

На правах рукописи



ХРОМОВ Игорь Юрьевич

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ
НА ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЛОКОМОТИВОВ**

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог,
тяга поездов и электрификация

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2021

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет транспорта» РУТ (МИИТ)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
ЛАКИН Игорь Капитонович

Официальные оппоненты: **ШАБАЛИН Николай Григорьевич**,
доктор технических наук, профессор,
акционерное общество «Научно-исследовательский и
проектно-конструкторский институт информатизации,
автоматизации и связи на железнодорожном
транспорте», центр исследований и подготовки
комплексных научных проектов, руководитель центра.

КУРИЛКИН Дмитрий Николаевич,
кандидат технических наук, доцент,
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Петербургский государственный университет путей
сообщения Императора Александра I», кафедра
«Локомотивы и локомотивное хозяйство»,
заведующий кафедрой.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Иркутский государственный университет путей
сообщения».

Защита состоится 13 мая 2021 г., в 15:00 на заседании диссертационного совета
Д 218.005.01 на базе федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» по адресу:
127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, ауд. 2505.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте РУТ (МИИТ),
www.mii.ru.

Автореферат разослан « _____ » _____ 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Воронин Николай Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Железная дорога является крупнейшей, а в отдельных регионах и единственной транспортной артерией страны, обеспечивающей транспортировку грузов и пассажиров, и занимает ведущее положение в единой транспортной системе.

С начала XXI века на отечественном железнодорожном транспорте проводится комплексная реформа системы управления эксплуатацией и обслуживания железнодорожного транспорта.

Существенным и наиболее масштабным изменением в железнодорожном комплексе в рамках реформы является разделение функции эксплуатации и функции технического обслуживания и ремонта (ТОиР) локомотивов, для обеспечения деятельности которых созданы соответствующие подразделения: Дирекция тяги (ЦТ) – филиал ОАО «РЖД» и Дирекция по ремонту тягового подвижного состава (ЦТР) – филиал ОАО «РЖД». С целью повышения качества ТОиР и системы эксплуатации локомотивов, с 1 июля 2014 года основные функции ТОиР переданы частным сервисным компаниям (ООО «ТМХ Сервис» (теперь – ЛокоТех-Сервис) и ООО «СТМ-Сервис»), оплата работы которых производится не за количество выполненных ремонтов, а за полезную работу локомотивов – километры пробега для магистральных локомотивов и часы работы для маневровых. Благодаря этому появилась заинтересованность в увеличении безремонтных пробегов локомотивов, увеличении их полезной работы, улучшению технического состояния локомотивного парка.

После разделения функций эксплуатации и ремонта локомотивов появилась необходимость разделения ответственности за отказы тягового подвижного состава между производителями, эксплуатацией и сервисным ремонтом. В связи с этим потребовалось контролировать техническое состояние локомотивов в эксплуатации. Наличие на современных локомотивах микропроцессорных систем управления (МСУ) с функцией диагностирования, а в ремонтных депо – автоматизированных систем управления ТОиР позволяет контролировать техническое состояние локомотивов в зависимости от режимов их эксплуатации. Поэтому тема диссертации является актуальной для совершенствования системы ТОиР и повышения надёжности локомотивов.

Степень разработанности темы. Управление техническим состоянием и надёжностью тягового подвижного состава (ТПС), в т.ч. с учётом режимов их эксплуатации постоянно является темой научно-практического изучения в локомотивостроительных компаниях «Трансмашхолдинг», «Уральские локомotiveы», General Electric, Siemens, Alstom, Bombardier, в научно-исследовательских институтах ВНИИЖТ, ВНИКТИ, ВЭЛНИИ, НИИТКД, в проектно-конструкторском бюро локомотивного хозяйства (ПКБ ЦТ), в высших учебных заведениях: ДВГУПС, ИрГУПС, ОмГУПС, ПГУПС, РУТ, СамГУПС и РГУПС. Значительный вклад внесли многие отечественные учёные: И.П. Исаев, В.Д. Кузьмич, А.В. Горский, А.А. Воробьев, А.В. Воротилкин, А.Д. Глущенко, А.Т. Головатый, А.Н. Головаш, В.В. Грачёв, Ю.А. Давыдов, В.Н. Игин, Ю.М. Иньков, С.И. Ким, В.И. Киселев, В.С. Коссов, А.С. Космодамианский, С.М. Кузнецов, И.К. Лакин, О.В. Мельниченко, А.Т. Осяев, А.В. Плакс, А.Д. Пузанков, Е.Н. Розенберг, А.П. Семёнов, В.В. Семченко, В.Т. Стрельников, Э.Д. Тартаковский, М.В. Федотов, В.П. Феоктистов, В.А. Четвергов, Н.Г. Шабалин, С.Г. Шантаренко.

В современных условиях сервисного ТОиР теме управления техническим состоянием локомотивов посвящены научные труды А.А. Аболмасова, И.И. Лакина, И.В. Пустового. Проблема изучается и за рубежом, например, в трудах P. Burgwinkel, F. Rensmann, H.W. Heinrich, J.P. Womak, D.T.Jones, D. Roos и многих других.

Проблема управления надёжностью локомотивов является проработанной, но требует развития для условий разделения функций эксплуатации и ТОиР.

Объектом исследования являются локомотивы, их техническое состояние и режимы эксплуатации.

Предметом исследования является зависимость технического состояния локомотивов от режимов их эксплуатации, что позволит повысить эффективность системы технического обслуживания и ремонта локомотивов, повысить надёжность локомотивов.

Целью исследования является повышение надёжности локомотивов за счёт выявления закономерностей между режимами эксплуатации и техническим состоянием локомотивов по данным бортовых микропроцессорных систем управления локомотивов для использования в автоматизированных системах управления ТОиР в условиях сервисных ремонтных локомотивных депо.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- 1 анализ современной системы ТООР отечественных локомотивов и существующих систем управления их техническим состоянием с выявлением имеющихся проблем с обеспечением технического состояния локомотивов;
- 2 статистический анализ соблюдения режимов эксплуатации отечественных локомотивов с выявлением типовых нарушений;
- 3 разработка метода и статистический анализ влияния режимов эксплуатации на техническое состояние локомотивов, научное обоснование наличия закономерностей для каждого вида оборудования локомотивов по данным бортовых микропроцессорных систем управления и автоматизированных систем управления локомотивного хозяйства;
- 4 разработка методов защиты оборудования локомотивов от опасных режимов эксплуатации за счёт доработки программного обеспечения бортовых МСУ локомотивов (алгоритмические защиты);
- 5 практическая реализация полученных в диссертации научных результатов в программном обеспечении МСУ локомотивов и в информационных системах сервисных локомотивных депо.

Научная новизна диссертационной работы:

- 1 Научно доказаны или подтверждены закономерности между нарушениями режимов эксплуатации (НРЭ) локомотивов и их техническим состоянием.
- 2 Разработан усовершенствованный научно обоснованный классификатор нарушений режимов эксплуатации с указанием их возможного влияния на техническое состояние локомотивов.
- 3 Разработан метод защиты локомотивов от опасных нарушений режимов эксплуатации с использованием бортовых микропроцессорных систем управления для существующего и расширенного набора датчиков технического состояния оборудования локомотивов.
- 4 Разработан метод автоматизированного планирования объема технического обслуживания и ремонта локомотивов в условиях сервисных локомотивных депо при наличии нарушений режимов эксплуатации.
- 5 Выполнено технико-экономическое обоснование целесообразности реализации предлагаемых технических решений.

Теоретическая значимость работы. Разработан вероятностно-статистический метод определения влияния режимов эксплуатации на техническое состояние локомотивов и метод планирования ТОиР с учётом режимов их эксплуатации.

