

*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

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2022

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

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор  
кафедры «Электропоезда и локомотивы»  
**Лакин Игорь Капитонович.**

Официальные оппоненты

**Грищенко Александр Васильевич,**  
доктор технических наук, доцент, профессор  
кафедры «Локомотивы и локомотивное  
хозяйство» Петербургского  
государственного университета путей  
сообщения Императора Александра I  
(ПГУПС) .

**Семченко Виктор Васильевич,**  
кандидат технических наук, генеральный  
директор акционерного общества  
«Дорожный центр внедрения Красноярской  
железной дороги».

Ведущее предприятие

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

Защита состоится « 16 » марта 2023 года в « 15 » час « 00 » мин на заседании диссертационного совета 40.2.002.07 на базе федерального 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](http://www.mii.ru)

Автореферат разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета



Н. Н. Воронин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**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) составляет 45 % от суммарного времени простоя тепловозов, а плановые текущие ремонты 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 с 2014-го года в ОАО «РЖД» ТОиР локомотивов выполняется сервисными компаниями. 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, А. И. Володина, В. В. Грачева, А. А. Грищенко, С. И. Кима, Е. Е. Коссова, В. Н. Пустового, И. К. Лакина, Е. А. Никитина, Д. Я. Носырева, Е. С. Павловича, В. А. Перминова, И. Ф. Пушкарева, А. П. Семенова, А. Э. Симсона, В. В. Стрекопытова, Э. Д. Тартаковского, А. З. Хомича, А. А. Чернякова и многих других. Накоплен опыт использования диагностических данных МСУ при выполнении ТОиР ведущими мировыми локомотивостроительными компаниями General Electric, Siemens, Alstom, Bombardier, отечественными производителями: НЭВЗ, «Уральские локомотивы», КЗ, БМЗ. Задачи бортового диагностирования решаются в головных НИИ: ВНИКТИ, ВЭЛНИИ, НИИТКД, ВНИИЖТ, в ведущих транспортных 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 и В. В. Грачева. Применительно к современным условиям сервисного обслуживания локомотивов задача использования данных МСУ рассматривалась в трудах А. А. Аболмасова, И. И. Лакина, И. В. Пустового, И. Ю. Хромова.

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 возможностей МСУ-ТП по диагностированию тепловозов 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 бортовых аппаратно-программных микропроцессорных систем управления (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 данных МСУ-ТП;
- 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 в 62-х сервисных локомотивных депо группы компаний «ЛокоТех» при формировании индивидуального объёма ТОиР тепловозов (имеются две справки о внедрении).

**Методология и методы исследования.** При анализе диагностических данных бортовых микропроцессорных систем использованы методы теории локомотивной тяги, теории надёжности, теории информации, математические вероятностно-статистические методы. 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.

**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 ООО «ЛокоТех» в качестве

автоматизированных рабочих мест диагностирования, 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); 14-я НПК «Безопасность движения поездов» (РУТ, Москва, 2013); 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», «Способ контроля режимов эксплуатации локомотивов», «Способ технического диагностирования оборудования локомотивов и устройство для его осуществления» и «Способ и система для диагностирования промышленного объекта». Получено свидетельство на программу для ЭВМ «Статистический анализ параметров МСУ-ТП при эксплуатации тепловозов 2ТЭ116У для их технического обслуживания и ремонта».

**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, четырех разделов, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 206 источников и 11-и приложений. Содержит 210 страниц основного текста, включая 28 таблиц и 57 рисунков.

## 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 достоверность, а также данные об апробации и публикациях работы.

**В первом разделе** выполнен литературный анализ отечественного и зарубежного опыта диагностирования локомотивов бортовыми, стационарными и переносными комплексами. В результате обоснованы задачи исследования.

