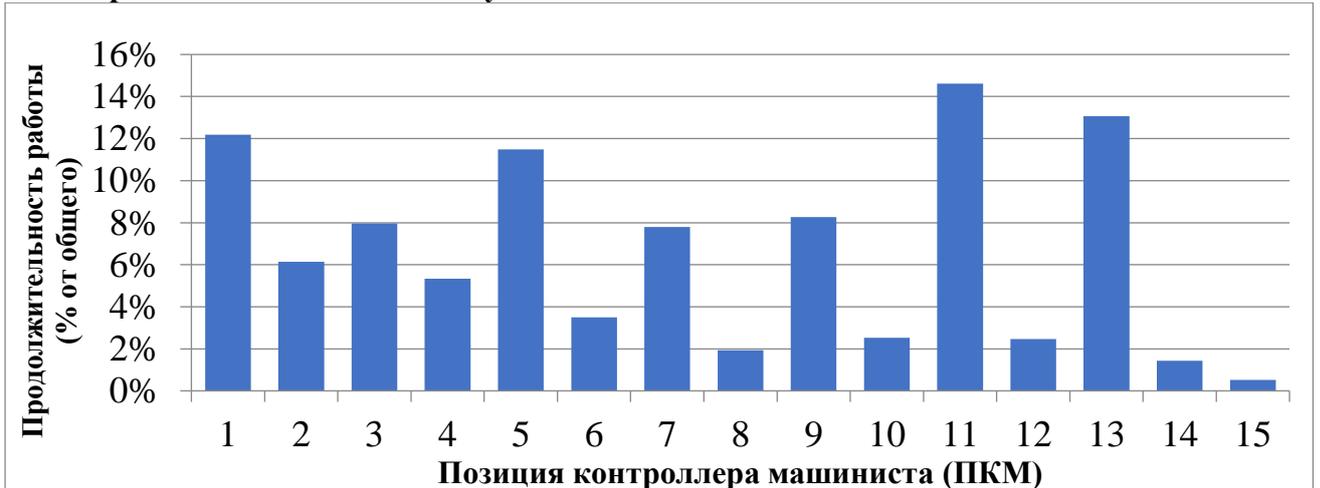
Рисунок 2.2 – Распределение времени работы тепловоза по позициям

В таблице 2.2 и на рисунке 2.3 приведено распределение времени работы ДГУ в тяговом режиме (позиция контроллера больше 0). Распределение имеет ярко выраженный полимодальный характер: $\chi^2_{\text{факт}} \gg \chi^2_{\text{теор}}$. Вероятность соответствия нормальному закону распределения по критерию Пирсона $P = 0$.

Таблица 2.2 – Результаты проверки распределения позиций контроллера машиниста на соответствие однопараметрическому закону

Полигон		Закон распределения случайной величины				
		Норм.	Гамма	Логнорм.	Экспон.	Равном.
Все	$\chi^2_{\text{факт}}$	261994	7173840	314053	291337	3511248341
	$\chi^2_{\text{теор}}$	21	21	21	22,4	21
Октябрьский	$\chi^2_{\text{факт}}$	171697	2709641	115610	124906	844198323
	$\chi^2_{\text{теор}}$	21	21	21	22,4	21
Приволжский	$\chi^2_{\text{факт}}$	215780	2902560	244987	201846	108584
	$\chi^2_{\text{теор}}$	21	21	21	22,4	21
Свердловский	$\chi^2_{\text{факт}}$	109559	3189690	155970	154041	126063186
	$\chi^2_{\text{теор}}$	21	21	21	22,4	21

В полимодальном распределении работы тепловоза на ходовых позициях выделяются режимы работы на средних позициях (2, 3, 5, 7) и высоких (9, 11, 13). На различных полигонах распределения похожи, хотя и отличаются количественно. Также следует отметить отсутствие работы на 15-й позиции контроллера машиниста.

а – Приволжский полигон эксплуатации**б – Октябрьский полигон эксплуатации****в – Свердловский полигон эксплуатации****Рисунок 2.3 – Проверка распределения времени работы тепловоза по ПКМ**

Отдельно следует отметить преобладание работы на нечётных позициях. Несмотря на отсутствие основания для этого, можно сделать вывод, что реализация тепловозов компании GE с 7 ходовыми позициями оправдан.

2.3 СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ТЕПЛОВОЗА

Выполнен анализ скорости движения тепловоза (рисунок 2.4, таблица 2.3). Более 10 % времени тепловоз едет со скоростью 55 – 59 км/ч. Со скоростью 40 – 70 км/ч – 40 % от общего времени движения, свыше скорость в 12 % времени, со скоростью ниже 40 км/ч – 35 %. При этом у полигонов есть существенные различия (рисунок 2.5). На Октябрьском полигоне преобладает тяга на скорости ниже 30 км/ч (50%), на Приволжском полигоне половину времени езда происходит на средних скоростях (40 – 60 км/ч), на Свердловском более 50 % времени езда происходит со скоростью свыше 55 км/ч. Это доказывает, что режимы эксплуатации локомотивов зависят от полигона эксплуатации. При этом на всех трёх полигонах распределение носит мультимодальный характер: тяга на малых скоростях, средних и высоких, что позволяет сделать вывод об отсутствии нормального распределения скорости движения тепловоза.

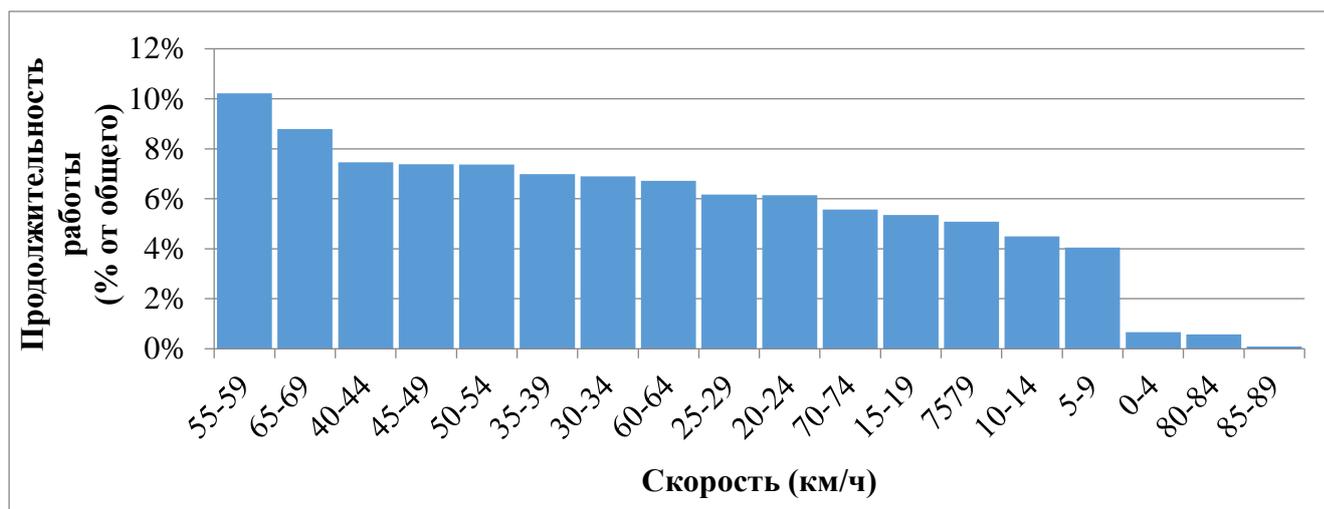
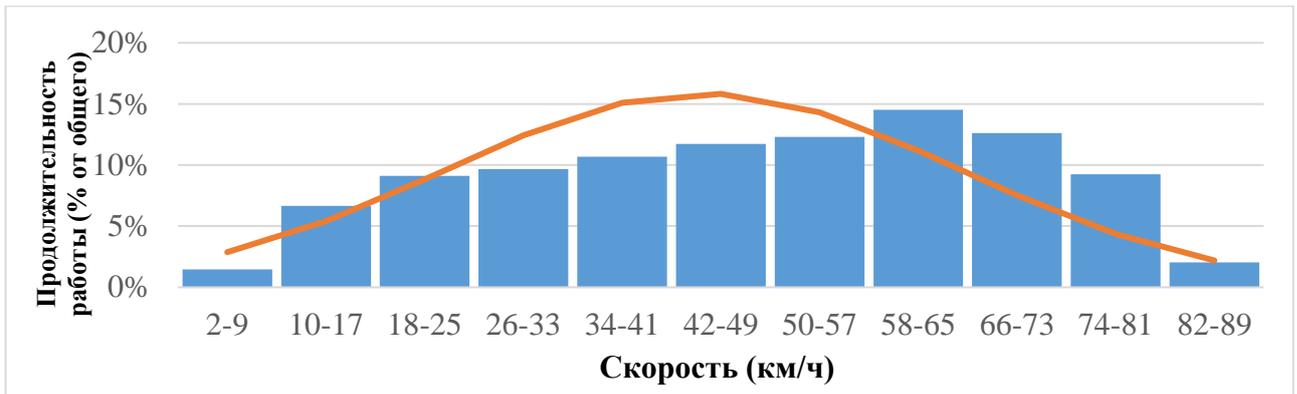


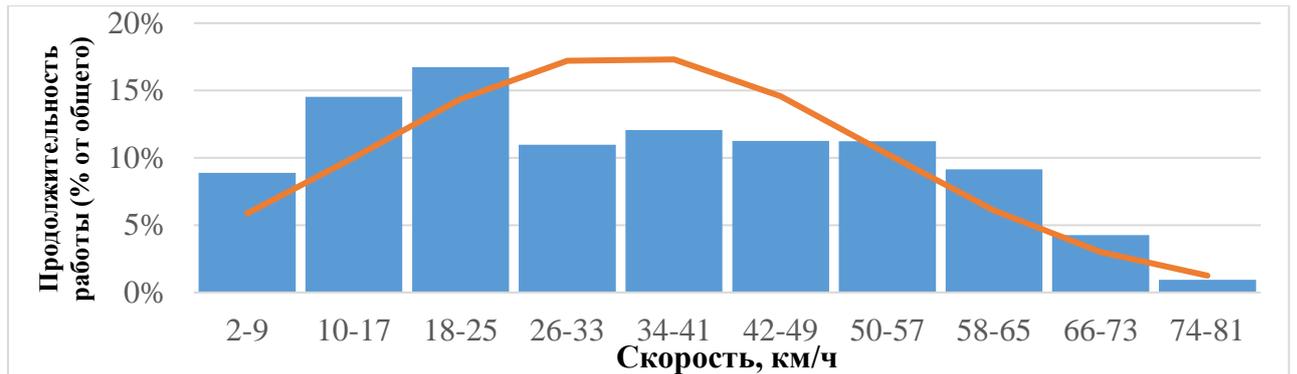
Рисунок 2.4 – Диаграмма Парето распределения скоростей движения тепловоза

Таблица 2.3 – Результаты проверки распределения скоростей движения тепловозов на ходовых позициях контроллера

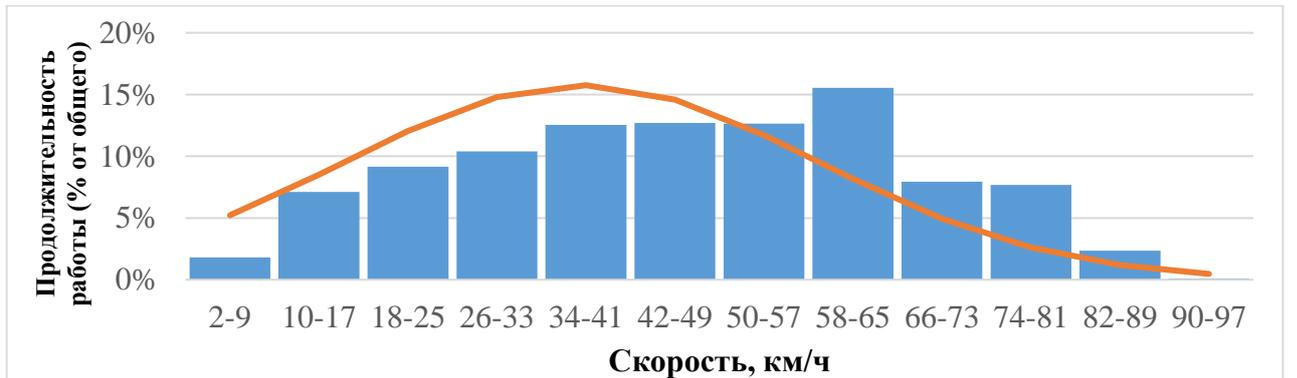
Полигон		Закон распределения				
		Норм.	Гамма	Логнорм.	Экспонен.	Равномерный
Все	$\chi^2_{\text{факт}}$	18645,1	829388,5	39463,2	57930,6	21067112,4
	$\chi^2_{\text{теор}}$	23,7	23,7	23,7	25	23,7
Октябрьский	$\chi^2_{\text{факт}}$	30501,9	2501081,1	43785,9	49154,7	119921825,5
	$\chi^2_{\text{теор}}$	25	25	25	26,3	25
Приволжский	$\chi^2_{\text{факт}}$	71418,2	5303621,8	120482,4	108920,1	1211006405
	$\chi^2_{\text{теор}}$	26,3	26,3	26,3	27,6	26,3
Свердловский	$\chi^2_{\text{факт}}$	769386,3	6715492,9	581947,7	350545,1	454126
	$\chi^2_{\text{теор}}$	26,3	26,3	26,3	27,6	26,3



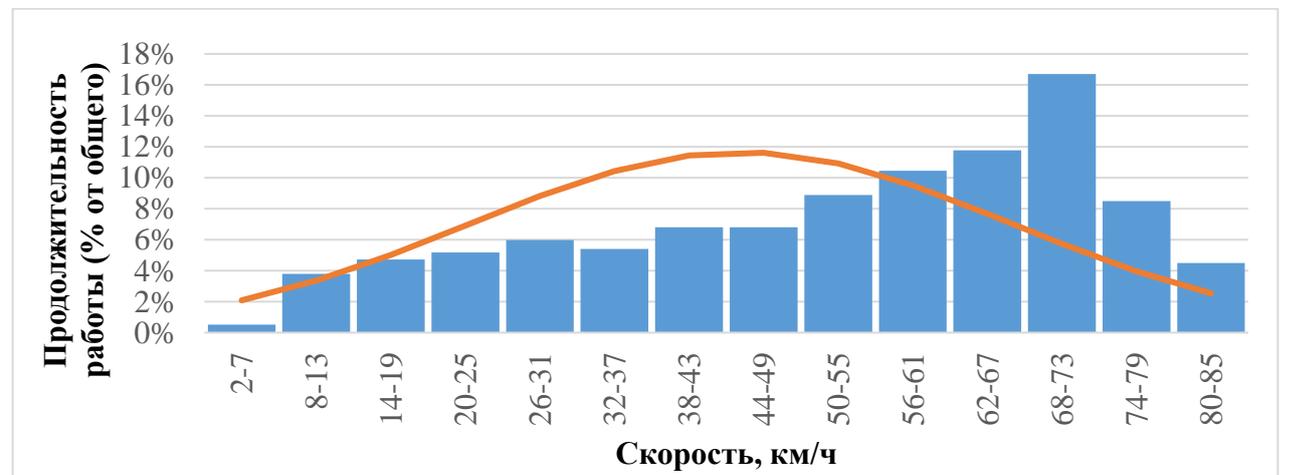
а – По трём полигонам



б – Октябрьский полигон



в – Приволжский полигон



г – Свердловский полигон

Рисунок 2.5 – Распределение скорости движения тепловозов по перегонам

2.4 ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ДИЗЕЛЯ

Из распределения частоты вращения дизеля (рисунок 2.6) видно, что преобладает работа холостом ходу (см.п.2.2.1) с малыми частотами вращения коленчатого вала дизеля - 44 % времени. Далее рассмотрены распределения скорости вращения вала при на ходовых позициях при наличии тока тягового генератора.

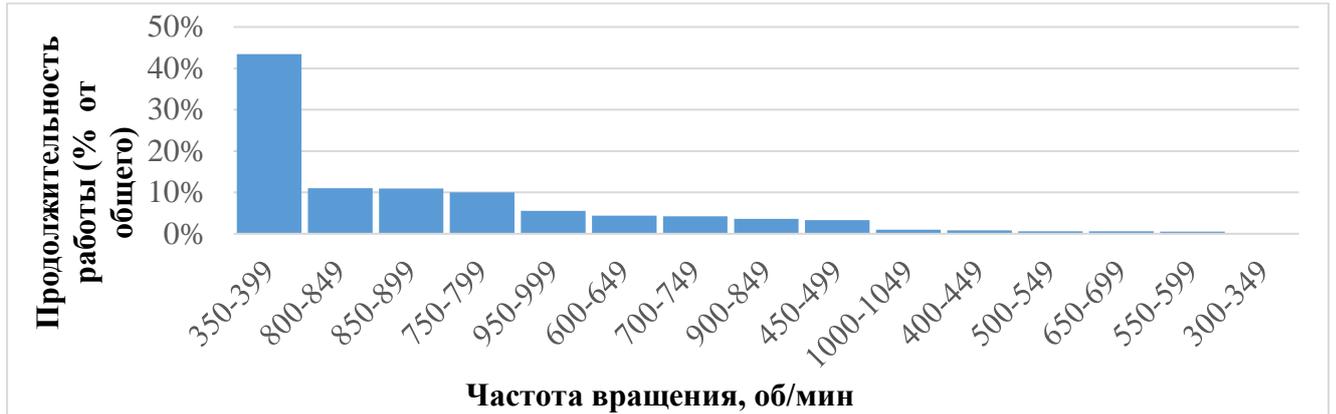


Рисунок 2.6 – Распределение частот вращения коленчатого вала по времени работы

Проверка параметра на закон распределения (таблица 2.4, рисунок 2.7) показала, что распределение частоты вращения коленчатого вала как по всем полигонам эксплуатации вместе, так и по каждому полигону в отдельности не может быть описано нормальным или другими однопараметрическими законами распределения, что свидетельствует о мультимодальном распределении частоты вращения. Более того, наличие «гребёнки» ещё раз показывает предпочтение машинистов управлять на нечётных позициях.

Таблица 2.4 – Результаты проверки распределения скоростей движения тепловозов на рабочих позициях контроллера

Полигон		Закон распределения				
		Норм.	Гамма	Логнорм.	Экспонен.	Равномерный
Все	$\chi^2_{\text{факт}}$	317703	6630834	417794	1390192	11378653511
	$\chi^2_{\text{теор}}$	19,68	19,68	19,68	21	19,68
Октябрьский	$\chi^2_{\text{факт}}$	177927	2499372	210172	610740	142156
	$\chi^2_{\text{теор}}$	19,68	19,68	19,68	21	19,68
Приволжский	$\chi^2_{\text{факт}}$	169802	2686519	194411	511443	105511
	$\chi^2_{\text{теор}}$	19,68	19,68	19,68	21	19,68
Свердловский	$\chi^2_{\text{факт}}$	127884	2947402	174335	630939	1747872406
	$\chi^2_{\text{теор}}$	19,68	19,68	19,68	21	19,68

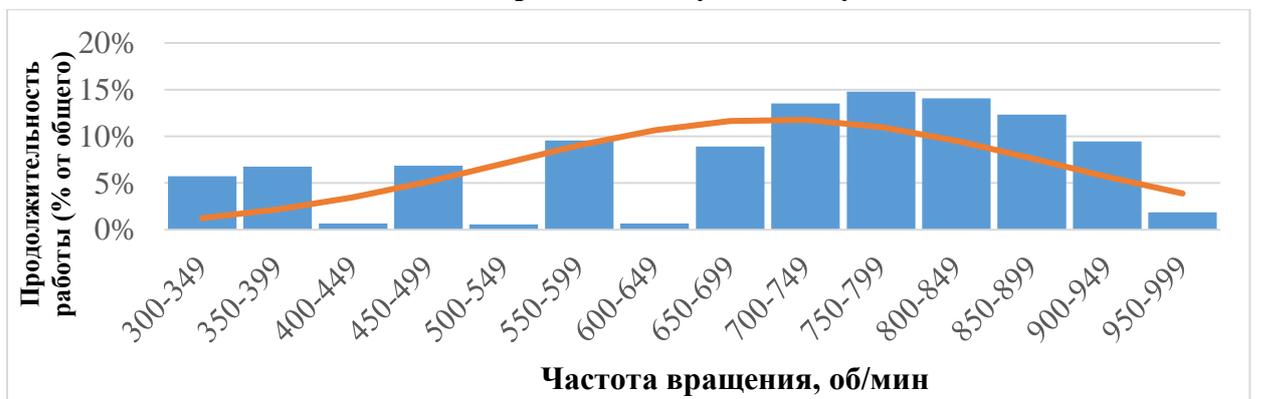
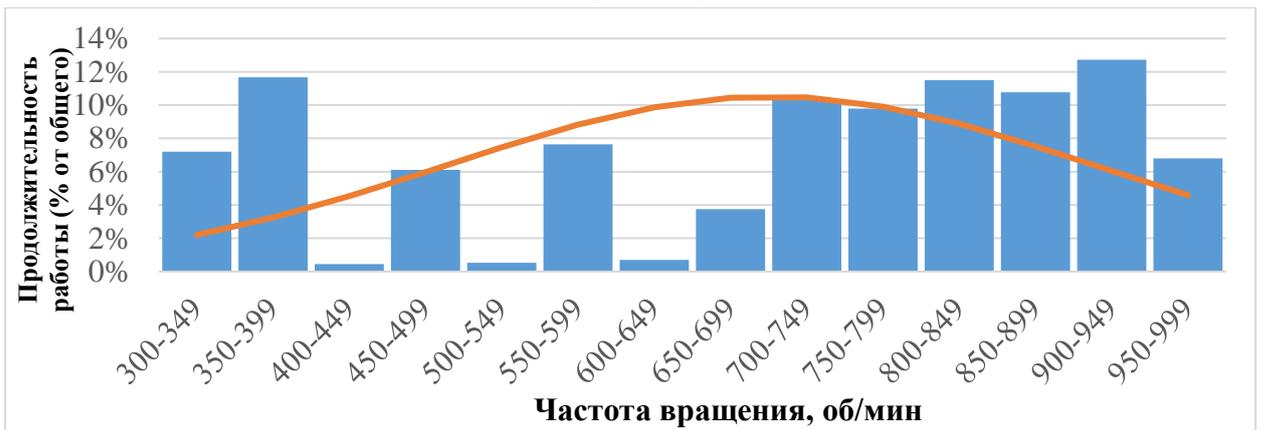
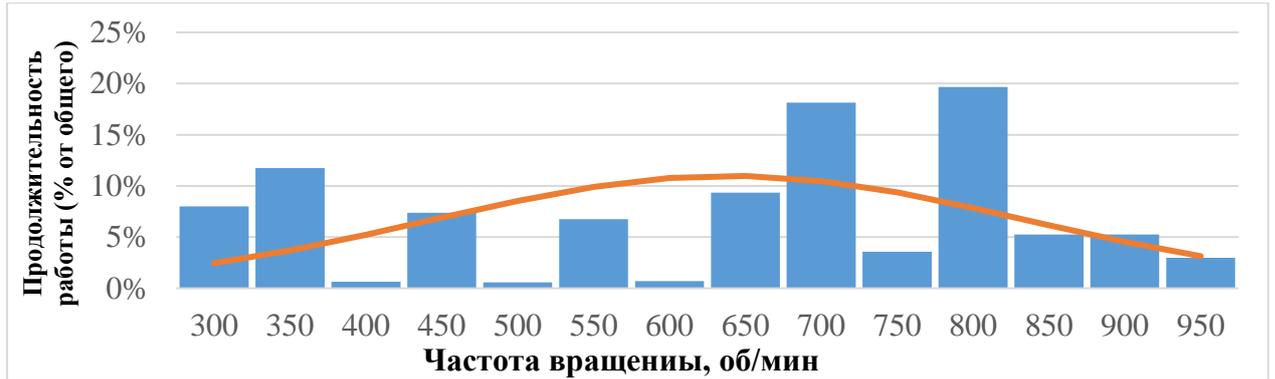
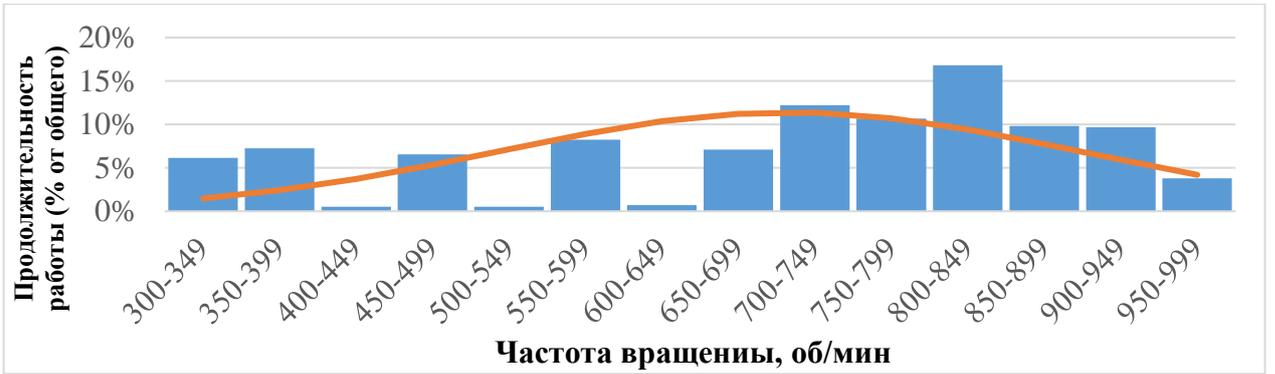


Рисунок 2.7 – Проверка на соответствие нормальному закону распределения частот вращения коленчатого вала дизеля [105]

2.5 НАПРЯЖЕНИЕ ТЯГОВОГО ГЕНЕРАТОРА

Исследование напряжения на зажимах тягового генератора при работе тепловоза в тяге (рисунок 2.8) по всем полигонам эксплуатации показало бимодальный характер распределения с локальными пиками в районе 100 и 450 В. Отдельное исследование по каждому полигону также показало сохранение бимодального характера распределения по Октябрьскому и Свердловскому полигонам, а также наличие полимодального распределения напряжений тягового генератора по Приволжскому полигону.

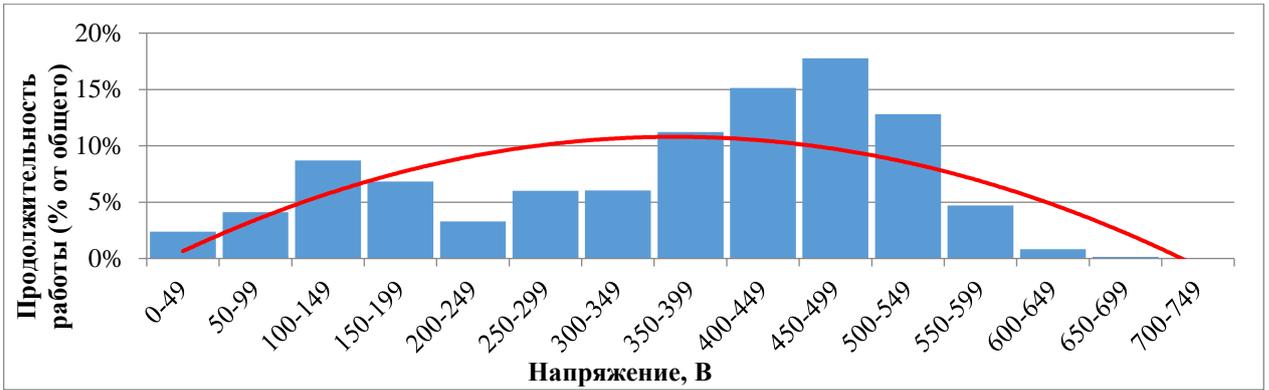
Предпринятая попытка разделения выявленной закономерности и отдельного анализа напряжений 0 – 300 В (рисунок 2.9, таблица 2.5) показала наличие небольших дополнительных пиков, делающих распределение не соответствующим ни одному из использованных однопараметрических распределений.

Таким образом, за основные значения напряжения на зажимах тягового генератора можно принять 100 – 149 В и 420 – 500 В.

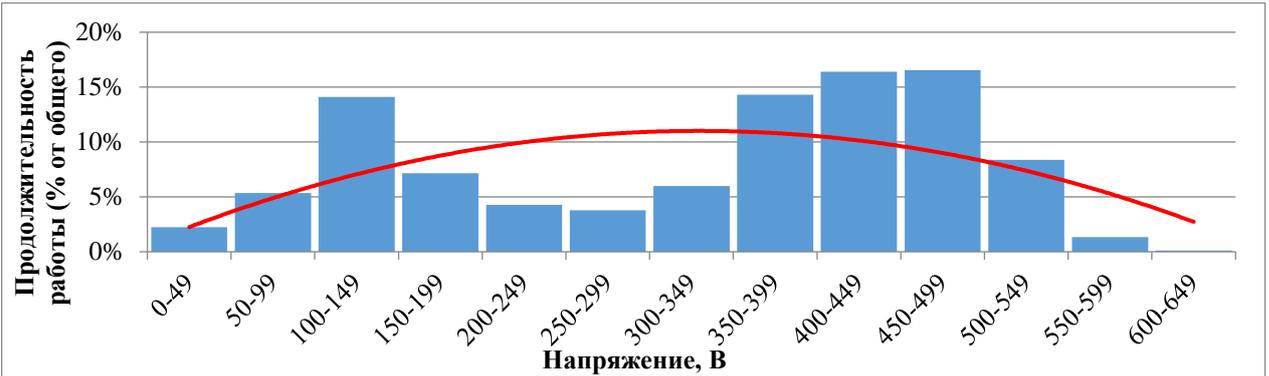
Таблица 2.5 – Результаты проверки распределения напряжения на зажимах тягового генератора с ограничением 0 – 300 В для работы тепловоза в движении

Полигон		Закон распределения				
		Норм.	Гамма	Логнорм.	Экспонен.	Равномерный
Все	$\chi^2_{\text{факт}}$	42270	1303856	69436	198487	53423874
	$\chi^2_{\text{теор}}$	23,7	23,7	23,7	25	23,7
Октябрьский	$\chi^2_{\text{факт}}$	5143	290144	9950	18231	39763117
	$\chi^2_{\text{теор}}$	12,59	12,59	12,59	14,07	12,59
Приволжский	$\chi^2_{\text{факт}}$	19101	671715	26493	42860	9229
	$\chi^2_{\text{теор}}$	18,31	18,31	18,31	19,68	18,31
Свердловский	$\chi^2_{\text{факт}}$	264177	1781576	188521	491337	843498113
	$\chi^2_{\text{теор}}$	21	21	21	22,4	21

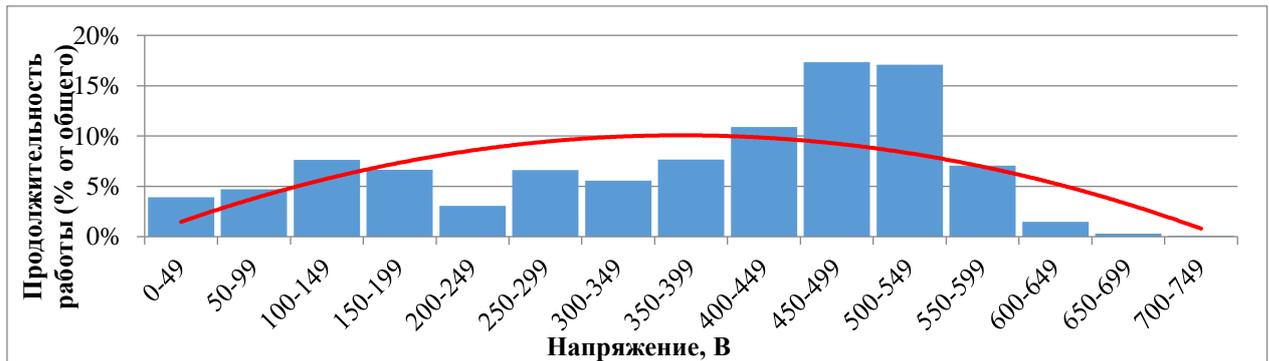
Проверка распределения напряжения для значений 300 – 700 В (рисунок 2.10 и таблица 2.6) показала визуальное соответствие нормальному распределению по всем полигонам эксплуатации и по Свердловскому полигону в отдельности. По Октябрьскому и Приволжскому полигонам наблюдалось наличие дополнительных пиков. При этом ни одно из распределений также не прошло проверку на соответствие известным однопараметрическим законам распределения.



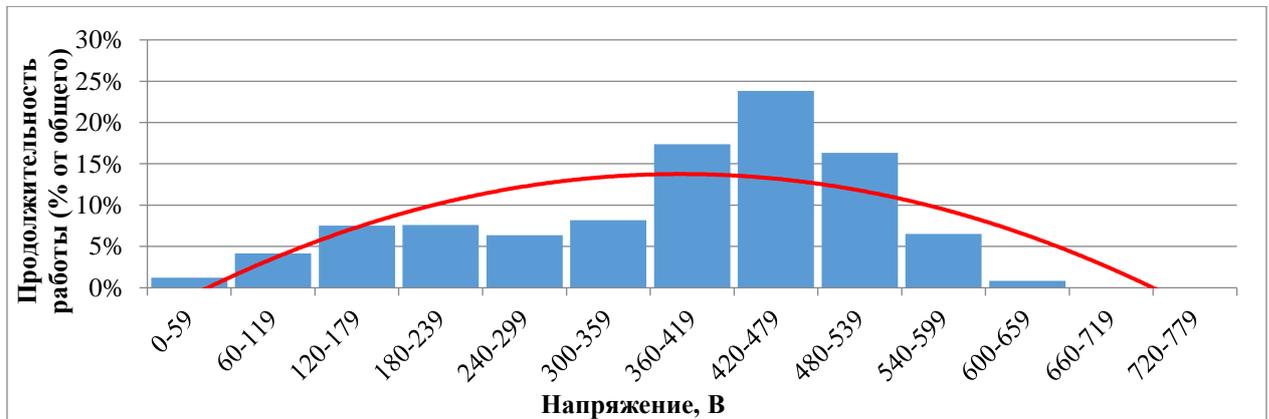
а – По всем полигонам



б – По Октябрьскому полигону

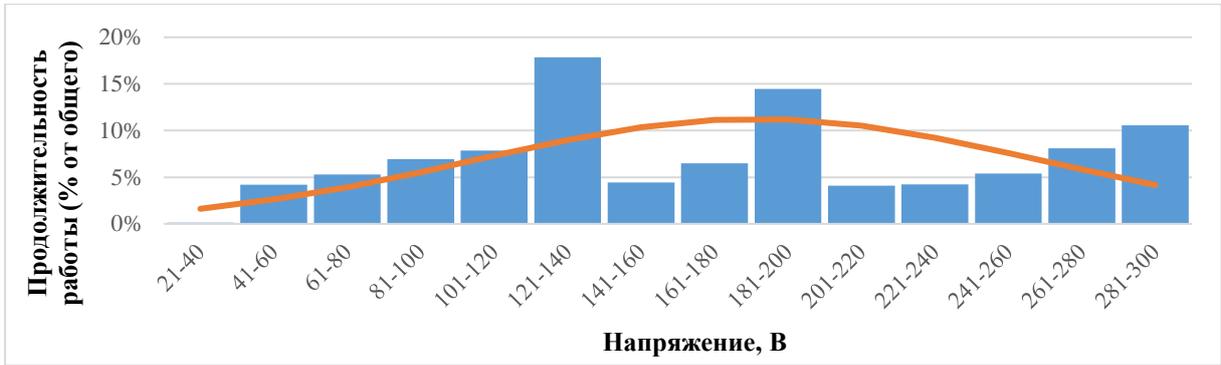


в – По Приволжскому полигону

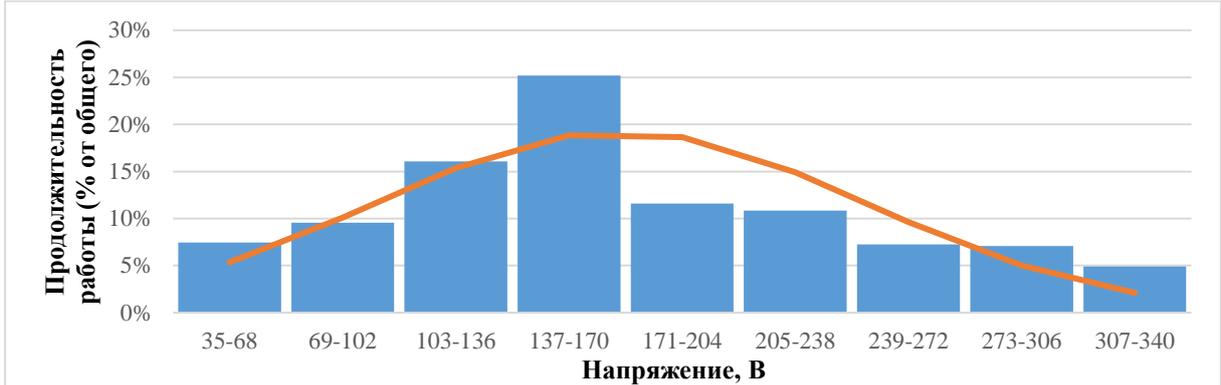


г – По Свердловскому полигону

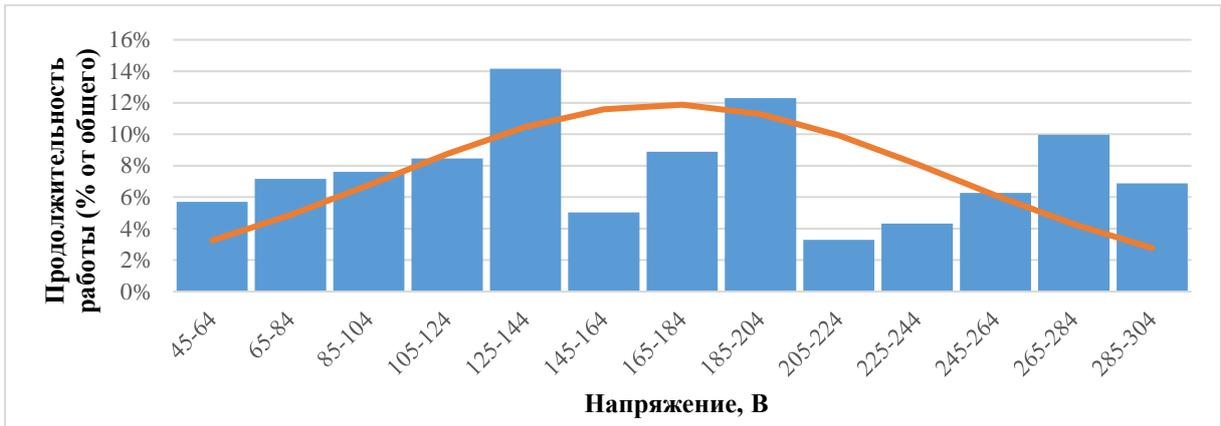
Рисунок 2.8 – Распределение напряжения на зажимах тягового генератора для работы тепловоза в движении