Практическая значимость работы. Разработан и внедрён классификатор нарушений режимов эксплуатации и их влияния на техническое состояние локомотивов. Обоснован расширенный набор датчиков для контроля технического состояния локомотивов и режимов их эксплуатации. Технические решения реализованы в АСУ ТОиР сервисных локомотивных депо группы компаний «ЛокоТех». Разработана матрица влияния режимов эксплуатации локомотивов на их техническое состояние, позволяющая своевременно оценивать наиболее подверженные нарушениям серии локомотивов и их оборудование, разрабатывать соответствующие корректирующие мероприятия. Разработаны и апробированы на тепловозах серий ТЭП70БС, 2ТЭ116У и 2(3)ТЭ10МК(УК) алгоритмические защиты от опасных режимов эксплуатации за счёт доработки программного обеспечения микропроцессорных систем управления этих локомотивов. Для сетевой (85 сервисных локомотивных депо) информационно-управляющей системы АСУ «Сетевой график» группы компаний «ЛокоТех» разработано автоматизированное рабочее место диагноста с модулем «Корреляция НР-НРЭ», внедрённое в работу во всех сервисных подразделениях группы компаний «ЛокоТех».

Методология и методы исследования. При анализе надёжности локомотивов, режимов их эксплуатации и влияния нарушений режимов эксплуатации на техническое состояние локомотивов использованы вероятностно-статистические методы, методы корреляционного анализа, в том числе математические функции пакета программ Microsoft Excel (MS Excel). При выявлении влияния режимов работы локомотивов на техническое состояние их оборудования выполнен анализ имеющихся место физических процессов, в том числе с использованием положений теории локомотивной тяги. При разработке алгоритмических защит использованы методы алгоритмического программирования. При разработке способов управления техническим состоянием использованы методы международных стандартов в области управления качеством и надёжностью, методы концепции управления производственным предприятием Lean Production и библиотека информационных технологий ITIL.

Положения, выносимые на защиту.

- 1 Метод выявления наличия закономерностей между режимами эксплуатации локомотивов и их техническим состоянием.
- 2 Расширенный классификатор нарушений режимов эксплуатации, внедрённый в работу локомотивного комплекса ОАО «РЖД» при сервисном техническом обслуживании и ремонте локомотивов.
- 3 Алгоритмы защиты оборудования локомотивов от опасных режимов эксплуатации.
- 4 Обоснование минимально необходимого набора датчиков для контроля режимов эксплуатации локомотивов.
- 5 Метод автоматизированной организации сервисного технического обслуживания и ремонта локомотивов с учётом нарушений режимов эксплуатации, влияющих на техническое состояние оборудования.

Степень достоверности. Высокий уровень достоверности полученных теоретических положений научного исследования достигнут за счёт использования методов вероятностно-статистического анализа при обработке большого объёма данных ОАО «РЖД» и группы компаний «ЛокоТех» об эксплуатации и ремонте локомотивов (Big Data): более 21,1 млн событий за 12 месяцев по 85-и сервисным локомотивным депо. Достоверность также подтверждается практическим внедрением результатов исследований в программные модули автоматизированной системы управления ТОиР группы компаний «ЛокоТех», а также в программное обеспечение микропроцессорной системы управления тепловозов серий ТЭП70БС, 2ТЭ116У и 2(3)ТЭ10МК(УК).

Апробация работы. Основные результаты работы доложены, обсуждены и одобрены на девяти научно-практических (НПК) и научно-технических (НТК) конференциях: 5-я международная НТК «Локомотивы. Транспортно-технологические комплексы. XXI век», 6-я и 7-я международные НТК «Локомотивы. Электрический транспорт. XXI век» (ПГУПС, Санкт-Петербург, 2017, 2018, 2020); 3-я международная НПК «Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов» (МИИТ, ЛокоТех, Москва, 2018); 19-я всероссийская НПК «Безопасность движения поездов – 2018» (РУТ, Москва, 2018); 10-я международная НПК «Транспортная инфраструктура Сибирского региона»

(ИрГУПС, Иркутск, 2019); всероссийская НПК с международным участием «Цифровизация транспорта и образования» (КРИЖТ ИрГУПС, Красноярск, 2019); всероссийская НПК с международным участием «Эксплуатация и обслуживание электронного и микропроцессорного оборудования тягового подвижного состава» (КРИЖТ ИрГУПС, ДЦВ Красноярской ж.д., Красноярск, 2020), 4-я международная НПК «Разработка и эксплуатация электротехнических комплексов и систем энергетики и наземного транспорта» (ОмГУПС, Омск, 2020).

Диссертация в 2020-м году доложена и одобрена на заседаниях кафедр «Электропоезда и локомотивы» (РУТ, г. Москва) и «Локомотивы и локомотивное хозяйство» (ПГУПС, г. Санкт-Петербург).

Личный вклад. Все результаты, изложенные в диссертационной работе, получены автором лично и самостоятельно.

Публикации. Основные положения диссертационной работы и полученные результаты опубликованы в 20-и научных работах, из них 5 статей (одна без соавторов) в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, 4 – в отраслевых журналах (две без соавторов), 11 – в трудах научно-практических конференций (5 из них без соавторов), 12 статей имеют индексацию РИНЦ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы из 125 источников и 2 приложений. Содержит 187 страниц основного текста, 22 таблицы и 84 рисунка.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первом разделе по данным литературных источников выполнен анализ существующей в ОАО «РЖД» системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР) локомотивов: внедрена сервисная система ТОиР в т.ч. по контракту жизненного цикла. В связи с этим стала актуальной задача отнесения ответственности за отказы локомотивов между их производителями и конструкторами, эксплуатационными и ремонтными подразделениями.

Сервисные компании автоматизируют работу локомотивных депо, внедряя ERP- и MES-системы (АСУ ТОиР) на базе пакетов программ 1С или SAP R/3, что создаёт предпосылки для автоматизации управления надёжностью и техническим

состоянием локомотивов. Наибольший интерес для этих целей представляет АСУ ТОиР группы компаний «ЛокоТех» под общим названием АСУ «Сетевой график», важным свойством которой является создание электронных журналов (аналогов журнала формы ТУ-28) для регистрации замечаний по техническому состоянию из доступных источников информации всех обслуживаемых локомотивов для их дальнейшего устранения при выполнении плановых и неплановых ремонтов локомотивов. Важно, что в системе предложено оценивать учёт технического состояния локомотивов через продолжительность, трудоёмкость и материалоемкость сверхцикловых ремонтных работ.

В АСУ «Сетевой график» реализовано автоматическое поступление замечаний из программы диагностирования по данным бортовых микропроцессорных систем управления (МСУ) локомотивов, реализуется с участием НИИТКД автоматическое поступлении замечаний от деповских переносных и стационарных систем технического диагностирования.

На основании выполненного анализа поставлена задача совершенствования системы управления надёжностью локомотивов путём учёта влияния на техническое состояние режимов эксплуатации локомотивов.

Во втором разделе выполнен анализ нарушений режимов эксплуатации отечественных локомотивов, обслуживаемых сервисными предприятиями группы компаний «ЛокоТех», основными из которых являются ТЭП70БС(У), 2(3)ТЭ116У, 2ТЭ25КМ(А), ЭП1М(П), ЭП2К, 2(3,4)ЭС5К, 2(3,4)ЭС4К и другие. Источником информации для анализа послужили экспортированные из информационных систем ЕСМТ и АСУ «Сетевой график» данные по неплановым ремонтам и нарушениям режимов эксплуатации локомотивов за период январь – декабрь 2018 года по 85-и сервисным локомотивным депо. Исходные файлы, импортированные из информационных систем, насчитывают более 1,6 млн исходных данных по нарушениям режимов эксплуатации и более 1,7 млн – по неплановым ремонтам.

Обработка полученной информации производилась в несколько этапов с учётом и отбраковкой некорректных (или ошибочных) данных, занесённых пользователями в исходную информационную систему. Определено оборудование, которое является основной причиной захода локомотивов на неплановый ремонт (рисунок 1). Наибольшее число неплановых ремонтов (более 50 %) происходит по причине отказа дизеля и дизельного оборудования и отказы электрических машин.