Переход транспорта на сервисное техническое обслуживание и ремонт (ТОиР) частными компаниями по контракту жизненного цикла предъявляет повышенные требования к системам диагностирования не только для определения технического состояния, но и прогнозирования работоспособности. Необходим предиктивный ремонт, позволяющий сократить расходы и простой при возникновении более сложных отказов. По мере увеличения диагностической функциональности любой отказ можно рассматривать как деградационный, а значит его можно устранить на стадии предотказного состояния и существенно сократить общие затраты на ТОиР ( $Z_o$ ) за счёт сокращения временем простоя ( $t_{пр}$ ) и временем эвакуации ( $t_{эвак}$ ) локомотива:

$$Z_o = \sum Z = H + Z_{всп} + Z_l + Z_p, \quad (1)$$

$$H = P_n * t_{пр}, \quad (2)$$

$$Z_{всп} = P_{лок} * (t_{пр} + t_{эвак}), \quad (3)$$

$$Z_l = P_{лок} * (t_{пр} + t_{эвак} + t_{рем}), \quad (4)$$

$$Z_p = P_{раб} + P_{рк} + P_{лок} * t_{рем}, \quad (5)$$



где:  $Z_0$  – суммарные затраты на 1 случай отказа на линии (руб.);  $H$  – стоимость неустойки (руб.);  $Z_{всп}$  – стоимость работы вспомогательного локомотива (руб.);  $Z_{л}$  – затраты, связанные с недоиспользованием мощности локомотива (руб.);  $Z_p$  – затраты на работы по ремонту локомотива (руб.);  $P_H$  – цена одного часа неустойки (руб.);  $t_{пр}$  – время простоя в неустойке (час.);  $P_{лок}$  – стоимость локомотиво-часа работы вспомогательного локомотива (руб.);  $t_{эвак}$  – время эвакуации локомотива;  $Z_{л}$  – затраты, связанные с недоиспользованием мощности локомотива (руб.);  $P_{раб}$  – стоимость работ по ремонту локомотива;  $P_{рк}$  – стоимость ремонтного комплекта;  $t_{рем}$  – время, затраченное на ремонт локомотива.

Роль мониторинга и диагностирования ещё больше возрастает при переходе на полигонную систему работы локомотивов с увеличенными плечами их обращения: Восточный, Урало-Сибирский, Северный, Волжский, Южный, Московский и Октябрьский.

Выполнен комплексный анализ статистики отказов в зависимости от пробега тепловозов серии 2ТЭ116, 2ТЭ116У и 2ТЭ116УД после различных видов ремонта. Имеют место приработочные отказы, особенно после ремонтов объёма ТР-2 и ТР-3. При этом распределение отказов по пробегам для локомотивов Октябрьской, Приволжской и Свердловской дирекций тяги существенно различаются, что требует рассмотрения диагностических параметров локомотивов с учётом их полигона эксплуатации. Очевидна потребность в диагностировании.

Интегральным показателем надёжности локомотивов в контракте жизненного цикла является коэффициент готовности к эксплуатации  $K_{гэ}$

$$K_{гэ} = \frac{T_{рсп}}{T_{рсп} + T_{отп} + T_{плп}}, \quad (6)$$

где:  $T_{рсп}$  – время работоспособного состояния;  $T_{отп}$  – время неработоспособного состояния из-за отказов;  $T_{плп}$  – время пребывания на ТОиР.

Выполненный анализ подтвердил низкую надёжность тепловозов и важность мониторинга их технического состояния. Для диагностирования можно использовать станции реостатных испытаний, стенды диагностирования и настройки отдельных видов оборудования, переносные средства диагностирования, системы вибродиагностирования. Но самым перспективным является бортовое диагностирование с использованием возможностей микропроцессорных систем правления. У серии 2ТЭ116У – это МСУ-ТП. В

диссертации поставлена задача проанализировать диагностические возможности МСУ-ТП. При этом учтён мировой (прежде всего компании General Electric) и отечественный опыт (ДЦВ Красноярской ж.д., АВП Технология, НИИТКД, ВНИКТИ, ПГУПС, ДВГУПС, УрГУПС и др.). В результате сформулированы задачи исследования.

**Во втором разделе** выполнен статистический анализ диагностической информативности МСУ-ТП тепловозов серии 2ТЭ116У. Исследование начато в момент становления сервисной системы ТОиР в 2014 г.: необходимость выстраивать взаимодействие с ОАО «РЖД» с сервисными компаниями. Необходимо было определить диагностические возможности бортовых МСУ. Автору диссертации было поручено выполнить анализ и разработать соответствующую технологию ТОиР применительно к магистральным грузовым тепловозам. Для анализа были взяты данные МСУ-ТП 91 тепловоза серии 2ТЭ116У по трём различным полигонам эксплуатации: Октябрьская ж.д., Приволжская ж.д., Свердловская ж.д. Общий объем выборки – 952 поездки. Достоверность полученных данных проверена через их унимодальность с использованием критерия согласия Пирсона, вычисляемого по формуле (7):

$$\chi_p^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(\Delta n_j - \Delta n_j^*)^2}{\Delta n_j}, \quad (7)$$