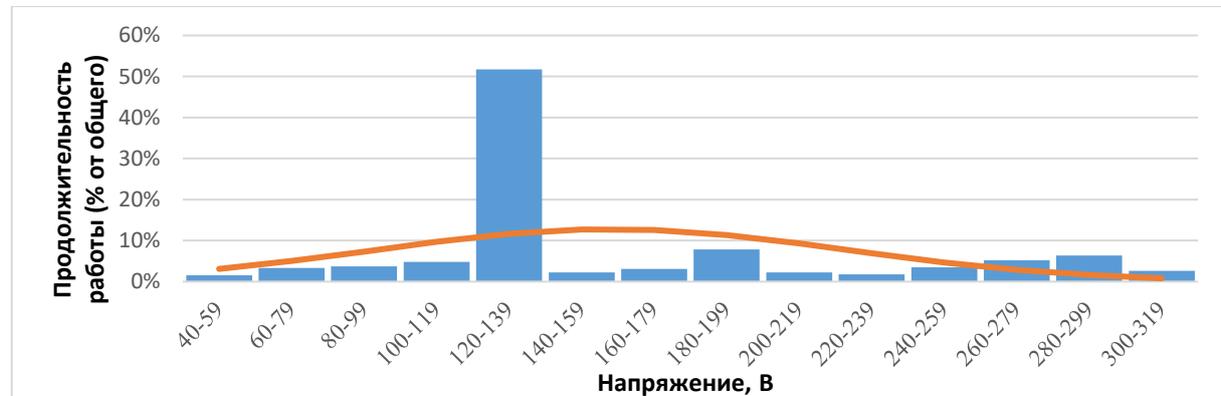
а – По всем полигонам



б – По Октябрьскому полигону

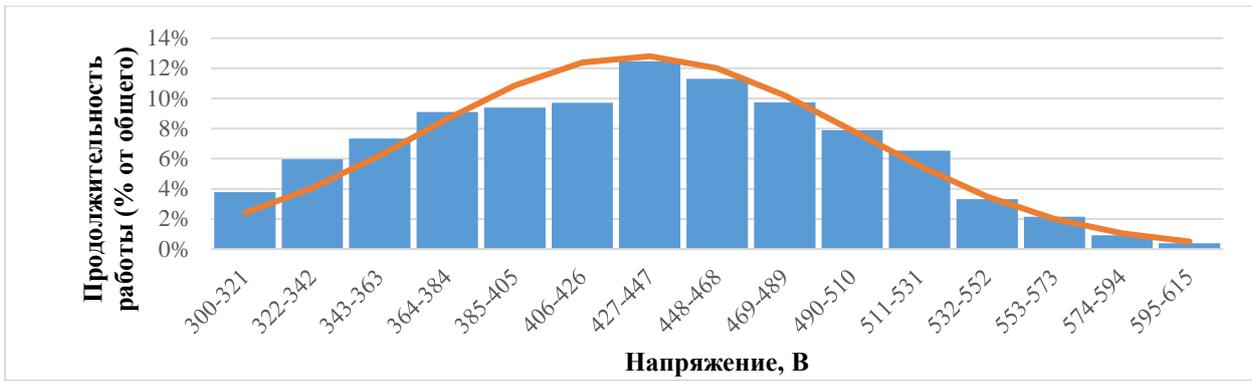


в – По Приволжскому полигону

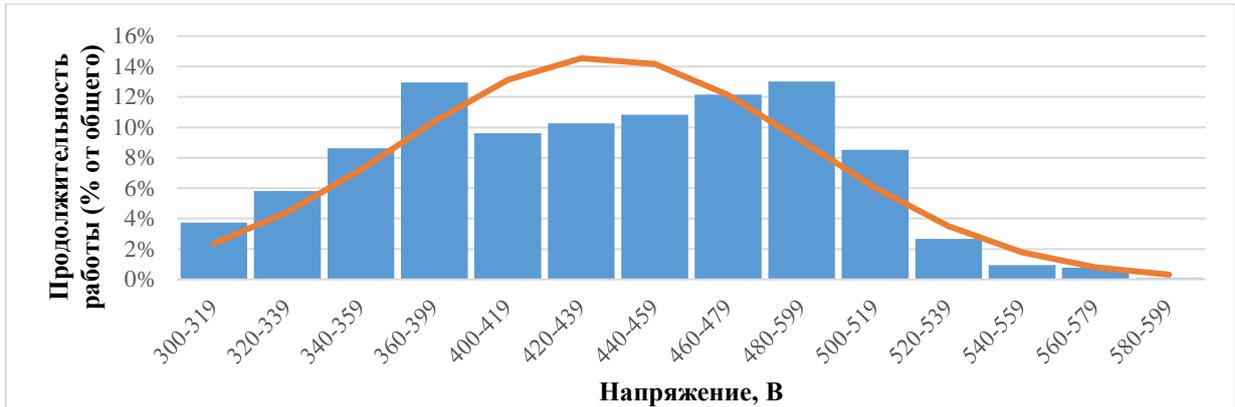


г – По Свердловскому полигону

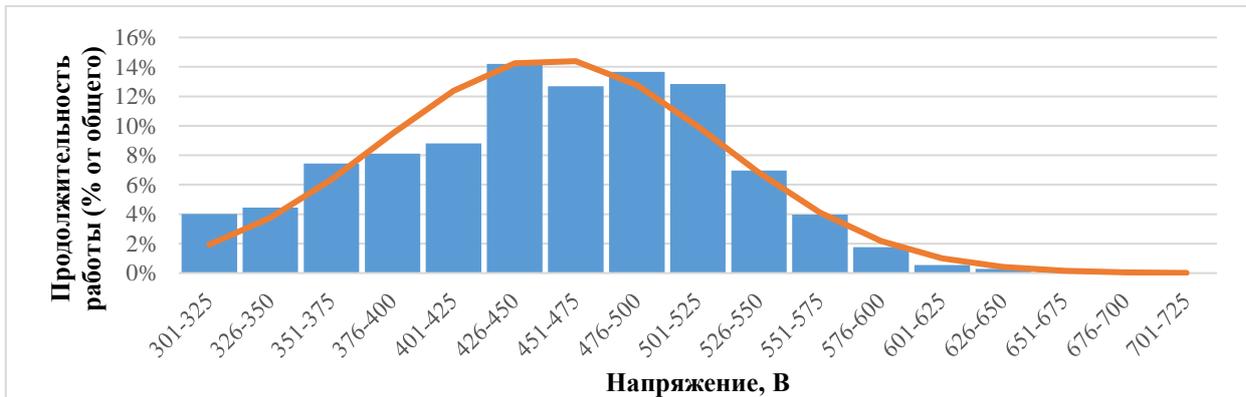
Рисунок 2.9 – Распределение напряжения на зажимах тягового генератора с ограничением 0 – 300 В для работы тепловоза в движении



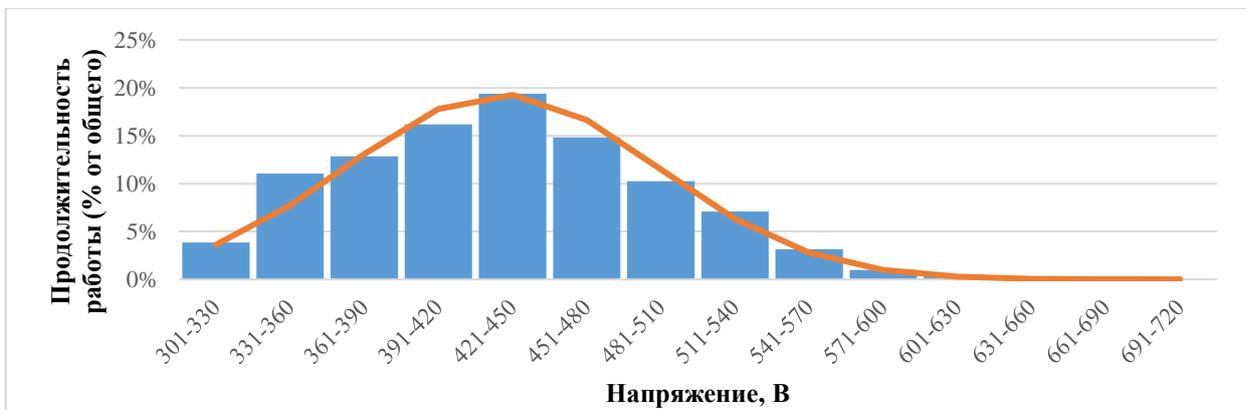
а – По всем полигонам



б – По Октябрьскому полигону



в – по Приволжскому полигону



г – По Свердловскому полигону

Рисунок 2.10 – Распределение напряжения на зажимах тягового генератора с ограничением 300 – 700 В для работы тепловоза в движении

Таблица 2.6 – Результаты проверки распределения напряжений на зажимах тягового генератора с ограничением 300 – 700 В для работы тепловоза в движении

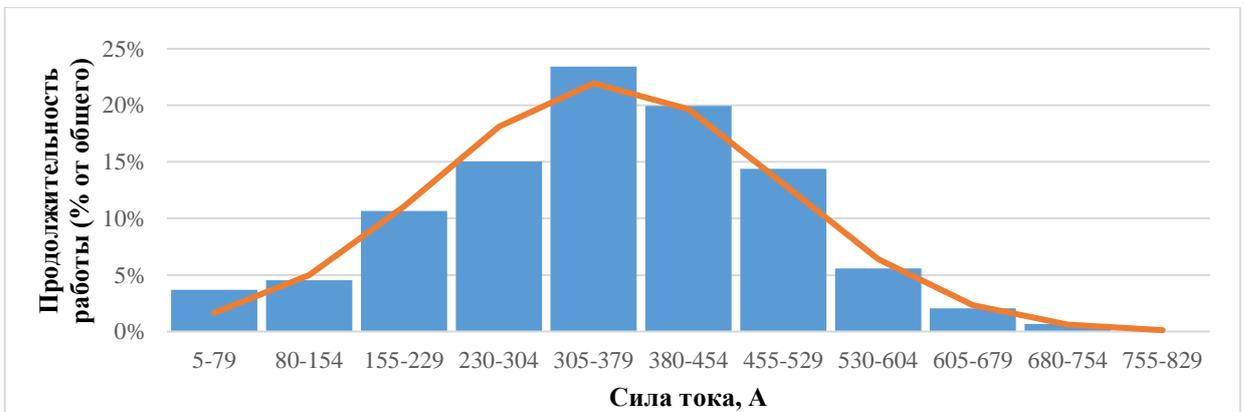
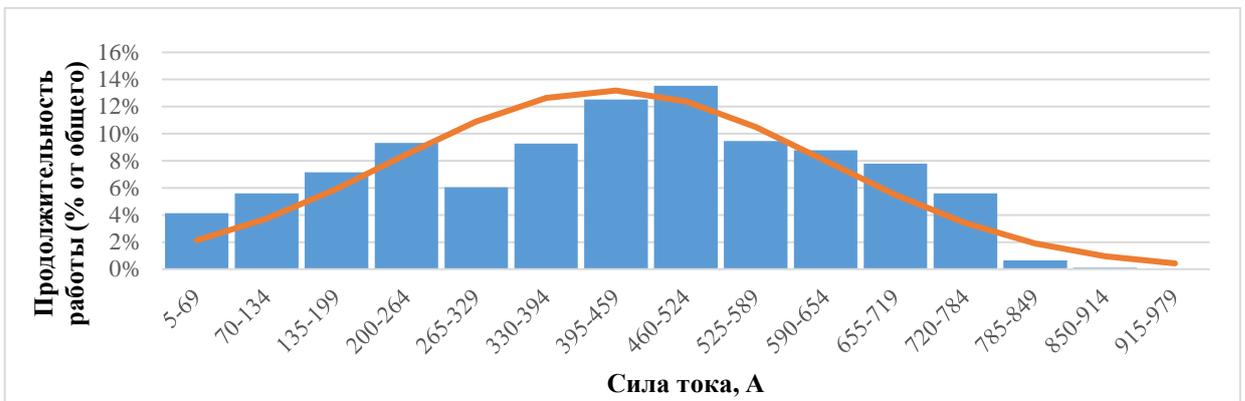
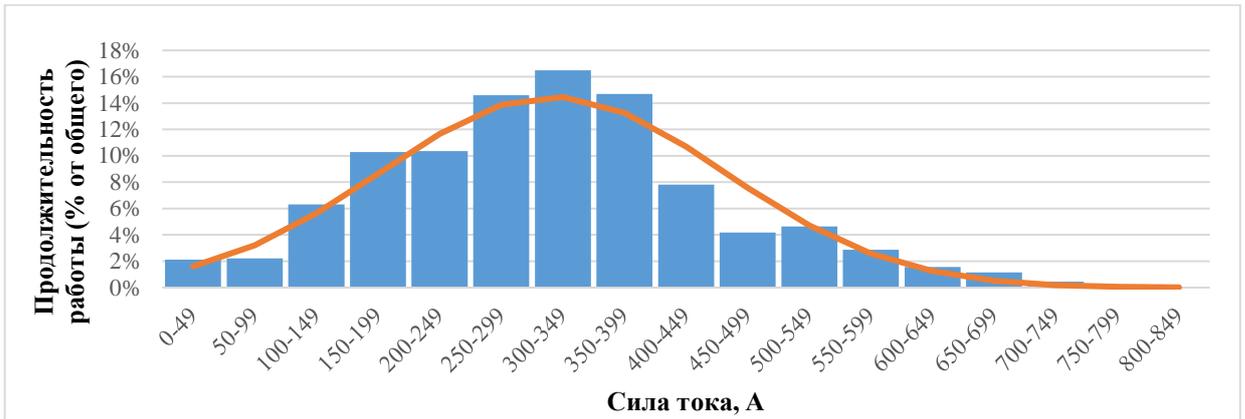
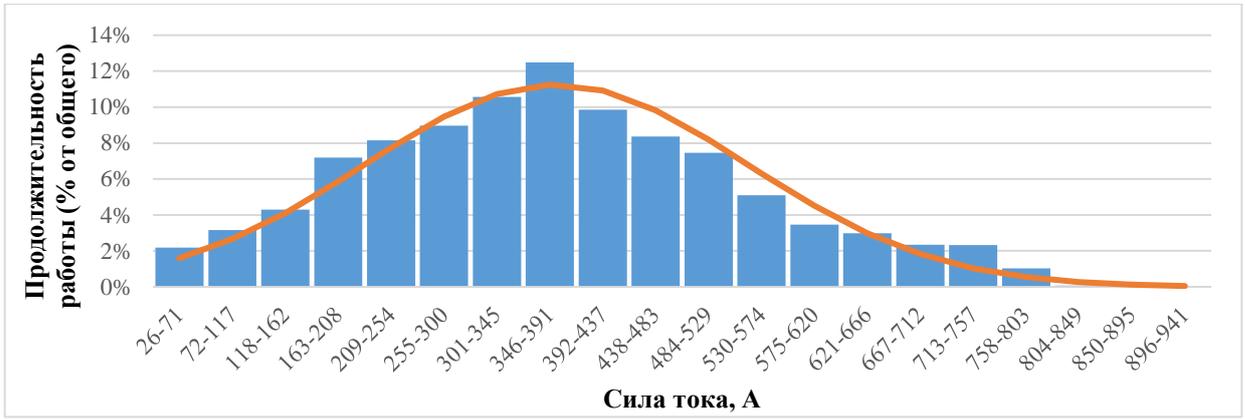
Полигон		Закон распределения				
		Норм.	Гамма	Логнорм.	Экспонен.	Равном.
Все	$\chi^2_{\text{факт}}$	11955	6147162	17730	1128807	724613873
	$\chi^2_{\text{теор}}$	26,3	26,3	26,3	27,6	26,3
Октябрьский	$\chi^2_{\text{факт}}$	4879	719800	6387	219247	46473432
	$\chi^2_{\text{теор}}$	21	21	21	22,4	21
Приволжский	$\chi^2_{\text{факт}}$	7280	2058028	14139	463344	363430324
	$\chi^2_{\text{теор}}$	23,7	23,7	23,7	25	23,7
Свердловский	$\chi^2_{\text{факт}}$	3539	1782927	3596	507934	239549719
	$\chi^2_{\text{теор}}$	19,68	19,68	19,68	21	19,68

Таким образом, преобладание бимодальных и мультимодальных распределений в анализируемом распределении напряжения тягового генератора не позволяет считать их достоверными в соответствии с законом больших чисел, что позволяет сделать вывод о недостаточности разделения режимов работы тепловозов только по принципу их приписки.

Возможным решением проблемы может быть разделение режимов работы тепловозов по плечам обращения и массе поезда, однако подобное исследование требует привлечения данных из систем управления перевозками ОАО «РЖД», что на текущем этапе выполнения работы невозможно.

2.6 СИЛА ТОКА ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Исследование распределения силы тока якорей ТЭД для работы тепловоза в движении (рисунок 2.11) по всем полигонам эксплуатации показало наличие унимодального распределения внешне схожего с нормальным для всех полигонов эксплуатации вместе и для Свердловского полигона в отдельности. На Октябрьском и Приволжском полигонах наблюдается бимодальное распределение. При этом ни одно из распределений не прошло проверку на соответствие известным однопараметрическим законам (таблица 2.7).



г - Свердловский полигон
Рисунок 2.11 – Распределение тока ТЭД

Таблица 2.7 – Результаты проверки распределения токов якоря ТЭД

Полигон		Норм.	Гамма	Логнорм.	Экспонен.	Равномерный
Все	$\chi^2_{\text{факт}}$	21274	9143877	129792	310963	4271948389
	$\chi^2_{\text{теор}}$	27,6	27,6	27,6	28,9	27,6
Октябрьский	$\chi^2_{\text{факт}}$	10978	3612881	60946	166681	341421839
	$\chi^2_{\text{теор}}$	27,6	27,6	27,6	28,9	27,6
Приволжский	$\chi^2_{\text{факт}}$	23943	2797824	94214	144786	803419797
	$\chi^2_{\text{теор}}$	21	21	21	22,4	21
Свердловский	$\chi^2_{\text{факт}}$	8007	2070802	90159	226221	933639347
	$\chi^2_{\text{теор}}$	15,51	15,51	15,51	16,92	15,51

Наблюдаемое полимодальное распределение может быть объяснено влиянием процессов саморегулирования электрической передачи тепловозов, а также высокой чувствительностью тяговых электродвигателей локомотивов к изменениям крутящего момента на валу, вызванных незначительными различиями в массе поезда, условиях его пропуска или влиянием динамических сил, возникающих в процессе движения.

2.7 ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ДВУХДИЗЕЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНОГО ТЕПЛОВОЗА

В п. 2.2 показано, что основное время работа тепловоза происходит на позициях контроллера машиниста (ПКМ) ниже пятнадцатой – 98,6 %. При этом 48 % времени работа происходит на 11-й ПКМ (17 %) и 13-й ПКМ (21 %).

В настоящее время активно обсуждается целесообразность двухдизельного исполнения тепловоза. Такая целесообразность доказана для маневрового тепловоза, т.е. в случае одиночного следования локомотива или с массой состава до 10 вагонов. Для магистральных тепловозов ответить на вопрос о целесообразности двухдизельного исполнения можно только при учёте реальных режимов эксплуатации. В диссертации по статистике времени работы дизеля на различных ПКМ и развиваемой при этом мощности (на холостом ходу мощность на выходе ДГУ равна нулю, поэтому введён поправочный коэффициент) выполнено технико-экономическое обоснование двухдизельного исполнения силовой установки тепловоза. Доказано, что для существующих режимов эксплуатации магистральных тепловозов двухдизельное исполнение целесообразно.

На рисунках 2.12 и 2.13 и таблицах 2.8 и 2.9 приведены основные результаты исследований. Первое, что следует отметить, что распределение времени работы по позициям контроллера машиниста (ПКМ) и соответствующей выработанной энергии существенно отличаются. Работа на холостом ходу составляет 46 % времени, при этом вырабатывается только 2,4 % энергии. На ПКМ 1 – 5 тепловозы работают 28,9 % времени с выработкой 21,4 % энергии. И совсем другая ситуация с высокими ПКМ: на 6 – 10 позициях при работе 12,1 % времени вырабатывается 28,6% энергии, а на ПКМ 11 – 15 при времени работы 13,11 % вырабатывается 48 % энергии. Таким образом, энергетические характеристики тепловоза нельзя учитывать по времени работы по ПКМ, а следует рассчитывать выработанную энергию (совершенную работу).

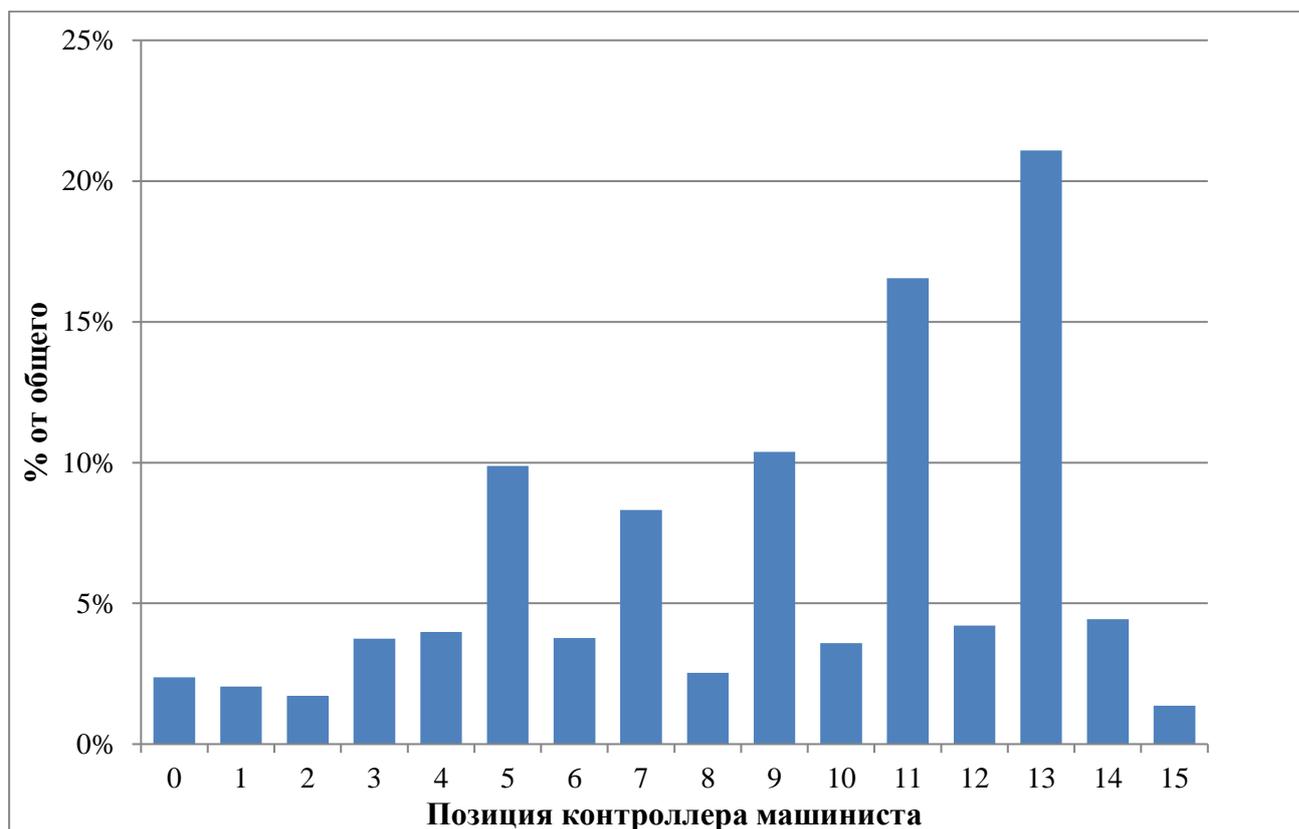


Рисунок 2.12 – Процент выполненной работы на каждой позиции контроллера машиниста

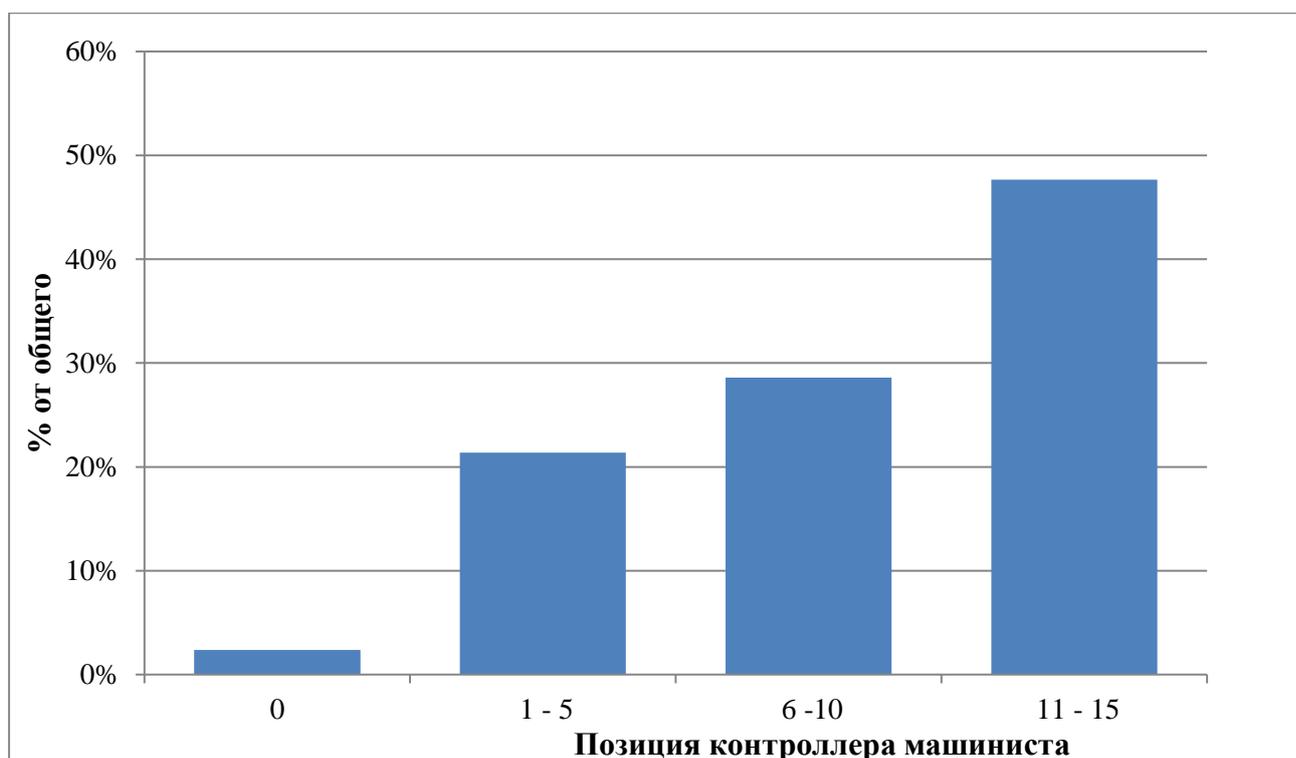


Рисунок 2.13 – Процент выполненной работы на холостом ходу, низких, средних и высоких позициях контроллера машиниста [89]

Таблица 2.8 – Анализ работы тепловозов по позициям [89]

Позиция контроллера машиниста	Время работы, секунды	Время работы, %	Номинальная мощность, кВт	Работа, кВт·ч	Работа, %
0	2 960 805	46	25	20 561	2,4
1	607 809	9,42	105	17 728	2,1
2	289 153	4,48	185	14 859	1,7
3	343 075	5,32	340	32 402	3,7
4	225 480	3,50	550	34 448	4,0
5	397 013	6,16	775	85 468	10
6	123 437	1,91	950	32 574	3,8
7	245 457	3,81	1055	71 933	8
8	67 184	1,04	1175	21 928	2,5
9	263 650	4,09	1225	89 714	10
10	81 308	1,26	1375	31 055	3,6
11	338 944	5,25	1520	143 110	17
12	75 045	1,16	1745	36 376	4,2
13	345 435	5	1900	182 313	21
14	66 906	1,04	2065	38 378	4,4
15	19 286	0,30	2210	11 839	1,4
Всего	6 449 987	100		864 686	100

Таблица 2.9 – Анализ объема работы тепловозов по группам позиций [89]

ПКМ	Время работы, %	Работа, %
0	46	2,4
1 – 5	28,88	21,4
6 – 10	12,11	28,6
11 – 15	13,11	48

И совсем другая ситуация с высокими ПКМ: на 6 – 10 позициях при работе 12,1 % времени вырабатывается 28,6% энергии, а на ПКМ 11 – 15 при времени работы 13,11 % вырабатывается 48 % энергии. Таким образом, энергетические характеристики тепловоза нельзя учитывать по времени работы по ПКМ, а следует рассчитывать выработанную энергию (совершенную работу).

Наибольшая работы выполняется на 13-й позиции (21 %), при том, что по времени 13-я позиция составляет всего 5%. Очевидно, что максимальный к.п.д. следует настраивать на 13-ю ПКМ. Также следует отметить работу на 11-й ПКМ (17 % и 5,25 %), 9-й ПКМ (10 % и 4,09 %), 7-й ПКМ (8 % и 3,81 %) и 5-й ПКМ (10 % и 6,2 %). В п.2.2 на основании анализа распределения времени работы по позициям контроллера обоснован вывод о преобладании в работе машиниста нечётных позиций (73 % времени, не считая холостого хода). Объём работы на нечётных позициях составляет 73 % (75 % без учёта холостого хода). Таким образом, целесообразно исследовать возможность применения схемы управления с семью ходовыми позициями на перспективных тепловозах. Подобное решение позволит уменьшить время принятия решения машинистом в процессе управления тепловозом. В то же время, для тепловозов с поосным регулированием или асинхронным приводом уменьшение количества ходовых позиций не повлияет на склонность к боксованию.

Однако следует отметить, что 13-я самая ходовая позиция в ряде случаев не является таковой. Анализ показал (таблица 2.10), что из-за мультимодальности исходных данных не во всех поездках максимальная работа выполняется на 13-й позиции: из 782-х рассмотренных поездок в 65 % случаях вообще не было работы на 13-й ПКМ. Более 50 % общей работы на 13-й позиции совершено в 8,8 % случаев. Среднестатистическое значение 21 % было достигнуто в 20,7 % случаев. Таким образом, целесообразно рассмотреть возможность повышения энергоэффективности тепловозов за счёт применения двух ДГУ вместо одного.

Вывод подтверждается статистическими данными по 15-й ПКМ (таблица 2.11): в 94,63 % поездок работы на 15-й ПКМ не было. Нет ни одного случая, чтобы на 15-й ПКМ совершалось более 50% работы. Также остаётся очень большим процент работы на холостом ходу (таблица 2.11): при среднем времени работы на холостом ходу в 46% и средней выработанной энергии в 2,4 % в 34,9 % поездок работа на 0-й ПКМ составила более 10 %.

Таблица 2.10 – Объем работы на 13-й позиции в процентах от числа поездок [89]

Работа, %	Случаев, поездок	Случаев, %
0	508	64,96
1 – 10	53	6,78
11 – 20	59	7,54
21 – 30	42	5,37
31 – 40	34	4,35
41 – 50	17	2,17
51 – 60	28	3,58
61 – 70	22	2,81
71 – 80	13	1,66
81 – 90	5	0,64
90 – 100	1	0,13
ВСЕГО	782	100

Таблица 2.11 – Объем работы на 15-й позиции в процентах от числа поездок [89]

Работа, %	Случаев, поездок	Случаев, %
0	740	94,63
1 – 10	16	2,05
11 – 20	9	1,15
21 – 30	8	1,02
31 – 40	5	0,64
41 – 50	5	0,64
51 – 60	0	0,00
61 – 70	0	0,00
71 – 80	0	0,00
81 – 90	0	0,00
90 – 100	0	0,00
ВСЕГО	782	100

Таблица 2.12 – Время работы на нулевой позиции в процентах от числа поездок [89]

Работа, %	Случаев, поездок	Случаев, %
1 – 10	551	70,5
11 – 20	101	12,9
21 – 30	41	5,2
31 – 40	28	3,6
41 – 50	31	3,9
51 – 60	28	3,6
61 – 70	15	1,9
71 – 80	7	0,9
81 – 90	6	0,8
90 – 100	17	2,1
ВСЕГО	782	100

Примечание: выявлено преобладание работы на нечётных позициях контроллера машиниста тепловозов. Анализ конструкции локомотива и выполненный опрос локомотивных бригад не позволили получить ответ: так, выдвигавшийся опрошенными аргумент о большей экономичности работы дизеля на нечётных позициях не был подтверждён ни статистикой расхода топлива, ни анализом конструктивных особенностей дизель-генераторной установки 18-9ДГ. Одна из версий предполагала ошибочное мнение о неэффективности чётных позиций, имеющее место у электровозов переменного тока серий ВЛ80К, ВЛ80Т и ВЛ80С.

На основании унимодальности данных по ПКМ с 3-й по 7-ю, вывод о наибольшей работе на 13-й ПКМ, преобладании нечётных позиций (5, 11, 13), а также о преобладании работы на холостом ходу теоретически подтверждена экономическая эффективность двухдизельного тепловоза на основании анализа характеристик дизелей семейства Д49 (рисунок 2.14): поскольку наименьшее удельное потребление топлива достигается на высоких позициях контроллера (при выходной мощности на зажимах тягового генератора более 1500 кВт), то в настоящее время максимальная эффективность достигается на позициях контроллера, время работы на которых относительно мало [89]. Это, в свою очередь, приводит как к повышенному расходу топлива, так и к уменьшению

ресурса топливной аппаратуры и клапанов вследствие накопления продуктов неэффективного сгорания топлива.

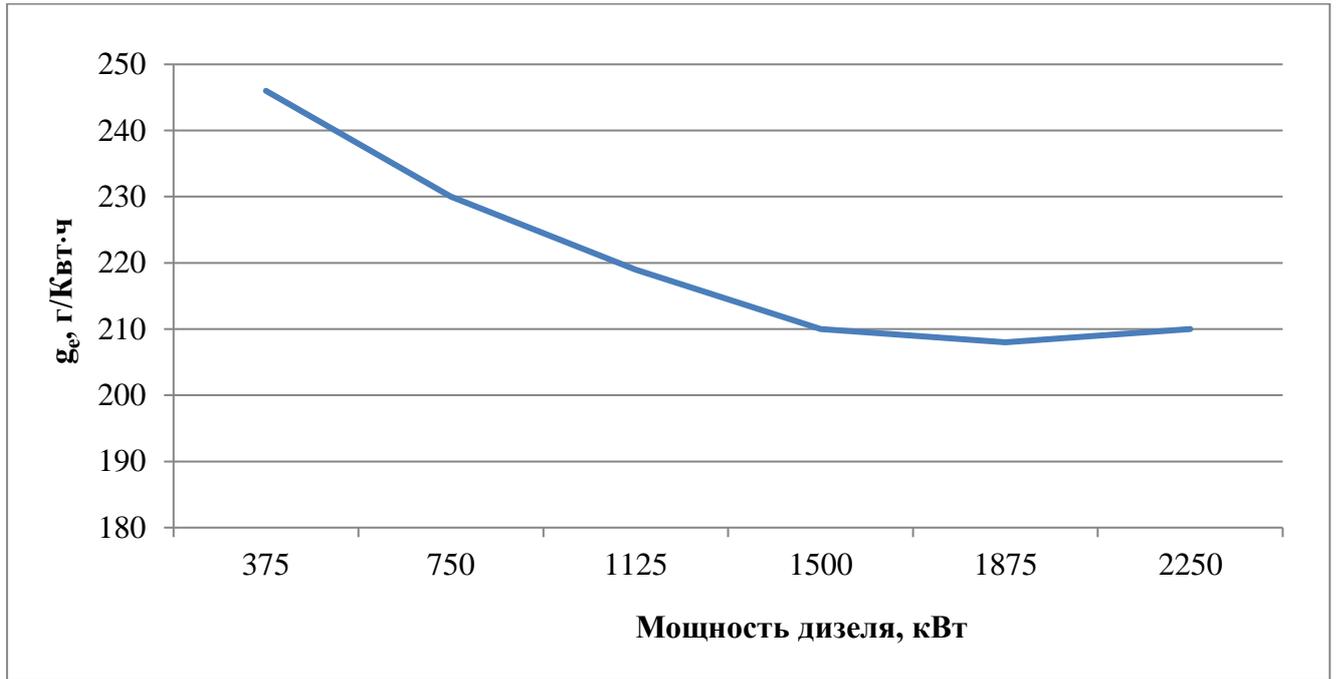


Рисунок 2.14 – Удельный расход топлива g_e (г/кВт·ч) в зависимости от мощности дизеля (кВт) для дизель-генераторной установки 1А-9ДГ [89]

В рамках исследования многодизельной схемы тепловоза, на основании статистически определённых значений скорости, позиции контроллера и тяговой мощности, полученных по данным реальных поездок, выполнен расчет потребления топлива двухдизельной секцией тепловоза.

Для решения поставленной задачи получены характеристики удельного потребления топлива и выполнен расчёт потребления топлива секцией тепловоза за поездку для двух алгоритмов управления дизелями:

- распределённого алгоритма (на каждой ПКМ оба дизеля дают на выходе одинаковую мощность);
- алгоритм «Подхвата» (с 1-й по 7-ю ПКМ работает только один дизель, далее, для удовлетворения возросшей потребности запускается и включается в работу второй).

Полученные в результате исследования значения удельного потребления топлива по позициям контроллера (рисунок 2.15) подтвердили уменьшение потребления топлива на 4-й – 5-й ПКМ, на которых дольше всего работают тепловозы.

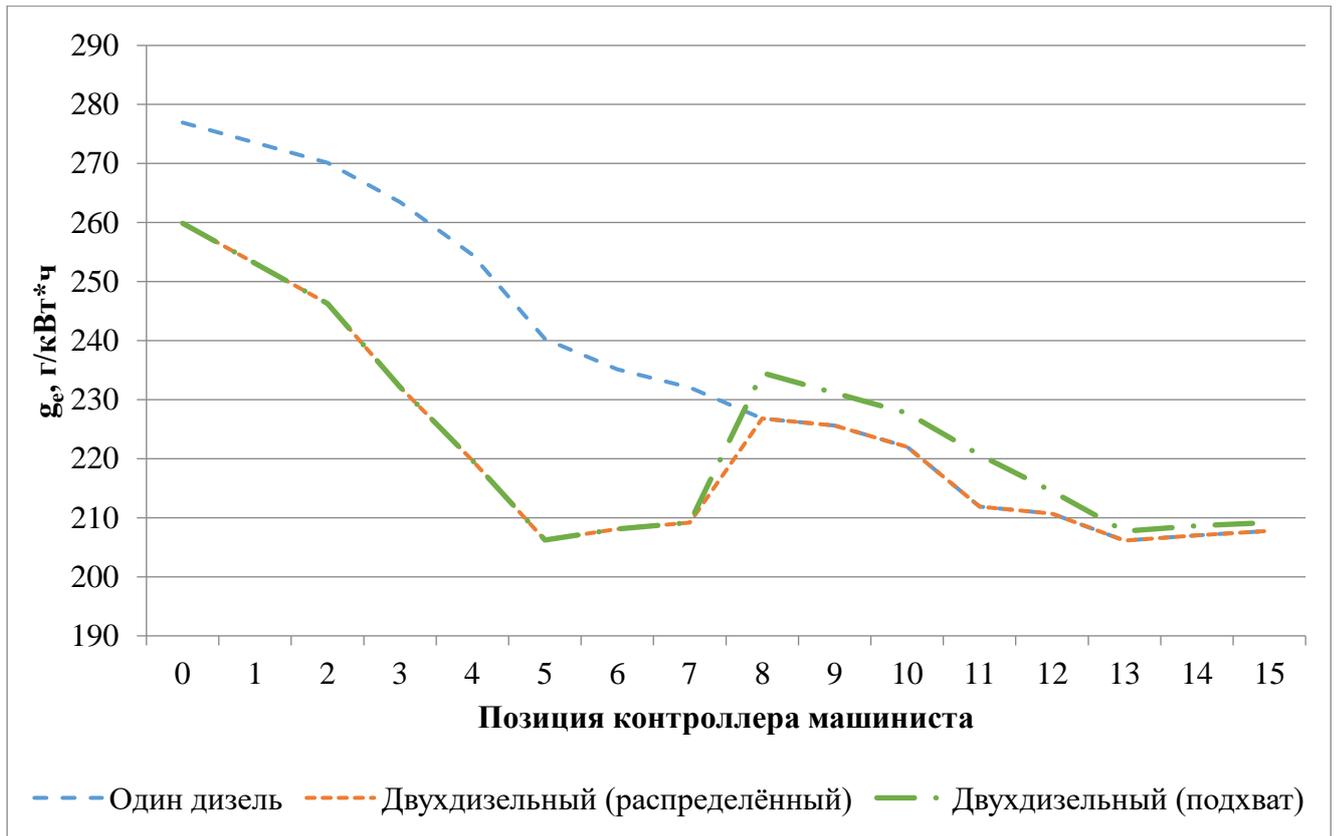


Рисунок 2.15 – Удельный расход топлива (g_e) на позициях контроллера для различных алгоритмов управления дизелями двухдизельного тепловоза в сравнении с однодизельной схемой

Для анализа экономии топлива от применения двухдизельной схемы на основании полученных значений удельного потребления топлива и работы по позициям контроллера, рассчитан расход топлива тепловозом за поездку по позициям контроллера для различных алгоритмов управления дизелями. Приведённое на рисунке 2.16 сравнение расхода показало наличие существенной экономии топлива в диапазоне 3-й – 7-й ПКМ при незначительном повышении расхода на 11-й ПКМ. Выполненный анализ показал, что максимальной экономии топлива (4,5 %) позволяет достичь применение распределённого алгоритма.

На втором этапе работ определено оптимальное соотношение мощности силовых установок для алгоритма «подхвата». Проведён расчёт работы секции тепловоза с различным соотношением мощности дизелей. В результате установлено, что наибольшая экономия топлива достигается при соотношении мощности дизелей 1:1, при 50 % мощности каждого Д49 (рисунок 2.17).