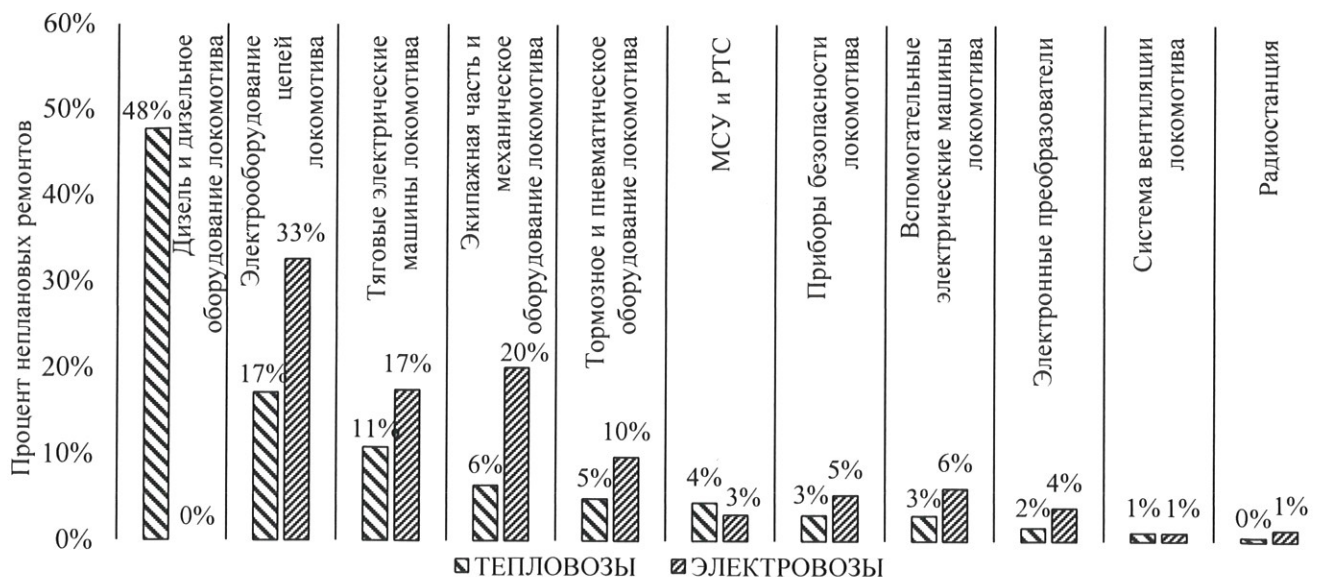


Рисунок 1 – Причины заходов локомотивов на НР (отказы оборудования)

Для оценки влияния НРЭ на техническую исправность локомотива, выполнен корреляционный анализ взаимного влияния факта p нарушения режима эксплуатации на дополнительные работы q по устранению неисправностей и вес инцидента (затраты на устранение НРЭ, приведённые в условных единицах с целью сохранения коммерческой тайны). Взаимное влияние НРЭ p на техническое состояние локомотива q анализировалось по коэффициенту корреляции r_{pq} , принимающего значения из диапазона $-1 \leq r_{pq} \leq 1$ и определяющегося как:

$$r_{pq} = \frac{\alpha_{11}(p, q) - m_p m_q}{\sigma_p \sigma_q}, \quad (1)$$

где $\alpha_{11}(p, q)$ – второй смешанный начальный момент, характеризующий математическое ожидание попарного произведения случайных величин p_i и q_i , составляющих объём выборки исходных данных N :

$$\alpha_{11}(p, q) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i \cdot q_i. \quad (2)$$

Анализ показал, что по паре «Нарушения режимов эксплуатации – количество отказов и дополнительных работ» наблюдается высокая корреляционная зависимость, что позволяет предположить наличие причинно-следственной связи между нарушениями и ухудшением технического состояния оборудования локомотивов в целом. Осуществлён более детальный корреляционный анализ – по некоторым из самых распространённых НРЭ с учётом различных сравниваемых параметров (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты корреляционного анализа по НРЭ

№ п/п	Область сравнения (отборы/фильтры)	№ п/п	Сравниваемые параметры	Коэффициент корреляции	
				НРЭ - доп работы	НРЭ - стоимость работ
1	По всем сериям и НРЭ локомотивов (без фильтров)	1.1	Все виды работ и ремонта	0,87	0,63
		1.2	Все виды работ, без ТО-2	0,93	0,70
		1.3	Все виды ремонта, сверхцикловые работы	1,00	0,91
2	По всем сериям, оборудованным МСУ (без фильтра по НРЭ)	2.1	Все виды работ и ремонта	0,85	0,60
		2.2	Все виды работ, без ТО-2	0,92	0,68
		2.3	Все виды ремонта, сверхцикловые работы	1,00	0,92
3	По замечанию (следование по лимитирующему подъёму со скоростью ниже установленной)	3.1	Все виды работ и ремонта	0,85	0,84
		3.2	Все виды работ, без ТО-2	0,87	0,80
		3.3	Все виды ремонта, сверхцикловые работы	1,00	0,84
4	По замечанию (длительная работа на холостом ходу)	4.1	Все виды работ и ремонта	0,84	0,75
		4.2	Все виды работ, без ТО-2	0,93	0,89
		4.3	Все виды ремонта, сверхцикловые работы	1,00	0,61
5	По замечанию (боксование колёсных пар)	5.1	Все виды работ и ремонта	0,77	0,51
		5.2	Все виды работ, без ТО-2	0,88	0,58
		5.3	Все виды ремонта, сверхцикловые работы	1,00	0,87
6	По замечанию (запуск, эксплуатация, остановка дизеля с нарушением температурного режима теплоносителей)	6.1	Все виды работ и ремонта	0,56	0,31
		6.2	Все виды работ, без ТО-2	0,79	0,54
		6.3	Все виды ремонта, сверхцикловые работы	1,00	0,59
7	По замечанию (юз колёсных пар)	7.1	Все виды работ и ремонта	0,98	0,84
		7.2	Все виды работ, без ТО-2	0,99	0,78
		7.3	Все виды ремонта, сверхцикловые работы	1,00	0,89

Выявлена высокая (по п. 1, 3, 4, 7) и заметная (по п. 2, 5, 6) корреляционные связи. При этом в пунктах 3 (тяговые электрические машины) и 7 (экипажная часть) выборки позволяют учитывать данные не только по тепловозной тяге, но и по электровозам. Таким образом, при анализе статистических данных за большой период времени можно подтвердить наличие причинно-следственной связи между нарушениями и ухудшением технического состояния локомотива через снижение его эксплуатационной надёжности. После определения наличия причинно-следственной связи между нарушениями и снижением надёжности локомотива посредством корреляционного анализа, произведён анализ наиболее распространённых нарушений режимов эксплуатации (рисунок 2). На диаграмме отображены 9 самых распространённых нарушений режимов эксплуатации, на которые суммарно приходится 71,1 % от общего их числа. Только 3 из 9 нарушения режима эксплуатации, показанных на рисунке, относятся непосредственно к тепловозам, поскольку связаны с дизелем и дизельным оборудованием. Остальные шесть относятся и к тепловозам, и к электровозам: колёсные пары, тяговые электродвигатели, тормозное оборудование являются унифицированными.