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

Параметры  $\Delta n_j^*$  и  $\Delta n_j$  рассчитываются по формуле (8):

$$\Delta n_j^* = N \cdot P_j, \quad (8)$$

где:  $N$  – объём выборки;  $P_j$  – теоретическая вероятность попадания исследуемой величины в  $j$ -й интервал в диапазоне значений от  $x_j^I$  до  $x_j^{II}$ , вычисляемый по формуле (9):

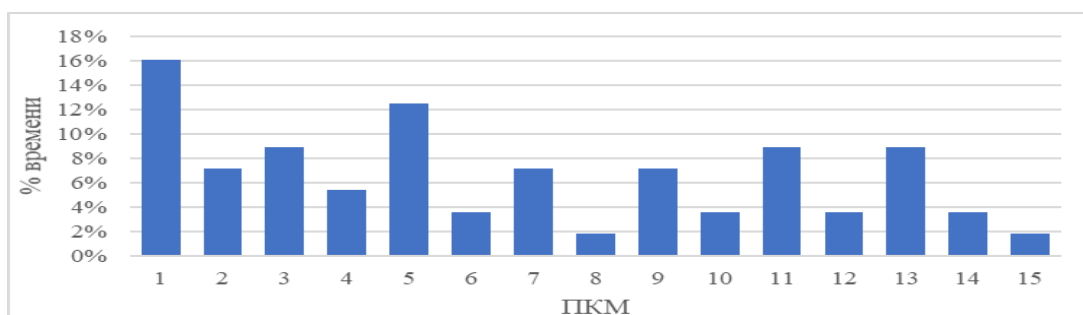
$$P_j = \int_{x_j^I}^{x_j^{II}} f(x) dx, \quad (9)$$

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

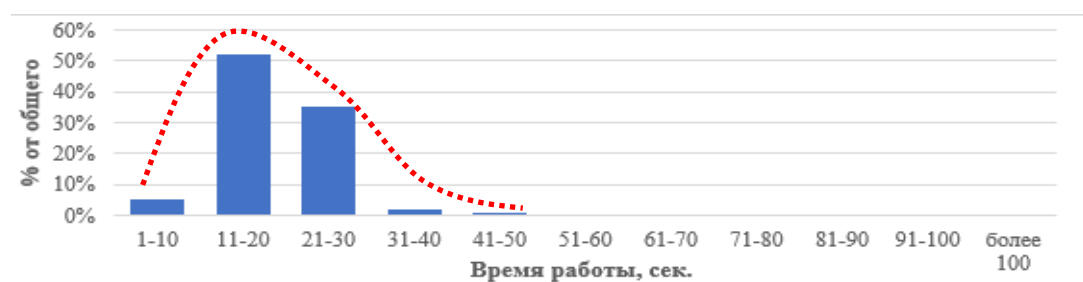
Для автоматизации обработки данных и анализа результатов исследований разработаны алгоритмы и создана программа на языке *VBA MS Excel*.

Разработанная программа защищена Свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020664319.

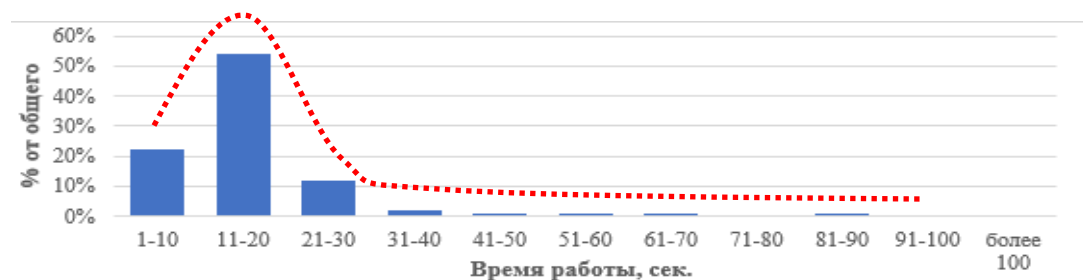
Анализ распределения времени работы по позициям контроллера машиниста (ПКМ) подтвердил преобладание холостого хода (46 % времени работы ДГУ) для всех исследованных полигонов эксплуатации тепловозов. Из ходовых позиций (рисунок 1) наибольшее время занимают позиции 1, 5 и 13 (для Октябрьской железной дороги – 11) ПКМ. Распределение времени работы по ПКМ оказалось унимодальным на ходовых позициях (рисунок 2). Основные законы распределения - нормальный и логарифмический.