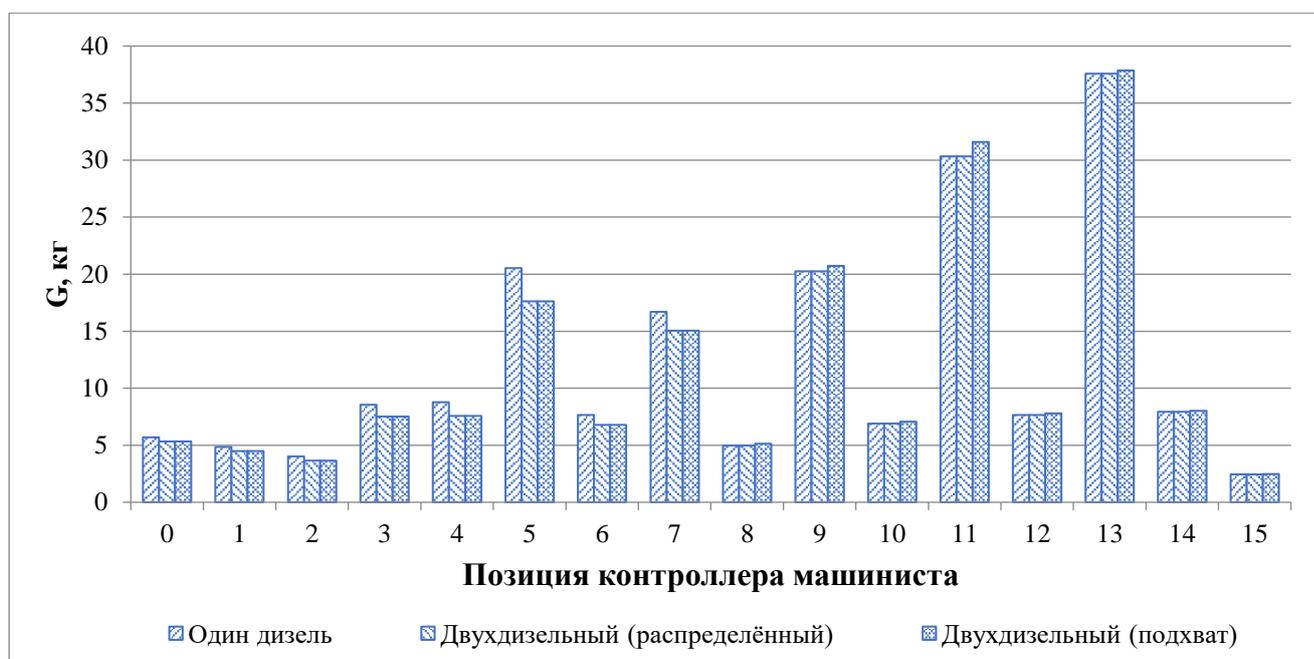


Рисунок 2.16 – Сравнение расхода топлива G (кг) по позициям контроллера для различных алгоритмов управления дизелями двухдизельного тепловоза в сравнении с однодизельной схемой

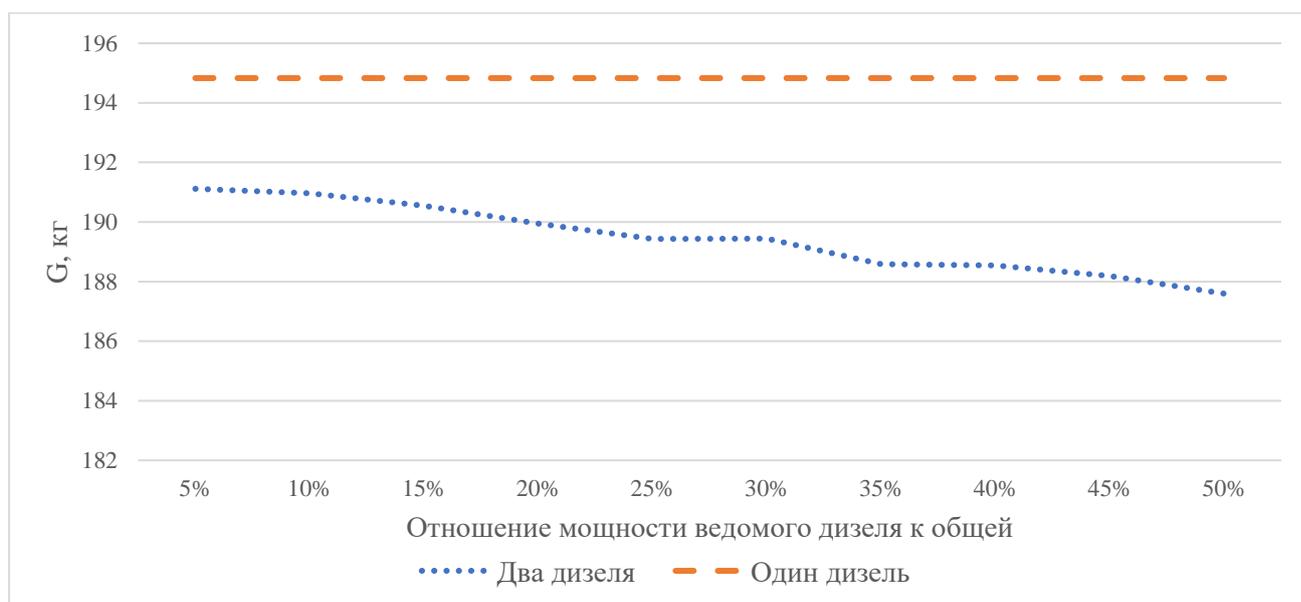


Рисунок 2.17 – Сравнение расхода топлива G (г) для двух дизельной схемы (в зависимости от отношения мощности ведомого дизеля к общей) с одно дизельной схемой

Применение двухдизельного исполнения тепловоза для статистически определённых режимов эксплуатации (по данным МСУ-ТП) по предложенным алгоритмам управления позволит получить экономию топлива в объёме 3,5 %.

Полученные в диссертации результаты являются примером эффективности использования данных бортовых МСУ для оптимизации конструкции локомотивов с учётом реальных режимов их эксплуатации.

Примечание: задача повышения эффективности магистральных тепловозов за счет применения многодизельных установок, как и за счет неравномерного нагружения секций ставилась и решалась неоднократно [45, 80]. Новизна предлагаемого подхода заключается в следующем: результаты были получены на основании статистики. На основании этих данных рассчитан потенциальный расход топлива многодизельным тепловозом.

2.8 ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 2

По результатам проведённого исследования режимов работы тепловозов серии 2ТЭ116У по данным МСУ-ТП по трём полигонам обращения [89] локомотивов сделаны следующие выводы.

- 1 Использование данных бортовых микропроцессорных систем управления (МСУ) тепловозов позволяют получить новые данные об условиях их эксплуатации, которые могут быть использованы для оптимизации тяговых и энергетических характеристик тепловозов при их проектировании.
- 2 Режим холостого хода составляет до 47 % времени эксплуатации тепловоза, поэтому при анализе тяговых характеристик локомотива следует выделять режимы работы при ненулевой скорости и ненулевой позиции контроллера машиниста.
- 3 В тяге машинисты предпочитают использование нечётных позиций контроллера машиниста, что подтверждает возможную целесообразность использования 7-и позиций (как у тепловозов GE, США) вместо имеющихся 15.
- 4 Все полученные результаты не проходят проверку на унимодальность. Тем не менее, в качестве основных режимов эксплуатации можно выделить следующие:
 - 4.1 Скорость движения 21 км/ч для Октябрьского, 55 км/ч для Приволжского и 66 км/ч для Свердловского полигонов эксплуатации является наиболее распространённой. Относительно низкая скорость движения тепловозов на Октябрьском полигоне эксплуатации может быть объяснена преобладанием в эксплуатации тепловозов вывозной работы и работы на малодейственных участках, скорость движения по которым ограничена по состоянию пути.

- 4.2 Преобладает работа на нулевой позиции контроллера машиниста (ПКМ) для всех полигонов. По времени преобладает работы на нечётных ПКМ (69 %).
 - 4.3 Преобладает частота вращения коленчатого вала дизеля 350 об/мин, что соответствует работе на ПКМ 0 или 1. В тяговом режиме преобладает по времени частота вращения 750 – 800 об/мин.
 - 4.4 Преобладает напряжение на зажимах тягового генератора 100 – 149 и 420 – 500 В.
 - 4.5 Преобладает ток якоря ТЭД 350 – 400 А, кроме Приволжского полигона, для которого характерны токи 250 и 500 А.
 - 4.6 Преобладает тяговая мощность 150 и 900 кВт.
 - 4.7 На Приволжском и Свердловском полигонах преобладает по времени работа на 11-й и 13-й ПКМ. На Октябрьском полигоне характерна максимальная работа на 5-й ПКМ.
- 5 Нормальным (или близким к нормальному) законом распределения могут быть охарактеризованы параметры напряжения тягового генератора и тока якоря ТЭД тепловоза. Для исследования скорости движения тепловоза необходимо выявить критерии для разделения бимодального распределения скоростей на унимодальные, что позволит получать достоверные результаты при применении статистических методов диагностирования.
 - 6 По данным статистики эксплуатации показана практическая целесообразность двухдизельного исполнения секции магистрального грузового тепловоза.

3 РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПО ДАННЫМ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЗОВ

3.1 МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД

Для использования диагностических данных МСУ локомотивов предложен алгоритм действий (рисунок 3.1): данные МСУ, полученные при заходе локомотива на сервисное обслуживание (1), расшифровываются (2). Выявленные при расшифровке замечания вносятся в информационную единую систему мониторинга технического состояния локомотивов ЕСМТ (3) [5]. Список замечаний экспортируется в систему управления ремонтом локомотивов (ТУ-28Э), где формируется перечень вероятных отказов (4).



Рисунок 3.1 – Предлагаемый алгоритм использования данных МСУ в диагностике

Помимо описания возможного отказа и его признаков, перечень содержит указание возможных работ по устранению отказа, из которого технолог имеет возможность выбрать работы для назначения нарядов (5). Помимо указанных в списке отказов у специалиста депо есть возможность назначить другие работы на

своё усмотрение. Также, в системе предусмотрена возможность заблаговременно оценить и сформировать перечень необходимых для ремонта материалов и комплектующих на основании статистики предыдущих ремонтов (6) с её дальнейшим направлением в систему управления снабжением депо (7) для организации заблаговременной поставки.

Обратно в систему возвращается информация о фактически выполненных работах и установленных запчастях (8), которая используется для накопления статистики и формирования списка вероятных отказов (9) при выявлении следующего подобного инцидента.

3.2 ПРЕДОТКАЗНЫЕ СОСТОЯНИЯ

3.2.1 Определение понятий «Предотказ» и «Предотказное состояние»

ГОСТ 20911-89 «Техническая диагностика. Термины и определения» [37] определяет виды технического состояния объекта диагностирования.

- 1 Исправное состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации [37].
- 2 Неисправное состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации [37].
- 3 Работоспособное состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации [37].
- 4 Неработоспособное состояние объекта, при котором значения хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации [37].
- 5 Предельное состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно [37].

Однако опыт диагностирования локомотивов показывает [101], что такой подход малоэффективен поскольку термин «Предельное состояние» в существующей редакции неприменим т.к. оборудование локомотива не может эксплуатироваться в неработоспособном состоянии.

Для решения проблемы неоднозначности термина «Неисправное состояние» в рамках разработок кафедры «Электропоезда и локомотивы» Российского университета транспорта в области диагностирования локомотивов [192] на основании ОСТ 1 02776-2001 «Эксплуатация техническая авиационной техники по состоянию: основные термины и определения» введено понятие «Предотказное состояние», при котором изделие остаётся работоспособным, но его определяющий(ие) параметр(ы) имеет(ют) значение, находящееся в поле, устанавливаемого в эксплуатационной или ремонтной документации упреждающего допуска, или при котором само изделие имеет контролируемый отказ допустимого числа элементов из внутреннего резерва работоспособности изделия [128]. В ГОСТ 20911-89 [37] предотказное состояние определено как повышенный риск отказа, однако такое определение неудобно при практической работе.

Применение этого термина в условиях сервисного обслуживания оказывается весьма удобным т.к. опыт показывает [99 – 100] удобство применения этого термина в ситуации, когда выявленная неисправность не влияет на возможность эксплуатации локомотива в целом, однако может приводить к изменению характеристик работы отдельных его узлов и агрегатов. Например, повышение температуры выхлопных газов на выходе из цилиндра свидетельствует о наличии каплепадения по форсунке и, несмотря на то что данная неисправность не приводит к снижению мощности дизеля ниже допустимых пределов, может свидетельствовать о скором выходе форсунки из строя (Это и есть параметрический отказ).

Таким образом, под термином «Предотказ» и «Предотказное состояние» будет пониматься следующие ситуации:

- неисправность наступила и проявляет себя через выход параметров за допуск по данным МСУ, но работоспособность локомотива сохранилась;

- параметры в норме, но есть тренд параметра к выходу за пределы, при этом неисправность уже есть.

Примечание: т.к. с точки зрения сервисного обслуживания оборудование локомотива рассматривается как «чёрный ящик», свойства которого остаются до конца не изученными, согласно ГОСТ 20911-89 [37] и ряда отраслевых стандартов [129] предотказное, как и неисправное состояние не является отказом, т.к. теперь отказом считается потеря работоспособности. Например, локомотив с одним неисправным цилиндром дизеля может успешно вести поезд, машинист может даже не заметить неисправность. Но при этом на очередном плановом ремонте локомотив нуждается в дополнительном сверхцикловом ремонте – замене цилиндра (крышки цилиндра).

В рамках концепции АСУНТ ООО «ТМХ-Сервис» [98], обнаружение предотказных состояний позиционировалось как основной способ использования данных, получаемых с МСУ локомотивов. Поскольку отказ проще предотвратить, чем устранить, в рамках работы предполагалось анализировать данные МСУ подобно анализу данных реостатных испытаний с целью обнаружения признаков отказа, и заносить их в ЕСМТ в качестве единичных инцидентов. По мере наработки методики обнаружения предотказных состояний, осуществлялась автоматизация их поиска путём написания соответствующих алгоритмов для АРМ диагноста. При заходе тепловоза в депо, по номеру секции локомотива из ЕСМТ экспортировался уже готовый список предотказных состояний, в соответствии с которыми и планировалось производить техническое обслуживание и ремонт. Технология использования данных диагностики при проведении технического обслуживания и ремонта описана в разделе 4.

В следующих подразделах описаны часто встречающиеся предотказные состояния, характерные для серии тепловозов 2ТЭ116У и выявленные в процессе настоящего исследования.

3.2.2 Нестабильная мощность ДГУ на позиции

В МСУ-ТП параметр «Мощность ДГУ» является расчётным, т.е. определяется как произведение измеренных суммарного тока 6 каналов выпрямителя и напряжения тягового генератора. На рисунке 3.2 значения параметра «Мощность ДГУ» на выходе тягового генератора ($P_{\text{тяг}}$) на протяжении короткого промежутка времени циклически изменяются при неизменных значениях параметров позиции контроллера машиниста (Nkm) и частоты вращения коленчатого вала дизеля («Обор.диз.регул»).



Рисунок 3.2 – Нестабильная мощность ДГУ на позиции

С точки зрения диагностирования, параметр «Мощность ДГУ» является интегральным, позволяя судить об общем состоянии дизель-генераторной установки без локализации места неисправности.

Предлагается следующий способ диагностирования дизель-генераторной установки: в установившемся режиме (неизменная позиция контроллера на протяжении более 90 секунд при отсутствии включения мотор-компрессора и мотор-вентиляторов) контролируется производная от параметра мощности ДГУ. Если производная изменила свой знак более 3 раз за минуту – выдаётся тревожное сообщение «Нестабильная мощность ДГУ на позиции».

3.2.3 Заниженная мощность ДГУ

Следующий показатель предотказного состояния – «Заниженная мощность ДГУ» тепловоза. На рисунке 3.3 мощность ДГУ $P_{\text{тяг}} = 1942$ кВт, при минимальном значении для 15-й позиции контроллера машиниста ($N_{km} = 15$) и частоты вращения коленчатого вала дизеля («Обор.диз.регул» = 1000 об./мин.) $P_{\text{тяг мин}} = 2052$ кВт.

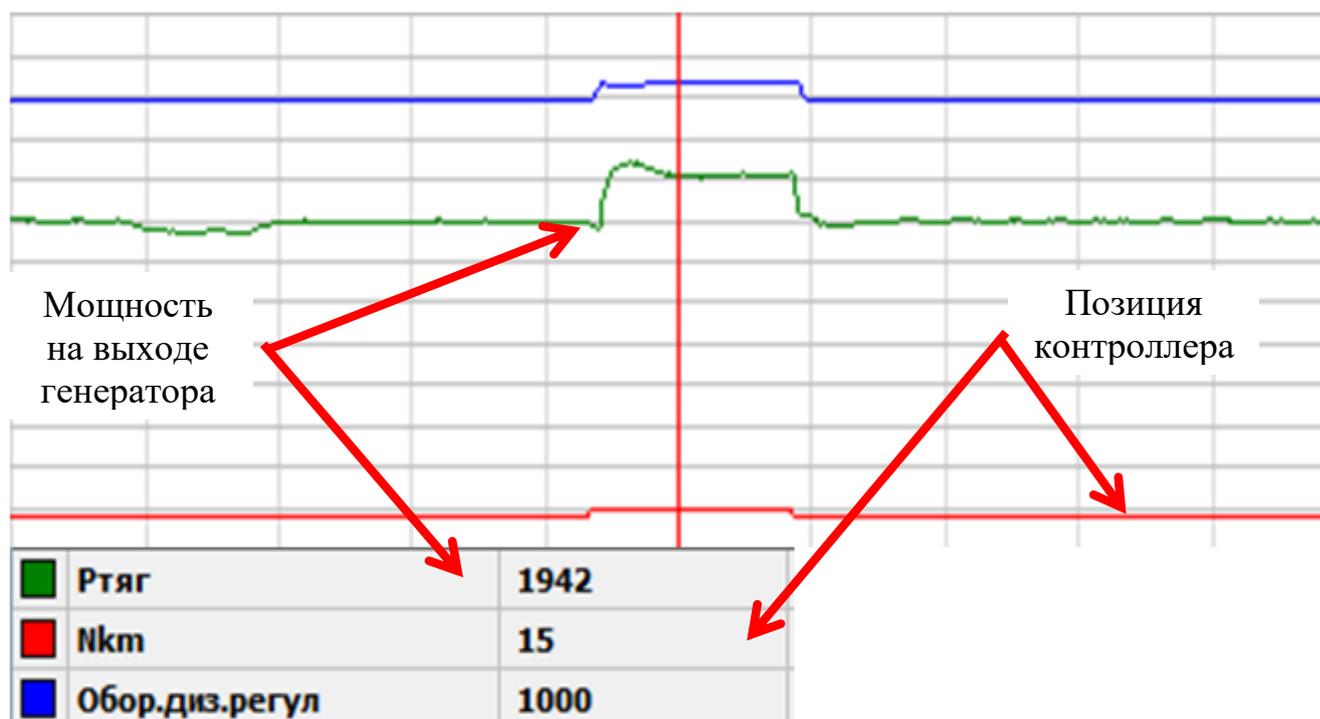


Рисунок 3.3 – Заниженная мощность ДГУ на позиции

Поскольку соблюдение заданной мощности ДГУ является целевой функцией дизель-генераторной установки, а её значение регламентировано Руководством по эксплуатации тепловоза, поиск сводится к сравнению имеющейся мощности с регламентным значением.

Предлагается следующий способ диагностирования дизель-генераторной установки: в установившемся режиме (неизменная позиция контроллера на протяжении более 90 секунд при отсутствии включения мотор-компрессора и мотор-вентиляторов) контролируется соответствие мощности тягового генератора допускам, установленным руководством по ремонту (для каждой позиции контроллера). При выходе значения мощности за заданный допуск выдаётся тревожное сообщение «Занижена мощность тягового генератора» или «Превышена мощность тягового генератора».

3.2.4 Превышение допустимой температуры выхлопных газов

Уникальной особенностью МСУ разработки АО «ВНИКТИ», к которым относится и МСУ-ТП, является возможность контролировать температуру газов на выходе из цилиндров [9], что позволяет не только локализовать место отказа, но и заблаговременно выявлять опасные процессы в цилиндропоршневой группе дизеля и его топливной аппаратуре. На рисунке 3.4 температура газов на входе в турбокомпрессор превышает допустимую, что свидетельствует об аномальных деструктивных процессах, имеющих место в системе воздухообеспечения.



Рисунок 3.4 – Превышение допустимой температура газов по цилиндрам

Предлагается следующий способ диагностирования дизеля и турбокомпрессора: при превышении температурой газов значения 620 °С (для цилиндров дизеля) или 650 °С (для турбокомпрессора) выдаётся тревожное сообщение «Превышена температура газов на выходе из цилиндра» или «Превышена температура газов на входе турбокомпрессора».

3.2.5 Предотказное состояние одного цилиндра

Проведённые исследования показали, что температура выхлопных газов цилиндров дизеля (рисунке 3.5) – достаточно информативный диагностический параметр. Отклонение температуры выхлопа у одного цилиндра по сравнению со всеми – признак наличия неисправности в этом цилиндре, при этом дополнительной диагностики для устранения предотказного состояния не требуется.

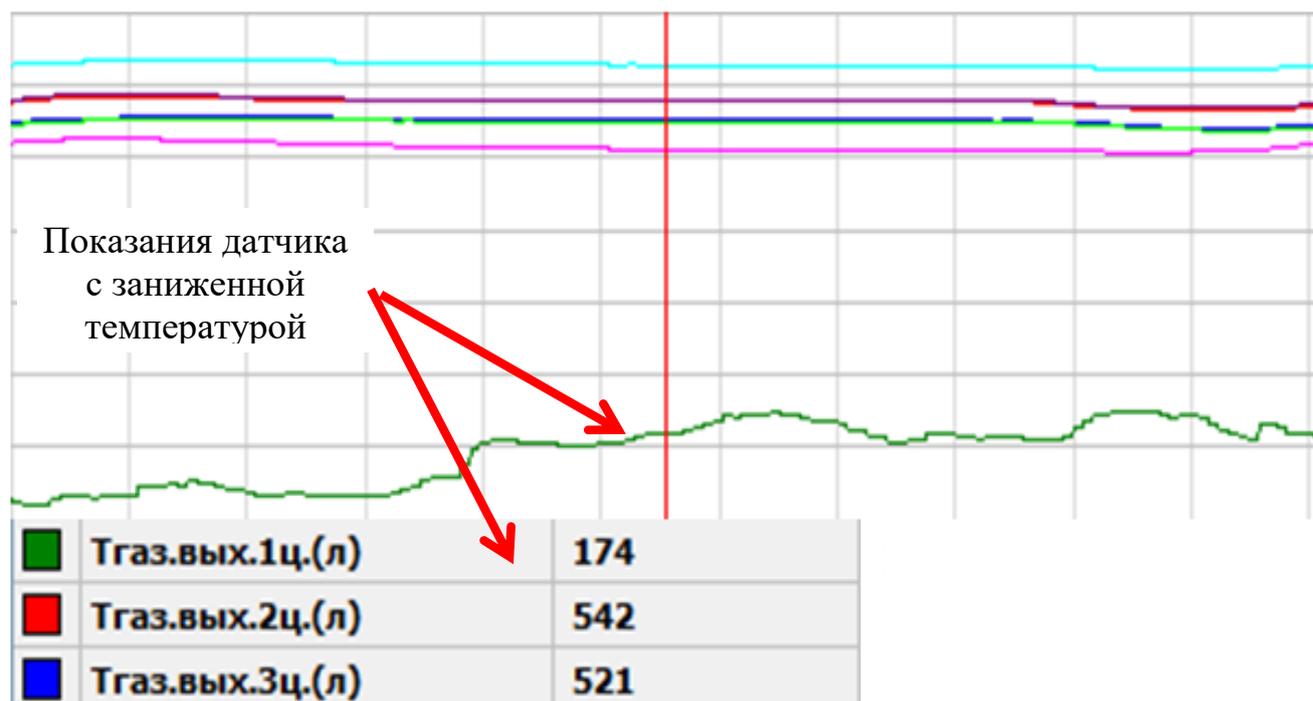


Рисунок 3.5 – Превышение допустимого разброса температур выхлопных газов

В примере по рисунку 3.5 неисправного цилиндра: температура газов в первом левом цилиндре меньше аналогичных значений для соседних цилиндров более чем на 300 °С. В примере неисправность оказалась в форсунке.

Предлагается следующий способ диагностирования цилиндров дизеля: для значений параметра позиции контроллера выше 4 контролируется температура газов на выходе из каждого цилиндра. Если температура газов ниже 200 °С на протяжении более 30 секунд – выдаётся тревожное сообщение «Занижена температура газов на выходе цилиндра».

Следует отметить, что эффективность диагностирования по температуре выхлопа ограничивается низкой надёжностью самих датчиков температуры.

3.2.6 Броски тока ТЭД

На рисунке 3.6 при одинаковой скорости вращения колёсных пар (боксование или юз отсутствуют), ток 4-го тягового электродвигателя (ТЭД) резко изменяется. Ток других двигателей меняется синхронно.

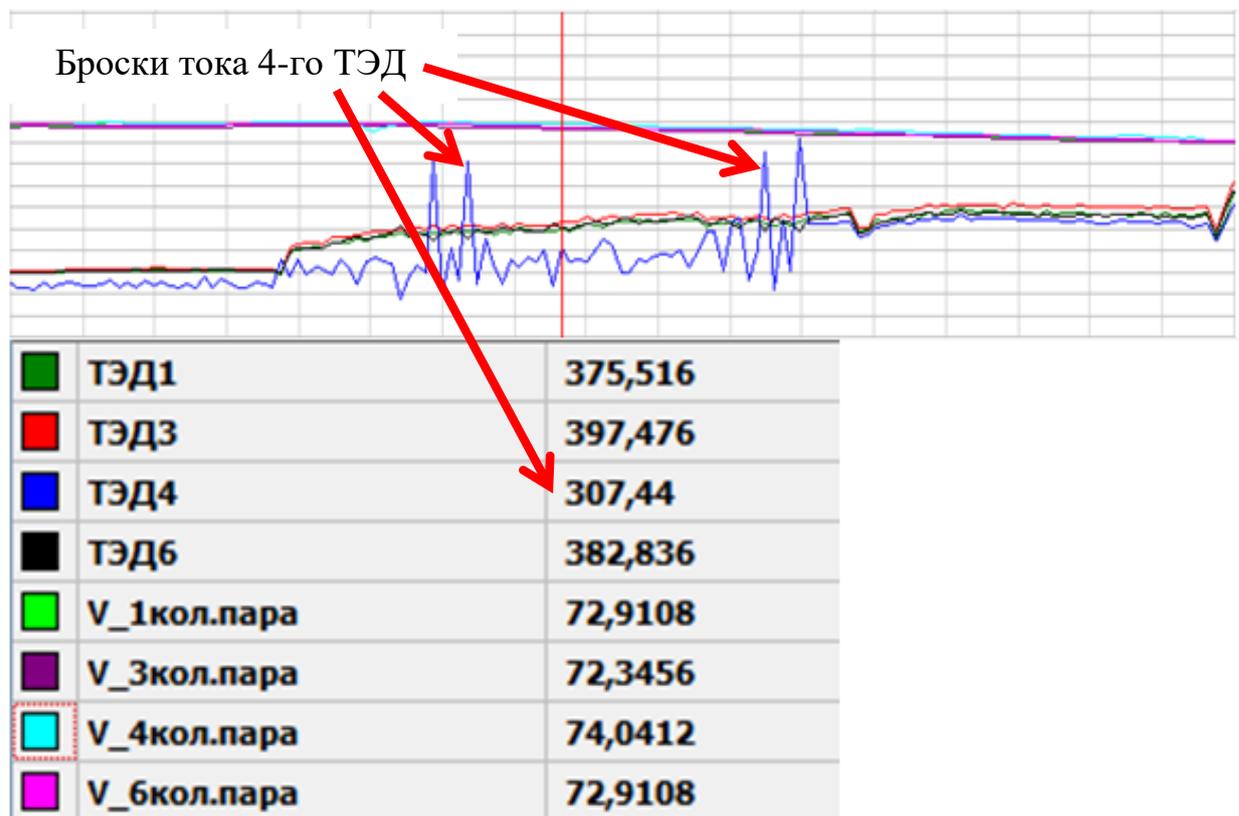


Рисунок 3.6 – Броски тока в цепи тяговых электродвигателей

Причиной предотказного состояния может быть неисправность щётчного узла коллектора с повышенным искрением и склонностью к круговому огню по коллектору.

Предлагается следующий способ диагностирования тяговых электродвигателей: при неизменном значении параметра включения контакторов ослабления поля и отсутствии сигнала боксования, контролируется темп изменения параметра тока ТЭД. Если значение тока изменяется более чем на 150А за секунду – выдаётся тревожное сообщение «Бросок тока ТЭД».

3.2.7 Превышение допустимого разброса токов ТЭД

Следующий показатель предотказного состояния – разброс токов тяговых электродвигателей (ТЭД). На рисунке 3.7 приведён пример разности токов первого и третьего ТЭД на 120,8 А (22,3 %) при допустимом разбросе 12 %. При этом значения токов ТЭД меняются синхронно.

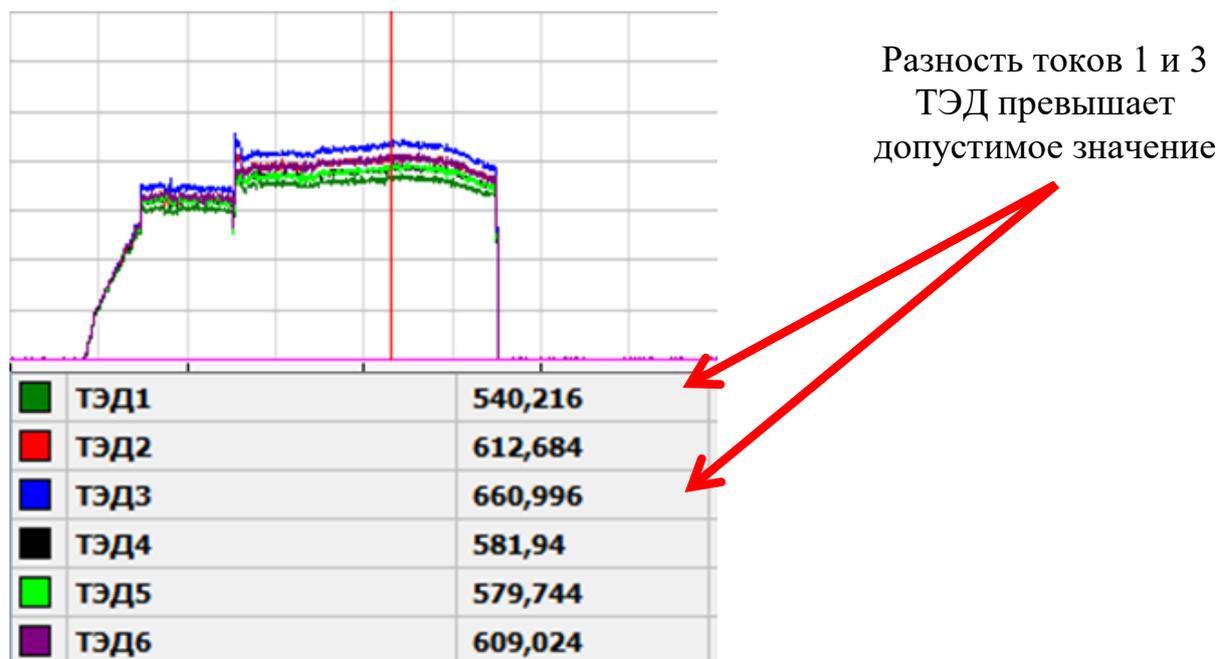


Рисунок 3.7 – Превышение допустимого разброса напряжений ТЭД

Разброс токов ТЭД может быть признаком следующих предотказных состояний [114]:

- разброс диаметров бандажей колёсных пар (деградационный отказ);
- разброс характеристик ТЭД (конструкционный и производственный отказы);
- одновременное действие перечисленных причин: это пример ситуации, когда каждый параметр в отдельности находится в допуске, а в сумме приводят к предотказных состояний.

Предлагается следующий способ диагностирования тяговых электродвигателей: при отсутствии сигналов боксования и отключения ТЭД, а также одинаковых значениях углов открытия тиристоры выпрямительной установи контролируется разность значений каждого тока ТЭД и среднего значения тока. При превышении разностью значения 12% от максимального тока выдаётся тревожное сообщение «Превышен разброс токов ТЭД».

Примечание: разброс токов ТЭД имеют место достаточно часто.

3.2.8 Эффективность диагностирования предотказных состояний

Работа с данными МСУ тепловозов позволяет не только своевременно выявлять отказы оборудования, но и обнаруживать опасные процессы до момента наступления отказа, что при своевременной постановке на ремонт позволяет избежать дорогостоящего отказа оборудования.

Предлагается следующий способ диагностирования силовых электрических аппаратов: если в течение 10 секунд параметр включения аппарата менял значение более 5 раз – выдаётся тревожное сообщение «Нарушение цепи в контактах электрического аппарата».

Накапливая статистику проявления предотказных состояний с регистрацией последовавшего отказа, можно составлять алгоритмы диагностирования предотказов с последующим предотвращением отказа на этапе планово-предупредительных технического обслуживания и ремонта. А по тренду параметров можно прогнозировать остаточный ресурс оборудования. Фактически произойдёт частичный переход на систему предиктивного ремонта.

3.3 СОКРАЩЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ РЕОСТАТНЫХ ИСПЫТАНИЙ

3.3.1 Загруженность станций реостатных испытаний

Станции реостатных испытаний являются обязательным элементом тепловозных ремонтных депо, предназначены для наладки дизель-генераторных установок (ДГУ) после ремонтов объёма ТР-2, ТР-3, СР, КР [157]. Также используются для диагностирования ДГУ до и после устранения отказа или предотказного состояния. В большинстве депо пропускная способность станции реостатных испытаний является лимитирующим элементом системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР), сдерживающим выпуск локомотива на линию в исправном состоянии. Уменьшить объём штатных реостатных испытаний нельзя, но разгрузить станции реостатных испытаний можно за счёт использования диагностических данных МСУ по итогам первой после ремонта поездки. При текущем количестве в 4 – 6 испытаний в день необходимо уменьшить продолжительность одного испытания до 30 – 40 минут при сохранении объёма поступающей с тепловоза информации.

Расчёт плановой загруженности станции реостатных испытаний выполнен на примере плана проведения ТОиР СЛД-88 «Тында Северная» (таблица 3.1). По данным плановой загруженности и данных по продолжительности испытаний в год рассчитана суммарная продолжительность реостатных испытаний после каждого вида ТОиР по сериям тепловозов. Исходя из предположения, что станция реостатных испытаний работает непрерывно (24 часа в сутки 365 дней в году), вычислена производительность одной позиции станции реостатных испытаний:

$$W_{\text{реос}} = 24 * 365 = 8760 \text{ часов в год.} \quad (3.1)$$

Далее по данным таблицы 3.1 вычислена суммарная загрузка реостата по сериям тепловозов. По производительности одной позиции станции реостатных испытаний (1) вычисляется требуемое количество позиций по типам тепловозов (таблица 3.2). Принято окончательное количество позиций 3 шт.:

- позиции под тепловозы серии 2(3)ТЭ10М (У, МК);
 - 1 позиция под тепловозы ТЭП70БС, 2ТЭ25А, ТЭМ2(3).

Таблица 3.1 – План ТОиР в ТЧР-36 «Тында-Северная» на 2013г. [95]

месяц	2(3)ТЭ10М, 2(3)ТЭ10МК			ТЭП70БС, 2ТЭ25А			ТЭМ2 ТЭМ18		
	ТОЗ	ТР1	ТР2	ТОЗ	ТР1	ТР2	ТОЗ	ТР1	ТР2
январь	184	51	9	12	3	1	41	7	3
февраль	166	46	8	11	3	1	37	6	3
март	184	51	9	12	3	1	41	7	3
апрель	178	49	9	12	3	1	40	7	3
май	184	51	9	12	3	1	41	7	3
июнь	178	49	9	12	3	1	40	7	3
июль	184	51	9	12	3	1	41	7	3
август	184	51	9	12	3	1	41	7	3
сентябрь	178	49	9	12	3	1	40	7	3
октябрь	184	51	9	12	3	1	41	7	3
ноябрь	178	49	9	12	3	1	40	7	3
декабрь	184	51	9	12	3	1	41	7	3

В рассматриваемый период времени в СЛД-88 действует 2 позиции реостатных испытаний. Выполненный расчёт позволяет сделать вывод об отсутствии в локомотивных депо возможностей для полноценного проведения реостатных испытаний и необходимости сокращения времени на проведение испытаний одного тепловоза.

Пооперационный анализ процесса реостатных испытаний показал, что затраты времени на подключение и отключение датчиков на станции реостатных испытаний (таблица 3.3) вне зависимости от объёма испытаний составляют 1 час, что составляет до 33 % от общего времени испытаний. Таким образом, первоочередной необходимостью является сокращение времени на выполнение данных работ (таблица 3.4).

Таблица 3.2 – Расчёт суммарной продолжительности испытаний по видам ТОиР и типам локомотивов в год

	2(3)ТЭ10М(У, МК)			ТЭП70БС, 2ТЭ25А			ТЭМ2, ТЭМ3, ТЭМ18		
	ТО-3	ТР-1	ТР-2	ТО-3	ТР-1	ТР-2	ТО-3	ТР-1	ТР-2
Всего, шт.	2166	599	107	143	36	12	484	83	36
Обкаточные, час.	нет	нет	4	нет	нет	4	нет	нет	4
Сдаточные, час.	нет	нет	1	нет	нет	1	нет	нет	1
Контрольные, час.	2	2	нет	2	2	нет	2	2	нет
Подключение, час.	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Постановка, час.	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Продолжительность испытаний, час.	4	4	7	4	4	7	4	4	7
Суммарная загрузка за год, р·час/год	8664	2396	749	572	144	84	1936	332	252

Таблица 3.3 – Расчёт требуемого количества позиций станции

Серия тепловоза	2(3)ТЭ10М(У, МК)	ТЭП70БС, 2ТЭ25А	ТЭМ2 (3, 18)
Загрузка, р*час/год	11809	800	2520
Мощность одной позиции, р*час/год	8760	8760	8760
Требуемое количество позиций, шт.	1,35	0,09	0,29

Таблица 3.4 – Затраты времени на проведение операций при реостатных испытаниях

Операция	Продолжительность (% от общ.)	
	Полные испытания	Контрольные испытания
Обкаточные испытания	73	нет
Сдаточные испытания	18	67
Подключение и отключение	9	33

3.3.2 Диагностический потенциал МСУ при реостатных испытаниях

Поскольку функциональность микропроцессорных систем семейства МСУ-ТП позволяет фиксировать и накапливать набор параметров, аналогичный фиксируемому станцией реостатных испытаний, МСУ может взять на себя часть функций при выходном контроле технического состояния тепловозов (таблица 3.5). Конструкция тепловоза серии 2ТЭ116У позволяет нагружать его генератор на тормозной реостат: проведение сдаточных реостатных испытаний становится возможным без применения станции реостатных испытаний [144].

Таблица 3.5 – Функциональность МСУ-ТП и станций реостатных испытаний

№ п/п	Диагностический параметр	Метод измерения			
		Ручной замер	КИПАРИС	МСУ-ТП (свой реостат)	МСУ-ТП (водяной реостат)
1	Позиция контроллера машиниста	+	+	+	+
2	Положение топливной рейки	+		+	+
3	Давление топлива на входе в топливные фильтры	+		+	+
4	Давление топлива в магистрали высокого давления	+	+	+	+
5	Частота вращения коленчатого вала дизеля	+	+	+	+
6	Напряжение тягового генератора	+	+	+	+
7	Ток тягового генератора	+	+	+	+
8	Мощность тягового генератора	+	+	+	+
9	Внешняя характеристика тягового генератора	+	+	Не требуется	Не требуется
10	Температура в цилиндрах дизеля	+		+	+
11	Давление в цилиндрах дизеля	+			
12	Давление наддува	+	+	+	+
13	Температура выхлопных газов на входе в турбокомпрессор	+	+	+	+

Из таблицы 3.5 видно, что функциональность МСУ-ТП почти идентична функциональности станции реостатных испытаний ремонтных депо. Это, с учётом возможности нагрузки тепловоза на собственный тормозной реостат, позволяет предложить концепцию проведения реостатных испытаний тепловозов, оборудованных системами МСУ-ТП и МСУ-ТЭ [144].

- 1 На выходе из ремонта на путях депо производятся реостатные испытания тепловоза, производятся контрольные реостатные испытания тепловоза с нагрузкой ДГУ на тормозной реостат тепловоза. По результатам испытаний диагностируется работоспособность ДГУ и готовность к эксплуатации [144].
- 2 Далее в процессе эксплуатации ведётся мониторинг работы оборудования тепловозов, на основании которого делается вывод о текущем состоянии оборудования тепловоза. Поскольку МСУ-ТП получает информацию не только о состоянии ДГУ, но и о состоянии ТЭД, полученные данные обеспечивают контроль не только дизель-генераторной установки, но и всего оборудования тепловоза. По результатам мониторинга определяется набор работ при следующем заходе тепловоза на плановое обслуживание или ремонт [144].
- 3 Поскольку набор датчиков МСУ-ТП достаточен для принятия решения о наборе необходимых работ непосредственно в процессе эксплуатации тепловоза, нет необходимости проведения входных реостатных испытаний. В ситуации, когда входные реостатные испытания всё-таки нужны (например, для проверки компрессии по цилиндрам дизеля), их также можно проводить на подъездных путях депо, нагружая тяговый генератор на тормозной реостат тепловоза [144].

Положительный опыт использования предлагаемой технологии для тепловозных дизелей имеется у General Electric. Дизели GE Evolution, оснащённые собственной микропроцессорной системой Bright Star, проходят реостатные испытания только на выходе из ремонта. Все дальнейшие работы по дизелю планируются на основании мониторинга его технического состояния посредством бортовой микропроцессорной системы [96].

Таким образом, функциональность микропроцессорных систем управления семейства МСУ-ТП позволяет решить существующую в настоящий момент проблему перегруженности станций реостатных испытаний ремонтных локомотивных депо.

3.3.3 Возможное сокращение функциональности реостатных испытаний

Для повышения качества реостатных испытаний при имеющейся загрузке СЛД необходимо сокращение затрат времени на проведение реостатных испытаний, что рационально сделать за счёт сокращения времени на подключение и отключение датчиков.

Имеющиеся на входе МСУ-ТП датчики позволяют получать значения 90 % параметров, используемых при реостатных испытаниях, что позволяет сделать вывод о целесообразности использования МСУ в качестве источника информации для проведения испытаний.

Дополнительной экономии времени можно достичь за счёт сокращения времени на постановку локомотива на позицию при подключении и отключении водяных реостатов при нагрузке тепловоза на собственные реостаты на деповских путях.

3.4 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ

Для расширения функциональности диагностирования по данным МСУ выполнен анализ различных математических методов, изучены наиболее часто используемые методы обработки данных.

1 Классические алгоритмы обработки данных. Группа методов обработки данных, к которым относят:

- классификация – разделение объектов по заранее известному признаку;
- кластеризация – разделение объектов по неизвестному заранее признаку;
- регрессия – определение закономерности в изменении параметров (один из примеров регрессии – тренды);
- ассоциация – определение взаимосвязи между дискретными изменениями состояния;
- обобщение – определение взаимосвязи между группами признаков («абстракциями»).

К преимуществам классических алгоритмов обработки данных относится простота их создания и возможность работы с небольшим количеством данных (в

пределах 10 000). К недостаткам классических алгоритмов относится их низкая точность и высокие требования к компетентности оператора [21].