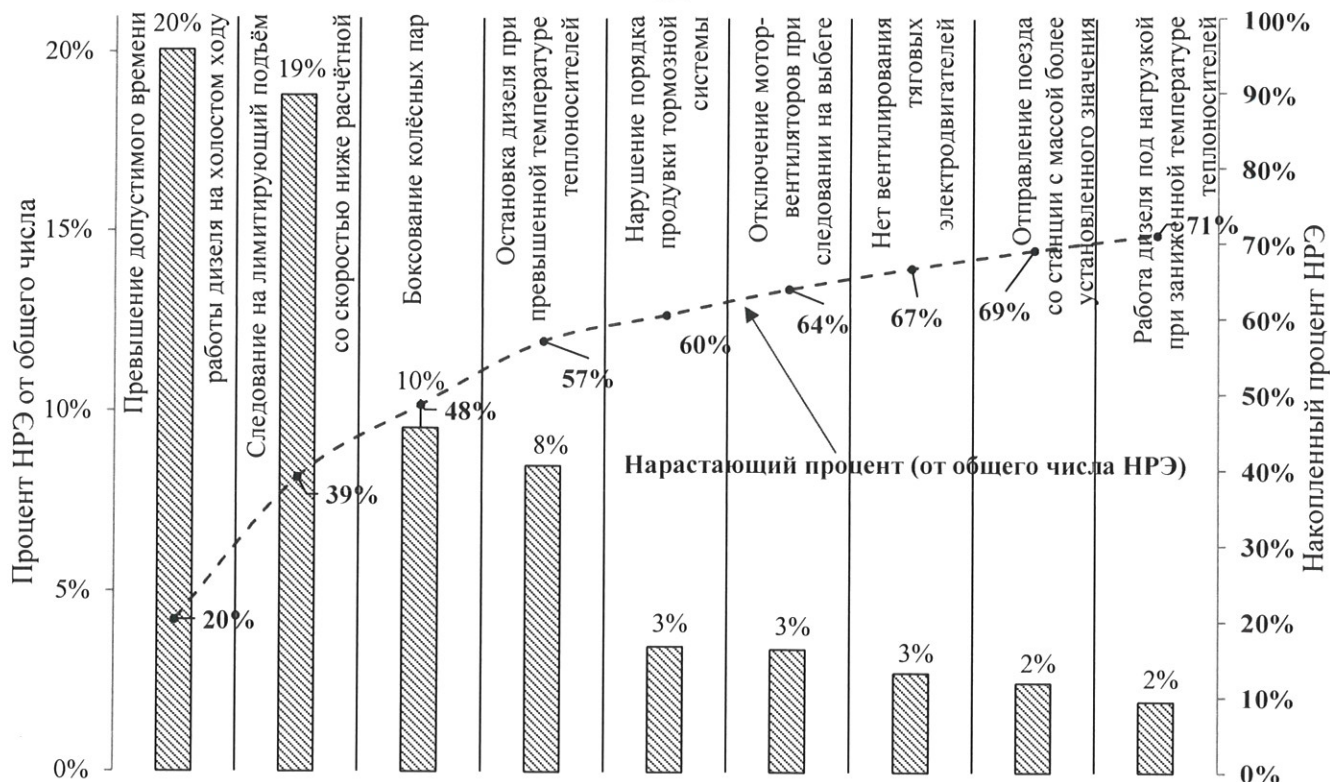


Рисунок 2 – Самые распространённые НРЭ за 2018 год

В отдельную группу следует выделить нарушения, связанные с дизелем и дизельным оборудованием тепловозов из-за их существенного влияния на техническое состояние локомотивного оборудования и локомотива в целом и на которые приходится около 40 % от общего числа нарушений режимов эксплуатации. Проанализирована ситуация с нарушениями только по тепловозным сериям – на рисунке 3 приведена статистика по нарушениям режимов эксплуатации с разбивкой по сериям за 2018 год в виде диаграммы Парето.

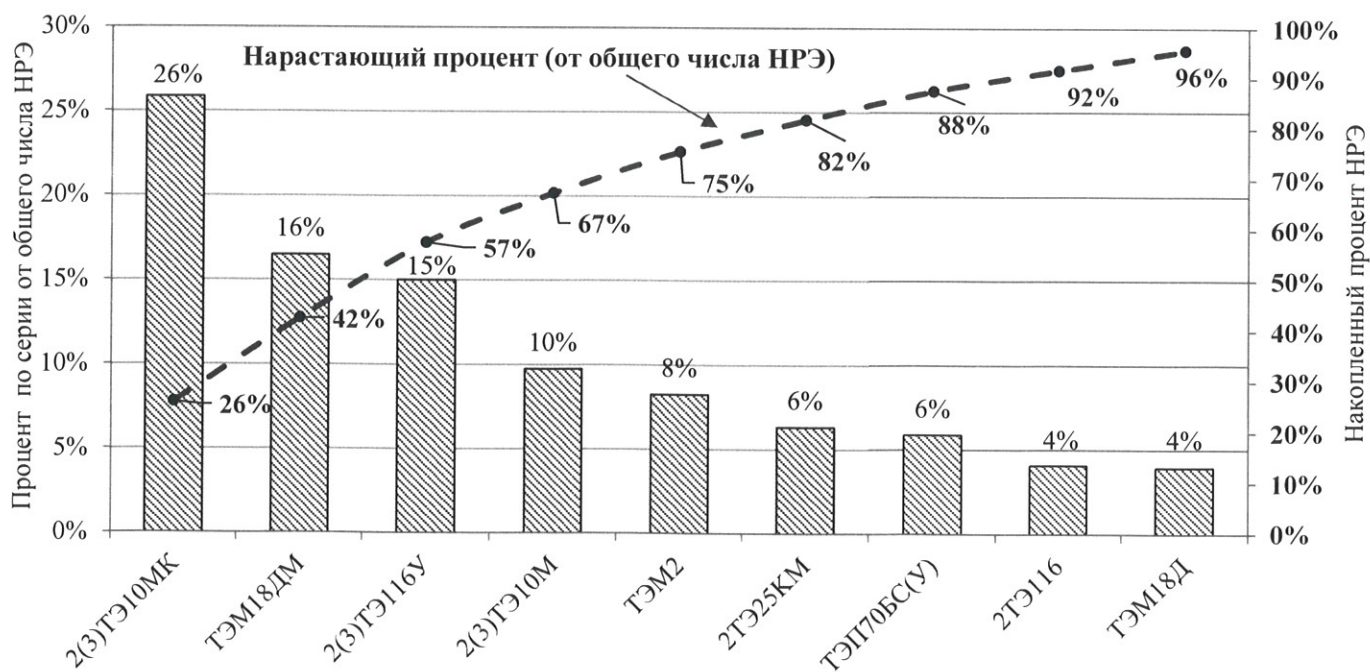


Рисунок 3 – Распределение НРЭ по сериям тепловозов

Анализ нарушений по тепловозам показал, что на первые 6 серий локомотивов приходится более 81 % от всех НРЭ по тепловозам. При этом 5 из 6 серий локомотивов (кроме ТЭМ2) оборудованы микропроцессорными системами управления, благодаря функциональным возможностям которых можно предотвратить нарушения.

Основной объём нарушений наблюдается на грузовых локомотивах: из 9 приведённых серий локомотивов только одна пассажирская (ТЭП70БС и ТЭП70У) и две маневровые (ТЭМ2 и ТЭМ18Д) серии. Также проанализировано, на каких сериях чаще всего совершаются нарушения режимов эксплуатации: на ТЭМ18ДМ в среднем 9,5 нарушений на секцию, на 2(3)ТЭ10МК – 9,2, а на 2(3)ТЭ116У – 7,7.

По главе сделаны выводы, в т.ч. о целесообразности применения предложенной методики (на базе корреляционного анализа) влияния режимов эксплуатации на техническое состояние локомотивов. Определена необходимость дополнительного анализа влияния нарушений на конкретные виды оборудования (выполнен в разделе 3). Также сформулирована необходимость алгоритмических защит оборудования от нарушений через программное обеспечение МСУ (разработка алгоритмов выполнена в разделе 4).

Третий раздел научного исследования посвящён вероятностно-статистическому анализу распространённых нарушений режимов эксплуатации и их последствий по данным локомотивов, обслуживаемых в группе компаний «ЛокоТех» на Центральном, Северном и Восточном полигонах ОАО «РЖД», за 12 месяцев эксплуатации 2018 года. Определены физические процессы, приводящие к ухудшению технического состояния оборудования локомотивов, описаны вероятные последствия. По каждому виду нарушений приведена количественная статистика в виде диаграммы Парето с разбивкой по сериям локомотивов, а также информация по неплановым ремонтам, произошедшим из-за конкретного вида нарушения. Определены зависимости возможных отказов по видам оборудования и сериям локомотивов.