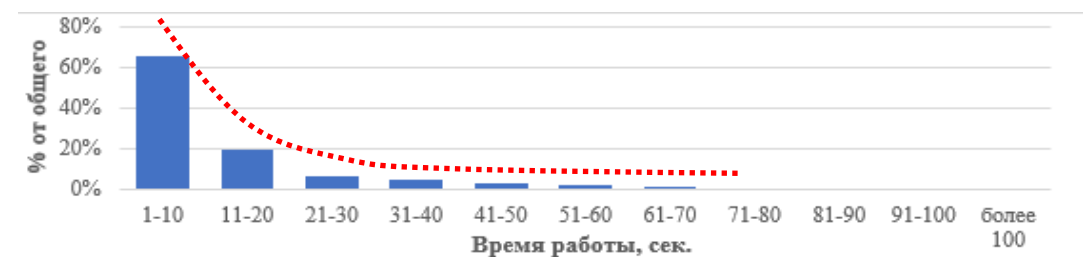
**Рисунок 1** – Распределение времени работы по позициям контроллера машиниста



**а** - Распределение работы на 1 ПКМ



**б** - Распределение времени работы на 5 ПКМ

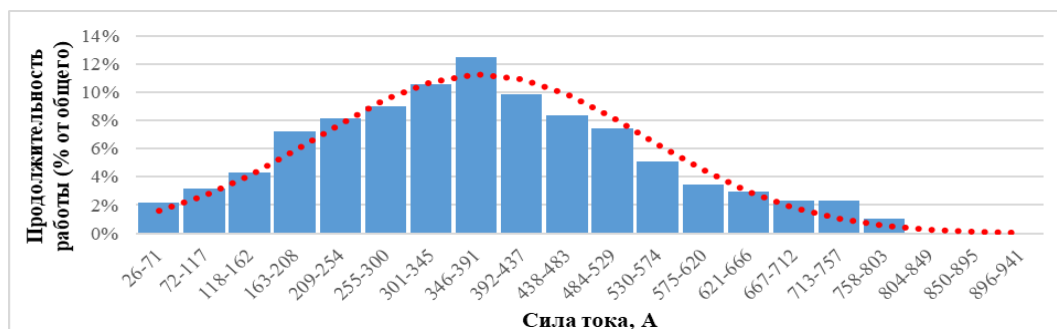


**в** - распределение времени работы на 13 ПКМ

**Рисунок 2** – Распределение времени работы на различных позициях контроллера

Частота вращения коленчатого вала дизеля, напряжение тягового генератора, токи тяговых электродвигателей в целом также унимодальны при исключении преобладающего режима холостого хода (рисунок 3).

Время работы по ПКМ позволил рассчитать процент вырабатываемой электроэнергии (рисунок 4). Наибольшая работа приходится на 13-ю позицию, что делает целесообразной настройку к.п.д. не на 15-ю (1,4 %), а на 13-ю ПКМ (21 %).



**Рисунок 3** – Распределение тока ТЭД по локомотивам всех полигонов



**Рисунок 4** – Распределение расхода топлива по позициям контроллера

На основании анализа полученных данных определены статистически подтверждённые режимы работы оборудования тепловозов, определены наиболее распространённые отказы и предотказные состояния, а также исследована энергоэффективность тепловоза на всём диапазоне регулирования мощности. У тепловозов преобладает работа на нечётных позициях, что подтверждает возможность реализации системы управления ДГУ с семью позициями аналогично тепловозам компании General Electric.