2 Обучение с подкреплением. Группа методов обработки данных, в которых алгоритм формируется непосредственно в процессе обработки данных на основании обобщения результатов ранее проведённых обработок по результату обработки, при этом, оценка результата обработки производится по заранее заданным показателям эффективности работы модели. Примерами таких методов обработки данных являются:

- Quality Learning – методы обработки данных, использующие в качестве показателя эффективности качество обработки данных (применительно к диагностике – качество постановки диагноза) и производящие учёт качества посредством Марковской цепи;
- Deep Quality Learning – разновидность Quality Learning, использующая для ассоциации действия и качества нейронную сеть;
- генетический алгоритм – метод обработки данных, при котором в каждой следующей итерации, наиболее эффективно работающие алгоритмы комбинируются, после чего процесс обработки запускается заново [21].

К преимуществам обучения с подкреплением можно отнести низкие требования к компетенции оператора. К недостаткам данной группы методов относят низкую точность в начальный момент времени и риск получения, не интерпретируемого результата [21].

3 Ансамбли. Группа методов, основанная на одновременном применении к одному набору данных группы различных алгоритмов с взаимным контролем результата. К основным методам, применяемым в ансамблях, относят:

- стекинг – метод, при котором результат обработки данных различными алгоритмами контролируется дополнительным алгоритмом;
- беггинг – метод, основанный на усреднении результатов обработки данных группой различных алгоритмов;
- бустинг – метод, при котором при каждой последующей итерации на вход алгоритма подаются данные, давшие максимальную ошибку при обработке алгоритмом на предыдущей итерации [21].

К преимуществам данных методов относят большую вероятность получения интерпретируемого результата при низком уровне компетенции оператора и применении стандартных решений. Основным недостатком данной группы методов является значительная ресурсоёмкость [21].

В настоящий момент, ансамбли являются наиболее перспективным методом обработки данных, по простоте создания близким к классическим алгоритмам, но значительно превосходящим их в точности. Так, метод Random Forest, относящийся к методам бустинга, нашёл широкое применение в распознавании образов. Существуют эксперименты по применению данного метода к диагностике пути и поверхности катания колёсных пар по данным видео регистрации. Однако применение к данным МСУ локомотива описанных математических методов накладывает на данные следующие требования:

- необходимо обеспечивать непрерывность поступающих данных, как следствие – в любой точке полигона обращения тепловоза, информация МСУ-ТП должна считываться;
- необходимо обеспечивать защиту данных от ошибки, возникающей вследствие отказов датчиков (хотя сам по себе отказ датчика может являться отдельным предметом исследования), причём защита должна обеспечиваться не только на стадии обработки, но и на стадии получения данных;
- необходимо принять во внимание, какая из границ диапазона значений наиболее принципиальна в текущих условиях (т.к. изменение большинства параметров имеет колебательный характер) или отслеживать 2 тренда: минимальный и максимальный (в случае, если приоритетность отклонения определить не удаётся); применительно ко второму случаю, прогнозируемым моментом отказа будет наиболее близкая точка выхода параметра за допустимые пределы.

Поскольку в рамках написания диссертации соблюдение ни одного из указанных выше требований не оказалось возможным, выбраны простые алгоритмы, наибольший эффект из которых дал метод корреляционного анализа.

3.5 КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ОДНОТИПНЫХ УЗЛОВ

Среди выполненных автором исследованных применительно к задачам диагностирования оборудования тепловоза по данным МСУ вероятностно-статистических методов [1 – 4, 19, 43, 52, 67, 83, 86, 89 – 95, 104 – 114, 124, 180] наибольший эффект дал корреляционный анализ параметров работы одноподобных узлов [52, 94, 109, 114]. На метод получен патент [138]. В подразделе рассмотрен пример диагностирования тяговых электродвигателей (ТЭД) по токам якорей ТЭД.

Примечание: эффективность корреляционного анализа всегда признавалась, в т.ч. применительно к задачам диагностирования [1, 41, 87, 88, 93], в т.ч. в трудах учёных ПГУПС [41]. Но впервые поставлена и решена задача сравнения результатов расчётов по данным МСУ с контролем наличия неисправностей в оборудовании при отсутствии отказа при заходе локомотива в сервисное локомотивное депо. Для этого по выявленным отклонениям от средних значений в депо более тщательно проверялось оборудование на наличие неисправностей.

Для выполнения корреляционного анализа по данным МСУ-ТП в среде Excel разработано специальное программное обеспечение на алгоритмическом языке Visual Basic for Applications (VBA) [114, 153]. В анализе взяты данные более 880 поездов 67 тепловозов по трём полигонам эксплуатации.

Далее приведены результаты анализа токов параллельно работающих тяговых электродвигателей (ТЭД), которые при исправном состоянии ТЭД должны быть одинаковыми и изменяться синхронно в процессе тяги поезда. Поскольку условием применения критерия Стьюдента является нормальность распределения и равенство дисперсий, вычисления производились отдельно для каждого тепловоза в окне времени 1 минута было исключено влияние региональных особенностей и отличий в режиме работы (манёвры, вывоз, магистральная работа). В анализе использовались участки движения поезда, где визуально токи ТЭД менялись синхронно. Выдвинута подтверждённая в процессе исследования гипотеза, что математический анализ позволит выявить скрытый предотказ двигателя x при сравнении его параметров с исправным параллельно работающим двигателем y . Для проверки гипотезы наличия значимых отличий в двух достаточно похожих процессах обычно используется один из следующих методов:

- метод сравнения двух средних [115];
- корреляционный анализ [21].

Оценка вероятности равенства двух средних значений для заданных параметров выполнялась в соответствии с формулой:

$$r = N_x + N_y - 2 \quad (3.1)$$

где: N_x, N_y – объем первой и второй выборки данных о токах ТЭД.

Далее определяется критерий Стьюдента:

$$t_p = \frac{|m_x - m_y|}{\sqrt{\frac{\sigma_x^2}{N_x} + \frac{\sigma_y^2}{N_y}}} \quad (3.2)$$

$$m_{x/y} = \sum_{i=1}^n x_i * P_i \quad (3.3)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2} \quad (3.4)$$

где: m_x, m_y – математические ожидания токов двух сравниваемых ТЭД; x_i – измеренное значение i -го тока; P_i – вероятность того, что параметры примет измеренное значение x_i ; σ_1, σ_2 – среднеквадратичные отклонения токов.

Полученные расчётным путём значения критерия Стьюдента сравнивались с табличными для определения вероятности наличия различий у двух процессов [21]. Результаты исследований показали неэффективность описанного выше математического метода для диагностирования ТЭД по их токам, т.к. практически всегда вероятность отличия ТЭД друг от друга была не менее $P = 0,99$. В терминологии систем диагностирования вероятность ошибки второго рода была максимальной.

Корреляционный анализ предполагает расчёт коэффициента корреляции токов двух ТЭД по формуле [21]:

$$r_{xy} = \frac{\alpha_{xy}(y, x) - m_y m_x}{\sigma_y \sigma_x} \quad (3.5)$$

где: $\alpha_{xy}(y, x)$ – второй смешанный начальный момент.

Анализ коэффициентов попарной корреляции токов якорей ТЭД одной секции тепловоза, а также корреляционный анализ со средним током ТЭД одной секции показал, что в 96% из рассмотренных коэффициент корреляции токов ТЭД

был $r_{xy} \geq 0,997$ [114]. При этом никаких замечаний по техническому состоянию ТЭД не зафиксировано. При незначительном понижении коэффициента корреляции $r_{xy} \in \{0,99 - 0,996\}$ все ТЭД были исправны, но наблюдался большой разброс токов (рисунок 3.9), что при превышении разницы в 100А следует считать неисправностью.

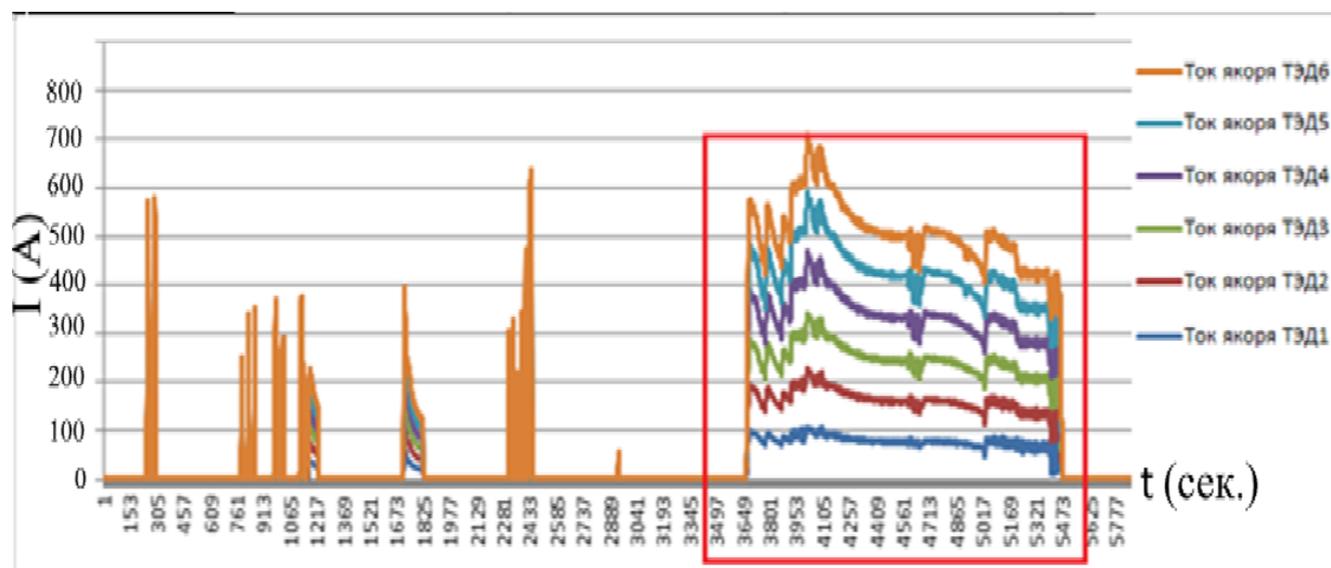


Рисунок 3.9 – Пример случая превышения допустимого разброса силы тока якоря ТЭД

При $r_{xy} \in \{0,90 - 0,99\}$ при проверке ТЭД в депо были обнаружены неисправности коллекторно-щёточного узла или других узлов ТЭД. Существенное снижение коэффициента корреляции $r_{xy} < 0,90$ свидетельствовало о временном отключении ТЭД или неисправности датчиков.

В случаях разброса токов или временного отключения ТЭД неисправность (инцидент) можно зарегистрировать более простым способом путём непосредственного анализа параметров МСУ. Метод корреляционного анализа оказался эффективным при выявлении визуально и алгоритмически не видимых предотказных состояний при незначительном уменьшении коэффициента корреляции $r_{xy} < 0,99$.

Аналогичный метод теоретически можно применить для анализа исправности дизеля тепловоза по температуре отработавших газов на выходе из цилиндров. Высокий процент неисправности температурных датчиков (более 37 %) не позволил подтвердить гипотезу.

3.6 МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

В ряде случаев по данным МСУ можно диагностировать отказ или предотказное состояние: отказ тягового электродвигателя (ТЭД), цилиндрического комплекта, электрического аппарата и др. (см. подраздел 3.2). Дополнительно за счёт математической обработки данных функциональность бортового диагностирования можно расширить [106]. Предложенный метод корреляционного анализа позволяет выявлять предотказное состояние оборудования по отличию от других однотипных узлов. В этой главе предлагается аналогичный метод, но оборудование сравнивается с самими собой в других аналогичных ситуациях. Не поддающиеся ранее составленной логике поведение оборудования названо аномалией. Аномалия – это не обязательно отказ или предотказ: его надо проверить при заходе локомотива в депо, обнаружить неисправность или отнести обнаруженный режим к исправным: система диагностирования постоянно обучается. Структура предлагаемой модели показана на рисунке 3.10.

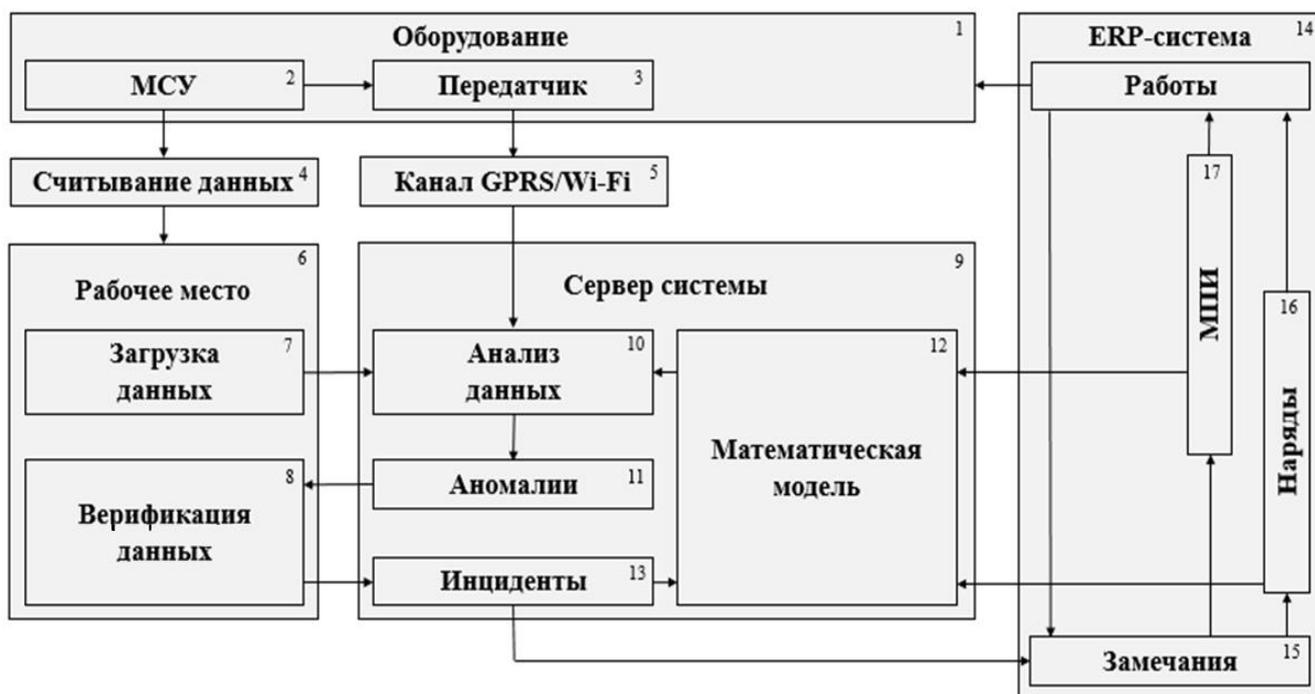


Рисунок 3.10 – Общая схема предлагаемой модели диагностирования [106]

Предлагаемая модель диагностирования тепловозов содержит МСУ (2), сервер (9), рабочие места диагностов (6) и систему управления производственными процессами (ERP) сервисной компании. Накопленная в МСУ информация передаётся на сервер системы при помощи передатчика (3) через канал GPRS/Wi-

Fi (5). При невозможности передачи данных через GPRS/Wi-Fi, информация считывается вручную при помощи переносного накопителя информации (4) при заходе локомотива в депо на ТОиР (7) на сервер на автоматизированном рабочем месте диагноста (6), представляющем собой стандартный компьютер со специализированным программным обеспечением, имеющий доступ в сеть Internet для передачи данных на сервер.

На сервере обрабатываются данные МСУ согласно математической модели (12), по результатам которой выявляются аномалии (11), которые отправляются для верификации (8) на рабочие места диагноста. Как подтверждённые отказы и предотказы, так и опровергнутые в процессе верификации аномалии передаются на сервер для обучения математической модели. Подтверждённые при верификации аномалии на сервере помечаются как инциденты (13) и направляются в ERP-систему (14) для формирования замечаний (15). В ERP-системе на основании замечаний формируются наряды для выполнения ТОиР (16), под которые со склада выдаются запасные части и материалы (товарно-материальные ценности – ТМЦ) или отремонтированное оборудование (материалы повторного использования – МПИ) (17). Информация о затраченных на ТОиР ресурсах также отправляется на сервер для дальнейшего обучения модели.

3.7 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПО ДАННЫМ МСУ

Для мониторинга эффективности диагностических алгоритмов и их достаточности обычно используются три подхода.

- 1 Оценка абсолютного количества выявляемых инцидентов. Данная методика позволяет выполнить первичный анализ необходимости использования алгоритма и хорошо подходит для оценки экономии трудозатрат, но не подходит для сравнения работы различных алгоритмов между собой по причине различного количества предотказных состояний и отказов по разным видам оборудования.

- 2 Оценка отношения количества выявляемых инцидентов к показателям работы локомотивов (пробег в км или проделанная работа в кВт·ч). Этот показатель позволяет снизить влияние объёмов парка и проделанной работы, но не позволяет сравнивать между собой алгоритмы диагностики систем локомотива, т.к. для ряда систем (экипажная часть и механическое оборудование) оценку наработки целесообразно вести в пройденном расстоянии, а для ДГУ и элементов силовой цепи тепловоза целесообразна оценка по наработке в кВт·ч проделанной работы.
- 3 Теоретически, оценка экономического эффекта от применения алгоритмов диагностики позволяет получить объективную оценку эффекта для каждого случая срабатывания алгоритмов диагностики. На практике же экономический эффект является комплексной величиной, на которую значительное влияние оказывает не только выявление инцидентов, но и решения принятые в процессе расследования конкретных случаев отказа оборудования, в силу чего оценка экономического эффекта от реализации каждого диагностического алгоритма также является субъективной.

В связи с указанными недостатками для объективной оценки качества работы алгоритмов диагностики по данным МСУ-ТП в рамках исследования использовалось понятие уменьшения неопределённости (условной энтропии). Из открытых источников [20] известно, что условная энтропия зависит от состояния, которое система приняла относительно всех возможных ожидаемых состояний (средней энтропии), которая, в свою очередь, рассчитывается как сумма произведений энтропии каждого из возможных состояний системы на вероятность наступления данного состояния.

Применительно к результатам диагностики, расчёт может быть выполнен по формуле [200]:

$$H = -K \sum_{i=1}^n p(i) \log_2 p(i), \quad (3.6)$$

где: K – константа, необходимая для выбора единицы измерения энтропии. Поскольку в условиях поставленной задачи сравнение алгоритмов производится

между собой, размерность энтропии принимается в битах, а коэффициент K принимается равным 1; $p(i)$ – вероятность наступления i -го события (выявления i -го инцидента).

Расчёт ограничен рядом условий.

- 1 Поскольку в связи со спецификой учёта ремонтных работ большая часть предотказных состояний устраняется цикловыми работами, учёт эффективности алгоритмов выявления предотказных состояний производится с привязкой к единице оборудования, а не к конкретному алгоритму.
- 2 За начальную точку расчёта принимался момент получения файла МСУ с локомотива. Соответственно, вероятность выявления каждого инцидента в файле принималась одинаковой.
- 3 Расчёт производился по трём точкам: в момент получения файла из МСУ, в момент формирования списка инцидентов (аномалий) и в момент выполнения работ по ремонту. В момент выявления аномалий вероятность оценивалась по статистике выявляемых инцидентов. Последняя точка позволяет выявить остаточную энтропию (не устранённую в рамках диагностики) – в данной точке вероятность оценивается по количеству инцидентов, устранённых при проведении ремонта.
- 4 Поскольку инцидент в конкретном файле МСУ может отсутствовать, при расчёте энтропии учитывается как вероятность наступления каждого инцидента, так и вероятность его не наступления.

Таким образом, в условиях решаемой задачи формула (3.7) принимает вид:

$$H = - \sum_{i=1}^n (p(i) \log_2 p(i) + (1 - p(i)) \log_2 (1 - p(i))) \quad (3.7)$$

Расчёт информационной энтропии для предотказных состояний приведён в Приложении А. Для предотказных состояний применение алгоритмов диагностики позволяет уменьшить энтропию информации на 1,5 бит при эффективности в 58 %.

Информационная оценка эффективности систем технического диагностирования подробно рассмотрена в докторской диссертации А.П. Семенова [157]. Предложено, взяв за основу формулу Шеннона (3.6), учесть стоимость

восстановления работоспособности. Введён коэффициент информационной эффективности систем диагностирования $k_{ТД}$, который предложено рассчитывать как отношение информативности системы диагностирования к общей энтропии диагностического информационного пространства. Применительно к задаче определения информативности МСУ формула будет выглядеть так:

$$k_{МСУ} = I_{МСУ} / I_{\Sigma}, \quad (3.8)$$

где: $k_{МСУ}$ – коэффициент диагностической информативности МСУ; $I_{МСУ}$ – диагностическая информативность МСУ; I_{Σ} – энтропия диагностического пространства тепловоза 2ТЭ116У

Диагностическую информативность МСУ $I_{МСУ}$ и энтропию диагностического пространства тепловоза в целом I_{Σ} в работе [157] предлагается считать по однотипной формуле:

$$I_{\Sigma} = \sum_{i=0}^N (I_{\Sigma i}) = - \sum_{i=0}^N (P_i \cdot (C_i/S) \cdot \log_2(P_i \cdot (C_i/S))), \quad (3.9)$$

$$I_{МСУ} = \sum_{i=0}^N (P_{O_i} \cdot I_{\Sigma i}), \quad (3.10)$$

$$P_i = M_i / M_{\Sigma}, \quad (3.11)$$

$$P_{O_i} = 1 - Q_{O_{1i}} + Q_{O_{2i}}, \quad (3.12)$$

$$Q_{O_{1i}} = M_{1i} / M_i \quad (3.13)$$

$$Q_{O_{2i}} = M_{2i} / M_i. \quad (3.14)$$

где: N – число отказов i , имевших место в практике эксплуатации тепловозов серии 2ТЭ116У и описанных в разделе 2; P_i – вероятность наступления отказа i , определяемое как отношение числа отказов M_i отказа i к общему числу отказов M_{Σ} за рассматриваемый период; C_i – стоимость восстановления работоспособности после отказа i ; S – общая стоимость восстановления тепловоза после отказов (параметры C_i и S можно брать как в абсолютных показателях, так и в относительных единицах); P_{O_i} – вероятность правильного диагностирования; $Q_{O_{1i}}$ – вероятность отсутствия ошибок первого рода; $Q_{O_{2i}}$ – вероятность ошибки второго рода; M_{1i} – количество отказов, не выявленных в процессе диагностирования; M_{2i} – количество ложно выявленных отказов.

По обозначенной методике [157] выполнена оценка информационной эффективности диагностической функциональности МСУ-ТП тепловозов серии 2ТЭ116У. За основу взяты данные по находящимся в эксплуатации $N_{\text{лок}} = 472$ локомотивам о числе отказов $N_{\text{отк}} = 394$ по каждому виду оборудования i , среднесуточный пробег $L_c = 350$ км. На основании этих данных была рассчитана интенсивность отказов на млн км:

$$\lambda = N_{\text{отк}} / (N_{\text{лок}} \cdot L_c \cdot 365) = 394 / (472 \cdot 350 \cdot 365) = 6,53 \cdot 10^{-6}. \quad (3.15)$$

По интенсивности отказов λ рассчитана вероятность $P_{\text{ТР-1}}$ наступления отказа за период между двумя смежными ремонтами объёма «ТР-1», $L_{\text{ТР-1}} = 50$ тыс. км:

$$P_{\text{ТР-1}} = \int_0^{L_{\text{ТР-1}}} (\exp(-\lambda \cdot l) dt) \quad (3.15)$$

Результаты расчётов приведены в таблице А.1 (приложение А) Коэффициент диагностической информативности МСУ-ТП $k_{\text{МСУ-ТП}} = 75,06\%$. Без учёта стоимости ремонта $k_{\text{МСУ-ТП}} = 52\%$. Таким образом учёт стоимости ремонта действительно повышает качество оценки диагностической информативности систем диагностирования. Вероятность отсутствия ошибок первого и второго рода при диагностировании P_{O_i} приведена в процентах (100 %: отказ полностью диагностируется, 75 %: отказ диагностируется косвенно по специальным алгоритмам, 50 %: возможно диагностирование косвенно, 25 %: возможно диагностирование косвенно в отдельных ситуациях).

Результаты расчётов диагностической эффективности МСУ тепловозов серии 2ТЭ25^{КМ} приведены в таблице А.2 (приложение А). В таблице 3.6 приведены обобщённые данные. Коэффициент диагностической информативности МСУ 2ТЭ25^{КМ} выше, чем у МСУ-Тп и составил $k_{\text{МСУ}} = 83,77\%$. Без учёта стоимости ремонта $k_{\text{МСУ-Тп}} = 53\%$.

Таким образом, диагностическую эффективность МСУ современных тепловозов можно считать высокой, но недостаточной для отказа от планово-предупредительной системы ТОиР.

Таблица 3.6 – Результаты расчёта информативности МСУ 2ТЭ116У и 2ТЭ25КМ

Группа оборудования	2ТЭ116У		2ТЭ25КМ	
	I_{Σ}	$I_{МСУ}$	I_{Σ}	$I_{МСУ}$
Дизель и дизельное оборудование	0,05111	0,02523	0,09292	0,07001
Электрооборудование силовых цепей	0,00563	0,00118	0,01246	0,00805
Электродвигатели тяговые	0,06359	0,06303	0,11080	0,11010
МСУ и РТС	0,01124	0,01116	0,00933	0,00922
Электронные преобразователи	0,00274	0,00086	0,00023	0,00022
Тормозное и пневматическое оборудование	0,00227	0,00222	0,03504	0,03437
Экипажная часть и механическое оборудование	0,00147	0,00033	0,01738	0,00395
Приборы безопасности	0,00029	0,00001	0,00154	0,00000
Вспомогательные электрические машины	0,00040	0,00025	0,00151	0,00036
Вентиляция	0,00011	-	0,00065	-
Радиостанция	0,00008	-	0,00018	-
ОБЩАЯ ИНФОРМАТИВНОСТЬ I_{Σ} и $I_{МСУ}$	0,13893	0,10427	0,2820	0,2363
Коэффициент информационной эффективности диагностирования $k_{МСУ}$	75,06 %		83,77 %	

3.8 ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

В предлагаемой модели оценка остаточного ресурса (блок-схема приведена на рисунке 3.11) производится путём сравнения прогнозных значений параметров работы оборудования тепловоза (5) с реальными, полученными из МСУ (6), и выявлением отклонений, выходящих за статистически допустимые границы (8). Участки данных, на которых значения параметров выходили за допустимые границы, отмечаются как «аномальные» (10) и направляются на верификацию (подтверждение) инженеру-диагносту (11). В случае если диагност подтверждает наличие аномалии, она направляется в ERP-систему, а соотношение данных вносится как недопустимое в статистическую базу (12). В случае если диагност не признает факт наличия аномалии, данные вносятся в модель как нормальный режим работы (13).

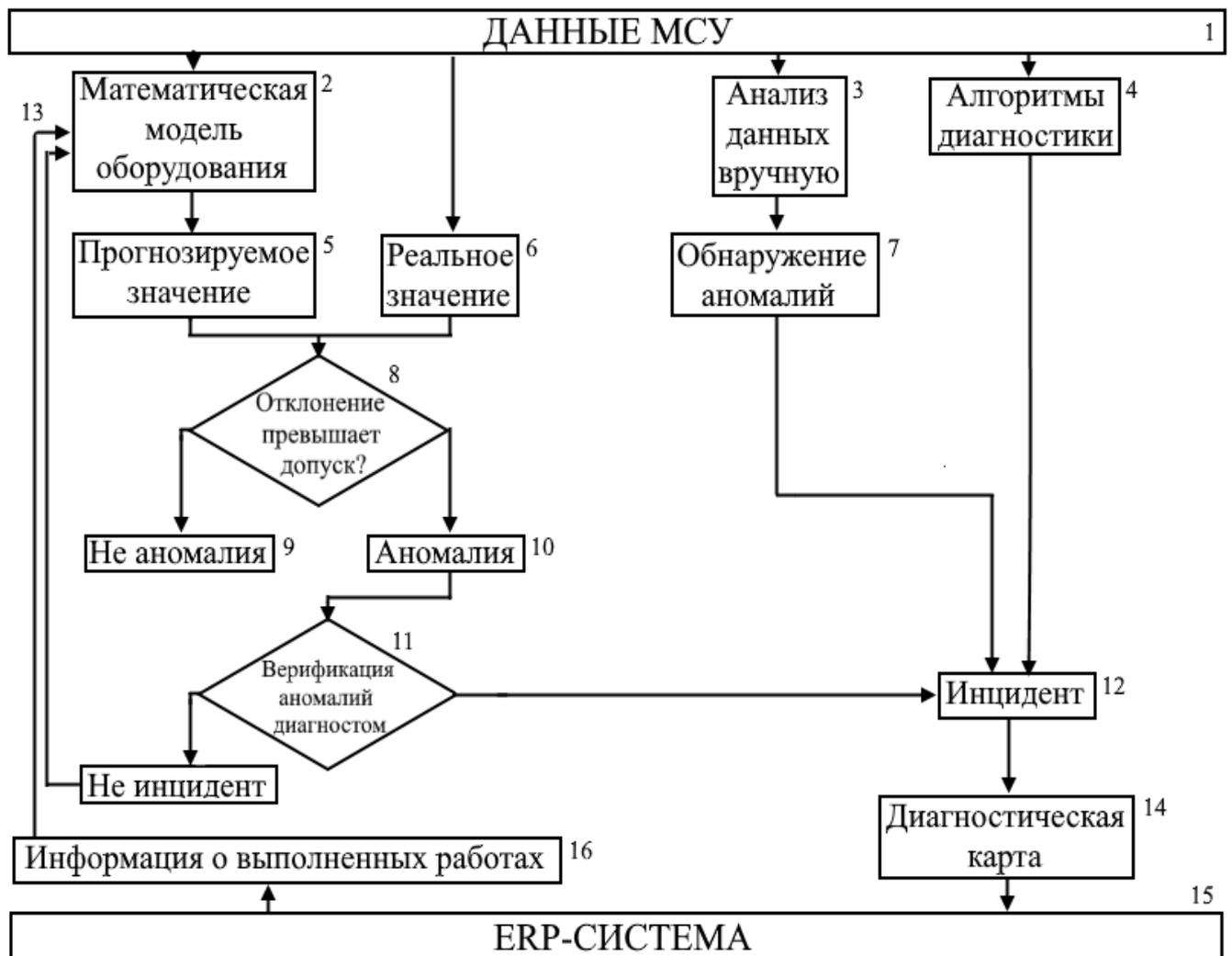


Рисунок 3.11 – Алгоритм предлагаемого способа оценки остаточного ресурса

Математическая модель оборудования производит вычисление значения искомого выходного параметра на основании вводных параметров (получаемых из МСУ) а также зависимостей значений параметров, полученных аналитически (при создании модели) и статистически (при накоплении данных о работе модели). Примером подобной модели может быть модель на основании коэффициента корреляции токов ТЭД, описанная в п.3.5.

Накопленные в базе данные содержат отметку о принадлежности вновь поступивших данных к нормальному или аномальному режиму работы оборудования, определяемому в процессе верификации (11). Дополнительно, данные содержат отметки:

- о смене оборудования при проведении ремонта (16) (обнуляет статистически накопленные данные о работе оборудования для исключения ошибочного принятия отличий в данных нового оборудования за аномалию);

- об отношении выявленного инцидента к одному из типов: отказ или предотказное состояние (накопление статистических данных позволяет построить функцию деградации оборудования);
- об остаточном ресурсе оборудования.

Одна из задач систем технического диагностирования – прогнозирование технического состояния [39], по сути – определение остаточного ресурса оборудования (оставшегося времени (пробега, работы) до предельного состояния). Согласно ГОСТ 27.002-2015 [38] – это суммарная наработка от момента диагностирования до момента достижения предельного состояния, когда дальнейшая эксплуатация недопустима. Задача прогнозирования остаточного ресурса является достаточно сложной и должна решаться отдельно для каждого вида оборудования. Именно поэтому общепринятой мировой практикой является планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта. Но современные автоматизированные цифровые системы технического диагностирования (включая бортовые и встроенные) позволяют частично перейти на ТОиР с учётом фактического технического состояния локомотива.

Ресурс деталей определяется на этапе проектирования и указывается в ТУ на изделие. Например, у выпрямительно-инверторных преобразователей (ВИП) электровозов переменного тока указано, что срок службы ВИП-4000М-УХЛ2 «не менее 15 лет» [147] при условии соблюдения установленной системы ТОиР, но при этом на большинство электронных узлов (тиристоры, резисторы, конденсаторы, транзисторы и др.) указано: «не более 100 тыс. часов). В ТУ на оборудование локомотивов популярен такой показатель долговечности как гамма-процентный ресурс: суммарная наработка, в течение которой объект с заданной вероятностью γ не достигнет предельного состояния [38].

Критерий предотказного состояния [38] – это совокупность признаков. Как правило – это выход одного или нескольких параметров за пределы допуска. Последнее существенно упрощает решение задачи прогнозирования остаточного ресурса через аппроксимацию тренда диагностических данных, которая предполагает подбор математической функции для статистических данных с целью расчёта остаточного ресурса.

Зависимость изменения параметров объекта диагностирования от времени (пробега) зависит от физических особенностей объекта и может иметь как линейную, так и другие виды закономерностей: параболическую, гиперболическую, экспоненциальную и многие другие. В этих случаях решение задачи аппроксимации достаточно сложно. Поэтому на практике обычно используют линейную аппроксимацию функции y от диагностического аргумента x ($y = k \cdot x + b$). Применительно к локомотивам, необходимый диапазон для остаточного ресурса – это до ближайшего деповского ТОиР: ТО-3, ТР-1 и др. При среднесуточном пробеге 300 – 800 км и межремонтном пробеге в 50 тыс. км – это 2 – 5 месяцев. Для таких относительно небольших периодов подходит метод наименьших квадратов [151], основанный на минимизации суммы квадратов отклонений искомой функции от статистических данных. Рассмотрим пример.

Пусть в результате замеров $n = \{1, N\}$ диаметра колёсной пары при различных пробегах l_n диагностический параметр принимал значения d_n . Тогда линейная функция тренда по методу наименьших квадратов будет:

$$k = [N \cdot \sum_{n=1}^N (l_n \cdot d_n) - \sum_{n=1}^N l_n \cdot \sum_{n=1}^N d_n] / [N \cdot (\sum_{n=1}^N l_n^2) - (\sum_{n=1}^N l_n)^2] \quad (3.16)$$

$$b = [\sum_{n=1}^N (d_n) - k \cdot \sum_{n=1}^N l_n] / N \quad (3.17)$$

В таблице 3.7 приведён пример данных об износе бандажа колёсной пары, где $N = 10$. Также приведены результаты промежуточных расчётов по формулам 3.16 – 3.17. В результате рассчитаны коэффициенты $k = -0,00095$, $b = 1250$:

$$d = -0,00095 \cdot l + 1250 \quad (3.18)$$

Из примера видно, что аппроксимация тренда показывает необходимость смены бандажа через 250 тыс. км пробега, что существенно ниже установленных 600 тыс. км пробега. Таким образом, несмотря на сложность задачи определения остаточного ресурса в ряде случаев на ближайший межремонтный пробег можно прогнозировать работоспособность оборудования. По данным МСУ-ТП тепловозов серии 2ТЭ116У возможно прогнозирование работоспособности следующих видов оборудования:

- дизель-генераторная установка (ДГУ) в целом по совокупности мощности и оборотов по позициям;

- форсунки и топливная система дизеля по температуре выхлопа цилиндров;
- колёсно-моторные блоки (КМБ) по разбросу токов тяговых электродвигателей (ТЭД);
- выпрямительная установка по её параметрам [40];
- ДГУ и его топливная система по удельному расходу топлива [41, 62];
- турбокомпрессор по давлению турбонаддува, оборотам и разрежению воздуха на входе;
- компрессор тормозной системы по времени работы после включения;
- электрические аппараты и реле по времени срабатывания;
- аккумуляторные батареи по токам заряда;
- система охлаждения по значениям температуры воды на входе и выходе дизеля, а также температуре забортного воздуха;
- масляная система по значениям температуры и давления масла на входе и выходе дизеля.

Таблица 3.7– Пример аппроксимации износа бандажа колёсной пары

n	Пробег l_n, км	Толщина гребня d_n, мм	$l_n \cdot d_n$	x^2
1	0	1 250,00	0	0
2	1 000	1 249,05	1 249 050	1 000 000
3	2 000	1 248,10	2 496 200	4 000 000
4	3 000	1 247,15	3 741 450	9 000 000
5	4 000	1 246,20	4 984 800	16 000 000
6	5 000	1 245,25	6 226 250	25 000 000
7	10 000	1 240,50	12 405 000	100 000 000
8	20 000	1 231,00	24 620 000	400 000 000
9	30 000	1 221,50	36 645 000	900 000 000
10	50 000	1 202,50	60 125 000	2 500 000 000
Σ	125 000	12 381,25	152 492 750	3 955 000 000
Тренд	$k = -0,00095$	$b = 1250$		
11	100 000	1 155,00		
12	150 000	1 107,50		
13	200 000	1 060,00		
14	250 000	1 012,50		
15	300 000	965,00		
16	400 000	870,00		
17	500 000	775,00		
18	600 000	680,00		

По данным деповских систем диагностирования дополнительно можно прогнозировать работоспособность следующих видов оборудования:

- КМБ по данным систем вибродиагностирования;
- ТЭД по сопротивлению изоляции, износу щёток и коллектора в целом;
- масляные и водяные системы по расходу материалов;
- ДГУ по данным реостатных испытаний;
- АЛС по мощности сигнала при испытаниях;
- Колёсные пары по значениям параметров бандажей;
- Масляную систему по содержанию в масле примесей.

Таким образом, задача прогнозирования остаточного ресурса на период до полугода по данным МСУ является решаемой.

3.9 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ

Допустимые границы значения вычисляются методом «трёх сигм» (3σ) [86].

- 1 На основании статистики работы оборудования для данного сочетания входных параметров определяется выборочное среднее значение:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{n} (x_1 + \dots + x_n), \quad (3.19)$$

где:

x_i – значение выходного параметра;

n – Общее количество выходных параметров [86].

- 2 Определяется среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (3.20)$$

- 3 Если $|x_i - \bar{x}| > 3 \cdot \sigma$, то значение признаётся аномальным [86].

Оценка остаточного ресурса производится посредством сравнения текущего отклонения прогнозируемых значений параметров от реальных с отклонением, зафиксированным в базе данных. Сравнение производится по критериям:

- абсолютного значения отклонения;
- скорости изменения абсолютного значения отклонения;
- относительного значения отклонения;
- скорости изменения относительного значения отклонения [86].

Так как имеющиеся в базе данных абсолютные и относительные значения параметров уже содержат отметки о принадлежности к инциденту и типу инцидента, на основании сравнения текущее техническое состояние оборудования определяется как положение точки на функции деградации, построенной статистически. Сравнение скорости изменения абсолютного и относительного значений параметров позволяет определить скорость деградации [86].

Сравнительная оценка производится методом нечётких множеств [87].

3.10 ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 3

- 1 Бортовые микропроцессорные системы управления (МСУ) тепловозов обладают высоким диагностическим потенциалом, который следует использовать при создании современных систем сервисного ТОиР с элементами предиктивного ремонта с учётом фактического технического состояния оборудования. Данные МСУ позволяют выявлять предотказные состояния с высокой вероятностью наступления отказа и характеризуются как неисправное, но работоспособное состояние.
- 2 Применение для обработки данных современных математических методов (в том числе машинного обучения) сдерживается отсутствием непрерывности исходных данных, наличием неисправных датчиков, их низким классом точности и другими факторами конструкционного, производственного, эксплуатационного и деградационного характера.
- 3 Большинство параметров и функций, диагностируемых на станциях реостатных испытаний дизель-генераторных установок, диагностируются по данным МСУ тепловозов, качество которого даже выше за счёт наличия дополнительных сигналов реализации в эксплуатации различных режимов тяги. В МСУ-ТП отсутствует возможность контролировать индикаторное давление цилиндров. Но можно предположить, что при соответствии паспортным измеряемым значениям оборотов дизеля и мощности по позициям и температуры выхлопа на выходе из цилиндров дизеля давление также будет в норме. Аналогичным образом, возможно, избежать и нагрузочных испытаний, получая внешнюю характеристику генератора по данным первой после ремонта поездки тепловоза. Предлагается уменьшить объёмы реостатных испытаний, заменив

сбор информации со съёмных датчиков анализом данных МСУ. Предложение получило косвенное подтверждение на практике: в депо данные МСУ используются диагностами на станциях реостатных испытаний. Во многом, по этим причинам в настоящий момент, работы по диагностированию и мониторингу тепловозов 2ТЭ116У по данным МСУ-ТП вышли из стадии эксперимента, и используются в сервисной компании «ЛокоТех» в качестве методики работы с тепловозами этой серии.

- 4 Предложен метод диагностирования путём корреляционного анализа параметров однотипного оборудования. На метод получен патент [138].
- 5 Определена целевая модель процесса диагностирования локомотивов с использованием данных бортовых МСУ, сформулированы требования к функциональности системы диагностирования и её основных компонентов.
- 6 Определены критерии оценки эффективности работы диагностических алгоритмов на основании статистики выявления и устранения предотказных состояний и отказов.
- 7 Выполнена оценка диагностической эффективности МСУ на основании параметра информационной энтропии по формуле Шеннона.
- 8 Разработан метод оценки остаточного ресурса оборудования локомотивов по данным бортовых МСУ, а также сформулированы требования к системе для оценки остаточного ресурса. На метод получен патент [139].
- 9 Разработан и теоретически обоснован метод оценки остаточного ресурса отдельного оборудования локомотивов с использованием трендов.