Например, при оценке нарушений, связанных с несоблюдением температурных режимов теплоносителей учитывались уравнения Вальтера и советского химмотолога Рамайя, описывающие зависимости вязкости масел от температуры. Низкая вязкость масла приводит к его разжижению, вследствие чего падает давление в масляной системе и возникают задиры на трущихся поверхностях элементов дизеля. Формула Вальтера в экспоненциальной форме имеет вид:

$$(v_t + x) = e^{x/T^e}, \quad (3)$$

где ν_t – кинематическая вязкость, $\text{мм}^2/\text{с}$, при температуре t , $^{\circ}\text{C}$;

T – абсолютная температура;

α – коэффициент, зависящий от индивидуальных свойств жидкости.

Формула Рамайя имеет вид:

$$\sqrt{\lg \eta} = K + M/T, \quad (4)$$

где η – динамическая вязкость масла, T – абсолютная температура;

K и M – коэффициенты, постоянные для данного масла.

По дизелю и дизельному оборудованию выявлено, что нарушения их режимов эксплуатации в значительной мере оказывают влияние на магистральные, прежде всего грузовые серии тепловозов. Так, например, из-за превышения допустимого времени работы дизеля на холостом ходу от общего числа неплановых ремонтов, произошедших из-за нарушения, на серию 2(3)ТЭ116У приходится 36 % неплановых ремонтов, на 2(3)ТЭ10М – 19 %, 2(3)ТЭ10МК – 11 %.

По тяговым электродвигателям (ТЭД) выявлена наиболее подверженная влиянию нарушений серия локомотивов ВЛ80С: на серию приходится 39 % от общего числа неплановых ремонтов, произошедших из-за несоблюдения скоростных режимов на руководящих подъёмах. Превышение весовой нормы и несоблюдение скоростных режимов на руководящих подъёмах приводит к токовым перегрузкам и перегреву изоляции ТЭД, что приводит к её тепловому старению, которое снижает механическую прочность изоляции и под действием механических нагрузок может привести к её повреждению, то есть пробое. В технике для расчёта теплового влияния на надёжность электрических машин используют правило Монтзингера:

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = 2^{\frac{T_1 - T_2}{\Delta T}}, \quad (5)$$

где ΔT – повышение температуры, вызывающее сокращение срока службы изоляции при тепловом старении в 2 раза, ΔT для тяговых электродвигателей составляет 10°C ; λ_1, λ_2 – срок службы изоляции; T_1, T_2 – разные температуры.

Среди тепловозных серий проблема с ТЭД из-за нарушений режимов эксплуатации по данной группе оборудования характерна только для тепловозов серии 2(3)ТЭ10МК (12 % от общего числа неплановых ремонтов, произошедших из-за вышеописанного НРЭ) которые, по большей части, задействованы в грузовом движении на Восточном полигоне, для которого характерны тяжёлые поезда и переменчивый профиль пути.

По колёсно-моторному блоку (КМБ) также выявлена зависимость между нарушениями и неплановыми ремонтами, произошедшими из-за НРЭ именно у грузовых серий локомотивов, которые, ввиду вождения тяжёлых поездов, более склонны к юзу или срыву в боксование: на грузовые серии приходится более 92 % от общего числа неплановых ремонтов, произошедших из-за нарушений по КМБ. При этом, как и по предыдущей группе оборудования, особенно выделяется серия электровозов ВЛ80С (55 % неплановых ремонтов от общего числа, произошедших из-за боксования колёсных пар), на которую приходится наибольшее количество неплановых ремонтов, произошедших из-за НРЭ. Следует отметить также серию 2(3,4)ЭС5К, на которую приходится 25 % от общего числа неплановых ремонтов, произошедших из-за юза колёсных пар.

Исходя из вышеприведённой информации и с учётом статистической обработки данных по неплановым ремонтам, произошедшим из-за НРЭ, составлена матрица влияния НРЭ на серии локомотивов – рисунок 4. По каждому НРЭ значения в матрице проставлены только по тем сериям, на которые приходится 80 % от общего числа неплановых ремонтов, произошедших из-за НРЭ, то есть выбраны наиболее подверженные влиянию нарушений серии локомотивов по каждому конкретному нарушению. На основании матрицы влияния нарушений режимов эксплуатации можно определить (по скоплению помеченных ячеек) необходимую очерёдность разработки корректирующих мероприятий (способов предотвращения НРЭ) по группам оборудования и сериям локомотивов.

Таким образом рассмотрены вероятные последствия воздействия нарушений на техническое состояние оборудования локомотива. С учётом вида деятельности локомотивов, определены физические зависимости между случаем НРЭ и неплановым ремонтом локомотива, произошедшим из-за НРЭ.

В четвёртом разделе разработана методика реализации алгоритмических защит. Рассмотрено диагностическое оборудование локомотивов, благодаря которому возможна реализация этих защит. Благодаря функциональным возможностям бортовых микропроцессорных систем управления (МСУ) локомотивов их можно использовать для предотвращения НРЭ через внедрение специальных алгоритмов в МСУ (рисунок 5).

Большую роль при применении данного решения играет тот факт, что в конструкцию и электрическую схему локомотива не вносятся изменения. Производится только переустановка программного обеспечения бортовых МСУ.

Наименование НРЭ	Локомотивы, на которые приходится 80% от общего числа по каждому НРЭ																															
	Тепловозы																Электровозы															
	пасс.	грузовые						маневровые				грузовые						маневровые		Итого												
	ТЭП10У(ДС)	2ТЭ116	2ЭТЭ116У	2ТЭ116УД	2ЭТЭ10МК	2ЭТЭ10М	2ЭТЭ10УК	2ЭТЭ10У	2ТЭ25КМ	2ТЭ25А	2М62	ТЭМ18УМ	ТЭМ18Д	ТЭМ2	ТЭМ2А	ТЭМ2А	ЧМ3	2Э3,4ЭС5К	2Э3ЭС4К		ВЛ80С	ВЛ80Р	ВЛ80ТК	ВЛ80Т	ВЛ85	ЭП2К	ЭП1М(П)	ЭП1	ЧС7			
Длительная работа на холостом ходу	X	X	X	X	X	X																							3			
Остановка дизеля при превышенной температуре теплоносителей			X	X	X			X																					4			
Работа дизеля под нагрузкой при заниженной температуре теплоносителей			X	X	X	X																							4			
Работа дизеля под нагрузкой при превышенной температуре теплоносителей			X	X	X	X				X																			5			
Запуск дизеля без прокачки масла	ухудшение технического состояния в долгосрочной перспективе																															
Следование на лимитирующий подъём со скоростью ниже расчётной					X														X	X	X								4			
Отключение мотор-вентиляторов в режиме выбега или тяги																		X	X										2			
Перегрузка ТЭД по токам / напряжениям																		X	X										2			
Превышение допустимых значений токов тягового генератора	ухудшение технического состояния в долгосрочной перспективе																															
После остановки дизеля не выключен рубильник аккумуляторной батареи	ухудшение технического состояния в долгосрочной перспективе																															
Непринятие мер по случаю боксования колёсных пар					X													X	X	X	X	X							6			
Применение крана вспомогательного тормоза в тяге																	X	X	X	X		X	X						6			
Юз колёсных пар		X	X	X														X	X	X		X							7			
Отключение автоматической подсыпки песка																		X							X				2			
Итого:	1	1	5	1	6	4	2	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	6	1	6	1	2	2	4	0	1	0	0				