В диссертации выполнен расчёт энергоэффективности реализации двухдизельного исполнения магистральных тепловозов. Для решения задачи получены характеристики удельного потребления топлива и выполнено моделирование потребления топлива секцией тепловоза для двух алгоритмов управления дизелями: распределённого алгоритма (оба дизеля реализуют одинаковую мощность) и алгоритм «Подхвата» (с 1-й по 7-ю ПКМ работает

только один дизель, далее, для удовлетворения возросшей потребности запускается и включается в работу второй). 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 %. Таким образом, статистический анализ данных МСУ ТП позволяет оптимизировать конструкцию тепловоза.

**В третьем разделе** выполнен анализ диагностической функциональности МСУ-ТП тепловозов. Показана возможность логического диагностирования ряда предотказных состояний: нестабильная или заниженная мощность ДГУ, превышение или занижение температуры выхлопа цилиндров, броски тока ТЭД, превышение допустимого разброса напряжений ТЭД, звонковая работа реле и др. Большинство отказов можно определять на стадии предотказного состояния.

Разработан метод диагностирования одноподобного оборудования локомотивов путём корреляционного анализа его параметров, в т.ч. по току тяговых электродвигателей (ТЭД) тепловоза. В диссертации проверены два метода: оценка вероятности равенства двух средних и метод корреляционного анализа. Оценка вероятности равенства двух средних значений для заданных параметров производилось по формуле:

$$r = N_1 + N_2 - 2, \quad (10)$$

где:  $r$  – число степеней свободы;  $N_{1,2}$  – объём выборок.

Применение метода показало его излишнюю чувствительность: любые выборки всегда оказывались различными. При применении метода корреляционного анализа коэффициент корреляции вычислялся по формуле:

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

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

$$\alpha_{11}(y, x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i * x_i, \quad (12)$$

где  $m_x$ ,  $m_y$  – математическое ожидание (мера среднего значения случайной величины):

$$m_x = \sum_{i=1}^n x_i * p_i, \quad (13)$$

где:  $x_i$  – измеренное значение  $i$ -го параметра;  $p_i$  – вероятность того, что параметры примет измеренное значение;  $\sigma_{x,y}$  – среднеквадратичное отклонение, вычисляемое по формуле:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (14)$$

где:  $\bar{x}$  – среднее значение параметра.

После этого расчётное значение критерия Стьюдента сравнивается со значениями из таблицы значений критерия Стьюдента для оценки вероятности равенства математических ожиданий.

По каждой поездке ток каждого из тяговых электродвигателей (ТЭД) сравнивался со средним значением всех шести токов ТЭД. По результатам выполненного корреляционного анализа в 847 поездках (96 % случаев) коэффициент корреляция токов ТЭД был более 0,997. При этом выявлены 33 поездки 10-и тепловозов, в которых токи одного или нескольких ТЭД имели уменьшенный меньший коэффициент корреляции.

Анализ диагностических заключений (таблица 1) показал, что коэффициенту корреляции тока одного или нескольких ТЭД 0,95 – 0,99 соответствуют случаи постоянно существующего отклонения тока одного или нескольких ТЭД от нормы. Меньший коэффициент корреляции соответствует случаям потери или полного отсутствия сигнала от датчиков тока или отключению ТЭД.

**Таблица 1** – Диагностические значения  $r_{yx}$  тока якоря ТЭД тепловозов 2ТЭ116У

Диагностическое заключение в зависимости от значения $r_{yx}$ :	Значение $r_{yx}$ при сравнении со средним значением	Значение $r_{yx}$ при сравнении между секциями
Работоспособный ТЭД	$r_{yx} > 0,98$	$r_{yx} > 0,96$
Боксование колёсных пар	$0,92 < r_{yx} < 0,98$	$0,82 < r_{yx} < 0,96$
Значительные отклонения (неисправность контактора ослабления поля, нарушения в работе коллекторно-щёточного аппарата)	$0,8 < r_{yx} < 0,92$	$0,6 < r_{yx} < 0,82$
ТЭД отключен или неисправен датчик тока	$r_{yx} < 0,8$	$r_{yx} < 0,6$

Таким образом, по результатам проведённого исследования можно утверждать, что коэффициент корреляции токов ТЭД с их средним значением является чувствительным и информативным источником данных о техническом

состоянии силовых цепей ТЭД и хорошо отвечает задачам диагностики. На разработанную методику диагностирования оборудования локомотивов получен патент № 2626168 от 21.07.2017.