4 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕПЛОВОЗОВ

4.1 ХРОНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ В ГРУППЕ КОМПАНИЙ «ЛОКОТЕХ»

Работа над настоящей диссертацией была начата в 2012-м году в компании «ТМХ-Сервис» (теперь – «ЛокоТех-Сервис»), которая была первой по внедрению технологии сервисного обслуживания на отечественных железных дорогах. Впервые встала проблема разнесения ответственности за надёжность локомотивов между эксплуатирующим (эксплуатационное локомотивное депо – ТЧЭ), ремонтным (ремонтное локомотивное депо – ТЧР) и сервисным (сервисное локомотивное депо – СЛД) предприятиями. Появилась необходимость в объективной оценке технического состояния локомотивов. Группой специалистов под руководством д.т.н., профессора И. К. Лакина [100] в составе автора, А. А. Аболмасова [1 – 5], И. И. Лакина [83 – 85], И. В. Пустового [149], И. Ю. Хромова [192] была предложена концепция автоматизированной системы управления надёжностью локомотивов (АСУНТ) [98, 108, 136], согласно которой важная роль отводилась использованию данных бортовых систем диагностирования, в качестве которых выступали микропроцессорные системы управления (МСУ) [43, 100].

Первые эксперименты были начаты в СЛД «Тында-Северная» с данными аппаратно-программного комплекса АПК «Борт» производства ОАО «НИИТКД» (г. Омск) на тепловозах серии 2ТЭ10МК. Первые результаты показали эффективность бортового диагностирования. В результате было принято решение сверх штата СЛД создать группы диагностики в депо, где обслуживаются локомотивы с МСУ. Группы состояли из трёх человек: старшего диагноста, отвечающего за диагностирование, и два диагноста, отвечающие за сбор данных МСУ и ввод их в компьютер: первоначально использовались только переносные flash-накопители. Позже стали появляться дистанционные системы сбора информации по радиоканалу, что позволило сократить группы диагностики до 2-х человек. В настоящее время группы диагностики успешно работают в 70 СЛД.

Для расшифровки данных МСУ для последующего диагностирования первоначально использовались программы производителей МСУ: ЛЭС (г. Новочеркасск) для МСУ электровозов, АВП Технология (г. Москва) для систем автоведения и РПДА, НИИТКД для АПК Борт и НИИТКД для МСУ тепловозов: МСУ-ТП и МСУ-ТЭ.

В АО «ВНИКТИ» для просмотра данных МСУ-ТП тепловозов серий 2ТЭ116У (на тот момент основной вид выпускаемых грузовых тепловозов) и ТЭП70БС (основной пассажирский тепловоз) была разработана программа «Осциллограф» [55]. Главным недостатком этой программы была трудоёмкость ручного поиска предотказных состояний, занимавшего несколько часов на каждый локомотив: использование программы ограничивалось разбором причин отказов локомотивов при неплановом заходе в депо.

По заданию компании ООО «ТМХ-Сервис» по алгоритмам автора диссертации программа «Осциллограф» была доработана до версии «Осциллограф-2», а по итогам её опытной эксплуатации – до версии «Осциллограф-3»: был сделан дружественный интерфейс, автоматический поиск отказов, предотказов и случаев нарушения режимов эксплуатации. «Осциллограф-3» был внедрён во всех депо, эксплуатирующих тепловозы серии 2ТЭ116У, ТЭП70У и ТЭП70БС [99 – 100].

В июле 2014 года ОАО «РЖД» перешло на полный сервис, заключены соответствующие договора с компаниями ООО «ТМХ-Сервис» [53] и ООО «СТМ-Сервис», а через несколько лет – на поставку новых локомотивов по контракту жизненного цикла (КЖЦ). Необходимость использования диагностических данных МСУ стала ещё актуальней. Потребовалось не только автоматизировать контроль обнаружения отказов и предотказов, но и контроль принятия мер через назначение дополнительных сверхцикловых работ (электронных нарядов) в специально разработанной автоматизированной системе управления ТОиР АСУ «Сетевой график» [149]. Использование разрозненных АРМ диагностов стало неудобным.

В группе компаний «ЛокоТех» в 2015-м году принято решение о разработке единого для всех видов МСУ автоматизированной системы диагностирования. В результате проведённого открытого конкурса решение разработать такой АРМ поручено компании «Кlover Групп» – АРМ этой компании получил название «Умный локомотив» (АРМ УЛ).

Для разработки АРМ УЛ в группе компаний «ЛокоТех» разработано техническое задание, основу которого в части диагностирования тепловозов и интерфейса программы легли разработки автора, перешедшего на работу в эту компанию. Дальнейшее развитие теории и практики автора происходили в рамках проекта АРМ «Умный локомотив». Далее описаны основные результаты практической реализации разработок автора.

4.2 АРМ «ОСЦИЛЛОГРАФ-3»

4.2.1 Функциональность АРМ «Осциллограф-3»

Целью разработки АРМ «Осциллограф-3» является автоматизация процесса диагностирования оборудования тепловозов по данным МСУ [55]:

- 1 проверка параметров работы тепловоза, получаемых от датчиков МСУ на соответствие допускам, заложенным в конструкторскую документацию на тепловоз (наименование допусков на значения параметров для каждой серии тепловозов приведено в Приложениях Б – Г);
- 2 визуализация тревожных сообщений, сформированных МСУ при выполнении встроенной диагностики;
- 3 визуальный анализ данных с формированием признака инцидентов вручную на основании наблюдений.

По результатам диагностирования разработанное программное обеспечение формирует диагностическую справку при получении соответствующей команды. Справка формируется для заданного промежутка времени. Параметры выбранного локомотива приведены в Приложении Д.

При выполнении проверки для заданного промежутка времени выбирается максимальная позиция контроллера, для которой наблюдался установившийся режим (непрерывная работа на протяжении более 90 секунд с момента изменения позиции контроллера машиниста для отсечения переходного режима):

- дата формирования файла;
- позиция контроллера;
- мощность на выходе тягового генератора;
- положение топливной рейки;
- частота вращения коленчатого вала дизеля;

- мощность наддува турбокомпрессора;
- температура выхлопных газов на входе в турбокомпрессор (у разных тепловозов количество входов может различаться);
- режим охлаждения;
- токи тяговых электродвигателей;
- температура воды;
- температура масла;
- давление топлива;
- частота вращения вала турбокомпрессора [55].

За заданный период времени диагностируемого тепловоза выбирается максимально продолжительный промежуток времени, во время которого при работающем дизеле позиция контроллера и скорость локомотива были равны нулю (режим холостого хода). Для этого промежутка фиксируются значения температуры выхлопных газов на входе в турбокомпрессор. За весь заданный промежуток времени для заданного локомотива фиксируются максимальные значения параметров:

- температура воды;
- температура масла;
- температуры газов на выходе из всех цилиндров;
- давление масла на выходе из дизеля и по регулятору.
- за весь заданный промежуток времени фиксируются значения:
- температур воды при включении вентиляторов охлаждения холодильной камеры (в зависимости от количества вентиляторов) [55].

Фиксируются тревожные сообщения, выдаваемые локомотивным бригадам. Эти значения заносятся в форму (Приложение Е) в следующем порядке:

- 1 серия тепловоза;
- 2 номер тепловоза;
- 3 секция тепловоза;
- 4 дата и время записи файла в МСУ-ТП;
- 5 позиция контроллера;
- 6 мощность на выходе из тягового генератора;

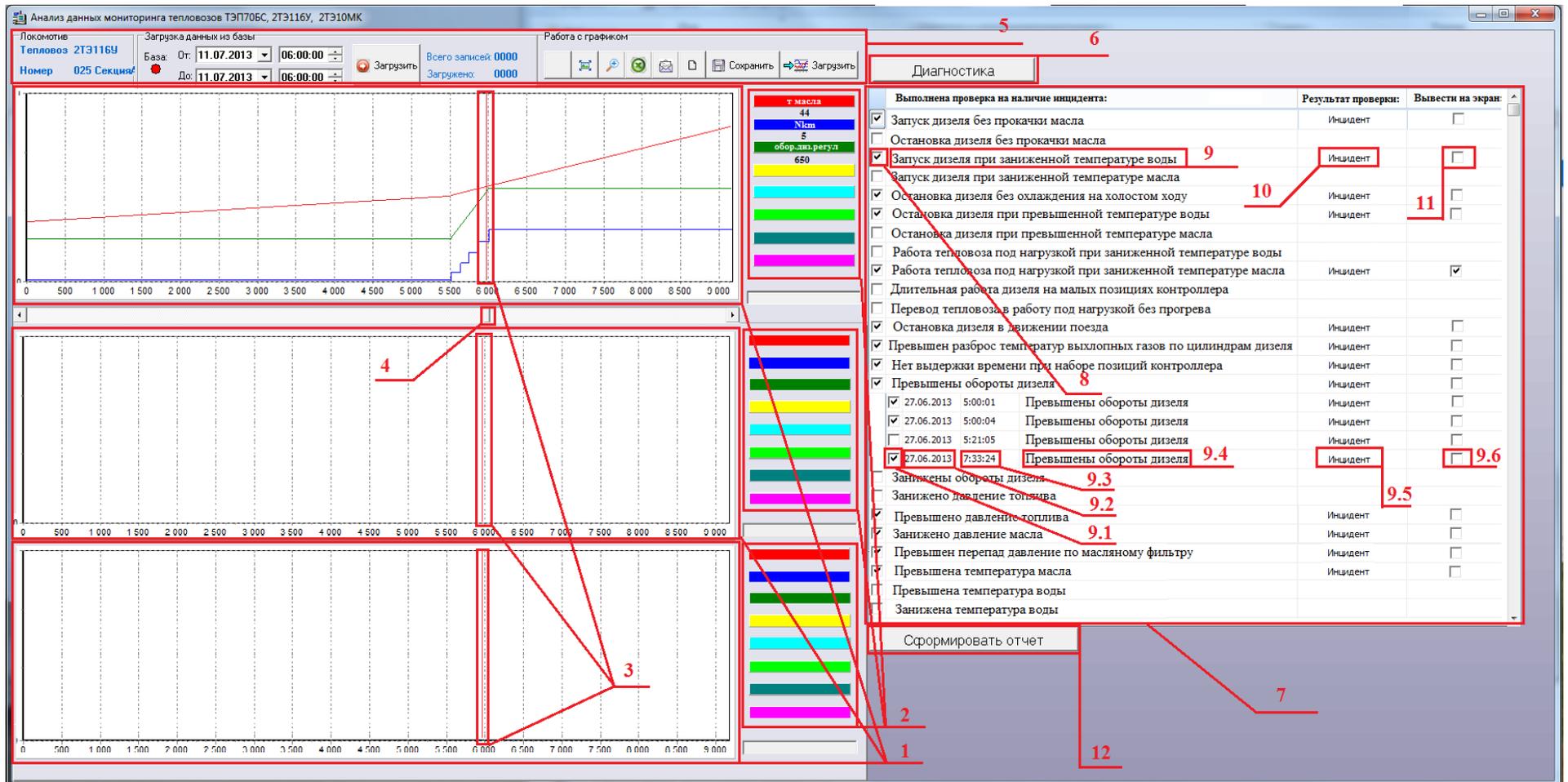
- 7 положение топливной рейки;
- 8 частота вращения коленчатого вала дизеля;
- 9 мощность наддува турбокомпрессора;
- 10 температура воды;
- 11 температура масла;
- 12 температура выхлопных газов на выходе из цилиндров;
- 13 токи якоря тяговых электродвигателей;
- 14 температура выхлопных газов на входе в турбокомпрессор на максимальной позиции контроллера;
- 15 температуры выхлопных газов на входе в турбокомпрессор на холостом ходу;
- 16 давление масла на выходе из дизеля;
- 17 давление масла по регулятору;
- 18 температура включения мотор-вентиляторов;
- 19 тревожные сообщения;
- 20 частота вращения вала турбокомпрессора [55].

4.2.2 Графический интерфейс АРМ «Осциллограф-3»

Окно диагностирования является основным окном, в котором производится работа по диагностированию тепловоза. Оно состоит из элементов, приведённых на рисунке 4.1 [55].

- 1 Графические области (1) в количестве 3-х штук: предназначены для выведения на экран графиков выбранных параметров.
- 2 Панели выбора параметров (2) в количестве 3-х штук: предназначены для выбора набора параметров, графики которых выводятся на экран в графических областях (до 8 шт. на 1 область). Внешний вид панели выбора параметров унифицирован.

Примечание: внешний вид интерфейса отработывался по замечаниям и предложениям диагностов депо.



1 – графические области, 2 – панели выбора параметров, 3 – курсор, 4 – бегунок, 5 – панель управления графическими областями, 6 – кнопка запуска автоматической диагностики, 7 – область редактирования диагноза, 8 – ячейка подтверждения коренного инцидента, 9 – наименование проверки, 9.1 – ячейка подтверждения инцидента, 9.2 – дата инцидента, 9.3 – время инцидента, 9.4 – наименование инцидента, 9.5 – результат проверки на наличие инцидента, 9.6 – ячейка демонстрации инцидентов графической области, 10 – результат проверки на наличие коренного инцидента, 11 – ячейка демонстрации коренного инцидента в графической области, 12 – кнопка формирования отчёта.

Рисунок 4.1 – Окно диагностирования

- 3 Курсор (3) предназначен для указания места на графической области, для которого на экран выводятся текущие значения параметров.
- 4 Бегунок (4) предназначен для перемещения курсора вдоль графических областей.
- 5 Панель управления графическими областями (5) содержит набор инструментов для работы с выводимыми на экран графиками параметров.
- 6 Кнопка запуска автоматической диагностики (6) предназначена для запуска процесса автоматического диагностирования локомотива.
- 7 Область редактирования диагноза (7) предназначена для обработки результатов диагностирования (диагноз). При открытии Окна диагностирования область редактирования диагноза неактивна и остаётся таковой вплоть до окончания процесса автоматической диагностики. После этого открывается список инцидентов и становятся доступными для работы следующие части области:
 - ячейка подтверждения коренного инцидента (8): постановка флажка, который присваивает статус «Инцидент» нарушениям. Снятие флажка, соответственно, снимает статус инцидента. В процессе автоматического диагностирования, флажок и статус «Инцидент» присваиваются всем нарушениям, соответствующим заданным критериям поиска;
 - наименование проверки (9) – название инцидента, наличие которого проверялось в процессе автоматического диагностирования (см. столбец «Название инцидента» в Приложении А);
 - результат проверки на наличие инцидента (10) – статус «Инцидент», или его отсутствие;
 - ячейка демонстрации инцидента в графической области (11) – при выборе этой ячейки, все инциденты выводятся в виде графиков параметров в графическую область. Для демонстрации графиков по каждой проверке задействуется одно из 3 окон графической области, поэтому, количество одновременно задействованных ячеек ограничено тремя.
- 8 По двойному нажатию на строку с наименованием проверки, раскрывается список инцидентов, содержащий:
 - ячейку подтверждения инцидента (9.1) – её функционал аналогичен ячейке подтверждения инцидента, но предназначен для присвоения статуса

«Инцидент» отдельным эпизодам нарушения в рамках одного коренного инцидента;

- дату инцидента (9.2) – когда имело место нарушение;
 - время инцидента (9.3) – в какое время дня имело место нарушение;
 - наименование инцидента (9.4) – аналогично наименованию коренного инцидента (9);
 - результат проверки на наличие инцидента (9.5) – аналогично результату проверки на наличие инцидента (10);
 - ячейку демонстрации инцидента в графической области (9.6) – аналогично ячейке демонстрации инцидента (11) за исключением того, что все инциденты демонстрируются в одной графической области, и как следствие, количество одновременно задействованных ячеек не ограничено.
- 9 Повторное двойное нажатие на строку с наименованием проверки сворачивает список инцидентов.
- 10 Кнопка формирования отчёта (12) предназначена для направления выбранных инцидентов в ЕСМТ.

4.3 АРМ «УМНЫЙ ЛОКОМОТИВ»

С октября 2016 г. ООО «Кlover Групп» по договору с ООО «ТМХ-Сервис» [19, 56, 67, 124] ведёт разработку Системы интеллектуальной диагностики и прогноза технического состояния локомотивов АРМ «Умный локомотив» (АРМ УЛ), в основу которой легли разработки автора диссертации.

АРМ УЛ предназначен для диагностирования локомотивов серий 2(3)ТЭ116У, 2ТЭ25КМ, 3ТЭ25К2М, ТЭП70У(БС), 2(3)ТЭ10МК(УК), 2(3,4)ЭС5К, ВЛ80Р, ЭП1М(П), 2(3)ЭС4К, ЭП2К по данным бортовых микропроцессорных систем управления [146]. Основываясь на результатах, полученных в процессе разработки АРМ «Осциллограф» [54] и АРМ "МСУД" [55], АРМ на практике реализует возможности, описанные в пунктах 3.6 – 3.10.

Скомпилированное программное обеспечение расположено на удалённом сервере, при этом всё взаимодействие осуществляется через интернет посредством экранных форм, представленных на рисунке 4.2 и в Приложении К. Возможности конкретного пользователя по взаимодействию с АРМ определяются его правами доступа, обозначенными при настройке учётной записи:

- гость – может просматривать список локомотивов, данные МСУ, инциденты и отчёты;
- диагност – помимо обозначенного выше может выполнять валидацию инцидентов (отменять автоматически выявленные инциденты и создавать пользовательские), формировать и редактировать отчёты при помощи конструктора отчётов (рисунок К8 в Приложении К) а также отправлять выполненные инциденты в диагностическую карту АСУ СГ (рисунок 7 в Приложении И);
- администратор – помимо обозначенного выше может добавлять и изменять права пользователей, а также редактировать классификаторы нормативно-справочной информации (НСИ) и алгоритмы диагностики;
- разработчик – помимо обозначенного выше может создавать новые экранные формы и НСИ, изменять адреса баз данных для получения и отправки информации, а также создавать, редактировать и удалять сами базы данных.

Сеанс работы с АРМ начинается с авторизации пользователя через форму (рисунок 4.2), посредством ввода адреса электронной почты и пароля. Авторизация необходима для защиты системы от стороннего вмешательства и разграничения прав доступа пользователей, а также определения пользователя, выявившего и отправившего в АСУ СГ конкретный инцидент.

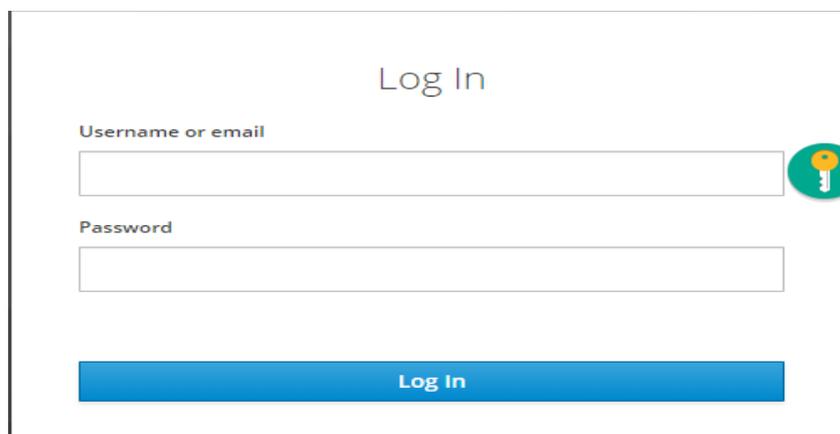


Рисунок 4.2 – Окно авторизации

Авторизовавшись, пользователь попадает в главное окно системы, внешний вид которого зависит от прав доступа: гость и диагност (рисунок К1 в Приложении К), администратор и разработчик (рисунок К2 в Приложении К). Имеются электронные кнопки:

- «Реестр загрузок» для перехода в форму Реестра загрузок (рисунок К4 в Приложении К);
- «Модель данных» для редактирования списка параметров МСУ по сериям локомотивов;
- «Правила» для перехода в форму создания и редактирования алгоритмов диагностирования;
- «Загрузка данных» для перехода в форму загрузки данных (рисунок К3 в Приложении К);
- «Отчёты» для перехода в форму конструктора отчётов;
- «Источники данных» для редактирования адресов баз, содержащих данные МСУ и результаты диагностики;
- «Панели мониторинга» предназначена для перехода к списку инструментов для визуализации данных и мониторинга.

АРМ УЛ работает в логике загрузок – групп файлов одного локомотива, загруженных в АРМ одновременно. Инциденты, выявленные при анализе загрузки в дальнейшем привязываются к дате и времени загрузки данных, а также СЛД, с учётной записи которого произведена загрузка. Загрузка файлов МСУ в АРМ УЛ осуществляется посредством формы загрузки данных (приведена на рисунке К3 в Приложении К), состоящей из следующих элементов:

- поле ввода данных локомотива (1 на рисунке К3 в Приложении К) предназначено для ввода информации о локомотиве, данные которого загружаются в АРМ; если формат файлов МСУ позволяет автоматически распознать серию, номер локомотива и номер секции – АРМ автоматически предлагает вариант заполнения поля;
- кнопка «Загрузите файл» (2) предназначена для выбора файлов для загрузки;
- индикатор загрузки файлов (3) показывает количество загруженных файлов в отношении к количеству файлов, выбранных для загрузки;
- список загруженных файлов МСУ (4) показывает название и состояние каждого файла, выбранного для загрузки в АРМ; в случае если формат не позволяет открыть файл с помощью АРМ УЛ – он отмечается в списке красным цветом с возможностью дальнейшего удаления из списка;
- кнопка «Проанализировать» (5) предназначена для отправки диагностических данных на анализ.

Переход к анализу данных осуществляется через форму «Реестр загрузок» (рисунок К5 в Приложении К), представляющую собой список всех загрузок (одновременно загруженных групп файлов МСУ 1 секции локомотива), выполненных за время существования системы. Имеются поля:

- ID (1 на рисунке К4 в Приложении К): индивидуальный номер каждой загрузки;
- информации о локомотиве (2): данные о серии, номере локомотива и номере секции;
- «Депо приписки» (3): информация о депо, к которому приписан локомотив;

- «СЛД» (4): информация о сервисном депо, пользователи которого загрузили данные в АРМ;
- «Вид ТОиР» (5): информация о виде сервисного обслуживания, на котором были считаны файлы локомотива;
- «Дата загрузки» (6): информация о дате загрузки данных;
- «Продолжительность данных» (7): информация о суммарной продолжительности данных МСУ, содержащихся в загрузке;
- «Статус обработки» (8): информацию о состоянии загрузки:
 - процент обработки – в случае если загрузка ещё не обработана;
 - «Обработано» – если загрузка обработана успешно;
 - «Ошибка» – если при обработке файлов возникла ошибка;
 - «Прекращено» – если обработка была остановлена администратором;
- «Кол-во инцидентов» (9): информация о количестве выявленных инцидентов (для успешно обработанных загрузок);
- «Начало данных» и «Окончание данных» (10): информация о времени начала и окончания диагностических данных.

Переход к анализу данных осуществляется нажатием на строку с загрузкой, находящейся в статусе «Обработано».

Анализ диагностических данных осуществляется через форму анализа данных (рисунок К5 в Приложении К).

- Шкала выбора диапазона данных (1 на рисунке К4 в Приложении К) предназначено для выбора участка времени, данные за который будут отображены на экране. Синим на шкале отмечены участки времени, за которые в АРМ УЛ присутствуют данные МСУ.
- Поле анализа данных (2) предназначено для визуального анализа данных МСУ и валидации инцидентов, выявленных при помощи алгоритмов диагностики. Оно состоит из поля графиков (2.1) и поля выбора отображаемых на экране параметров (2.2). Одно поле анализа данных поддерживает единовременный просмотр графиков до 20 различных

параметров. Цвет названия параметра соответствует цвету графика параметра на поле графиков.

- Кнопка «События» предназначена для перехода в форму просмотра инцидентов (приведено на рисунке К6 в Приложении К).
- Кнопка «Графики» (4 на рисунке К4 в Приложении К) предназначена для вызова меню работы с полями анализа данных (добавления, редактирования и удаления полей анализа данных). Интерфейс АРМ УЛ поддерживает одновременный вывод на экран до 16 полей анализа данных.
- Кнопка «Диапазон» (5) предназначена для ручного ввода границ участка времени, данные за который будут отображены на экране.
- Кнопка «Отчёты» (6) предназначена для выведения на экран отчёта о диагностике локомотива. По содержанию отчёт аналогичен отчёту АРМ «Осциллограф-3».
- Кнопка «Инциденты пользователя» предназначена для регистрации инцидентов, выявленных пользователем вручную при анализе данных. Форма работы с инцидентами приведена на рисунке 6 в Приложении И.
- Столбец «Название» (1 на рисунке К6 в Приложении К) содержит название типов инцидентов, выявленных для данной загрузки.
- Столбец «Количество» (2) содержит информацию о количестве инцидентов данного типа, содержащихся в данной загрузке.
- Столбец «Критичность» (3) содержит информацию о критичности данного типа инцидентов:
 - низкая – информационное сообщение, принятие мер не требуется;
 - средняя – требуется принятие мер на ближайшем ТР;
 - высокая – требуется принятие мер на ближайшем ТО2;
 - критическая – требуется немедленное отстранение локомотива от работы.
- Столбец «Показать» (4 и 8.4) содержит флаги, при снятии которых данный тип инцидентов (или инцидент для флага 8.4) не отображается в поле просмотра графиков.
- Столбец «Выгрузить» (5 и 8.4) содержит флаги, при снятии которых данный тип инцидентов (или инцидент для флага 8.5) не выгружается в АСУ СГ. При

снятии флага диагност указывает причину игнорирования инцидентов данного типа в специальной форме.

- Столбец «Показать рекомендации» (6) предназначен для выведения на экран рекомендаций по устранению инцидентов данного типа.
- Кнопка «Выгрузить в АСУ СГ» (7) предназначена для выгрузки всех выявленных инцидентов в АСУ СГ (выгруженные инциденты приведены на рисунке 4.9).
- Нажатие на стрелочку (8) позволяет увидеть информацию по каждому отдельному инциденту данного типа:
 - сообщение (8.1) – краткое описание инцидента;
 - диапазон времени (8.2) – время начала. Окончания и продолжительность инцидента;
 - кнопка «Перейти» (8.3) для отображения инцидента в поле анализа данных.

Для формирования сводных отчётов по инцидентам, выявленным в процессе диагностики локомотивов, в АРМ УЛ предусмотрен конструктор отчётов (форма приведена на рисунке К8 в Приложении К):

- тип отчёта (1 на рисунке К8 в Приложении К) – форма отображения данных (может быть табличной, сводной или графической диаграммой – круговой или столбчатой);
- условия фильтрации (2) – заданные пользователем правила отбора данных, выводимых в отчёте;
- колонки (3) – поле выбора колонок данных, включаемых в отчёт;
- поле отчёта (4) – поле для просмотра сформированного отчёта;
- кнопка «Сгенерировать» (5) – кнопка для создания отчёта по выбранным параметрам;
- кнопка «Выгрузить» (6) – кнопка для выгрузки сгенерированного отчёта в таблицу форматов excel или .csv.

Пользователь может сохранять и изменять созданные отчёты.

4.4 ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 4

- 1 Работы по реализации модели мониторинга, разработанной в рамках концепции АСУНТ [98] велись в ООО «ЛокоТех» с 2012г. В процессе разработки, модель мониторинга прошла несколько итераций.
- 2 Первые эксперименты были начаты в СЛД «Тында-Северная» с данными аппаратно-программного комплекса АПК «Борт» производства ОАО «НИИТКД» (г. Омск) на тепловозах серии 2ТЭ10МК. Первые результаты показали эффективность бортового диагностирования. В результате было принято решение сверх штата СЛД создать группы диагностики в депо, где обслуживаются локомотивы с МСУ.
- 3 Во АО «ВНИКТИ» для просмотра данных МСУ-ТП тепловозов серий и ТЭП70БС была разработана программа «Осциллограф», главным недостатком этой достаточно удачной программы была трудоёмкость ручного поиска предотказных состояний. По заданию компании ООО «ТМХ-Сервис» по алгоритмам автора диссертации программа «Осциллограф» была доработана до версии «Осциллограф-2», а по итогам её опытной эксплуатации – до версии «Осциллограф-3».
- 4 С октября 2016 г. ООО «Кlover Групп» по договору с ООО «ТМХ-Сервис» [56] ведёт разработку Системы интеллектуальной диагностики и прогноза технического состояния локомотивов АРМ «Умный локомотив», предназначенного для диагностирования локомотивов серий 2(3)ТЭ116У, 2ТЭ25КМ, 3ТЭ25К2М, ТЭП70У(БС), 2(3)ТЭ10МК(УК), 2(3,4)ЭС5К, ВЛ80Р, ЭП1М(П), 2(3)ЭС4К, ЭП2К по данным бортовых микропроцессорных систем управления [146]. Основываясь на результатах, полученных в ходе диагностирования локомотивов в ООО «ЛокоТех», АРМ на практике реализует описанную в разделе 3 модель диагностики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получены новые научно обоснованные технические и технологические решения, направленные на повышение эффективности системы сервисного обслуживания локомотивов за счет разработки модели технического диагностирования тепловозов по данным бортовых аппаратно-программных МСУ тепловозов серии 2ТЭ116У при планировании объема ремонтов.

1 Выполнен вероятностно-статистический анализ данных МСУ-ТП по трём полигонам их эксплуатации. Обработано 1,12 млн записей МСУ-ТП 126-и секций тепловозов по трём полигонам их эксплуатации в сумме за 3000 суток. Получены следующие основные результаты, позволяющие сделать вывод о высокой информативности МСУ-ТП:

- работа на нулевой ПКМ по времени для всех полигонов составляет более 64 % при нулевой вероятности соответствия нормальному закону распределения $P = 0$; преобладают ходовые ПКМ: 1 (18 %, $P = 0,1$), 3 (9,1 %, $P = 0,42$) 5 (11,2 %, $P = 0$), 11 (11,9 %, $P = 0$); распределение времени работы на ПКМ 4 (6,61 %, $P = 0,42$) унимодально;
- распределение по объёму вырабатываемой энергии (%) имеет отличие: 5 (11,4 %, $P = 0,1$), 7 (8,8 %, $P = 0$), 9 (10,1 %, $P = 0$), 11 (17,3 %, $P = 0,851$) и 13 (18,5 %, $P = 0$), таким образом, 35,8 % электроэнергии вырабатывается на ПКМ 11 и 13;
- по полигонам распределения времени работы на позициях 1, 3, 4, 5, 8, 11 являются унимодальными: анализ следует проводить отдельно по полигонам;
- применение двухдизельного исполнения магистрального тепловоза для статистически определённых по данным МСУ-ТП режимов эксплуатации по предложенным алгоритмам управления экономит топливо в объёме 3,5 %.

2 Разработаны способы диагностирования по данным МСУ-ТП: ДГУ по параметрам вращения коленчатого вала и мощности тягового генератора; вспомогательных систем ДГУ по параметрам температур воды, масла, топлива и давления масла, топлива и наддувочного воздуха при остановленном дизеле, на холостом ходу и при работе под нагрузкой; топливной аппаратуры и качества сгорания по цилиндрам дизеля по параметрам температуры выхлопных газов на режимах холостого хода, частичной и полной нагрузки.

3 Разработан и апробирован метод автоматизированного диагностирования однотипного оборудования тепловозов серии 2ТЭ116У (тяговые электродвигатели, форсунки, цилиндропоршневые группы дизеля и др.) с использованием корреляционного анализа данных МСУ-ТП: получен патент РФ № 2707423 от 28.04.2018. Для тяговых электродвигателей (ТЭД) доказано, что снижение коэффициента корреляции r_{xy} токов якорей ТЭД ниже $r_{xy} = 0,997$ является признаком отказа. При $r_{xy} \in \{0,99 - 0,996\}$ наблюдается разброс токов. При $r_{xy} \in \{0,90 - 0,99\}$ наблюдаются неисправности коллекторно-щёточного узла и других узлов ТЭД. При $r_{xy} < 0,90$ имели место отказы ТЭД.

4 Выполнен анализ диагностической информативности бортовых МСУ как отношение диагностической информативности МСУ к общей энтропии информационного пространства об отказах тепловоза $k_{МСУ}$. Рассчитанные по статистике отказов и стоимости восстановления работоспособности коэффициенты для тепловозов серии 2ТЭ116У ($k_{МСУ} = 0,751$) и серии 2ТЭ25КМ ($k_{МСУ} = 0,838$) свидетельствуют о высокой, но недостаточной для отказа от планово-предупредительной системы ТОиР информативности. Система планово-предупредительного ТОиР должна сохраняться.

5 Разработанные методы диагностирования внедрены через соответствующие программные модули стационарных автоматизированных рабочих мест (АРМ) «Осциллограф-3» и «Умный локомотив» в виде алгоритмов диагностирования и математических моделей оборудования локомотивов. АРМ «Умный локомотив» находится в эксплуатации в 62-х сервисных локомотивных депо и используется при планировании индивидуального объёма ТОиР локомотивов.

6 Для дальнейшего повышения надёжности тепловозов 2ТЭ116У и улучшения их технического состояния рекомендуется организовать непрерывный мониторинг технического состояния и режимов эксплуатации по данным МСУ-ТП с дистанционной (в режиме online) передачей данных в сервисные предприятия для предварительного планирования работ и ресурсов ТОиР, совершенствования методов ТОиР с постепенным переходом на ремонт по фактическому техническому состоянию.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

СОКРАЩЕНИЕ	ОПИСАНИЕ
АО	Акционерное общество
ОАО	Открытое акционерное общество
ОАО «РЖД»	Открытое акционерное общество «Российские железные дороги»
АПК	Аппаратно-программный комплекс
АРМ	Автоматизированное рабочее место
АРМ УЛ	Автоматизированное рабочее место «Умный локомотив»
АСТД	Автоматизированная система технического диагностирования
АСУ	Автоматизированная система управления
АСУЖТ	Автоматизированная система управления железнодорожного транспорта
АСУ СГ	АСУ «Сетевой график»: информационно управляющая система (ERP- и MES-система) сервисных локомотивных депо группы компаний «ЛокоТех»
АСУТ	Информационная система АСУЖТ управления локомотивным хозяйством
АСУ ТП	Автоматизированная система управления технологических процессов производства
АЦП	Аналогово-цифровой преобразователь
АЧХ	Амплитудно-частотная характеристика
БАУ	Блок автоматического управления электровозов серии ВЛ85
БМЗ	Брянский машиностроительный завод
БУ	Блок управления
БУВИП	Электронный или микропроцессорный блок управления выпрямительно-инверторным преобразователем
ВИП	Выпрямительно-инверторный преобразователь электровозов переменного тока
ВНИИЖТ	Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта
ВНИКТИ	Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава
ВНПК	Всероссийская научно-практическая конференция
ВЭлНИИ	Всероссийский электровозостроительный научно-исследовательский институт
ДВГУПС	Дальневосточный государственный университет путей сообщения
ДГУ	Дизель генераторная установка
ДЦВ	Дорожный центр внедрения
ДЦУП	Дорожный центр управления поездами
ж.д.	железная дорога

СОКРАЩЕНИЕ	ОПИСАНИЕ
ИОММ	Интегрированная обработка маршрута машиниста
ИрГУПС	Иркутский государственный университет путей сообщения
ИСУЖТ	Информационная система управления железнодорожным транспортом
КГЭ	Коэффициент готовности к эксплуатации
КЖЦ	Контракт жизненного цикла, чаще всего – между ОАО «РЖД» и производителем локомотивов)
КЗ	Коломенский завод
КМБ	Колёсно-моторный блок (один из ключевых элементов локомотива)
КР	Капитальный ремонт локомотивов
КрИЖТ	Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал ИрГУПС
КТГ	Коэффициент технической готовности
КТЖ	Казахстан темир жолы (железные дороги Казахстана)
ЛВРЗ	Улан-Удэнский локомотивовогоремонтный завод
ЛО	Линейное оборудование, базовое понятие в для учёта элементов локомотива
Логнорм.	Логарифмически-нормальный закон распределения
ЛокоТех	ООО и группа компаний «Локомотивные технологии»
ЛЭС	Локомотивные электронные технологии
МВПС	Моторвагонный подвижной состав
МНПК	Международная научно-практическая конференция
МОП	Моторно-осевой подшипник
МПИ	Материалы повторного использования.
МПСУ, МСУ	Микропроцессорная система управления
МСУД	Микропроцессорные системы управления электровозов Новочеркасского электровозостроительного завода
МСУ-Т МСУ-ТП, МСУ-ТЭ	Микропроцессорные системы управления отечественных тепловозов
МТО	Материально-техническое обеспечение
НИИ	Научно-исследовательский институт
НИИАС	Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте
НИИТКД	Научно-исследовательский институт технологии, контроля и диагностики железнодорожного транспорта
НИОКР	Научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа
НИР	Научно-исследовательские работы (работа)
НПК	Научно-практическая конференция
НПО	Научно-производственное объединение
НР	Неплановый ремонт

СОКРАЩЕНИЕ	ОПИСАНИЕ
НРЭ	Нарушение режима эксплуатации локомотива
НСИ	Нормативно-справочная информация
НЭВЗ	Новочеркасский электровозостроительный завод
ОКР	Опытно-конструкторские работы
ОмГУПС	Омский государственный университет путей сообщения
ПГУПС	Санкт-Петербургский государственный университет путей сообщения
ПК	Персональный компьютер
ПКБ	Проектно-конструкторское бюро
ПКБ ЦТ	Проектно-конструкторское бюро локомотивного хозяйства
ПКМ	Позиция контроллера машиниста
ПО	Программное обеспечение
ППС	Планово-предупредительная система обслуживания и ремонта
ПС	Подвижной состав
ПСН	Преобразователь собственных нужд локомотива
ПТОЛ	Пункт технического обслуживания локомотивов
ПТЭ	Правила технической эксплуатации российских железных дорог
РГУПС	Ростовский государственный университет путей сообщения
РЖД	Российские железные дороги
РУТ (МИИТ)	Российский университет транспорта
САПР	Системы автоматического проектирования (локомотивов)
САУТ	Система автоматического управления тормозами разработки НПО «САУТ». Микропроцессорная версия – САУТ-ЦМ
СВЛТР	Система взаимодействия с локомотивом посредством технологической радиосвязи
СКО	Среднеквадратичное отклонение (σ)
СЛД	Сервисное ремонтное локомотивное депо
СППР	Система поддержки принятия решений
СР	Средний ремонт локомотивов
СТД	Система технического диагностирования
СУБД	Система управления базами данных
Т	Локомотивное хозяйство
ТАУ	Теория автоматического управления
ТМХ	Акционерное общество «Трансмашхолдинг»
ТМЦ	Товарно-материальные ценности
ТНВД	Топливный насосы высокого давления
ТО	Техническое обслуживание
ТО-1, ТО-2, ТО-3, ТО-4, ТО-5 и др.	Виды технического обслуживания локомотивов
ТОиР	Техническое обслуживание и ремонт

СОКРАЩЕНИЕ	ОПИСАНИЕ
ТП	Технологический процесс
ТПС	Тяговый подвижной состав
ТР	Текущий ремонт
ТР-1, ТР-2, ТР-3	Виды текущего ремонта локомотивов
ТТ,	Технические требования
ТЗ	Техническое задание
ТУ	Технические условия
ТЧ	Локомотивное депо (телеграфный код)
ТЧР	Ремонтное локомотивное депо
ТЧЭ	Эксплуатационное локомотивное депо
ТЭД	Тяговый электродвигатель
ТЭО	Технико-экономическое обоснование
УВВ	Управляемый выпрямитель возбуждения
УПУ	Унифицированный пульт управления
УСАВП	Универсальная система автоведения поезда
ЦАП	Цифро-аналоговый преобразователь
ЦД	Центральная дирекция управления движением – филиал ОАО «РЖД»
ЦОММ	Централизованная обработка маршрутов машиниста
ЦТ	Дирекция тяги – филиал ОАО «РЖД»
ЦУП	Центр управления перевозками
ЦУТР	Центр управления тяговыми ресурсами
ШИМ	Широтно-импульсная модуляция
ЭВМ	Электронная вычислительная машина, компьютер
ЭПК	Электро-пневматический клапан
AI	Artificial Intelligence (искусственный интеллект)
BTS	Bombardier Transportation Services
DB	Deutsche Bahn (Немецкие железные дороги)
GE	General Electric, компания в США, в т.ч. выпускающая тепловозы (General Electric Transportation)
GETS	General Electric Transportation Systems
ERP	Enterprise Resource Planning, типовая АСУ по управлению предприятием
ERTMS	The European Rail Traffic Management System
ETCS	European Train Control System
ICE	Intercity-Express
IGBT	Insulated-gate bipolar transistor
IT	Information Technology, информационные технологии
ITIL	IT Infrastructure Library, библиотека знаний по сервисному обслуживанию IT-систем
ITSM	IT Service Management, базовая часть ITIL
MES	Manufacturing Execution System, типовая АСУ планирования производства

СОКРАЩЕНИЕ	ОПИСАНИЕ
MS	Microsoft
PDCA	Plan Do Check Act
RFID	Radio Frequency Identification
SLA	Service Level Agreement, соглашение об уровне сервиса, обычно SLA указывается в контракте жизненного цикла
SQL	Structured Query Language
TCN	Train Communication Network – поездная коммуникационная сеть
TPS	Toyota Production System
VBA	Visual BASIC for Applications
т.н.	так называемый
т.п.	тому подобное
т.ч.	в том числе

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Аболмасов, А.А.** Информационные средства автоматизированной системы управления надёжностью локомотивов ТМХ-Сервис / А.А. Аболмасов, В.А. Мельников // Эксплуатационная надёжность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов. Тезисы первой всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – 2014. – С. 12 – 19.
- 2 **Аболмасов, А.А.** Модернизация тепловозов серии ТЭП70 микропроцессорными системами управления / Аболмасов А.А., Мельников В.А., Пустовой И.В. // Локомотив. – 2017. – № 1. – С. 10 – 12.
- 3 **Аболмасов, А.А.** Мониторинг и диагностирование технического состояния локомотивов / А.А. Аболмасов, В.А. Мельников, И.И. Лакин; – Москва : LAP Lambert Academic Publishing AG & CO.KG, 2014. – 102 с.
- 4 **Аболмасов, А.А.** Совершенствование методов диагностирования электрических машин локомотивов по данным микропроцессорных систем управления / Аболмасов А.А., Лисин Д.О., Мельников В.А. // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование – 2019. – № 3. – С. 69 – 75.
- 5 **Аболмасов, А.А.** Управление техническим состоянием тягового подвижного состава в условиях сервисного обслуживания : дис. канд. техн. наук : 05.22.07 / А.А. Аболмасов. – Москва : МИИТ, 2017. – 180 с.
- 6 Автоматизированная система ведения и анализа графика исполненного движения. URL: <http://scbist.com/stati-po-scb/1013-gid-ural.html> (дата обращения 11.06.2015).
- 7 Аппаратно-программный комплекс «БОРТ» – Омск : НИИТКД, 2005. – 604 С.
- 8 АСУТ НБД-2 – Современное средство управления безопасностью и надёжностью локомотивов. URL: <http://www.to-inform.ru/index.php/arkhiv/item> (дата обращения 21.12.2020)
- 9 **Бабков, Ю.В.** Прямой и косвенный способы определения уровня энергетической эффективности тепловозов / Ю.В. Бабков, Ю.И. Клименко, В.А. Перминов // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 3 – С. 55 – 60.