Рисунок 4 – Матрица влияния НРЭ на локомотивы

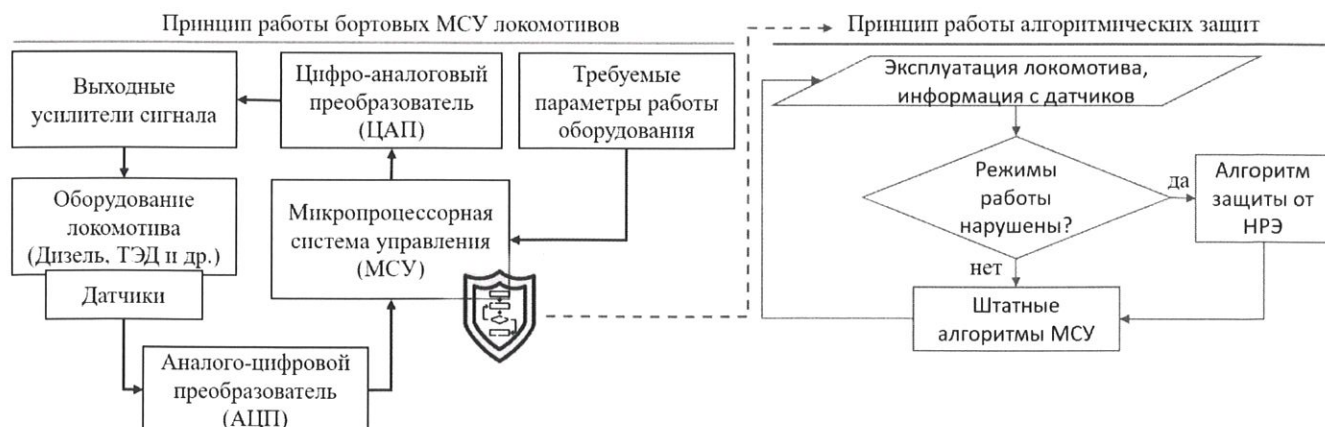
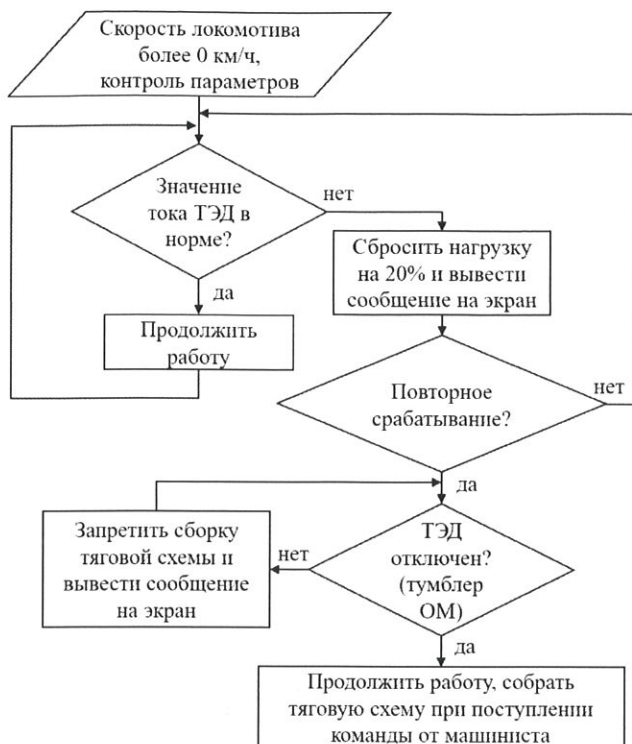


Рисунок 5 – Принцип работы алгоритмических защит (внутри МСУ)

На примере самых распространённых НРЭ, приведённых в третьем разделе, описаны предлагаемые алгоритмические защиты: указан алгоритм их действия, приведена логическая блок-схема и информация по датчикам, необходимым для реализации алгоритмических защит (рисунок 6).



Алгоритм защиты:

1. После начала движения локомотива (ПКМ $\neq 0$) контролировать значение токов ТЭД;
2. Если ток ТЭД превышает допустимые значения (по значению и продолжительности), то уменьшить нагрузку на 20% и вывести соответствующее сообщение на экран бортового компьютера в кабине машиниста;
3. Если ток ТЭД превышает допустимые значения (по значению и продолжительности), то уменьшить нагрузку на 20% и вывести соответствующее сообщение на экран бортового компьютера в кабине машиниста;
4. При повторном срабатывании защиты – запретить сборку тяговой схемы без отключения соответствующего ТЭД.

№ п/п	Контролируемый процесс	Датчик	Возможность реализации на локомотиве
1	Тумблер ОМ	Дискретный сигнал	ТЭП70У(БС) 2ТЭ116У(М, Д) 2ТЭ25А(К, КМ) 2(3)ТЭ10МК ТЭМ18ДМ 2(3,4)ЭС5К 2(3)ЭС4К ЭП1М(П) ЭП2К ВЛ80Р
2	Скорость локомотива	Аналоговый сигнал	
3	Ток ТЭД	Аналоговый сигнал	

Рисунок 6 – Пример описания алгоритмической защиты (превышение тока ТЭД)

Таким образом, по каждому НРЭ приводится не только способ его предотвращения (алгоритмическая защита), но и информация о возможности реализации с указанием конкретных серий локомотивов.

В процессе изучения диагностического оборудования локомотивов и разработки новых алгоритмических защит выявлено, что реализация алгоритмических защит не требует каких-либо существенных доработок диагностического оборудования локомотивов – большинство датчиков, необходимых для реализации алгоритмических защит, уже имеются на локомотивах. Однако, для полноты информации желательно доукомплектовать существующий набор диагностического оборудования датчиками температуры обмотки тяговых электродвигателей (якорной, главных и добавочных полюсов), температуры окружающего воздуха и датчиками виброускорений на экипажной части локомотива. Полный перечень разработанных алгоритмических защит приведён в Приложении А к диссертации.

Алгоритмические защиты позволяют уведомить локомотивные бригады о факте нарушения режима эксплуатации и при приближении значений контролируемых параметров к предельным значениям (до наступления нарушения), фиксируют случаи нарушений, а в некоторых случаях предотвращают дальнейшие ошибочные действия локомотивных бригад (например, невозможность переключения ПКМ выше 4-й при заниженных значениях температуры масла).

На основании предъявляемых требований и описанных алгоритмов, специалистами АО «ВНИКТИ» была реализована новая версия программного обеспечения для бортовых МСУ локомотивов со встроенными алгоритмическими защитами. Испытания опытной версии программного обеспечения с алгоритмическими защитами производились в ноябре – декабре 2018 года на локомотивах серии ТЭП70БС в сервисном локомотивном (СЛД) «Саратов», 2ТЭ116У в СЛД «Дно-Псковское» и 2(3)ТЭ10МК(УК) в СЛД «Амурское».

За последующий период наблюдений предложенные алгоритмические защиты показали свою высокую эффективность: зафиксировано более 180 срабатываний алгоритмических защит. Диаграммы, иллюстрирующие количество сработавших защит на тепловозах показано на рисунке 7. Особую практическую значимость обновлённого программного обеспечения отметили в СЛД «Саратов», где благодаря алгоритмическим защитам неоднократно удавалось предотвратить повреждение тягового электродвигателя: после срабатывания алгоритмической защиты машинист отключил соответствующий тяговый электродвигатель, благодаря чему ТЭД остался неповреждённым.

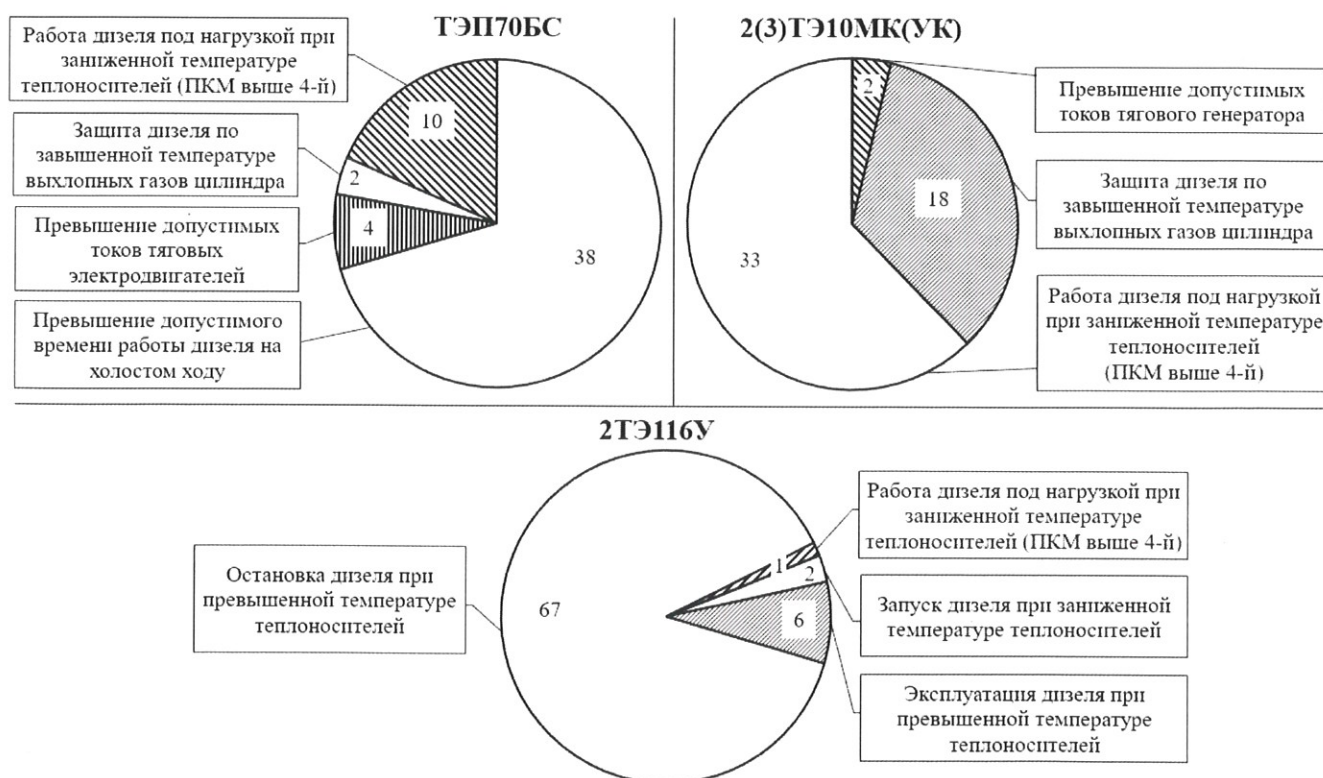


Рисунок 7 – Срабатывание алгоритмических защит на локомотивах

Анализ данных позволил рекомендовать для внедрения разработанные версии программного обеспечения с алгоритмическими защитами на всех тепловозах серий 2ТЭ116У, ТЭП70БС и 2(3)ТЭ10МК(УК).

В пятом разделе описана практическая реализация результатов научных исследований.

Расширенный классификатор нарушений режимов эксплуатации утверждён распоряжением ОАО «РЖД» и используется специалистами групп диагностики во всех сервисных локомотивных депо группы компаний «ЛокоТех».

В результате внедрения опытного программного обеспечения с разработанными алгоритмическими защитами на локомотивах серии ТЭП70БС, 2ТЭ116У и 2(3)ТЭ10МК существенно сократилось количество НРЭ и неплановых ремонтов защищаемого оборудования локомотивов – в среднем в три раза.

В информационно-управляющей системе группы компаний «ЛокоТех» АСУ «Сетевой график» разработано автоматизированное рабочее место диагноста с модулем «Корреляция НР-НРЭ», предназначенное для работы специалистов групп диагностики и позволяющее фиксировать и расследовать случаи нарушений режимов эксплуатации и предотказных состояний в той же информационной системе, где учитываются все производственные данные по техническому обслуживанию и ремонту локомотивов. Также модуль предназначен для автоматизации процессов, связанных с разнесением ответственности за неплановый ремонт при наличии действующих нарушений режимов эксплуатации, произошедших по оборудованию, неисправность которого послужила причиной захода на неплановый ремонт.

АРМ Диагноста, наряду с разработанным справочником типовых замечаний, позволили реализовать автоматизированное планирование объёма ТОиР в условиях сервисных депо при наличии нарушений, а также повысить прозрачность расследования неплановых ремонтов по локомотиву со случаями нарушений режимов эксплуатации и, по оценкам экспертов, улучшило систему отработки (устранения) негативных последствий нарушений режимов эксплуатации.

Экономический эффект от внедрения результатов исследования достигается за счёт исключения нарушений режимов работы локомотивов, снижения затрат на неплановые ремонты, расширения списка выявляемых нарушений режимов эксплуатации, уменьшения трудозатрат сотрудников сервисных локомотивных депо при фиксации и расследовании случаев НРЭ, а также за счёт кумулятивного эффекта, который будет проявляться в долгосрочной перспективе за счёт улучшения культуры эксплуатации локомотивов и разработке более точных корректирующих мероприятий, благодаря матрице влияния НРЭ на локомотивы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённых научных исследований получены новые законченные научно обоснованные технические и технологические решения, направленные на повышение эффективности функционирования локомотивного комплекса ОАО «РЖД». Основные научные и практические результаты научного исследования состоят в следующем:

1 Научно обоснована закономерность между нарушениями режимов эксплуатации и ухудшением технического состояния локомотивов, для чего обработан расширенный объём статистических данных об эксплуатации локомотивов (более 21,1 млн событий за 12 месяцев по 85-и сервисным локомотивным депо) с использованием методов вероятностно-статистического и корреляционного анализа, что позволило выявить наличие нарушений режимов эксплуатации локомотивов, существенно влияющих на их техническое состояние. Основными нарушениями следует считать нарушения, связанные с несоблюдением температурных режимов теплоносителей и несоблюдением скоростных режимов при следовании на руководящем подъёме. Анализ физических процессов и корреляционный анализ позволили выявить возникающие при этом отказы или ухудшение технического состояния, при этом наиболее подвержены влиянию дизель и дизельное оборудование грузовых тепловозов (у пассажирских и маневровых влияние меньше), тяговые электродвигатели и колёсно-моторный блок магистральных грузовых тепловозов и электровозов, причём независимо от года выпуска. При этом коэффициент корреляции между различными нарушениями и наличием отказов составлял от 0,537 до 0,989. Среднее значение коэффициента корреляции по исследуемым зависимостям составило 0,805, что позволяет судить о наличии высокой корреляционной связи, между нарушениями и отказами оборудования. В системе ТОиР необходим учёт режимов эксплуатации локомотивов.

2 На основании проведённых научных исследований разработан расширенный классификатор типовых (имеющих место на практике) нарушений режимов эксплуатации с указанием последствий, которые они могут оказать на техническое состояние локомотива. Классификатор состоит из 54 нарушений, определяемых по более чем 30-и локомотивным сериям и группам серий. Классификатор согласован с сервисными компаниями, утверждён и введён в действие в Дирекции тяги ОАО «РЖД» в систему сервисного обслуживания локомотивов.

3 Для защиты локомотивов от опасных режимов эксплуатации разработан комплекс алгоритмов, которые реализованы в программном обеспечении бортовых МСУ тепловозов серий ТЭП70БС приписки ТЧЭ «Саратов-Пассажирское», 2ТЭ116У приписки ТЧЭ «Дно» и 2(3)ТЭ10МК(УК) приписки ТЧЭ «Комсомольск-на-Амуре». Алгоритмические защиты позволили снизить число внеплановых ремонтов защищаемого оборудования в среднем в 3 раза.

4 Предложен расширенный набор датчиков: необходимо дополнительно контролировать температуру обмотки ТЭД (якорной, главных и добавочных полюсов), температуру окружающего воздуха и виброускорения экипажной части локомотива. В остальном существующий набор датчиков достаточен для контроля режимов эксплуатации.