- 10 **Богомольный, Е.С.** Методика диагностирования водяной и масляной систем тепловозов / Е.С. Богомольный, В.А. Перминов, Т.В. Ставров // Труды ВНИТИ, Коломна. – 1983. – № 58. – С. 29 – 37.
- 11 **Богомольный, Е.С.** Методика диагностирования радиатора тепловоза / Е.С. Богомольный, В.С. Ткаля, Т.В. Ставров, С.А. Скирич, В.А. Перминов, Б.С. Гольдберг // Труды ВНИТИ, Коломна. – 1989. – № 64. – С. 56 – 69.
- 12 **Богославский, А.Е.** Совершенствование системы технического обслуживания топливной аппаратуры тепловозных дизелей средствами вибрационного диагностирования : дис. канд. техн. наук. – Харьков, 1988. – 96 с.
- 13 **Бочаров, С.М.** Использование информации АПК «Борт» для изменения периодичности технического обслуживания (ТО-3) и текущего ремонта маневровых тепловозов / 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.
- 14 **Бычков, Д.А.** Система автоматического управления силовой установкой тепловоза, совместимая с существующими системами автоведения / Д.А. Бычков // Проблемы железнодорожного транспорта. Сборник трудов ВНИИЖТ. – Москва : Интекст, 1999. – С. 72 – 75.
- 15 **Бычков, Д.А.** Снижение эксплуатационного расхода топлива тепловозами 2ТЭ116 путём применения микропроцессорной системы управления дизель-генератором / Д.А. Бычков – Москва : ВНИИЖТ, 2005. – 178 С.
- 16 **Валиев, М.Ш.** Повышение эффективности работы тепловозов средствами бортовых систем диагностирования : дис. канд. техн. наук: 05.22.07 / М.Ш Валиев – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2011. – 161 с.
- 17 **Васильев, Б.В.** Диагностирование технического состояния судовых дизелей / Б.В. Васильев, Д.И. Кофман, С.Г. Эренбург – Москва : Транспорт, 1982. – 144 с.
- 18 **Васин, П.А.** Для диагностики тепловоза – комплекс «Магистраль» / П.А. Васин // Локомотив. – 2001. – №7. – С. 27 – 31.

- 19 **Вдовенко, М.Ю.** Устройство для регистрации данных телеметрии тягового электродвигателя: предпосылки создания и особенности диагностики / М.Ю. Вдовенко, М.Д. Зотов, В.А. Мельников // Техника железных дорог. – 2022. – №1 (57). – С. 31 – 37.
- 20 **Вентцель, Е.С.** Теория вероятностей: Учеб. для вузов – 5е изд. стер / Е.С. Вентцель – Москва : Высшая школа, 1998. – 576 с.
- 21 Викисловарь URL: <http://ru.wiktionary.org/wiki> (дата обращения 21.05.2015).
- 22 **Вознюк, В.Н.** Управление надежности тепловозов / В.Н. Вознюк, Т.В. Ставров, Н.М. Найш // Труды ВНИТИ, Коломна. – 1989. – № 70. – С. 3 – 9.
- 23 **Володин, А.И.** Локомотивные двигатели внутреннего сгорания. Изд. 2-е перераб. и доп. / А.И. Володин – Москва : Транспорт, 1990. – 256 с.
- 24 **Володин, А.И.** Опыт разработки и внедрения технических средств для оценки качества ремонта и настройки ДГУ тепловозов при реостатных испытаниях / А.И. Володин, В.А. Четвергов – М. : Транспорт, 1986. – 51 с.
- 25 **Володин, А.И.** Экономичность силовых установок тепловозов / А.И. Володин, Г.А. Фофанов – Москва : Транспорт, 1979. – 126 с.
- 26 **Володин, А.И.** Эффективный контроль качества работы локомотивов / А.И. Володин, В.З. Даминов, В.А. Четвергов // Железнодорожный транспорт. – 1982. – № 8. – С. 12 – 14.
- 27 **Воробьев, А.А.** Основы технологии производства подвижного состава / А.А. Воробьев, А.В. Горский – М. : МИИТ, 2003. – 228 с.
- 28 **Галиев, И.И.** Анализ износа деталей дизеля типа Д100 применительно к системе диагностики по результатам спектрального анализа картерного масла / И.И. Галиев, Е.И. Сковородников, С.М. Овчаренко – Омск : Омский институт инженеров ж.д. транспорта, 1990. – 25 с.
- 29 **Гапанович, В.А.** Математическое и информационное обеспечение системы УРРАН / В.А. Гапанович, И.Б. Шубинский, А.М. Замышляев // Надежность. – 2013. – № 1 (44). – С. 3 – 11.
- 30 **Гапанович, В.А.** Некоторые вопросы управления ресурсами и рисками на железнодорожном транспорте на основе состояния эксплуатационной надежности и безопасности объектов и процессов (проект УРРАН). /

- В.А. Гапанович, А.М. Замышляев, И.Б. Шубинский // Надежность. – 2011. – № 1 (36). – С. 2 – 8.
- 31 **Гапанович, В.А.** Система адаптивного управления техническим содержанием инфраструктуры железнодорожного транспорта (проект УРРАН) / В.А. Гапанович, И.Б. Шубинский, Е.Н. Розенберг, А.М. Замышляев // Надежность. – 2015. – № 2 (53). – С. 4 – 11.
- 32 **Гольдберг, Б.С.** Некоторые аспекты проектирования и внедрения системы технической диагностики тепловозов / Б.С. Гольдберг, В.А. Перминов, Т.В. Ставров, П.А. Здор // Труды ВНИТИ, Коломна. – 1989. – № 66. – С. 72 – 80.
- 33 **Горский, А. В.** Использование эксплуатационных показателей надёжности для оптимизации межремонтных пробегов электровозов на полигоне Челябинск – Рыбное / А.В. Горский, А.А. Воробьёв, А.В. Скребков // Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов: материалы первой международной научно-практической конференции – Москва : ООО «ТМХ-Сервис». – 2014. – С. 144 – 152.
- 34 **Горский, А.В.** Надёжность электроподвижного состава / А.В. Горский, А.А. Воробьёв – Москва : УМЦ ЖДТ, 2005. – 303 с.
- 35 **Горский, А.В.** Оптимизация системы ремонта локомотивов / А.В. Горский, А.А. Воробьёв. – Москва : Транспорт, 1994. – 209 с.
- 36 **Горюнов, Е.В.** Совершенствование виброакустического диагностирования узлов судовых среднеоборотных дизелей : дис. канд. техн. наук / Е.В. Горюнов – Горький, 1986. – 215 с.
- 37 ГОСТ 20911-89 Техническая диагностика. Термины и определения. Москва : Техэксперт, 2009. – 12 с.
- 38 ГОСТ 27.002-2015 Надёжность в технике. Термины и определения Москва : Техэксперт, 2016. – 28 с.
- 39 ГОСТ Р 52122-2003 Техническая диагностика. Локомотивы магистральные. Встроенные системы диагностирования. Общие требования Москва : Техэксперт, 2003 – 46 с.
- 40 **Грачёв, В.В.** Научные основы применения методов интеллектуального анализа данных для контроля технического состояния локомотивов : дис. д-

- ра. техн. наук: 05.22.07 / Грачёв, В.В. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2020. – 434 с.
- 41 **Грачев, В.В.** Оценка технического состояния тепловозного дизеля по данным бортовой микропроцессорной системы управления / В.В. Грачев, М.Ш. Валиев // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2010. – № 1. – С. 22-32.
- 42 **Гребенников, А.С.** Неравномерность частоты вращения коленчатого вала при различных режимах работы ЛВС / А.С. Гребенников // Двигателестроение. – 1987. – № 5. – С. 47 – 49.
- 43 **Гриненко, В.И.** Мониторинг технического состояния локомотивов по данным их бортовых микропроцессорных систем / В.И. Гриненко, А.А. Аболмасов, В.А. Мельников // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 4 – С. 71 – 74.
- 44 **Грицай, Л.Л.** Диагностические параметры главных судовых малооборотных дизелей / Л.Л. Грицай, В.Ф. Горбунов, В.Н. Калугин, Б.М. Левин // Труды ЦНИИМФа. – 1973. – №174. – С.3 – 19.
- 45 **Грищенко, А.А.** Оценка эффективности тепловозной многодизельной энергетической установки с объединенной системой охлаждения / А.А. Грищенко, В.А. Кручек, В.В. Кручек. // Известия ПГУПС : Санкт-Петербург. – 2012. – № 1, С. 44 – 49.
- 46 **Грищенко, А.В.** Повышение производительности и топливной экономичности тепловозов средствами микропроцессорной техники : автореф. дис. ... д-ра. техн. наук: 05.22.07 / А.В. Грищенко – Санкт-Петербург, 1995. – 36 с.
- 47 **Губертус, Г.** Диагностика дизельных двигателей. Серия "Автомеханик" / Г. Губертус; – Москва : За рулем, 2004. – 176 с.
- 48 **Давыдов, А.И.** Повышение эффективности системы анализа и нормирования энергопотребления на тягу поездов : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / А.И. Давыдов – Омск : ОмГУПС, 2012. – 18 с.
- 49 **Деминг, Э.** Выход из кризиса / Э. Деминг – Тверь : Изд-во "Альба", 1994. – 497 с.
- 50 Диагностика электровоза ВЛ80С с помощью системы автоведения УСАВП-ГПТ URL: <http://avpt.ru/product/usavp> (дата обращения 21.12.2020).

- 51 Дистанционный контроль технического состояния электровозов НЭВЗ URL: <http://zaoles.ru/> (дата обращения 30.04.2014).
- 52 Дмитриев, С.А. Определение предотказного состояния тяговых электродвигателей / Дмитриев С.А., Мельников В.А. // Локомотив. – 2017. – № 6. – С. 36 – 37.
- 53 Договор ОАО «РЖД» с ООО «ТМХ-Сервис» (№ 285) от 30.04.2014 на сервисное обслуживание локомотивов – Москва : ОАО «РЖД», 2014. – 36 с.
- 54 Договор ООО «ТМХ-Сервис» с ЗАО «ЛЭС» (№ 03-14/13) от 30.08.2013 на разработку автоматизированного рабочего места диагностирования электровозов по данным бортовых регистраторов микропроцессорных систем управления – Москва : ООО «ТМХ-Сервис», 2013. – 7 с.
- 55 Договор ООО «ТМХ-Сервис» с ОАО «ВНИКТИ» (№ 6/13) от 29.01.2013 на разработку автоматизированного рабочего места диагностирования тепловозов по данным бортовых микропроцессорных систем управления – Москва : ООО «ТМХ-Сервис», 2013. – 10 с.
- 56 Договор ООО «ТМХ-Сервис» с ООО «Кlover Групп» (№ 0225-2016/ТМХС) от 01.10.2016 на разработку системы интеллектуальной диагностики и прогноза технического состояния локомотивов – Москва : ООО «ТМХ-Сервис», 2016. – 42 с.
- 57 Доработка программного обеспечения (ПО) для бортовых микропроцессорных систем управления (МСУЭ) с алгоритмической защитой электровозов ВЛ80Р от опасных режимов эксплуатации – Красноярск : ЗАО «ДЦВ Красноярской ж.-д.», 2014. – 4 с.
- 58 Единая корпоративная автоматизированная система управления трудовыми ресурсами (ЕК АСУФР) URL: http://www.ocrv.ru/projects/index.php?ELEMENT_ID=2048 (дата обращения 03.05.2015).
- 59 Единая система мониторинга работы бортовых систем (ЕСМ БС) URL: <http://infokom.org/edinaya-sistema-bortovih-sistem/> (дата обращения 11.06.2015).
- 60 **Замышляев, А.М.** Автоматизация процессов комплексного управления техническим содержанием инфраструктуры железнодорожного транспорта :

- Автореферат дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.06 / А.М. Замышляев. – Москва, 2013. – 46 с.
- 61 **Замышляев, А.М.** Технология анализа оценки рисков в эксплуатационной работе ОАО «РЖД» на основе показателей эксплуатационной надежности безопасности / А.М. Замышляев // Москва : Ядерные измерительно-информационные технологии, 2011. – № 2. – С. 86 – 100.
- 62 **Игин, В.Н.** Научные основы анализа и контроля энергетической эффективности эксплуатируемого парка тепловозов : дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07 / В.Н. Игин. – Москва : МИИТ, 2003. – 307 с.
- 63 Информационно-аналитическая система АСУ ЗМ URL: <http://scbist.com/wiki/25678-asu-zm.html> (дата обращения 26.04.2016).
- 64 **Исаев, И.П.** Стремитесь познавать: Методологический подход к исследованию и решению технических проблем железнодорожного транспорта / И.П. Исаев. – Москва : Транспорт, 1988. – 159 с.
- 65 **Исаев, И.П.** Система ремонта локомотивов с учетом их фактического состояния на основе технического диагностирования / И.П. Исаев, И.П. Горский, А.Т. Осяев // Вестник ВНИИЖТа. – 1991, № 6. – С. 31 – 34.
- 66 **Како, Н.** Датчики и микро-ЭВМ: Н. Како, Я. Яманэ ; перевод с японского. – Ленинград : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. – 120 с.
- 67 **Касимов, Д.Б.** Разработка оптимизационной модели тяговых ресурсов на полигоне железной дороги с учетом реализации предиктивной аналитики технического состояния локомотивного парка / Касимов Д.Б., Обухов А.Д., Мельников В.А. // Современные технологии управления транспортным комплексом России: инновации, эффективность, результативность. – 2018. – С. 100 – 106.
- 68 Каталог продукции НИИТКД для локомотивного хозяйства – Омск : НИИТКД, – 2017. – 126 с.
- 69 **Ким, С.И.** Тепловозы. Назначение и устройство: Учебник для образовательных учреждений ж.- д. транспорта / С.И. Ким, О.Г. Куприенко, Э.И. Нестеров, А.С. Евстратов; под редакцией О.Г. Куприенко; – Москва : Маршрут, 2006. – 280 с.

- 70 **Киселёв, В.И.** Обоснование последствий нарушений режимов эксплуатации локомотивов. Отчёт о проделанной работе. / В.И. Киселёв; – Москва : МИИТ, 2015. – 47 с.
- 71 Комплексная автоматизированная система управления железнодорожным транспортом / Под редакцией Петрова А.П. – Москва : Транспорт, 1977. – 599 с.
- 72 Концепция комплексной системы диагностики тягового подвижного состава – Москва, 2001. – 40 с.
- 73 **Коньков, А.Ю.** Средства и метод диагностирования дизелей по индикаторной диаграмме рабочего процесса / А.Ю. Коньков, В.А. Лашко; – Хабаровск. : ДВГУПС, 2007. – 149 с.
- 74 **Коссов, Е.Е.** К вопросу прогнозирования остаточного ресурса тепловозного дизель-генератора / Е.Е. Коссов, И.В. Сиротенко // Вестник ВНИИЖТа. – 2000. – №7. – С. 38 – 43.
- 75 **Коссов, Е.Е.** Микропроцессорная система регулирования дизель-генератора / Е.Е. Коссов, А.С. Нестрахов, И.П. Аникиев, Д.А. Бычков // Локомотив. – 2002. – №12. – С. 48.
- 76 **Коссов, Е.Е.** Оптимизация режимов работы тепловозных дизель-генераторов / Е.Е. Коссов, С.И. Сухопаров – Москва : Интекст, 1999. – 184 с.
- 77 **Коссов, Е.Е.** Электронный регулятор для дизель-генератора магистрального тепловоза / Е.Е. Коссов, А.С. Нестрахов, И.П. Аникиев, Д.А. Бычков, А.Н. Кирьянов, С.В. Лобанов, В.В. Фурман // Локомотив. – 2004. – №№ 6 – 7.
- 78 **Коссов, Е.Е.** Анализ стоимости жизненного цикла (LCC) при оценке эффективности подвижного состава / Е.Е. Коссов, М. Бабел, М. Шкода // Вестник ВНИИЖТ. – 2013. – № 6. – С. 55 – 59.
- 79 **Котов, О.М.** Многофункциональная микропроцессорная система управления тепловоза 2ТЭ116У / О.М. Котов, Д.Н. Сергеев, П.Л. Чудаков // Коломна : Труды ВНИКТИ, 2004. – № 83. – С. 106 – 110.
- 80 **Кручек, В.В.** Улучшение эксплуатационных показателей маневровых тепловозов : дис. канд. техн. наук: 05.22.07 / В.В. Кручек – Санкт-Петербург, 2012. – 144 с.

- 81 **Кудряш, А.П.** Резервы повышения экономичности тепловозов 2ТЭ10Л / А.П. Кудряш, Е.Г. Заславский, Э.Д. Тартаковский – Москва : Транспорт, 1975. – 65 с.
- 82 **Кузнецова, И.А.** Оценка технико-энергетической эффективности режимов работы маневровых тепловозов путём моделирования рабочих процессов оборкдования в режимах эксплуатации : дис. канд. техн. наук : 05.22.07 / И.А. Кузнецова – Москва : МИИТ, 2017. – 162 с.
- 83 **Лакин, И.И.** Математические методы проверки достоверности данных о надёжности локомотивов, их эксплуатации и техническом обслуживании / Лакин И.И., Мельников В.А. // Известия Транссиба. – 2022 – № 2 (50). – С. 66 – 73.
- 84 **Лакин, И.И.** История становления предиктивного ремонта в АО "Трансмашхолдинг" / И.И. Лакин, В.Н. Пустовой// Локомотив. – 2021. – № 10. – С. 12 – 13.
- 85 **Лакин, И.И.** Мониторинг технического состояния локомотивов по данным бортовых аппаратно-программных комплексов : дис. канд. техн. наук : 05.22.07 / И.И. Лакин; – Москва : МИИТ, 2016. – 195 с.
- 86 **Лакин, И.К.** «Умный локомотив»: диагностирование тяговых электродвигателей тепловозов с использованием методов машинного обучения / Лакин И.К., Павлов В.В., Мельников В.А. // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике – 2018. – № 6 (73). – С. 43 – 51.
- 87 **Лакин, И.К.** Автоматизация управления надёжностью оборудования локомотивов / И.К. Лакин, В.В. Семченко, А.П. Семенов // Локомотив. – 2020. – № 9. – С. 35 – 36.
- 88 **Лакин, И.К.** Автоматизированная система управления локомотивным хозяйством. АСУТ / Под редакцией И.К. Лакина – Москва : ОЦВ, 2002. – 516 с.
- 89 **Лакин, И.К.** Анализ режимов работы тепловозов 2ТЭ116У по данным бортовых МСУ / И.К. Лакин, В.А. Мельников, Д.И. Габа. // Локомотив. – 2015. – № 5. – С. 34 – 36.
- 90 **Лакин, И.К.** Диагностирование электрической передачи тепловозов с использованием методов машинного обучения / Лакин И.К., Павлов В.В.,

- Мельников В.А. // Вестник института проблем естественных монополий: техника железных дорог – 2017. – № 4 – С. 43 – 51.
- 91 **Лакин, И.К.** Как сформировать план ремонта локомотивов с учетом их технического состояния / Лакин И.К., Мельников В.А., Сысоев Г.В. // Локомотив. – 2017. – № 6. – С. 9 – 10.
- 92 **Лакин, И.К.** Модель управления рисками отказов локомотивов / И.К. Лакин, А.А. Аболмасов, В.А. Мельников // Мир транспорта. – 2013. – № 4. – С. 130 – 136.
- 93 **Лакин, И.К.** Организация ремонта тепловозов по диагностическим данным современных МСУ / Лакин И.К., Мельников В.А. // Современные проблемы железнодорожного транспорта: сборник трудов по результатам международной конференции / Под ред. К.А. Сергеева – Москва : МИИТ. – 2019. – Т.1. – С.32 – 39.
- 94 **Лакин, И.К.** Применение статистических методов при диагностировании тепловозов / И.К. Лакин, А.А. Аболмасов, В.А. Мельников // Известия Транссиба. – 2015. – № 1(21). – С. 20 – 28.
- 95 **Лакин, И.К.** Совершенствовать технологию реостатных испытаний тепловозов / И.К. Лакин, А.К. Пляскин, В.А. Мельников, С.А. Дмитриев // Локомотив. – 2016. – № 5. – С. 38 – 42.
- 96 **Лакин, И.К.** Центр мониторинга и диагностики компании GE Transportation / И.К. Лакин – Москва : ООО «ТМХ-Сервис», 2013. – 21 с.
- 97 **Лapidус, В.А.** Всеобщее качество (TQM) в российских компаниях / В.А. Лapidус. – Москва : ОАО «Типография Новости», 2000. – 432 с.
- 98 **Липа, К.В.** Автоматизированная система управления надёжностью локомотивов (АСУНТ). Концепция ТМХ-Сервис / К.В. Липа В.И. Гриненко, С.Л. Лянгасов, И.К. Лакин, А.А. Аболмасов, В.А. Мельников; – Москва : ООО «ТМХ-Сервис», 2012. – 160 с.
- 99 **Липа, К.В.** Мониторинг технического состояния локомотивов по данным бортовых микропроцессорных систем управления. Липа К.В., Гриненко В.И., Лянгасов С.И., Лакин И.К., Аболмасов А.А., Мельников В.А. – Москва : ООО «ТМХ-Сервис», 2013. – 156 с.
- 100 **Липа, К.В.** Мониторинг технического состояния локомотивов. Теория и практика / 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; – Москва : ООО «Локомотивные технологии», 2015. – 212 с.
- 101 **Лозановский, А.Л.** Надёжность и эффективность электровозов ВЛ80р в эксплуатации / Л.Д. Капустин, А.С. Копанёв, А.Л. Лозановский – Москва : Транспорт, 1986. – 240 с.
- 102 **Марков, В.А.** Метод повышения топливной экономичности дизель-генераторной установки тепловоза в условиях эксплуатации / В.А. Марков, А.Ю. Епишин, С.С. Лобода // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. М. – 2017 – №1 (682). – С.55 – 62.
- 103 **Матюхин, В.Г.** Искусственный интеллект транспорта (ИСУЖТ) URL: <http://www.vniias.ru/images/img/ISUZHT/pdf/2019.pdf> (дата обращения 21.12.2020).
- 104 **Мельников, В.А.** Алгоритмическая защита современных локомотивов / Мельников В.А. // Наука МИИТа – транспорту. – 2014. – С. III-86 – III-87.
- 105 **Мельников, В.А.** Диагностирование локомотивов с применением методов машинного обучения / Неделя науки - 2017. Труды. В двух частях. – 2017 – С. III-60 – III-61.
- 106 **Мельников, В.А.** Комплексный подход к диагностике локомотивов по данным МСУ / Мельников В.А. // Неделя науки - 2019. Труды. В двух частях. – 2019. – Ч.1. – С. III-86 – III-87.
- 107 **Мельников, В.А.** Методические подходы к диагностированию тепловозов серии 2ТЭ116У по данным МСУ-ТП / В.А. Мельников // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: Материалы пятой международной научно-практической конференции, посвящённой 40-летию начала строительства Байкало-Амурской магистрали. – 2014 – С. 612 – 617.
- 108 **Мельников, В.А.** Опыт мониторинга тепловозов по данным бортовых микропроцессорных систем / В.А. Мельников // Наука МИИТа – транспорту. – 2013. – С. III-88 – III-89.
- 109 **Мельников, В.А.** Применение специальных методов статистического анализа для оценки остаточного ресурса узлов локомотива / Мельников В.А. // Неделя науки - 2018. Труды. В двух частях. – 2018 – Ч.1. – С. III-64 – III-65.
- 110 **Мельников, В.А.** Эффективность диагностирования тепловозов 2ТЭ116У по данным бортовых микропроцессорных систем / В.А. Мельников //

- Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов. Тезисы первой международной научно-практической конференции. – 2014. – С. 208 – 212.
- 111 **Мельников, В.А.** Эффективность диагностирования тепловозов 2ТЭ116У по данным бортовых микропроцессорных систем / В.А. Мельников // 120 лет железнодорожному образованию в Сибири. Материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – 2014. – С 87 – 92.
- 112 **Мельников, В.А.** Алгоритмическая защита локомотивов / В.А. Мельников, И.И. Лакин, А.А. Аболмасов. // Локомотив 2015. – № 4 С. 8-10.
- 113 **Мельников, В.А.** Диагностирование тепловозов по данным бортовых микропроцессорных систем / В.А. Мельников // Мир транспорта. – 2014. – № 3. – С. 56 – 62.
- 114 **Мельников, В.А.** Использование корреляционного анализа при диагностировании тепловозов 2ТЭ116У / В.А. Мельников // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. Материалы шестой международной научно-практической конференции – Иркутск. – 2015. – С. 343 – 349.
- 115 Метод наименьших квадратов. URL: http://mathprofi.ru/metod_naimenshih_kvadratov.html (дата обращения 21.12.2020).
- 116 Микропроцессорная система управления электровозов переменного тока МСУЭ – Красноярск URL: <http://dsv.ru/> (дата обращения 13.04.2015).
- 117 **Митрохин, Ю.В.** Стандарты качества локомотивного хозяйства / Ю.В. Митрохин, В.Ю. Алфёров, В.В. Семченко, И.К. Лакин – Красноярск : Издательство ДЦВ Красноярской ж. д., 2011. – 60 с.
- 118 **Мурзин, А.А.** Количественные показатели качества функционирования тепловозов / А.А. Мурзин, В.А. Четвергов // Исследование надежности и экономичности дизельного подвижного состава: Сб. науч. труд. / Омский институт инженеров ж.д. транспорта. – 1973. – № 145. – С. 26 – 28.
- 119 НИИТКД. Официальный сайт. Технологическое и диагностическое оборудование для депо URL: www.niitkd.com (дата обращения 08.06.2020).
- 120 **Никитин, Е.А.** Диагностирование дизелей / Е.А. Никитин, Л.В. Станиславский, Э.А. Улановский – Москва : Машиностроение, 1987. – 224 с.

- 121 **Носырев, Д.Я.** Научные основы контроля и диагностирования тепловозных дизелей по параметрам рабочих процессов / Д.Я. Носырев, Е.М. Тарасов, А.С.Левченко, В.П. Мохонько – Самара. : СамИИТ, 2001. – 174 с.
- 122 **Носырев, Д.Я.** Научные основы контроля и диагностирования тепловозных дизелей по параметрам рабочих процессов : дис. докт. техн. наук: 05.22.07/ Д.Я. Носырев. – Омск, 2000. – 374 с.
- 123 Обзор ERP системы: SAP R3 URL: <http://iteranet.ru/itnovosti/2013/12/26/obzor-erp-sistemy-sap-r3/> (дата обращения 24.06.2014).
- 124 **Обухов, А.Д.** Оптимизация тяговых ресурсов с учетом предиктивной аналитики технического состояния парка локомотивов / Обухов А.Д., Мельников В.А. // Локомотив – 2019. – № 2. – С. 15 – 16.
- 125 **Овчаренко, С.М.** Диагностирование узлов локомотивов по результатам спектрального анализа смазочного материала / С.М. Овчаренко – Москва : Компания Спутник, 2006. – 175 с.
- 126 ОМИКС URL: <http://om-x.ru> (дата обращения 21.12.2020).
- 127 ОМИКС ВАСТ URL: <http://www.vibrotek.ru> (дата обращения 21.12.2020).
- 128 ОСТ 1 02776–2001: Эксплуатация техническая авиационной техники по состоянию. Основные положения. Москва : ТД ЗКИ, 2001, 6 с.
- 129 ОСТ 45.152-99: Техническое обслуживание и ремонт средств электросвязи. Термины и определения. Москва : ТД ЗКИ, 2001, 18 с.
- 130 **Осяев, А.Т.** Концепция управления жизненным циклом изделий железнодорожного транспорта ОАО «РЖД» / под ред. А.Т. Осяева. – Москва : ВНИИЖТ, 2006 – 100 с.
- 131 Отчет о научно-исследовательской работе "Разработка и исследование опытного образца устройства для управления секционной тягой, Испытание на тепловозе 2ТЭ10Л (В). Технические требования" № И-804-Т-83 раздел 3а – Москва : ВНИИЖТ, 1983. – 34 с.
- 132 Отчет о научно-исследовательской работе "Результаты исследований режимов работы тепловозных дизелей в эксплуатации на сети ж.д. Разработка предложений по повышению топливной экономичности серийных тепловозов", № И-804-Т-81 раздел 2а / Москва : ВНИИЖТ, 1981. – 69 с.

- 133 **Павлович, Е.С.** Определение оптимальных пробегов тепловозов между ремонтами / Е.С. Павлович – Омск, 1968. – 102 с.
- 134 **Павлович, Е.С.** Разработка диагностической модели тепловозного дизеля с учетом условий эксплуатации / Е.С. Павлович Д.Я. Носырев, В.М. Барышев // Тезисы докладов Всесоюзной научно-практической конференции с участием социалистических стран. – Москва : ВЗИИТ. – 1988. – С. 90 – 91.
- 135 **Панфёров, В.И.** Концепция комплексной системы диагностики тягового подвижного состава. Принципы и общие положения / В.И. Панфёров, А.А. Хацкелевич, П.И. Борцов, А.Т. Осяев, Д.Л. Киржнер, В.А. Перминов, С.И. Ким, Ю.В. Бобков, М.Д. Федотов, М.Д. Рабинович, Б.Д. Никифоров, А.Л. Донской, В.С. Вербицкий и др.; – Москва : ОЦВ, 2001. – 37 с.
- 136 Патент 2569216 Российская Федерация, МПК В 61 К 11/00. Способ управления обслуживанием и ремонтом тягового подвижного состава железнодорожного транспорта и система для его осуществления: № 2569216: заявл. 24.10.2013: опубликован 20.11.2015. / Липа К.В., Гриненко А.В., Лянгасов С.Л., Лакин И.К., Аболмасов А.А., Мельников В.А. заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «ТМХ-Сервис» – 2 с. – Текст: непосредственный
- 137 Патент 2593729, Российская Федерация, МПК В 61 L 27/00; G 06 F 11/36; G 05 В 19/048; G 05 В 23/02. Способ контроля режимов эксплуатации локомотивов: заявл. 22.01.2015: опубликован 10.08.2016. / Липа К.В., Гриненко А.В., Лянгасов С.Л., Лакин И.К., Аболмасов А.А., Баркунова А.А., Мельников В.А. заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «ТМХ-Сервис» (RU) – 2 с. – Текст: непосредственный.
- 138 Патент 2626168, Российская Федерация, МПК В 61 К 11/00; В 61 L 99/00. Способ технического диагностирования оборудования локомотивов и устройство для его осуществления: № 2626168: заявл. 30.12.2015: опубликован 27.07.2017. / Липа К.В., Белинский А.А., Лянгасов С.Л., Аболмасов А.А., Лакин И.И., Мельников В.А. заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «ТМХ-Сервис» (RU); – 2 с. – Текст: непосредственный.
- 139 Патент 2707423, Российская федерация, МПК G 06 F 11/00, G 05 В 23/02, G 05 В 17/00. Способ и система для диагностирования промышленного объекта:

- № 2018116275: заявл. 24.08.2018: опубликован 28.10.2019. / Касимов Д.Б., Лисин Д.О., Молчанов Д.П., Гурфов А.Р., Вдовенко М.Ю., Мельников В.А. заявитель и правообладатель ООО «Кlover Групп». – 23 с.: ил. – Текст: непосредственный.
- 140 Первая локомотивная компания, официальный сайт URL: <http://1-plk.com> (дата обращения 21.12.2020).
- 141 **Перминов, В.А.** Тепловые диагностические модели характеристик охладителей тепловозных дизелей / В.А. Перминов, Е.С. Богомольный, Т.В. Ставров, Е.А. Шутков // Труды ВНИТИ, Коломна. – 1969. – № 59. – С. 156 – 161.
- 142 **Пермяков, В.П.** Необходимость «Встроенного качества» / В.П. Пермяков – Ижевск, ООО «ТБМ-Поволжье», 2012. – 36 с.
- 143 **Плакс, А.В.** Дефектоскопия механической части электрического подвижного состава / А.В. Плакс, А.П. Зеленченко; – Санкт-Петербург, 1998. – 23 с.
- 144 **Пляскин, А.К.** Разработка и внедрение унифицированной технологии проведения. Отчёт о научно-исследовательской работе / А.К. Пляскин; – Хабаровск, 2015 – 60 с.
- 145 **Покровский, С.В.** Система управления и диагностики электровоза ЭП10 ; Под редакцией д.т.н. С.В. Покровского. – Москва : Интекст, 2009 – 356 с.
- 146 Пользовательская инструкция по работе с Системой ИДПТС «Умный локомотив» – Москва : ООО «Кlover Групп», 2017 г. – 35 с.
- 147 Преобразователь выпрямительно-инверторный ВИП-4000М-УХЛ2. Технические условия ТУ16-91 ИЖРФ 435 511.021 ТУ– Саранск : «Электровыпрямитель», 2001 – 82 с.
- 148 Проектирование систем автоматического управления и защиты тепловозов. Учебное пособие. Издание 2-е, переработанное и дополненное – Москва : Транспорт, 1979. – 200 с.
- 149 **Пустовой, И.В.** Разработка информационно-динамической модели управления сервисным техническим обслуживанием и ремонтом локомотивов : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / И.В. Пустовой. – Омск : ОмГУПС, 2018. – 183 с.
- 150 **Пушкарев, И.Ф.** Контроль и оценка технического состояния тепловозов / И.Ф. Пушкарев, Э.А. Пахомов – Москва : Транспорт, 1985. – 160 с.

- 151 **Розенберг, Е.Н.** Многоуровневая система управления и обеспечения безопасности движения поездов : дис. докт. техн. наук: 05.13.06 / Е.Н. Розенберг. – Москва : МИИТ, 2004. – 317 с.
- 152 Салимов, А.В. Повышение топливной экономичности тепловозных дизелей в эксплуатации за счёт оптимизации их регулировок: Дис. канд. техн. наук : 05.22.07 / А.В. Салимов – Самара : СамГУПС, 2004. – 171 с.
- 153 Свид. 2020664319. Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Статистический анализ параметров МСУ-ТП при эксплуатации тепловозов 2ТЭ116У для их технического обслуживания и ремонта: заявл. 26.10.2020: опубликовано 11.11.2020 / Мельников В.А., Лакин И.К. – 1 с. – Текст: непосредственный.
- 154 СВЛТР. Система мониторинга дислокации и технического состояния электровозов 2ЭС6 и 2ЭС10 (Синара) URL: <http://www.trans-ip.ru/svltr.html> (дата обращения 01.02.2017).
- 155 **Семенов, А.П.** Исследование эффективности эксплуатации локомотивов / А.П. Семенов, И.К. Лакин // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения, Омск. – 2019. – №. 4(36). – С. 41 – 53.
- 156 **Семенов, А.П.** Комплексные решения автоматизации технологических процессов диагностирования и ремонта подвижного состава / А.П. Семенов, С.В. Елисеев // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: Материалы X Междунар. науч.-практ. конф. ПГУПС; НВЦ «Вагоны». – Санкт-Петербург, 2015. – С. 65 – 68.
- 157 **Семенов, А.П.** Модель управления жизненным циклом локомотивов с использованием современных методов технического диагностирования : дис. докт. техн. наук: 05.22.07 / А.П. Семенов. – Москва : МИИТ, 2022. – 379 с.
- 158 **Семенов, А.П.** Мониторинг технического состояния электровозов переменного тока по расходу электроэнергии на тягу поездов / А.П. Семенов, В.В. Семченко, И.Ю. Хромов // Мир транспорта, Москва : РУТ – 2020. – № 5. – С. 62 – 89.
- 159 **Семенов, А.П.** Перспективы развития цифровых технологий в сервисных ремонтных локомотивных депо / А.П. Семенов, В.В. Семченко, И.К. Лакин // Москва : Локомотив – 2020 – № 11. – С. 2 – 5.

- 160 **Семенов, А.П.** Применение информационных технологий при совершенствовании системы ремонта железнодорожной техники / А.П. Семенов, А.Н. Головаш, Д.Э. Тиссен, М.В. Лифанов // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях: сборник научных статей III Международной научно-практической конференции / Минобрнауки России; Курск : Юго-Западный государственный университет, 2012. – С. 181 – 185.
- 161 **Семенов, А.П.** Разработка киберфизической модели системы управления жизненным циклом локомотивов / А.П. Семенов, В.В. Семченко, И.К. Лакин // Локомотив – 2021. – № 3. – С. 36 – 39.
- 162 **Семенов, А.П.** Способ определения теплотехнического состояния ДГУ тепловозов / А.П. Семенов, С.М. Кузнецов // Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов: материалы второй международной научно-практической ООО «Локомотивные технологии», 2015. – С. 264-268.
- 163 **Семенов, А.П.** Обеспечение эксплуатационной надежности поездов метрополитена на основе системы сбора, обработки и анализа диагностической информации / А.П. Семенов // Вестник ЮурГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2014. – № 2 (2014). – С. 98 – 104.
- 164 **Семенов, А.П.** Организация проведения реостатных испытаний при комиссионных проверках с использованием данных бортовых систем / А.П. Семенов, С.М. Кузнецов // Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава: Материалы 3-й всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Часть 1. – Омск : ОмГУПС, 2015. – С. 107 – 115.
- 165 **Семенов, А.П.** Применение современных систем диагностирования в транспортном комплексе / А.П. Семенов // Приоритетные направления и актуальные проблемы развития средств технического обслуживания летательных аппаратов: Сборник материалов докладов II Всероссийской НПК. – Воронеж : ВУНЦ ВВС «ВВА». – 2016. – С. 36 – 38.
- 166 **Семченко, В.В.** Диагностирование систем управления электровозов переменного тока с тиристорными преобразователями: обслуживания: дис. канд. техн. наук: 05.22.07 / В.В. Семченко – Хабаровск : ДВГУПС, 2010. – 199 с.

- 167 **Семченко, В.В.** Микропроцессорная система управления и диагностирования электровозов ВЛ80р. МСУЭ. Учебное пособие по эксплуатации. / 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.
- 168 **Семченко, В.В.** Опыт ДЦВ Красноярской ж.д. сервисного технического обслуживания и ремонта электронного оборудования электровозов. / В.В. Семченко // Эксплуатация и обслуживание электронного и микропроцессорного оборудования тягового подвижного состава. Труды конференции. Красноярск, 2020. – С. 42 – 58.
- 169 **Семченко, В.В.** Эксплуатация и техническое обслуживание электронных систем управления электровозов переменного тока / В.В. Семченко, И.К. Лакин, И.Е. Чмилев – Красноярск : Издательство дорожного центра внедрения Красноярской железной дороги, 2010. – 72 с.
- 170 Сервисное обслуживание URL: <https://locotech.ru/services/14/> (дата обращения 08.11.2021).
- 171 **Сергеев, С.В.** Система МСУ-Т магистрального пассажирского тепловоза ТЭП70БС / С.В. Сергеев, С.А. Камышников // Труды ВНИКТИ, Коломна. – 2004. – № 83 – С.64 – 76.
- 172 **Симсон, А.Э.** Испытания тепловозных и судовых дизелей типа Д100 / А.Э. Симсон, Н.П. Синенко, Ф.М. Маляров, Б.Н. Струнге – Москва : Машгиз, 1960. – 264 с.
- 173 Система автоматической идентификации подвижного состава (САИ ПС) URL: <http://npogdps.com/assets/files/07-11/sai.pdf> (дата обращения 16.03.2016).
- 174 Система микропроцессорная управления, регулирования и диагностики. Руководство по эксплуатации– Коломна.: ОАО ВНИКТИ, 2012 – 96 с.
- 175 **Склифус, Я.К.** Сокращение энергопотребления системы охлаждения дизеля тепловоза изменением функциональной схемы и способа подачи тепла : дис. канд. техн. наук: 05.22.07 / Я.К. Склифус – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2015. – 159 с.