5 Для автоматизированной системы управления ТОиР разработан метод практического использования данных о режимах эксплуатации локомотивов при индивидуальном формировании объёма ремонта на плановых и внеплановых видах технического обслуживания и ремонта, представляющий собой разработанное для АСУ ТОиР группы компаний «ЛокоТех» автоматизированное рабочее место диагноста с модулем «Корреляция НР-НРЭ» и внедрённое в работу в 85 сервисных локомотивных депо.

6 На основании проведённого анализа данных за 12 месяцев 2018 года по внеплановым ремонтам, произошедшим из-за нарушений режимов эксплуатации, разработана матрица влияния нарушений режимов эксплуатации на локомотивы, позволяющая своевременно оценивать наиболее подверженные нарушениям серии локомотивов и их оборудование и разрабатывать соответствующие корректирующие мероприятия, актуальные в конкретный исследуемый период.

7 Эффект от внедрения результатов исследования достигается за счёт снижения затрат на внеплановые ремонты, снижение количества нарушений режимов эксплуатации и уменьшения трудоёмкости при расследовании НР. Имеются справки о внедрении результатов исследований.

8 В качестве рекомендаций для дальнейшего повышения надёжности локомотивов, улучшения их технического состояния и исключения отрицательного влияния человеческого фактора рекомендуется организовать непрерывный мониторинг технического состояния и режимов эксплуатации по данным бортовых МСУ с дистанционной (в режиме online) передачей данных в сервисные предприятия для предварительного планирования работ и заказа запасных частей и материалов, совершенствования методов ТОиР с постепенным переходом на ремонт по фактическому техническому состоянию.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

а) в рецензируемых научных изданиях:

1 Лакин, И.К. Обоснование необходимости алгоритмических защит локомотивов от опасных режимов их эксплуатации [Текст] / И.К. Лакин, И.Ю. Хромов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – № 4. – С. 102-107.

2 Лакин, И.К. Направления повышения эффективности локомотивов [Текст] / И.К. Лакин, А.П. Семенов, И.Ю. Хромов // Мир транспорта. – 2019. – № 6. – С. 90-105.

3 Хромов, И.Ю. Обоснование влияния нарушений режимов эксплуатации на ухудшение технического состояния локомотивов [Текст] / И.Ю. Хромов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 2. – С. 62-68.

4 Семенов, А.П. Информационная энтропия систем технического диагностирования локомотивов [Текст] / А.П. Семенов, И.К. Лакин, И.Ю. Хромов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 3. – С. 42-53.

5 Семенов, А.П. Мониторинг технического состояния электропоездов переменного тока по расходу электроэнергии на тягу поездов [Текст] / Семенов А.П., Семченко В.В., Хромов И.Ю. // Мир транспорта. – 2020. – № 5. – С. 62-89.

б) в других изданиях и материалах конференций:

6 Хромов, И.Ю. Методы повышения надежности локомотивов и внедрение современных систем мониторинга их технического состояния [Текст] / И.Ю. Хромов // Локомотивы. Транспортно-технологические комплексы. XXI век: материалы V Международной научно-технической конференции. ПГУПС, Санкт-Петербург. – 2017. – С. 259-261.

7 Хромов, И.Ю. Единое информационное пространство для управления жизненным циклом [Текст] / А.А., Храпин, И.Ю. Хромов // Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов: материалы третьей международной научно-практической конференции М.: ООО «ЛокоТех». – 2018. – 448 с. – С. 387-390.

8 Хромов, И.Ю. Мониторинг режимов эксплуатации локомотивов [Текст] / И.Ю. Хромов, А.А. Баркунова, Е.А. Никишкина // Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов: материалы третьей международной научно-практической конференции М.: ООО «ЛокоТех». – 2018. – 448 с. – С. 391-395.

9 Хромов, И.Ю. Влияние нарушений режимов эксплуатации локомотивов на их надёжность [Текст] / И.Ю. Хромов // Локомотивы. Электрический транспорт. XXI век: материалы VI Международной научно-технической конференции. ПГУПС, Санкт-Петербург. – 2018. – С. 176-179.

10 Лакин, И.К. Как предупредить заход локомотива на неплановый ремонт [Текст] / И.К. Лакин, А.А. Аболмасов, И.Ю. Хромов // Локомотив. – 2019. – № 3. – С. 4-5.

11 Лакин, И.К. Оптимизация защитной функциональности МСУ локомотивов [Текст] / И.К. Лакин, И.Ю. Хромов // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: материалы десятой международной научно-практической конференции. Иркутск: ИрГУПС. – 2019. – Т. 2. – 402 с. – С. 197-202.

12 Хромов, И.Ю. Повышение надёжности тепловозов за счёт автоматизации соблюдения режимов эксплуатации [Текст] / И.Ю. Хромов // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – 2019. – № 3 (20). – С. 30-33.

13 Хромов, И.Ю. Роль групп диагностики в автоматизированной системе управления сервисным обслуживанием локомотивов [Текст] / А.А. Баркунова, Е.А. Никишкина, И.Ю. Хромов // Цифровизация транспорта и образования: материалы всероссийской научно-практической конференции (Красноярск, 9-11 октября 2019 г.). КриЖТ ИрГУПС, Красноярск. – 2019. – 484 с. – С. 38-40.

14 Лакин, И.К. Повышение надёжности тепловозов за счёт реализации алгоритмических защит в их микропроцессорных системах управления [Текст] / И.К. Лакин, И.Ю. Хромов // Цифровизация транспорта и образования: материалы всероссийской научно-практической конференции (Красноярск, 9-11 октября 2019 г.). КриЖТ ИрГУПС, Красноярск. – 2019. – 484 с. – С. 381-383.

15 Лакин, И.К. Роль цифровых двойников в управлении сервисным обслуживанием локомотивов [Текст] / И.К. Лакин, А.П. Семенов, И.Ю. Хромов // Локомотив. – 2019. – № 6. – С. 41-42.

16 Хромов, И.Ю. Нарушения режимов эксплуатации и их влияние на техническое состояние локомотивов [Текст] / И.Ю. Хромов // Эксплуатация и обслуживание электронного и микропроцессорного оборудования тягового подвижного состава: труды Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (24 – 25 марта 2020 года, г. Красноярск). - под ред. И.К. Лакина; ДЦВ Красноярской ж.д. КриЖТ ИрГУПС, Красноярск. – 2020. – 360 с. – С. 344-348.

17 Лакин, И.И. Становление предиктивного ремонта [Текст] // И.И. Лакин, И.Ю. Хромов // Эксплуатация и обслуживание электронного и микропроцессорного оборудования тягового подвижного состава: труды Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (24 – 25 марта 2020 года, г. Красноярск). - под ред. И.К. Лакина; ДЦВ Красноярской ж.д. КриЖТ ИрГУПС, Красноярск. – 2020. – 360 с. – С. 216-222.

18 Хромов, И.Ю. Нарушения режимов эксплуатации и их влияние на техническое состояние локомотивов [Текст] / И.Ю. Хромов // Локомотив. – 2020. – № 5. – С. 5-7.

19 Хромов, И.Ю. Анализ влияния режимов эксплуатации на техническое состояние локомотивов [Текст] / И.Ю. Хромов // Локомотивы. Электрический транспорт - XXI век: материалы VII Международной научно-технической конференции. – ПГУПС, Санкт-Петербург. – 2020. – 441 с. – С. 54-58.

20 Хромов, И.Ю. Метод определения влияния режимов эксплуатации на техническое состояние локомотива [Текст] / И.Ю. Хромов // Разработка и эксплуатация электротехнических комплексов и систем энергетики и наземного транспорта: материалы четвёртой международной научно-практической конференции. – ОмГУПС, Омск. – 2020. – 313 с. – С. 139-144.

ХРОМОВ Игорь Юрьевич

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ
НА ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЛОКОМОТИВОВ**

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог,
тяга поездов и электрификация

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Подписано в печать 01.03.2021 г.

Заказ № _____

Формат 60х90/16

Объем 1,5 усл. п.л.

Тираж 80 экз.

127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9 стр. 9,
ЦСО Отдел дизайна, вёрстки и печати РУТ (МИИТ)