- 176 **Стрекопытов, В.В.** Оптимизация энергетических установок тепловозов с электрической передачей мощности на основании параметрической надёжности: дис. д-ра техн. наук / В.В. Стрекопытов. – Ленинград : ЛИИЖТ, 1977 – 280 С.
- 177 **Стрекопытов, В.В.** Параметрическая надёжность тепловозных энергетических установок / В.В. Стрекопытов // Железнодорожный транспорт. – 1973. – №2. – С.31 – 34.
- 178 **Стрекопытов, В.В.** Повышение надёжности локомотивов и эффективности их работы / В.В. Стрекопытов – СПб. : ПГУПС, 2003. – 10 с.
- 179 **Стрельников, В.Т.** Комплексное управление качеством технического обслуживания и ремонта электровозов / В.Т. Стрельников, И.П. Исаев – Москва : Транспорт, 1980. – 207 с.
- 180 **Субботин, Р.Н.** Анализ наработки на непланный ремонт тепловозов 2ТЭ116 / Р.Н. Субботин, А.А. Аболмасов, В.А. Мельников // Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов. Материалы второй научно-практической конференции. – Москва : ООО «Локомотивные технологии». – 2015. – С. 297 – 308.
- 181 **Тартаковский, Э.Д.** Основы автоматизации технического обслуживания, диагностирования и ремонта локомотивов / Э.Д. Тартаковский – Харьков : ХИИТ, 1987. – 72 с.
- 182 **Тартаковский, Э.Д.** Совершенствование технологии технического обслуживания тепловозов / Э.Д. Тартаковский, Н.Н. Бабанский., А.Б. Бабанин // Электрическая и тепловозная тяга. – 1982. – №1. – С.24-26.
- 183 **Уокенбах, Д.** Формулы в Excel 2013 / Д. Уокенбах – Москва : Диалектика, 2016. – 270 с.
- 184 **УСАВП-Т.** Универсальная система автоведения магистральных тепловозов URL: <http://www.avpt.ru/sa/usavp-t> (дата обращения 08.08.2014).
- 185 Устройства железнодорожной автоматики и телемеханики URL: http://annrep.rzd.ru/reports/public/ru?STRUCTURE_ID=4251 (дата обращения 14.06.2014).
- 186 **Фофанов, Г.А.** Режимы работы тепловозов и пути повышения их топливной экономичности / Г.А. Фофанов, Э.А. Пахомов, А.А. Лосев // Москва : Вестник ВНИИЖТ. – 1983. – №6 – С. 56.

- 187 **Фуфрянский, Н.А.** Развитие локомотивной тяги / Н.А. Фуфрянский, А.Н. Бевзенко – Москва : Транспорт, 1988. – 344 с.
- 188 **Ханцевич, Д.Т.** Будущее – за комплексным сервисом / Д.Т. Ханцевич // РЖД-Партнёр. – 2012. – № 14 (233). – С. 4 – 5.
- 189 **Хомич, А.З.** Локомотив: диагностика, эксплуатация / А.З. Хомич, А.Д. Шевчук, С.Г. Жалкин, Э.Д. Тартаковский – Харьков : Прапор, 1975. – 112 с.
- 190 **Хомич, А.З.** Экономия топлива и техническая модернизация тепловозов / А.З. Хомич, О.И. Тупицын, А.Э. Симеон – Москва : Транспорт, 1975. – 264 с.
- 191 **Хомич, А.З.** Диагностика и регулировка тепловозов / А.З. Хомич, С.Г. Жалкин, А.Э. Симеон, Э.Д. Тартаковский – Москва : Транспорт, 1977. – 220 с.
- 192 **Хромов, И.Ю.** Анализ влияния режимов эксплуатации на техническое состояние локомотивов : дис. канд. техн. наук : 05.22.07 / И.Ю. Хромов – Москва : РУТ, 2021. – 181 С.
- 193 **Чанкин, В.В.** Спектральный анализ масел в транспортных двигателях и методы контроля их состояние без разборки / В.В. Чанкин – Москва : Транспорт, 1967. – 84 с.
- 194 **Черемисин, В.Т.** Повышение энергетической эффективности предприятий по сервисному обслуживанию локомотивов на базе концепции «Умное предприятие» / В.Т. Черемисин, В.И. Иванченко, А.А. Комяков и др. // Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов: материалы третьей международной научно-практической конференции – Москва : ООО «ЛокоТех», 2018. – С. 372 – 376.
- 195 **Черняков, А.А.** Влияние метеорологических условий на диагностические параметры транспортного дизеля / А.А. Черняков, А.А. Алексеев // Проблемы теории и практики автомобильного транспорта. Санкт-Петербург : СЗТУ. – 2010. – № 3. – С.30 – 51.
- 196 **Четвергов, В.А.** Надежность локомотивов / В.А. Четвергов – Москва : Маршрут, 2003. – 415 с.
- 197 **Шабалин, Н.Г.** Электронное оборудование электровоза ВЛ80Р ремонт и техническое обслуживание / Н.Г. Шабалин, В.Н. Горбань, А.Л. Донской. – Москва : Транспорт, 1984. – 183 с.

- 198 **Шантаренко, С.Г.** Инженерные методы анализа и обеспечения эксплуатационной надёжности колёсно-моторных блоков локомотивов новых серий / 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 **Шевчук, В.Д.** Техническая диагностика тепловозов / В.Д. Шевчук, В.П. Колотий, С.Г. Жалкин, Э.Д. Тартаковский // Электрическая и тепловозная тяга. – 1974. – №9. – С. 17 – 18.
- 200 **Шеннон, К.** Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон – Москва : Изд. иностр. лит., 1963. – 832 с.
- 201 **Baldwin, S. Lunt.** Latest Developments in online oil condition monitoring sensors / Baldwin S. Lunt. // Kittiwake Development Ltd. Littelhampton – 18 p.
- 202 **Dr. Irene V. Faruhar.** Information infrastructure for in-site machinery and lubricants monitoring. Maintenance and risk analysis / Dr. Irene V. Faruhar. – 12 p.
- 203 ERTMS Solutions. URL: <http://www.ertmssolutions.com> (дата обращения 21.12.2020).
- 204 ETCS. Координация внедрения систем ETCS на европейской сети URL: <http://www.css-rzd.ru/zdm/2005-10/05107.htm>. (дата обращения 14.06.2014).
- 205 **Hedlund, Eric.** Apparatus and Method for Performance and Fault analysis is. Патент США WO 01/31450 / E. Hedlund, N. Roddy, D. Gibson, R. Bliley – General Electric Company, 2001. – 58 p.
- 206 **Schwartz, S.E.,** Development of automatic engine oil-change indicator system / S.E. Schwartz, D.J. Smolenski // SAE paper 870403. – 1987.

Результаты расчёта информативности МСУ тепловозов

Таблица А.1 – Результаты расчёта информативности МСУ-ТП тепловоза 2ТЭ116У

Группа	Наименование оборудования	P_{TP-1}	C/S	I_{Σ}	I_{MSU}	P_{oi}
Дизель, дизельное оборудование	Система циркуляции воды	0,02073	0,0336	0,0073	0,0055	75%
	Выпускной коллектор	0,0199	0,0806	0,0149	-	0%
	Фильтры масляной системы	0,01327	0,0054	0,001	0,001	100%
	Остов дизеля	0,01161	0,1128	0,0125	0,0063	50%
	Секции холодильника	0,00829	0,0269	0,0027	0,002	75%
	Водомаслянный теплообменник	0,00746	0,0151	0,0015	0,0007	50%
	Поршневая группа дизеля	0,00663	0,0376	0,003	0,0022	75%
	Турбокомпрессор	0,00663	0,0483	0,0037	0,0037	100%
	Система подачи масла	0,0058	0,0094	0,0008	0,0006	75%
	Топливный насос высокого давления	0,0058	0,0165	0,0013	0,0013	100%
	Охладитель наддувочного воздуха	0,00498	0,0081	0,0006	0,0006	100%
	Объединённый регулятор	0,00415	0,0084	0,0005	0,0005	100%
	Система подачи топлива	0,00332	0,0078	0,0004	0,0004	100%
	Реле давления масла	0,00083	0,0003	0	0	50%
	Топливоподкачивающий насос	0,00332	0,0054	0,0003	0,0003	100%
	Водяной насос охлаждения дизеля	0,00166	0,0027	0,0001	0	50%
	Клапаны топливной системы	0,00166	0,0007	0	0	100%
	Фильтры топливной системы дизеля	0,00166	0,0007	0	0	100%
	Шатунно-кривошипный механизм	0,00166	0,0134	0,0003	-	0%
	Блок аварийного возбуждения	0,00083	0,0003	0	0	50%
Воздухоочиститель	0,00083	0,0005	0	0	75%	
Маслопрокачивающий насос	0,00083	0,0013	0	0	100%	
Привод насосов	0,00083	0,0013	0	-	0%	

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение таблицы А.1

Группа	Наименование оборудования	R_{TP-1}	C/S	I_Σ	I_{мсу}	P_{oi}
Дизель, дизельное оборудование	Распределительный редуктор	0,00083	0,0024	0	-	0%
	Редуктор вентилятора охлаждения ТГ	0,00083	0,0017	0	-	0%
	Топливный бак дизеля	0,00083	0,0013	0	-	0%
	Топливный коллектор	0,00083	0,001	0	-	0%
	Топливный привод	0,00083	0,0011	0	-	0%
	Форсунка топливной системы	0,00083	0,0017	0	0	100%
Силовое оборудование	Контактор электромагнитный	0,0141	0,0091	0,0017	0,0004	25%
	Контактор электропневматический	0,00912	0,0059	0,0008	0,0002	25%
	Выпрямительная установка	0,00663	0,0081	0,0008	0,0002	25%
	Плавкий предохранитель	0,0058	0,0005	0,0001	-	0%
	Аккумулятор	0,00498	0,006	0,0005	0,0002	50%
	Реверсивный переключатель	0,00498	0,0117	0,0008	-	0%
	Автоматический выключатель	0,00415	0,0101	0,0006	-	0%
	Провода, кабели	0,00415	0,0017	0,0001	0,0001	50%
	Система подачи топлива	0,00083	0,0006	0	0	75%
	Реле давления масла	0,00249	0,001	0	0	25%
	Датчик температуры	0,00249	0,001	0	0	100%
	Контактор электромагнитный вспомогательный	0,00249	0,0011	0,0001	-	0%
	Блок возбуждения	0,00166	0,002	0,0001	0	50%
	Контроллер машиниста	0,00166	0,0027	0,0001	-	0%
	Межсекционные соединения	0,00166	0,0007	0	-	0%
	Переключатель выпрямительной установки	0,00083	0,0005	0	-	0%
	Переключатель кулачковый двухпозиционный	0,00083	0,0013	0	-	0%
	Провода, кабели силовых цепей	0,00083	0,0003	0	0	75%
	Реле промежуточное	0,00083	0,0003	0	-	0%
	Реле управления	0,00083	0,0005	0	-	0%

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение таблицы А.1

Группа	Наименование оборудования	R_{TP-1}	C/S	I_Σ	I_{мсу}	P_{oi}
Силовое оборудование	Штепсель	0,00083	0,0003	0	-	0%
	Электромагнитный вентиль выключающий	0,00083	0,0004	0	-	0%
ТЭД	ТЭД постоянного тока	0,03234	0,2881	0,0628	0,0628	100%
	Тяговый генератор переменного тока	0,00166	0,0175	0,0004	0,0001	25%
МСУ и РТС	МСУ-ТП	0,02653	0,043	0,0111	0,0111	100%
	Бортовой компьютер	0,00083	0,002	0	-	0%
	Системы автоведения	0,00083	0,0013	0	-	0%
	Системы пожаротушения	0,00083	0,001	0	-	0%
	Системы учёта топлива	0,00083	0,0013	0	0	50%
Электронные преобразователи	Агрегаты панели управления	0,00829	0,0168	0,0018	-	0%
	Электронный регулятор	0,00498	0,0121	0,0008	0,0008	100%
	Устройство импульсной подачи песка	0,00166	0,0027	0,0001	-	0%
	БУ выпрямительной установкой возбуждения	0,00083	0,0017	0	0	50%
	Датчик боксования	0,00083	0,0003	0	0	25%
Тормозное и пневматическое оборудование	Компрессор	0,00663	0,0269	0,0022	0,0022	100%
	БУ электропневматического тормоза	0,00083	0,0013	0	-	0%
	Камера осушки	0,00083	0,0007	0	-	0%
	Кран машиниста	0,00083	0,001	0	-	0%
	Колёсная пара	0,00498	0,0201	0,0013	0,0003	25%
	Корпус кузова	0,00166	0,0027	0,0001	-	0%
	Тормозная рычажная передача	0,00166	0,0013	0	-	0%
	Рама кузова	0,00083	0,0013	0	-	0%
Приборы безопасности	АЛСН	0,00166	0,0034	0,0001	-	0%
	КЛУБ-У	0,00166	0,004	0,0001	-	0%
	БЛОК	0,00083	0,0024	0	-	0%
	ТСКБМ	0,00083	0,0013	0	-	0%

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение таблицы А.1

Группа	Наименование оборудования	P_{TP-1}	C/S	I_{Σ}	I_{MCY}	P_{oi}
Приборы безопасности	Электронный скоростемер	0,00083	0,0013	0	0	50%
Вспом. эл. машины	Возбудитель синхронный	0,00249	0,006	0,0002	0,0002	75%
Вспом. эл. машины	Стартер-генератор постоянного тока	0,00166	0,0047	0,0001	0,0001	50%
Вспом. эл. машины	Электродвигатель постоянного тока	0,00083	0,0013	0	-	0%
Система вентил.	Вентилятор охлаждения ГГ	0,00166	0,0027	0,0001	-	0%
	Вентилятор охлаждения ТЭД	0,00083	0,0017	0	-	0%
Радиостанция	Радиостанция	0,00166	0,0027	0,0001	-	0%
	ИТОГО			0,1389	0,1043	
	кМСУ-ТП	75,06%				

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Таблица А.2 – Результаты расчёта информативности МПСУ-ТП тепловоза 2ТЭ25КМ

Группа	Наименование оборудования	R_{TP-1}	C/S	I_Σ	I_{мсу}	P_{oi}
Дизель и дизельное оборудование	Система циркуляции воды	0,04526	0,00594	0,00319	0,00239	75%
	Турбокомпрессор	0,04039	0,10594	0,03367	0,03367	100%
	Остов двигателя	0,03601	0,11334	0,03239	0,0162	50%
	Секция холодильника	0,03066	0,01608	0,00542	0,00542	100%
	Водомасляный теплообменник	0,01582	0,01037	0,00206	0,00155	75%
	Фильтры масляной системы	0,01509	0,00119	0,00028	0,00028	100%
	Выпускной коллектор	0,01363	0,00715	0,0013	0,00065	50%
	Объединённый регулятор	0,01241	0,00976	0,00158	0,00158	100%
	Водяной насос охлаждения дизеля	0,01217	0,01595	0,00239	0,0012	50%
	Система подачи масла	0,01217	0,00957	0,00152	0,00038	25%
	Поршневая группа дизеля	0,01144	0,04499	0,00562	0,00422	75%
	Топливный насос высокого давления	0,00852	0,01117	0,00127	0,00127	100%
	Система подачи топлива	0,00779	0,00613	0,00068	0,00051	75%
	Воздухоочиститель	0,00414	0,00434	0,00028	0,00021	75%
	Форсунка топливной системы	0,00414	0,00054	0,00004	0,00004	100%
	Фильтры топливной системы	0,00292	0,0023	0,00012	0,00012	100%
	Привод клапанов дизеля	0,00268	0,00281	0,00013	0,0001	75%
	Топливопровод	0,00268	0,00211	0,0001	0,00005	50%
	Масляный насос	0,00243	0,00255	0,00011	0,00008	75%
	Распределительный редуктор	0,00243	0,00447	0,00018	-	0%
	Привод возбуждителя	0,00219	0,0023	0,00009	-	0%
	Система вентиляции картера	0,00219	0,0023	0,00009	-	0%
	Топливоподкачивающий насос	0,00219	0,00201	0,00008	0,00006	75%
	Шатунно-кривошипный механизм	0,0017	0,00402	0,00012	-	0%
Привод насосов	0,00146	0,00153	0,00004	-	0%	
Газораспределительный механизм	0,00122	0,00128	0,00003	0,00001	50%	

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение таблицы А.2

Группа	Наименование оборудования	R_{TP-1}	C/S	I_Σ	I_{мсу}	P_{oi}
Дизель и дизельное оборудование	Топливный бак дизеля	0,00122	0,00096	0,00002	-	0%
	Впускной коллектор	0,00097	0,00077	0,00002	-	0%
	Маслопрокачивающий насос	0,00097	0,00115	0,00002	0,00002	75%
	Предельный регулятор	0,00097	0,00051	0,00001	0	25%
	Топливный коллектор	0,00097	0,00077	0,00002	0	25%
	Клапан масляной системы	0,00073	0,00057	0,00001	0	50%
	Клапан топливной системы	0,00073	0,00038	0,00001	0	75%
	Валоповоротный механизм	0,00049	0,00038	0	-	0%
	Захлопка воздушная	0,00049	0,00045	0	-	0%
	Предельный регулятор наддува	0,00049	0,00045	0	-	0%
	Привод насоса топливоподкачивающего	0,00049	0,00051	0,00001	0	50%
	Редуктор вентилятора охлаждения ТГ	0,00049	0,00057	0,00001	-	0%
	Теромрегулятор	0,00049	0,00013	0	0	50%
	Насос охлаждения наддувочного воздуха	0,00024	0,00029	0	0	50%
	Кран индикаторный	0,00024	0,00019	0	-	0%
Топливоподогреватель	0,00024	0,00013	0	0	50%	
Электрооборудование силовых цепей	Аккумулятор	0,03187	0,02508	0,00823	0,00617	75%
	Провода, кабели	0,01411	0,0074	0,00138	0,00069	50%
	Контактор электромагнитный силовой	0,01119	0,00294	0,00049	0,00024	50%
	Выпрямительная установка	0,00706	0,00925	0,00091	0,00068	75%
	Контактор электропневматический	0,00633	0,00083	0,00009	0,00005	50%
	Плавкий предохранитель	0,00414	0,00011	0,00001	-	0%
	Датчик температуры	0,00341	0,00089	0,00006	0,00006	100%
	Блок выпрямителя кремниевый	0,00268	0,00351	0,00016	0,00008	50%
	Штепсель	0,00316	0,00083	0,00005	-	0%
	Межсекционное соединение	0,00292	0,00153	0,00008	-	0%

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение таблицы А.2

Группа	Наименование оборудования	P_{TP-1}	C/S	I_Σ	I_{мсу}	P_{oi}
Электрооборудование силовых цепей	Автоматический выключатель	0,00268	0,00281	0,00013	-	0%
	Кондиционер	0,00243	0,00383	0,00016	-	0%
	Осветительные приборы	0,00243	0,00064	0,00003	-	0%
	Реверсивный переключатель	0,00219	0,00172	0,00007	0,00002	25%
	Регулятор напряжения	0,00219	0,00201	0,00008	0,00004	50%
	Блок силовых аппаратов	0,00195	0,00357	0,00012	-	0%
	Блокировочное устройство	0,00146	0,00077	0,00002	-	0%
	Статический преобразователь напряжения	0,00195	0,00306	0,0001	-	0%
	Шкаф питания	0,0017	0,00179	0,00006	-	0%
	Электрический калорифер	0,0017	0,00134	0,00004	-	0%
	Электропневматический клапан	0,00146	0,00038	0,00001	-	0%
	Блок возбуждения	0,00122	0,00096	0,00002	0,00001	25%
	Блок пуска дизеля	0,00097	0,00102	0,00002	0,00001	50%
	Датчик боксования	0,00024	0,00013	0	0	75%
	Индуктивный датчик	0,00122	0,00048	0,00001	-	0%
	Реле дифференциальной защиты	0,00122	0,00064	0,00002	-	0%
	Контроллер машиниста	0,00097	0,00077	0,00002	-	0%
	Реле заземления	0,00097	0,00077	0,00002	0	25%
	Тяговый трансформатор	0,00097	0,00102	0,00002	-	0%
	Шины низковольтных цепей	0,00097	0,00026	0,00001	0	50%
	Блок аварийного возбуждения	0,00073	0,00038	0,00001	0	50%
	Блокировочный переключатель	0,00073	0,00029	0	-	0%
	Датчик давления	0,00049	0,00013	0	0	25%
	Кнопка	0,00073	0,00002	0	-	0%
Контактор быстродействующий	0,00073	0,00038	0,00001	-	0%	
Мотор-вентилятор мультициклонных фильтров	0,00073	0,00115	0,00002	-	0%	

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение таблицы А.2

Группа	Наименование оборудования	Ртр-1	С/С	ІΣ	Імсу	Poi
Электрооборудование силовых цепей	Переключатель кулачковый силовых цепей	0,00073	0,00057	0,00001	-	0%
	Переключатель силовой	0,00073	0,00057	0,00001	-	0%
	Реле давления масла	0,00073	0,00019	0	0	50%
	Тумблер	0,00073	0,00002	0	-	0%
	Электромагнитный вентиль выключающий	0,00073	0,00006	0	-	0%
	Выпрямитель	0,00024	0,00019	0	0	50%
	Реле управления	0,00049	0,00026	0	-	0%
	Преобразователь напряжения	0,00049	0,00038	0	-	0%
	Шины силовых цепей	0,00049	0,00013	0	0	50%
	Электрическая печь	0,00049	0,00019	0	-	0%
	Блок вспомогательных аппаратов	0,00024	0,00019	0	-	0%
	Блок пуска компрессора	0,00024	0,00019	0	0	50%
	БУ нагревом стекол	0,00024	0,00013	0	-	0%
	Выключатель управления	0,00024	0,00003	0	-	0%
	Источник питания	0,00024	0,00005	0	-	0%
	Источник питания бортовой цепи	0,00024	0,00006	0	0	50%
Кнопочный выключатель	0,00024	0	0	-	0%	
Электро-двигатели	ТГ	0,00754	0,02968	0,00271	0,00204	75%
	Тяговый агрегат	0,00146	0,00383	0,0001	0,00007	75%
	Тяговый двигатель постоянного тока	0,08273	0,22784	0,10799	0,10799	100%
Тормозное и пневматическое оборудование	Компрессор	0,0528	0,08309	0,03436	0,03436	100%
	Кран машиниста	0,00608	0,00319	0,0003	-	0%
	Воздухораспределитель	0,00389	0,00306	0,0002	-	0%
	Устройство блокировки тормозов	0,00219	0,00115	0,00005	-	0%
	Блокировочное устройство	0,00049	0,00032	0	-	0%
	Трубопровод воздухопровода автоматики	0,00195	0,00077	0,00003	-	0%

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение таблицы А.2

Группа	Наименование оборудования	R_{TP-1}	C/S	I_Σ	I_{MCY}	P_{oi}
Тормозное и пневматическое оборудование	Тормозной цилиндр	0,0017	0,00089	0,00003	-	0%
	Регулятор давления	0,00146	0,00077	0,00002	-	0%
	Клапан максимального давления	0,00122	0,00048	0,00001	-	0%
	Тормозная магистраль	0,00122	0,00064	0,00002	0	25%
	Концевой кран	0,00097	0,00038	0,00001	-	0%
	Датчик давления	0,00024	0,00003	0	0	50%
	Обратный клапан	0,00073	0,0001	0	-	0%
	Предохранительный клапан	0,00073	0,0001	0	-	0%
	Камера осушки	0,00049	0,0001	0	-	0%
	Система подготовки сжатого воздуха	0,00049	0,00015	0	-	0%
	Вспомогательный компрессор	0,00024	0,00013	0	0	25%
	Главный резервуар	0,00024	0,00013	0	-	0%
	Клапан выпускной	0,00024	0,00003	0	-	0%
	Масловлагоотделитель	0,00024	0,00005	0	-	0%
	Питательная магистраль	0,00024	0,00006	0	0	25%
	Пневматическая блокировка	0,00024	0,00003	0	-	0%
Датчик обрыва тормозной магистрали	0,00024	0,00004	0	-	0%	
Экипажная часть и пневматическое оборудование	Колёсная пара	0,02701	0,06376	0,01581	0,00395	25%
	Тормозная рычажная передача	0,00706	0,0037	0,0004	-	0%
	Кабина	0,0056	0,0044	0,00038	-	0%
	Тяговый редуктор	0,0056	0,00587	0,00049	-	0%
	Автосцепка	0,00341	0,00313	0,00018	-	0%
	Корпус кузова	0,00316	0,00083	0,00005	-	0%
	Аппарат поглощающий	0,0017	0,00112	0,00004	-	0%
	Песочные бункеры	0,00097	0,00051	0,00001	-	0%
	Буксовая ступень рессорного подвешивания	0,00073	0,00048	0,00001	-	0%

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение таблицы А.2

Группа	Наименование оборудования	R_{TP-1}	C/S	I_Σ	I_{MCY}	P_{oi}
Экипажная часть и пневматическое оборудование	Буксовый узел	0,00073	0,00067	0,00001	-	0%
	Подвеска тягового редуктора	0,00073	0,00057	0,00001	-	0%
	Трубопровод песочной системы	0,00073	0,00019	0	-	0%
	Стеклоочиститель	0,00049	0,00006	0	-	0%
	Рама кузова	0,00024	0,00019	0	-	0%
	Рама тележки	0,00024	0,00016	0	-	0%
	Тяговая передача	0,00024	0,00013	0	-	0%
МСУ и РТС	МСУ	0,03406	0,0268	0,00922	0,00922	100%
	Система пожаротушения	0,00219	0,00115	0,00005	-	0%
	Бортовой компьютер	0,0017	0,00156	0,00005	-	0%
	РТС	0,00097	0,00051	0,00001	-	0%
Вспомогательные электрические машины	Стартер-генератор	0,00584	0,00536	0,00047	0,00023	50%
	Электродвигатель	0,00852	0,0067	0,0008	-	0%
	Генератор постоянного тока	0,00243	0,0016	0,00007	-	0%
	Возбудитель	0,00438	0,0023	0,00017	0,00013	75%
Приборы безопасности	КЛУБ-У	0,01314	0,00862	0,00148	-	0%
	АЛСН	0,0017	0,00089	0,00003	-	0%
	ТСКБМ	0,00122	0,00054	0,00001	-	0%
	БЛОК	0,00073	0,00057	0,00001	-	0%
	Комплекс измерения параметров движения	0,00024	0,00006	0	0	50%
	САУТ	0,00024	0,00016	0	0	50%
Вентиляция локомотива	Кондиционер	0,00876	0,0046	0,00059	-	0%
	Вентилятор охлаждения ТЭД	0,0017	0,00067	0,00002	-	0%
	Жалюзи вентиляции кузова	0,0017	0,00089	0,00003	-	0%
	Главный вентилятор охлаждения дизеля	0,00097	0,00051	0,00001	-	0%
	Вентилятор тягового генератора	0,00049	0,00026	0	-	0%

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение таблицы А.2

Группа	Наименование оборудования	Р_{ГР-1}	С/С	І_Σ	І_{МСУ}	Р_{0i}
Вентиляция локомотива	Лабиринтовые жалюзи	0,00024	0,00006	0	-	0%
Электронные преобразователи	Выпрямительная установка	0,00438	0,0023	0,00017	0,00017	100%
	Электронный регулятор	0,00195	0,00097	0,00004	0,00004	100%
	Блок пуска двигателя	0,00024	0,0001	0	0	25%
	Блок управления ВУ	0,00122	0,00064	0,00002	0,00001	50%
	Датчик боксования	0,00073	0,0001	0	0	50%
	ПСН	0,00073	0,00067	0,00001	0,00001	50%
	Бесконтактный регулятор напряжения	0,00049	0,00006	0	-	0%
	Система поосного регулирования	0,00024	0,00016	0	0	75%
Радиостанция	Радиостанция	0,00462	0,00243	0,00018	-	0%
	ИТОГО			0,282	0,2363	
	кмсy-гп	83,77%				

Таблица Б.1 – Диагностическая функциональность АРМ «Осциллограф-3»

№	Агрегат	Название инцидента	Серия локомотива	Параметр	Значение	Признак нарушения
1	Дизель	Запуск без прокачки масла	ТЭП70БС	Давление масла на входе в дизель Включение масляного насоса Обороты дизеля Время	0,3 кгс/см ² да больше 0 60 секунд	При возрастании оборотов дизеля от 0, давление масла меньше допуска Или время работы масляного насоса меньше допуска
			ТЭ116У(М)			
			2ТЭ70			
			ТЭ10МК	Давление масла на входе в дизель Включение масляного насоса Обороты дизеля Время	0,3 кгс/см ² Да Наличие сигнала 90 секунд	При появлении сигнала оборотов дизеля, давление масла меньше допуска Или время работы масляного насоса меньше допуска
ТЭМ18Д(М)	Давление масла на входе в дизель Включение масляного насоса Обороты дизеля Время	1,5–1,6 кгс/см ² Да Наличие сигнала 35 - 45 секунд	При появлении сигнала оборотов дизеля, давление масла меньше допуска Или время работы масляного насоса меньше допуска			
2	Дизель	Остановка без прокачки масла	ТЭП70БС	Включение масляного насоса Обороты дизеля Время	да равны 0 60 секунд	После уменьшения оборотов дизеля до 0, время работы масляного насоса меньше допуска
			ТЭ116У(М)			
			2ТЭ70			
			ТЭ10МК	Давление масла	Меньше допуска	После исчезновения сигнала оборотов дизеля, давление масла опускается ниже допуска за время меньше допустимого
			ТЭМ18Д(М)	Обороты дизеля Время	Отсутствие сигнала 90 секунд	

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

№	Агрегат	Название инцидента	Серия локомотива	Параметр	Значение	Признак нарушения
3	Дизель	Запуск при заниженной температуре воды	ТЭП70БС	Температура воды на входе в дизель Обороты дизеля	15°С больше 0	При возрастании оборотов дизеля от 0, температура воды меньше допуска
			ТЭ116У(М)	Температура воды на входе в дизель Обороты дизеля	8°С больше 0	
			2ТЭ70	Температура воды на входе в дизель Обороты дизеля	15°С больше 0	
			ТЭ10МК	Температура воды Обороты дизеля	8°С Наличие сигнала	При появлении сигнала оборотов дизеля температура воды ниже допуска
			ТЭМ18Д(М)	Температура воды Обороты дизеля	20°С Наличие сигнала	
4	Дизель	Запуск при заниженной температуре масла	ТЭП70БС	Температура масла на входе в дизель Обороты дизеля	15°С больше 0	При возрастании оборотов дизеля от 0, температура масла меньше допуска
			ТЭ116У(М)	Температура масла на входе в дизель Обороты дизеля	8°С больше 0	
			2ТЭ70	Температура масла на входе в дизель Обороты дизеля	15°С больше 0	
			ТЭ10МК	Температура масла Обороты дизеля	8°С Наличие сигнала	При появлении сигнала оборотов дизеля. Температура масла ниже допуска
			ТЭМ18Д(М)	Температура масла Обороты дизеля	20°С Наличие сигнала	

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

№	Агрегат	Название инцидента	Серия локомотива	Параметр	Значение	Признак нарушения
5	Дизель	Остановка дизеля без охлаждения на холостом ходу	ТЭП70БС	Позиция контроллера Обороты дизеля	0	Время, прошедшее от перевода контроллера в 0 позицию до исчезновения сигнала оборотов дизеля (при условии, что до перевода контроллера в 0 токи превышали указанное значение)
			ТЭ116У(М)		Отсутствие сигнала	
			ТЭ10МК	Ток ТЭД Время	2 7 минут	
6	Дизель	Остановка при превышенной температуре воды	ТЭ10МК	Температура воды на выходе из дизеля Обороты дизеля	70°С Отсутствие сигнала	После исчезновения сигнала оборотов дизеля, температура воды больше допуска
			ТЭМ18Д(М)		60°С Отсутствие сигнала	
7	Дизель	Остановка при превышенной температуре масла	ТЭП70БС	Температура масла на выходе из дизеля Обороты дизеля	70°С 0	После уменьшения оборотов дизеля до 0, температура масла больше допуска
			ТЭ116У(М)		60 °С 0	
			2ТЭ70		70°С 0	
			ТЭ10МК	70°С Отсутствие сигнала	После исчезновения сигнала оборотов дизеля, температура масла больше допуска	
			ТЭМ18Д(М)	65°С Отсутствие сигнала		

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

№	Агрегат	Название инцидента	Серия локомотива	Параметр	Значение	Признак нарушения
8	Дизель	Работа под нагрузкой при заниженной температуре воды	ТЭП70БС	Температура воды на входе в дизель Позиция контроллера	45°С больше 5	При позиции контроллера больше допуска, температура воды меньше допуска
			ТЭ116У(М)			
			2ТЭ70			
			ТЭ10МК			
			ТЭМ18Д(М)			
9	Дизель	Длительная работа дизеля на малых позициях контроллера	ТЭ10МК	Обороты дизеля Позиция контроллера Время	не 0 4 120 минут	При отличных от 0 оборотых дизеля, время работы дизеля на позиции ниже допустимой превышает допуск
			ТЭМ18Д(М)		не 0 4 40 минут	
10	Дизель	Работа под нагрузкой при заниженной температуре масла	ТЭП70БС	Температура масла на входе в дизель Позиция контроллера	45°С больше 5	При позиции контроллера больше допуска, температура масла меньше допуска
			ТЭ116У(М)			
			ТЭ10МК			
11	Дизель	Перевод под нагрузку без прогрева	ТЭМ18Д(М)	Обороты дизеля Позиция контроллера Время	больше 0 0 3 минуты	После того, как обороты дизеля возросли от 0, позиция контроллера равна 0 на протяжении времени, меньше допустимого
12	Дизель	Остановка дизеля в движении поезда	ТЭП70БС	Обороты дизеля Скорость	0 не 0	При скорости, не равной 0, обороты дизеля уменьшаются до 0.
			ТЭ116У(М)			
			2ТЭ70			
			ТЭ10МК	Позиция контроллера Обороты дизеля	не 0 Наличие сигнала	При позиции контроллера, отличной от нуля, пропадает сигнал оборотов дизеля

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

№	Агрегат	Название инцидента	Серия локомотива	Параметр	Значение	Признак нарушения
13	Дизель	Превышена температура газов по цилиндрам	ТЭП70БС	Температура выхлопных газов на выходе из цилиндров дизеля	620°С	Если значение температуры больше допуска
			ТЭ116У(М)			
			2ТЭ70			
			ТЭ10МК			
			ТЭМ18Д(М)			
14	Дизель	Превышен разброс температур выхлопных газов по цилиндрам	ТЭП70БС	Температура выхлопных газов на выходе из цилиндров дизеля	Разность температур 100°С	Разность температур превышает допуск
			ТЭ116У(М)			
15	Дизель	Нет выдержки времени при наборе позиций контроллера	ТЭП70БС	Время Позиция контроллера	25 секунд	Производится набор позиций больше допуска за промежуток времени меньше допуска
			2ТЭ116У		0 – 15	
			ТЭ10МК		3 секунды 1	
			ТЭМ18Д(М)		2 секунды 1	
16	Дизель	Превышены обороты дизеля	ТЭП70БС	Позиция контроллера Обороты дизеля Включение электроснабжения поезда	Согласно Приложению В	При работающем дизеле, обороты дизеля превышают допуск для данной позиции контроллера и режима энергоснабжения
			ТЭ116У(М)	Позиция контроллера Обороты дизеля		При работающем дизеле, обороты дизеля превышают допуск для данной позиции контроллера

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

№	Агрегат	Название инцидента	Серия локомотива	Параметр	Значение	Признак нарушения
17	Дизель	Занижены обороты дизеля	ТЭП70БС	Позиция контроллера Обороты дизеля Включение электроснабжения поезда	Согласно Приложению А1	При работающем дизеле, обороты дизеля ниже допуска для данной позиции контроллера и режима энергоснабжения
			ТЭ116У(М)	Позиция контроллера Обороты дизеля		При работающем дизеле, обороты дизеля превышают допуск для данной позиции контроллера
18	Дизель	Занижено давление топлива	ТЭП70БС	Обороты дизеля Давление топлива	Не 0 1,5 кгс/см ²	При работающем дизеле давление топлива ниже допуска
			ТЭ116У(М)	Позиция КМ Давление топлива	15 1,5 кгс/см ²	При работающем дизеле давление топлива ниже допуска
			ТЭ10МК	Обороты дизеля Давление топлива	Не 0 1,3 кгс/см ²	При работающем дизеле давление топлива ниже допуска
19	Дизель	Превышено давление топлива	ТЭП70БС	Давление топлива	5,5	Давление топлива выше допуска
			ТЭ10МК	Давление топлива	3,5 кгс/см ²	Давление топлива выше допуска

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

№	Агрегат	Название инцидента	Серия локомотива	Параметр	Значение		Признак нарушения		
20	Дизель	Занижено давление масла	ТЭП70БС	Давление масла	1,3 кгс/см ²	5,5 кгс/см ²	Давление масла ниже допуска для данного значения оборотов дизеля и температуры масла		
				Температура масла	80°С	80°С			
				Обороты дизеля	350 об/мин	1000 об/мин			
			ТЭ116У(М)	Давление масла	1,3 кгс/см ²	5,5 кгс/см ²	Давление масла ниже допуска для данного значения оборотов дизеля и температуры масла		
				Температура масла	80°С	80°С			
				Обороты дизеля	350 об/мин	1000 об/мин			
			2ТЭ70	Давление масла	1,3 кгс/см ²	5,5 кгс/см ²	Давление масла ниже допуска для данного значения оборотов дизеля и температуры масла		
				Температура масла	80°С	80°С			
				Обороты дизеля	350 об/мин	1000 об/мин			
			ТЭ10МК		Давление масла	0,8 кгс/см ²	При работающем дизеле давление масла ниже допуска		
			21	Дизель	Превышен перепад давления масла по масляному фильтру	ТЭП70БС	Давление масла на выходе из масляного насоса	Разность давлений	Разность давлений превышает допуск
						ТЭ116У(М)			
22	Дизель	Превышена температура масла	ТЭП70БС	Температура масла на выходе из дизеля	88°С	Температура масла превышает допуск			
			ТЭ116У(М)		92°С				
			2ТЭ70		88°С				
			ТЭ10МК		85°С				
23	Дизель	Превышена температура воды	ТЭП70БС	Температура воды на выходе из дизеля	110°С	Температура воды превышает допуск			
			ТЭ116У(М)		107°С				
			2ТЭ70		110°С				
			ТЭ10МК		95°С				
			ТЭМ18Д(М)		87°С				

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

№	Агрегат	Название инцидента	Серия локомотива	Параметр	Значение	Признак нарушения
24	Дизель	Занижена температура воды	ТЭП70БС	Температура воды на входе в дизель Обороты дизеля	40°С Не 0	При работающем дизеле, температура воды опускается ниже допуска
			2ТЭ70	Температура воды на входе в дизель Обороты дизеля	40°С Не 0	При работающем дизеле, температура воды опускается ниже допуска
			ТЭМ18Д(М)	Температура воды на входе в дизель Обороты дизеля	60°С Не 0	При работающем дизеле, температура воды опускается ниже допуска
25	Турбокомпрессор	Занижено давление наддува	ТЭ10МК	Обороты дизеля Давление наддува	Больше 12 1,55 кгс/см ²	При работающем дизеле, давление наддува меньше допуска.
26	Турбокомпрессор	Превышено давление наддува	ТЭП70БС	Давление наддува	1,9	Давление наддува выше допуска
			ТЭ116У(М)	Давление наддува	1,8	Давление наддува выше допуска
			ТЭ10МК	Давление наддува	1,85 кгс/см ²	Давление наддува выше допуска
27	Холодильная установка	Занижена температура открытия жалюзи	ТЭП70БС	Температура воды на входе в дизель Температура воды на выходе из радиаторов 2 контура Открытие жалюзи	65±2°С 45±2°С да	Жалюзи открыты при температуре воды ниже допуска
			2ТЭ70	Температура воды на входе в дизель Температура воды на выходе из радиаторов 2 контура Открытие жалюзи	65±2°С 45±2°С да	Жалюзи открыты при температуре воды ниже допуска
28	Холодильная установка	Превышена температура открытия жалюзи	ТЭП70БС	Температура воды на входе в дизель Температура воды на выходе из радиаторов 2 контура Открытие жалюзи	65±2°С 45±2°С да	Жалюзи закрыты при температуре воды выше допуска

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

№	Агрегат	Название инцидента	Серия локомотива	Параметр	Значение	Признак нарушения
29	Холодильная установка	Занижена температура включения мотор-вентиляторов	ТЭП70БС	Температура воды на входе в дизель	70±1.5°C	Частота вращения вентилятора больше допуска при температуре воды ниже допуска
			2ТЭ70	Температура воды на выходе из радиаторов 2 контура Частота вращения мотор-вентиляторов	50±1.5°C 6 об/мин	
			ТЭ116У(М)	Температура воды на входе в дизель Температура воды на выходе из радиаторов 2 контура Включение мотор-вентиляторов	70±1.5°C 50±1.5°C нет	Мотор-вентиляторы включены при температуре воды ниже допуска
30	Холодильная установка	Превышена температура включения мотор-вентиляторов	ТЭП70БС	Температура воды на входе в дизель Температура воды на выходе из радиаторов 2 контура Частота вращения мотор-вентиляторов	70±1.5°C 50±1.5°C 6 об/мин	Частота вращения вентилятора меньше допуска при температуре воды выше допуска
			ТЭ116У(М)	Температура воды на входе в дизель Температура воды на выходе из радиаторов 2 контура Включение мотор-вентиляторов	70±1.5°C 50±1.5°C нет	Мотор-вентиляторы выключены при температуре воды выше допуска
31	Тяговый генератор	Превышена мощность тягового генератора	ТЭП70БС	Позиция контроллера Частота вращения коленчатого вала дизеля Мощность генератора	Согласно Приложению А2	Мощность генератора превышает допуск для позиции контроллера и оборотов дизеля
			ТЭ116У(М)	Позиция контроллера Частота вращения коленчатого вала дизеля Мощность генератора	Согласно Приложению В	Мощность генератора превышает допуск для позиции контроллера и оборотов дизеля

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

№	Агрегат	Название инцидента	Серия локомотива	Параметр	Значение	Признак нарушения	
32	Тяговый генератор	Занижена мощность тягового генератора	ТЭП70БС	Позиция контроллера Частота вращения коленчатого вала дизеля Мощность генератора	Согласно Приложению В	Мощность генератора ниже допуска для позиции контроллера и оборотов дизеля	
			ТЭ116У(М)	Позиция контроллера Частота вращения коленчатого вала дизеля Мощность генератора		Мощность генератора ниже допуска для позиции контроллера и оборотов дизеля	
			2ТЭ70	Позиция контроллера Частота вращения коленчатого вала дизеля Мощность генератора		Мощность генератора ниже допуска для позиции контроллера и оборотов дизеля	
33	Тяговый генератор	Превышен ток тягового генератора	ТЭП70БС	Ток выпрямительной установки Время	Согласно Приложению Г	Ток выше допустимого наблюдается на протяжении времени, превышающего допуск	
			ТЭ116У(М)				
			ТЭ10МК	Ток генератора Время			
34	ТЭД	Превышен разброс токов ТЭД	ТЭП70БС	Ток тяговых электродвигателей	Разброс токов		Разброс токов превышает допуск для данной ступени ослабления поля
				Режим ослабления поля	12%	20%	
			2ТЭ70	Ток тяговых электродвигателей	Разброс токов		Разброс токов превышает допуск для данной ступени ослабления поля
				Режим ослабления поля	12%	20%	
ПП	ОП						
35	Колёсно-моторные блоки	Непринятие мер по случаю боксования колёсных пар	ТЭП70БС	Сигнал боксования колёсных пар Задействование педали «песок»	да нет	При наличии сигнала боксования не задействована кнопка «песок» или не уменьшена позиция контроллера	
			ТЭ116У(М)				
			2ТЭ70	Позиция контроллера	уменьшение		
			ТЭ10МК	Сигнал боксования колёсных пар	да		
			ТЭМ18Д(М)	Позиция контроллера	уменьшение		

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

№	Агрегат	Название инцидента	Серия локомотива	Параметр	Значение	Признак нарушения
36	Тормозной компрессор	Занижено давление включения тормозного компрессора	ТЭП70БС	Давление воздуха в главном резервуаре Включение тормозного компрессора	7,5±0,2 да	Тормозной компрессор включается при значении давления ниже допуска
			ТЭ116У(М)	Давление воздуха в главном резервуаре Включение тормозного компрессора	7,5±0,2 да	Тормозной компрессор включается при значении давления ниже допуска
			2ТЭ70	Давление воздуха в главном резервуаре Включение тормозного компрессора	7,5±0,2 да	Тормозной компрессор включается при значении давления ниже допуска
37	Тормозной компрессор	Превышено давление выключения тормозного компрессора	ТЭП70БС	Давление воздуха в главном резервуаре Включение тормозного компрессора	9±0,2 да	Тормозной компрессор выключается при значении давления выше допуска
			ТЭ116У(М)	Давление воздуха в главном резервуаре Включение тормозного компрессора	9±0,2 да	Тормозной компрессор выключается при значении давления выше допуска
			2ТЭ70	Давление воздуха в главном резервуаре Включение тормозного компрессора	9±0,2 да	Тормозной компрессор выключается при значении давления выше допуска
38	Тормозной компрессор	Занижено давление масла в тормозном компрессоре	ТЭП70БС	Давление масла на выходе из компрессора Включение тормозного компрессора	1,5 кгс/см ² да	При работающем компрессоре, давление масла ниже допуска
			2ТЭ70	Давление масла на выходе из компрессора Включение тормозного компрессора	1,5 кгс/см ² да	При работающем компрессоре, давление масла ниже допуска

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

№	Агрегат	Название инцидента	Серия локомотива	Параметр	Значение	Признак нарушения
39	Тормозной компрессор	Превышено давление масла в тормозном компрессоре	ТЭП70БС	Давление масла на выходе из компрессора Включение тормозного компрессора	5 кгс/см ² да	При работающем компрессоре, давление масла выше допуска
			2ТЭ70	Давление масла на выходе из компрессора Включение тормозного компрессора	5 кгс/см ² да	При работающем компрессоре, давление масла выше допуска
40	Вентилятор ЦВС	Занижено давление масла в системе смазки вентилятора ЦВС	ТЭП70БС	Давление масла в редукторе ЦВС Включение ЦВС	0,5 кгс/см ² да	При работающем ЦВС, давление масла ниже допуска
			2ТЭ70	Давление масла в редукторе ЦВС Включение ЦВС	0,5 кгс/см ² да	При работающем ЦВС, давление масла ниже допуска
41	Вентилятор ЦВС	Превышено давление масла в системе смазки вентилятора ЦВС	ТЭП70БС	Давление масла в редукторе ЦВС Включение ЦВС	6 кгс/см ² да	При работающем ЦВС, давление масла выше допуска
			2ТЭ70	Давление масла в редукторе ЦВС Включение ЦВС	6 кгс/см ² да	При работающем ЦВС, давление масла выше допуска
42	Экипажная часть	Нарушение условий движения локомотива	ТЭП70БС	Скорость Позиция контроллера Токи ТЭД Время	0	При отличном от 0 значении позиции контроллера и токов ТЭД, скорость равна 0 на протяжении времени большего, чем 10 секунд
			ТЭ116У(М)		Не 0	
			2ТЭ70		Не 0 10 секунд	

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В.1 – Допуски на частоту вращения коленчатого вала дизеля тепловозов

№ п/п	Серия	Позиция контроллера															Нормативный документ	Примечание	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			15
1	ТЭП70БС	350±6	350±6	550±6	585±6	619±6	654±6	688±6	723±6	757±6	792±6	826±6	861±6	895±6	930±6	965±6	1000±6	ТЭП70А.00 РЭ-2	выключено энергоснабжение
		688±6	688±6	688±6	688±6	688±6	688±6	688±6	723±6	757±6	792±6	826±6	861±6	895±6	930±6	965±6	1000±6	ТЭП70А.00 РЭ-2	включено энергоснабжение
2	2ТЭ116У	350±6	350±6	470±6	590±6	680±6	735±6	770±6	790±6	810±6	820±6	845±6	875±6	905±6	940±6	970±6	1000±6	РЭ МСУ-ТП 27.Т.339.00.00.00 ОРЭ п. 2.3.10	
3	ТЭМ18	305±10	305±10	330±22	400±22	480±22	480±22	570±22	650±22	748±9									

Таблица Г.1 – Допуски на силу тока тягового генератора

№ п/п	Тепловоз	Время (мин)							Нормативный документ	
		Кратковременный	3	5	10	15	20	30		Продолжительный
1	ТЭП70БС	8100	7500	7000	6400			5600	4980	п.5.1.13.2. ТЭП70А.00 РЭ2
2	2ТЭ116У	7050	6900	5400						2ТЭ116.70.15.002 И2
3	ТЭ10МК	6300	5500	5000			4320			1А-9ДГ.62РЭ, (с.87)
4	ТЭМ18	1900			1400	1300			1210	Руководство по эксплуатации ТЭМ18ДМ РЭ1 ч.2 п. 3.1.8 стр.29

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Таблица Д.1 – Набор параметров, проверяемых при формировании диагностической справки:

Локомотив	Позиция контролера машиниста	Мощность генератора	Обороты дизеля	Положение рейки	Температура, t °C		Температура газов, t °C																Токораспределение ТЭД (перепад между ТЭД не более ±50 А) предельная величина тока не более 1100 А	Давление масла						
							Турбокомпрессор 6ТК12, не более 620 °C		Выхлопных газов цилиндров, (до 620 °C)																					
					Воды	Масла			правая (перепад между цилиндрами не более 80 °C)								левая (перепад между цилиндрами не более 80 °C)													
							правая сторона	левая сторона	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6		7	8	1	2	3	4	5

Основные параметры работы локомотива

Тепловоз 1 - 2 "3", Вид ТО, Р или рекламация (НР) _____

Дата захода _____ Время снятия архивного файла _____

Индекс гез (имя архивного файла) 4 _____

№ позиции 5 Р_{гез} 6

Паспортные величины с 15 по 11 позиции (нужное подчеркнуть 2230, 2080, 1920, 1740, 1530)

 Пробег И (тыс. км) _____

Положение рейки 7

Паспортные величины с 15 по 11 позиции (нужное подчеркнуть 2000, 1860, 1770, 1670, 1560)

 ТОЗ _____

Обороты ДГУ 8

Паспортные величины с 15 по 11 позиции (№6) (нужное подчеркнуть 1000, 970, 940, 905, 875)
--

 ТР1 _____

Обороты ТК 25 об/мин Р_{мазута} 9 ТР2 _____

t_{воды} 10 (диапазон 75 °С - 85 °С) t_{мазла} 11 (диапазон 70 °С - 80 °С) ТР3 _____

Режим охлаждения на автомате, ручное охлаждение
(нужное подчеркнуть)

От постройки _____

Температура выхлопных газов, (t не более 620 °С) перепад между цилиндрами не более 80 °С				Токораспределение предельная не более 1100 А (перепад между ТЭД не более ±50 А)	
t _{выхлопных газов} левый ряд		t _{выхлопных газов} правый ряд		1	2
1		1		2	
2		2		3	13
3		3		4	
4	12	4		5	
5		5		6	
6		6		Разр. воз. вх. ТК (не более 650 мм.вод.ст.)	
7		7		Давление масла, (Р _{маз.л})	
8		8		Р _{маз.вкл.2}	Р _{маз.л(регуляр)}
Турбокомпрессора БТК12, (не более 620 °С)					
t _{выхлопных газов} ТК левая сторона/л.х.		t _{выхлопных газов} ТК правая сторона/п.х.			
14	15	16	17	18	19
Включение моторов вентиляторов					
20 МВ1 (t вкл 79 ±2 °С)	21 МВ2 (t вкл 83 ±2 °С)	22 МВ3 (t вкл 79 ±2 °С)	23 МВ4 (t вкл 75 ±2 °С)		

Замечания по локомотиву

24

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Таблица Ж1 – Набор параметров, выводимых в сводке по каждому блоку данных

Дата файла*	Время начала записи**	Время окончания записи**	Позиция контролера	Мощность генератора	Обороты дизеля	Положение рейки	Мощность наддува турбины	Режим охлаждения,	Температура а, t °C		Температура газов, t °C																Токораспределение ТЭД						Давление масла							
											Воды	Масла	Турбокомпрессор а 6TK12								Выхлопных газов цилиндров												Рмасла (вых.2)	Рмасла (регул)						
									правая				левая				правая сторона	левая сторона	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6			7	8	1	2	3	4

* - В столбце «Дата файла» указывается дата на момент начала записи.

** - Время начала записи и время окончания записи рекомендуется сделать аналогично времени начала и окончания записи rez-файлов.

*** - Направление текста в шапке таблицы рекомендуется сделать горизонтальным.

Таблица И1 – Допуски на параметры сводки в окне работы с данными

Серия	Мощность генератора	Обороты дизеля	Положение рейки	Мощность наддува	Температура воды	Температура масла	Температура газов
	кВт	об/мин	ед	Вт	°С	°С	°С
ТЭ10МК	от 0 до 2000	от 335 до 860			от 45 до 95	от 45 до 85	от 0 до 620
ТЭМ18Д(М)	от 0 до 882	от 295 до 750			от 55 до 85	от 55 до 75	от 0 до 620
ТЭ116У(М)	от 0 до 2270	от 344 до 1006			от 45 до 107	от 45 до 92	от 0 до 620
ТЭП70БС(У)	от 0 до 2722	от 344 до 1006			от 45 до 110	от 45 до 88	от 0 до 620

Примеры экранных форм АРМ «Умный локомотив»

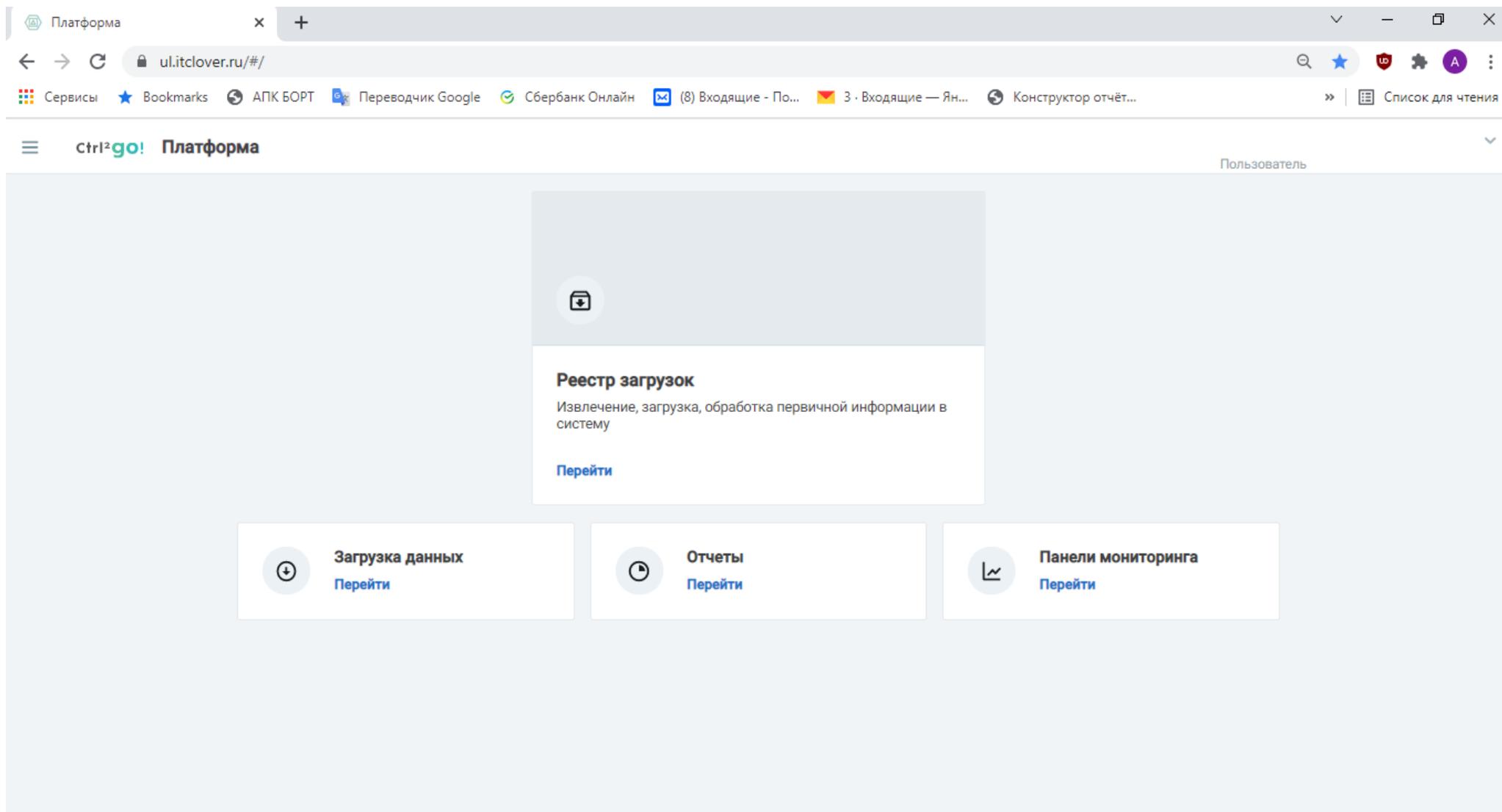


Рисунок К.1 – Главное окно для пользователей с правами доступа «гость» и «диагност»

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ К

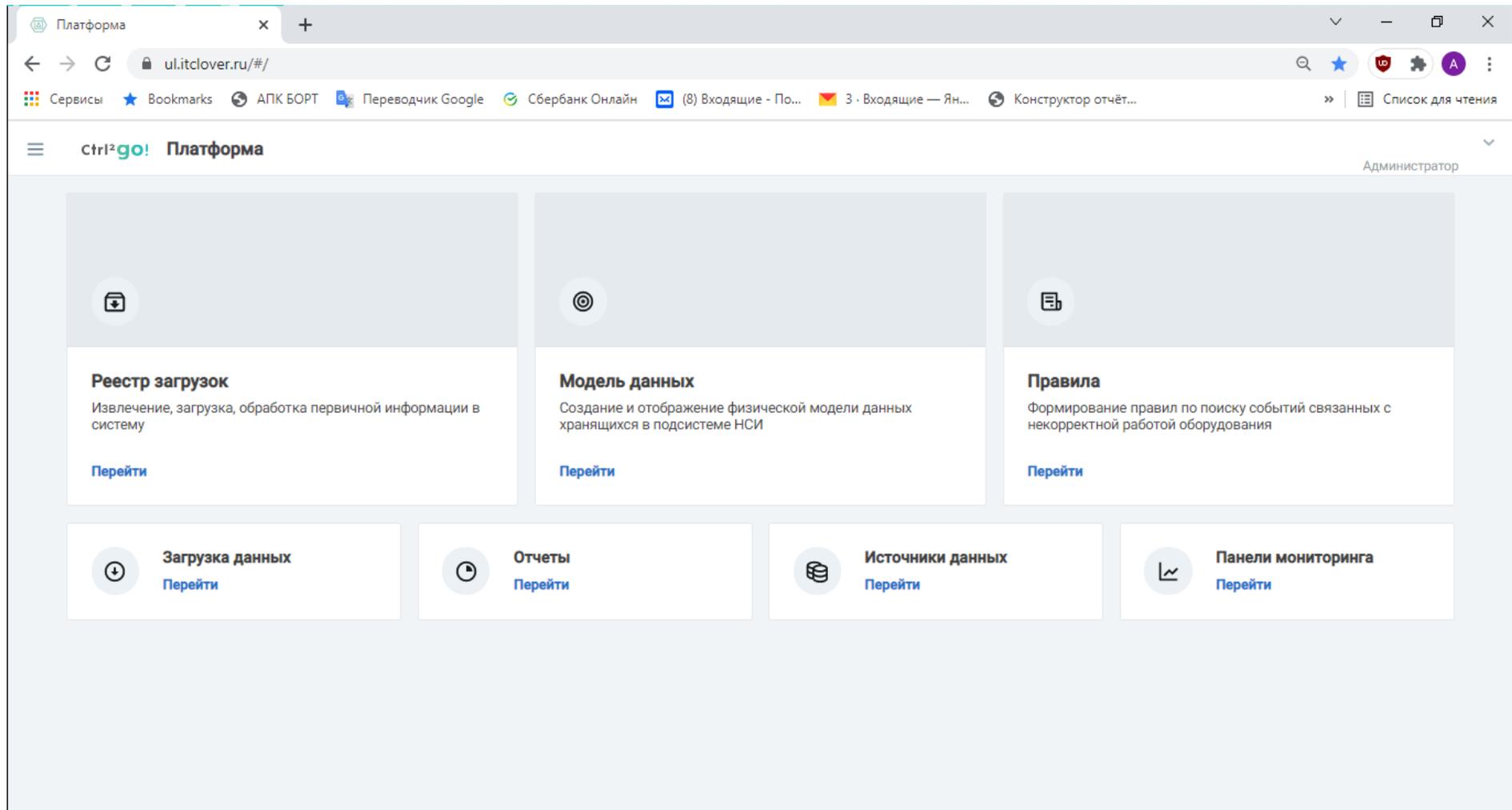
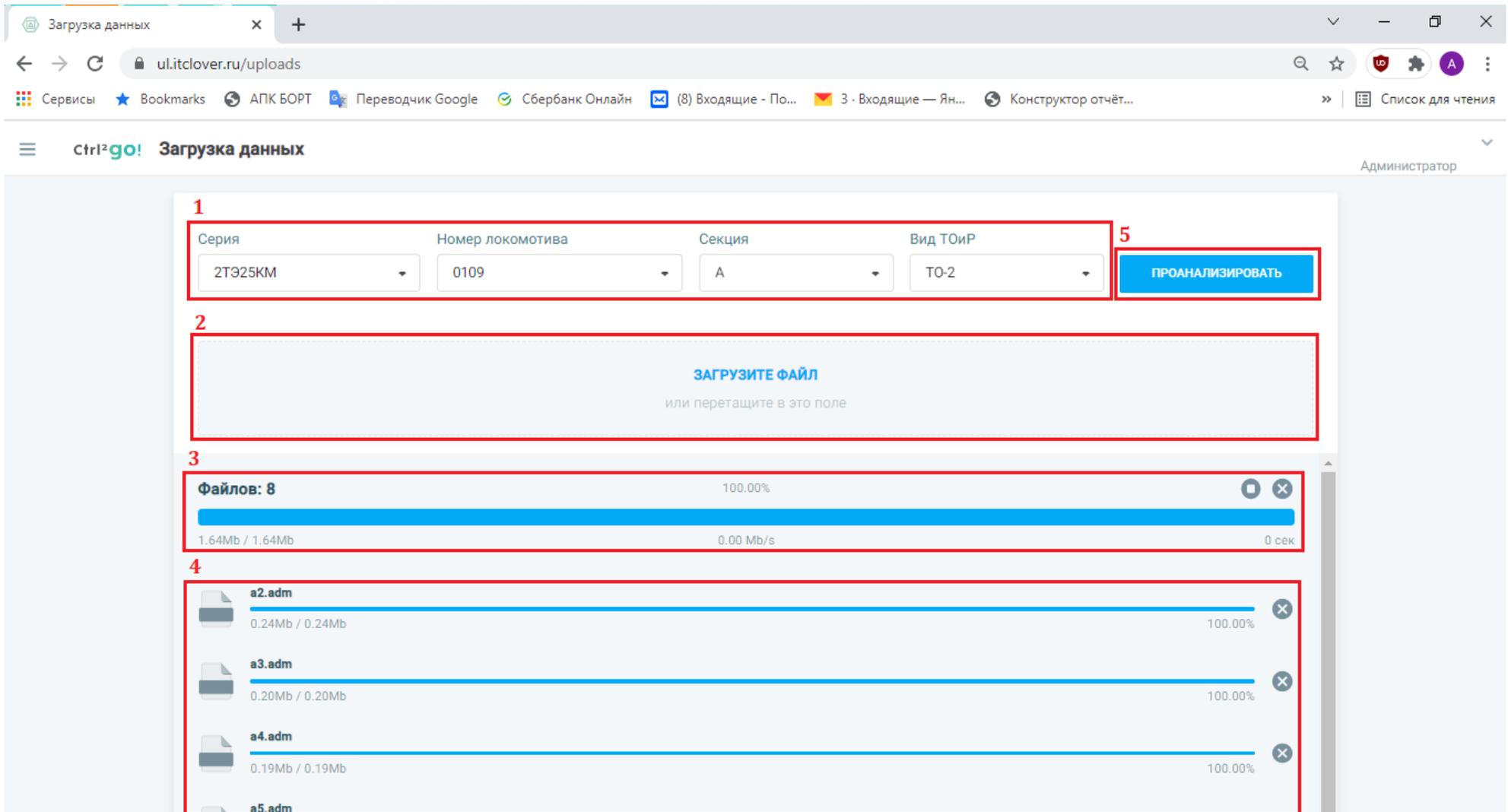


Рисунок К.2 – Главное окно для пользователей с правами доступа «администратор» и «разработчик»

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ К



1 – поле ввода данных локомотива, 2 - кнопка «Загрузите файл», 3 – индикатор загрузки файлов, 4 – список загруженных файлов МСУ, 4 – кнопка «Проанализировать»

Рисунок К.3 – Форма загрузки данных

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ К

Реестр загрузок

ul.itclover.ru/uploads_registry

Сервисы Bookmarks АПК БОРТ Переводчик Google Сбербанк Онлайн (8) Входящие - По... 3 · Входящие — Ян... Конструктор отчёт...

Ctrl²go! Реестр загрузок

Администратор

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
id	Серия	№ ТПС	Секция	Депо приписки	СЛД	Вид ТОиР	Дата загрузки	Продолжительно...	Статус	Кол-во и...	Начало данных
6712399	2ЭС5К	0460	Б	ТЧЭ-9 ЛЯНГАСОВО	СЛД Лянгасово - ...	Локомотив...	08.11.2021, 13:10:30	34:28	Любое		27.10.2021, 08:45:55
6712347	2ТЭ25КМ	0372	Б	ТЧЭ-15 АГРЫЗ	СЛД Агрыз - Южн...	ТО-2	08.11.2021, 13:00:54	96:54	88%		02.09.2021, 17:20:25
6712345	ТЭП70У	0003	А	ТЧЭ-7 ВОЙНОВКА	СЛД Тюмень	ТР-1	08.11.2021, 12:48:33	94:37	88%		02.11.2021, 17:00:03
6712343	ТЭП70У	0021	А	ТЧЭ-7 ВОЙНОВКА	СЛД Тюмень	ТО-2	08.11.2021, 12:46:29	92:40	Обработано	410	02.11.2021, 03:00:01
6712315	ТЭП70У	0023	А	ТЧЭ-7 ВОЙНОВКА	СЛД Тюмень	ТО-3	08.11.2021, 12:43:27	96:04	88%		02.11.2021, 23:00:03
6712312	ТЭП70У	0004	А	ТЧЭ-7 ВОЙНОВКА	СЛД Тюмень	ТР-1	08.11.2021, 12:41:34	92:10	88%		03.11.2021, 20:00:00
6712311	ЭП2К	0309	А	ТЧЭ-3 БАРАБИНСК	СЛД Барабинск	ТО-2	08.11.2021, 12:41:20	84:51	77%		05.11.2021, 01:49:21
6712308	ТЭП70У	0025	А	ТЧЭ-7 ВОЙНОВКА	СЛД Тюмень	ТО-3	08.11.2021, 12:39:59	91:52	88%		03.11.2021, 16:00:01
6712307	ЭП2К	0296	А	ТЧЭ-3 БАРАБИНСК	СЛД Барабинск	ТО-2	08.11.2021, 12:39:54	73:29	81%		04.11.2021, 02:08:40
6712305	ЭП2К	0026	А	ТЧЭ-3 БАРАБИНСК	СЛД Барабинск	ТО-2	08.11.2021, 12:37:33		26%		
6712139	2ТЭ25КМ	0137	Б	ТЧЭ-4 М. ГОРЬКИЙ	СЛД Волгоград	ТО-2	08.11.2021, 12:16:48	137:59	88%		28.10.2021, 00:00:58
6712138	2ТЭ25КМ	0137	А	ТЧЭ-4 М. ГОРЬКИЙ	СЛД Волгоград	ТО-2	08.11.2021, 12:16:41	139:41	88%		28.10.2021, 00:03:59

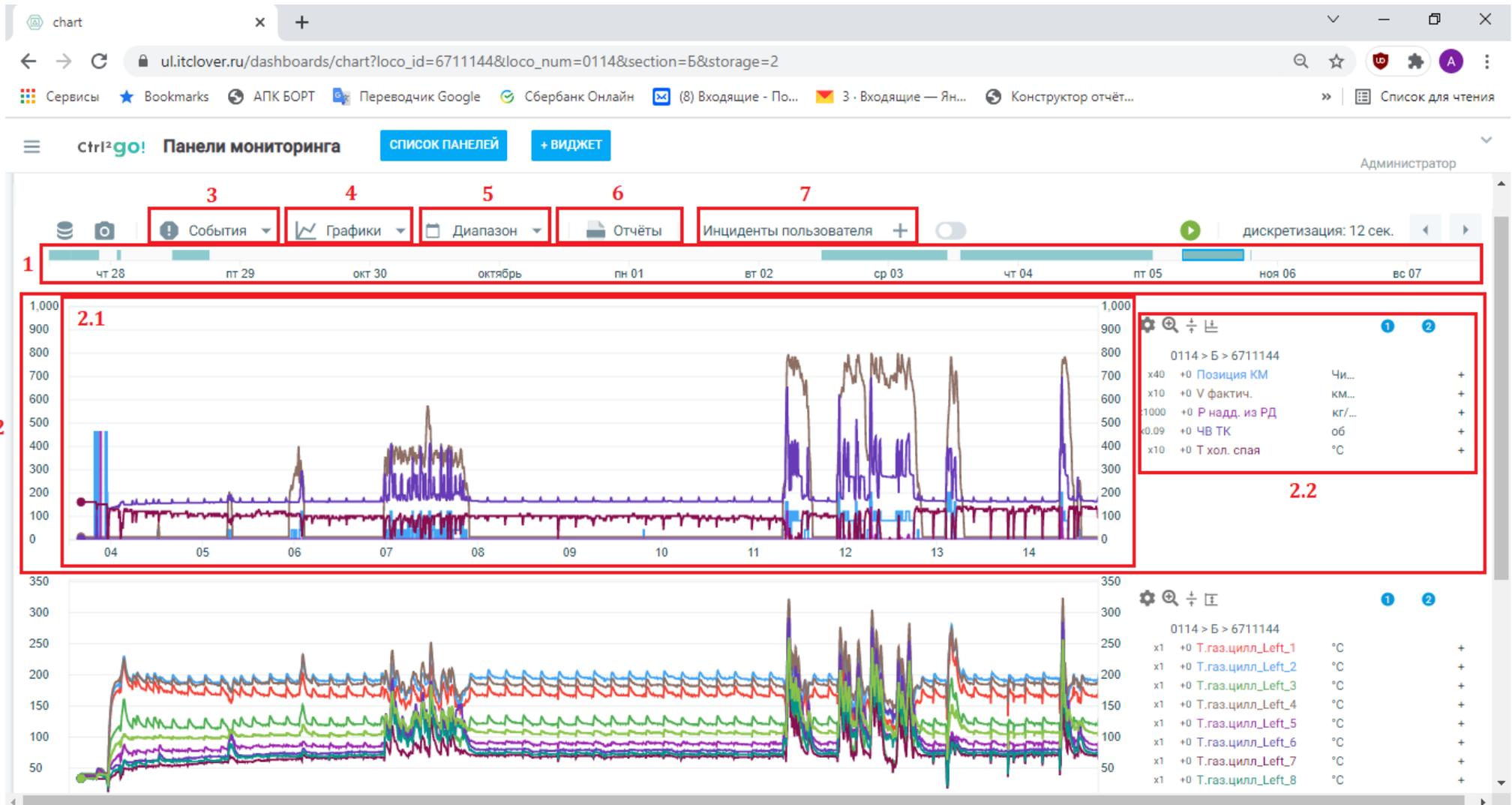
Показано с 1 по 20 из 313122

1 / 15657

1 – поле ID, 2 – поле информации о локомотиве, 3 – поле депо приписки, 4 – поле СЛД, 5 – поле вида ТОиР, 6 – поле даты загрузки, 7 – поле продолжительности данных, 8 – поле статуса обработки данных, 9 – поле количества инцидентов, 10 – поле дат начала и окончания данных

Рисунок К.4 – Форма загрузки данных

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ К



205

1 – шкала выбора диапазона данных, 2 – поле анализа данных, 3 – кнопка «События», 4 – кнопка «Графики», 5 – кнопка «Диапазон», 6 – кнопка «Отчёты», 7 – кнопка «Инциденты пользователя»

Рисунок К.5 – Форма анализа данных МСУ

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ К

Все события X

Нарушение режимов эксплуатации
 Предотказное состояние
 Скрыть все
 7
ВЫГРУЗИТЬ В АСУ СГ

	1	2	3	4	5		6
	Название	Количество	Критичность	Показать	Выгрузить	Дефекты	Рекомендации
8	▶ Разбор токов ТЭД на полном поле более 12%	232	Не установлена	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ПОКАЗАТЬ ДЕФЕКТЫ	ПОКАЗАТЬ РЕКОМЕНДАЦИИ
	▼ Остановка дизеля без прокачки масла	1	Не установлена	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ПОКАЗАТЬ ДЕФЕКТЫ	ПОКАЗАТЬ РЕКОМЕНДАЦИИ

8.1	8.2		8.3	
Сообщение	С	По	Продолжительность	Комментарий
Нормативный документ: Распоряжение ЦТ-47, приложение 3 от 27.12.2018 п.3. Рекоменду...	02.11.2021, 06:49:40	02.11.2021, 06:59:59	00:10:19	

20 Показано с 1 по 1 из 1 8.4 8.5 [ПЕРЕЙТИ](#)

▶ Остановка дизеля при превышенной температуре теплоносителей	26	Не установлена	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ПОКАЗАТЬ ДЕФЕКТЫ	ПОКАЗАТЬ РЕКОМЕНДАЦИИ
▶ Длительная работа на холостом ходу.	4	Не установлена	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ПОКАЗАТЬ ДЕФЕКТЫ	ПОКАЗАТЬ РЕКОМЕНДАЦИИ
▶ Превышена температура масла	3	Не установлена	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ПОКАЗАТЬ ДЕФЕКТЫ	ПОКАЗАТЬ РЕКОМЕНДАЦИИ
▶ Эксплуатация дизеля при превышенной температуре теплоносител...	4	Не установлена	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ПОКАЗАТЬ ДЕФЕКТЫ	ПОКАЗАТЬ РЕКОМЕНДАЦИИ

ЗАКРЫТЬ

1 – столбец «Название», 2 – столбец «Количество», 3 – столбец «Критичность», 4 и 8.4 – столбец «Показать», 5 и 8.5 – столбец «Выгрузить», 6 – столбец «Показать рекомендации», 7 – кнопка «Выгрузить в АСУ СГ», 8 – кнопки раскрытия списка инцидентов, 8.1 – краткое описание инцидента, 8.2 – диапазон времени инцидента, 8.3 – комментарий к инциденту

Рисунок К.6 – Форма работы с автоматически выявленными инцидентами

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ К

ЛокоТех-Сервис (производство) / Управление ремонтным предприятием, редакция 1.3 /

Файл Правка Операции ПДО Мастер Техник по замерам ОТК Зам. начальника депо ОТИЗ Справочники (НСИ) Терминал самообслуживания Отчеты ТУ-28 Учет МПИ Рекламационный блок Экономист ЭП Депо Технолог Инженер БД ДЭ
 Отчеты ТМХ-Сервис Сервисный инженер Учет заводов Планирование Сервис Окна Справка

Диагностическая карта ремонта локомотива НР 2ТЭ116У №0289Б Сургут (Западный) в СПД Тюмень (Западный) от 06.11.2021 12:22:00

Закреть Печать актов Печать данных по ремонту Перейти Аналитика по ремонту Список работ по ремонту Все действия

Серия локомотива: 2ТЭ116У
 Номер секции: 0289Б
 8-значный номер: 16496044
 Дело приписки: Сургут (Западный)
 Договор СО: Договор 285
 Место ремонта: Тюмень (Западный)
 Вид ремонта: НР
 Длительно простаивающий:
 По результатам разбора:
 в т.ч. доп. + ТО-4:
 Код: 00011451

[0289А Плановая дата завершения обслуживания \(по маршруту\) 06.11.2021 13:22](#)
[Создать документ сервисного обслуживания](#)

Состояние: На обслуживании
 Позиция в депо: П1-3
 Статус: Приемка в ремонт в горячем состоянии

Основные сведения Маршрут ТОиР План выдачи Замечания (15) Программа ТОиР Диагностика МПИ ТМЦ Пробеги Акты История Файлы (Нет)

Управление замечаниями Реестр замечаний История замечания Наряды по всем назначенным работам созданы

Загрузка / выгрузка Текущее замечание Обновить Найти...

Описание	Дата отказа	Статус отработки	Автор	Оборудование	Завод-изготовитель	Смежное замечание	ТОиР план устранения	Источник	МП	Цик
✓ Разброс токов ТЭД на полном поле более 12%	01.11.2021 0:00:00		Зонов Вячеслав Олегович	Тяговый двигатель ...				Умный локомотив		
✓ Заниженные показания t выхлопных газов ЦК (Сторона = Left, Цилиндр = 6)	02.11.2021 0:00:00		Зонов Вячеслав Олегович					Умный локомотив		

Работы по замечанию "Заниженные показания t выхлопных газов ЦК (Сторона = Left, Цилиндр = 6)":

+ Добавить - Удалить работу

Вид работы	Шаблон работ	Работа	Оборудование	Кол-во	Участок	№ нарядов	Трудоемкость	Норма простоя	Стоимость материалов	Стоимость трудозатрат

Локомотивы в депо (Статус) Диагностическая карта ре...

Для получения подсказки нажмите F1 CAP NUM

Рисунок К.7 – Инциденты из АРМ УЛ, выгруженные в АСУ СГ

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ К

The screenshot shows a web application interface for generating reports. The browser address bar shows the URL `ul.itclover.ru/reports/simple/171/edit`. The page title is "Отчеты" (Reports) and the user is logged in as "Администратор" (Administrator).

The interface features a sidebar on the left for selecting columns (Колонки) and a main area for configuring and viewing the report. The main area includes a table of incident data and a bottom bar with a "СГЕНЕРИРОВАТЬ" (GENERATE) button.

Red boxes and numbers 1-6 highlight specific UI elements:

- 1**: The report type selection area, showing "Таблица" (Table) selected.
- 2**: The filter conditions area, showing "Серия" (Series) set to "ТЭ10МК" and "Дата начала инцидента" (Incident start date) set to "2020-01-01 05:30:20".
- 3**: The column selection sidebar, showing a search bar and a list of columns with their data types (e.g., "Вид ТОиР" - str, "Инцидент не подтвержден" - int).
- 4**: The table of incident data, showing columns for "Серия", "Номер локомотива", "Секция", "id загрузки", "Дата начала инцидента", "Дата окончания инцидента", "Тип инцидента", and "Наименование инцидента".
- 5**: The "СГЕНЕРИРОВАТЬ" (GENERATE) button.
- 6**: The download button (download icon) in the top right corner of the table area.

Серия	Номер локомотива	Секция	id загрузки	Дата начала инцидента	Дата окончания инцидента	Тип инцидента	Наименование инцидента
2ТЭ10МК	2648	Б	5539534	08.06.2021, 02:03:...	08.06.2021, 02:03:44	События ...	Высокая вероятность отказа ТНВД в бли...
2ТЭ10МК	2648	Б	5539534	08.06.2021, 02:03:...	08.06.2021, 02:03:44	События ...	Высокая вероятность отказа ТНВД в бли...
2ТЭ10МК	2648	Б	5539534	16.06.2021, 10:18:...	16.06.2021, 10:18:40	События ...	Высокая вероятность отказа ТНВД в бли...
2ТЭ10МК	2648	Б	5539534	08.06.2021, 02:03:...	08.06.2021, 02:03:44	События ...	Высокая вероятность отказа ТНВД в бли...
2ТЭ10МК	2648	Б	5539534	08.06.2021, 09:21:...	08.06.2021, 09:21:04	События ...	Высокая вероятность отказа ТНВД в бли...
2ТЭ10МК	2648	Б	5539534	08.06.2021, 02:03:...	08.06.2021, 02:03:44	События ...	Высокая вероятность отказа ТНВД в бли...
2ТЭ10МК	2648	Б	5539534	08.06.2021, 02:03:...	08.06.2021, 02:03:44	События ...	Высокая вероятность отказа ТНВД в бли...
2ТЭ10МК	2648	Б	5539534	08.06.2021, 09:21:...	08.06.2021, 09:21:04	События ...	Высокая вероятность отказа ТНВД в бли...
2ТЭ10МК	2648	Б	5539534	08.06.2021, 02:03:...	08.06.2021, 02:03:44	События ...	Высокая вероятность отказа ТНВД в бли...

1 – поле «тип отчёта», 2 – поле условий фильтрации, 3 – поле выбора колонок данных, 4 – поле предварительного просмотра отчёта, 5 – кнопка «Сгенерировать отчёт», 6 – кнопка выгрузки отчёта

Рисунок К.8 – Форма конструктора отчётов

**ООО «ЛокоТех»**

Земляной Вал, д.59, стр.2, Москва, 109004

+7(499) 638 2298

www.locotech.ruinfo@locotech.ru

ОГРН 1127746035890

ИНН 7715900556, КПП 770901001

**В диссертационный совет
Д 218.005.01 на базе
федерального государственного
автономного образовательного
учреждения высшего
образования
«Российский университет
транспорта» РУТ(МИИТ)**

СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ

Настоящей справкой подтверждаю, что материалы кандидатской диссертации Мельникова В.А. «Совершенствование методов диагностирования тепловозов 2ТЭ116У с применением данных бортовых систем управления» были внедрены в рамках проекта «Умный локомотив».

**Заместитель генерального директора
по развитию**

**С.Л.Лянгасов**

Исп.: Баркунова А.А.
Тел./факс: +7 (499) 638 2298, доб. 189
E-mail: barkunovaaa@locotech.ru

ctrl2go.solutions

		web: ctrl2go.solutions e-mail: info@ctrl2go.solutions tel: +7 (495) 134-15-37
ООО «КЛОВЕР ГРУПП» ИНН 1659171786 КПП 772501001	ОГРН 1161690102012 ГРН 2217700080684	115162, г. Москва, ул. Шаболовка, д. 31, стр. 11, этаж 4, пом. 1-25

11.10.2021 № Место для ввода
текста.

На № _____ от _____

В диссертационный совет
Д 218.005.01 на базе
федерального государственного
автономного образовательного
учреждения высшего
образования
«Российский университет
транспорта» РУТ (МИИТ)

Справка о внедрении

Настоящей справкой ООО «Кlover Групп» подтверждает, что результаты научных и практических исследований, выполненных в рамках диссертационной работы Мельникова Виктора Александровича «Совершенствование методов диагностирования тепловозов 2ТЭ116У с применением данных бортовых систем управления», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по научной специальности 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация», действительно использованы при разработке интерфейса пользователя, алгоритмов и моделей технического диагностирования оборудования магистральных тепловозов по данным их бортовых микропроцессорных систем управления в автоматизированном рабочем месте диагностирования локомотивов АРМ «Умный локомотив».

В настоящее время АРМ «Умный локомотив» используется для диагностирования тепловозов серий 2(3)ТЭ116У, 2ТЭ25КМ, 3ТЭ25К2М, и ТЭП70У(БС) в 36 сервисных локомотивных депо (СЛД) «ЛокоТех-Сервис» для планирования индивидуального объёма ремонта тепловозов при постановке на плановое и неплановое техническое обслуживание и ремонт (ТОиР). АРМ «Умный локомотив» в настоящее время является неотъемлемой частью технологического процесса ТОиР группы компаний «ЛокоТех».

Руководитель бизнес-юнита
«Транспорт и машиностроение»
ООО «Кlover Групп»



М.Ю.Вдовенко