Поскольку с увеличением значения отклонения токов ТЭД коэффициент корреляции существенно падает, корреляционный анализ хорошо отвечает не только диагностическим задачам, но и задаче прогнозирования работоспособности оборудования тепловозов. Так, при использовании корреляционного анализа токов даже при незначительном изменении технических параметров оборудования локомотива (износ бандажей колёсных пар, старение изоляции) коэффициент корреляции изменится на значительную величину, диагностируя предотказное состояние.

Применение коэффициента корреляции для анализа значений температуры выхлопных газов на выходе из цилиндров дизеля оказалось нецелесообразным по причине влияния шумов в диагностических сигналах, вызванных неисправными датчиками и большим количеством случайных факторов (температура окружающего воздуха, атмосферное давление), влияющих на значения температуры выхлопных газов.

Предлагаемая модель диагностирования тепловозов состоит из бортовой МСУ, устройства для передачи данных, сервера для приёма и обработки данных, рабочего места диагноста и системы управления ремонтом сервисного локомотивного депо (далее – АСУ ТОиР). В процессе эксплуатации локомотива МСУ осуществляет запись параметров работы узлов и агрегатов локомотива во встроенную память, из которой эта информация может быть считана по беспроводному каналу связи (GPRS/Wi-Fi) или при помощи переносного flash-накопителя (при заходе на сервисное обслуживание). Далее, считанная информация направляется на сервер системы, где происходит расшифровка данных и их поэтапный анализ.

На первом этапе диагностируются датчики с целью исключения из выборки сигналов неисправных датчиков.

На втором этапе диагностируется оборудование тепловоза с применением автоматизированных алгоритмов. Найденные по результатам поиска инциденты отправляются в АСУ ТОиР депо для назначения работ ТОиР.

На третьем этапе происходит обработка данных при помощи моделей, использующих статистические методы, описанные в разделе 3. В процессе вычисления допустимые границы значения вычисляются методом  $3\sigma$ :



На основании статистики работы оборудования для данного сочетания входных параметров по формуле (15) определяется выборочное среднее значение:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{n} (x_1 + \dots + x_n), \quad (15)$$

где:  $x_i$  – значение выходного параметра;  $n$  – общее количество выходных параметров.

Определяется среднеквадратическое отклонение: если  $|x_i - \bar{x}| > 3 * S_0$ , то значение признаётся аномальным.

Результатом работы модели является выявление неисправного оборудования с формированием и отправкой сообщения в АСУ ТООиР депо. Выявленные предотказные состояния также отправляются в АСУ ТООиР для назначения дополнительных работ при выполнении планового обслуживания и ремонта.

После завершения процесса обслуживания локомотива информация о выполненных работах по каждому локомотиву отправляется из АСУ ТООиР на сервер для перенастройки статистических моделей, контроля качества устранения замечаний, а также контроля эффективности работы диагностических алгоритмов.

Для объективной оценки эффективности работы диагностических алгоритмов используется уменьшение неопределённости (информационной энтропии) в диагностических данных, рассчитанное по формуле Шеннона (16):

$$H = -K \sum_{i=1}^n p(i) \log_2 p(i), \quad (16)$$

где:  $K$  – константа, необходимая для выбора единицы измерения энтропии (в условиях поставленной задачи сравнение алгоритмов производится между собой, параметр энтропии принимается безразмерным, а коэффициент  $K$  – равным 1);  $p(i)$  – вероятность наступления  $i$ -го события (выявления  $i$ -го инцидента).

Предложено, взяв за основу формулу Шеннона, учесть стоимость восстановления работоспособности. Применительно к задаче определения информативности МСУ формула будет выглядеть следующим образом:

$$k_{МСУ} = I_{МСУ} / I_{\Sigma}, \quad (17)$$

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

Диагностическую информативность МСУ  $I_{МСУ}$  и энтропию диагностического пространства тепловоза в целом  $I_{\Sigma}$  в работе предлагается считать по однотипной формуле:

$$I_{\Sigma} = \sum_{i=0}^N (I_{\Sigma i}) = - \sum_{i=0}^N (P_i \cdot (C_i/S) \cdot \log_2(P_i \cdot (C_i/S))), \quad (18)$$



$$I_{\text{МСУ}} = \sum_{i=0}^N (P_{Oi} \cdot I_{\Sigma i}), \quad (19)$$

где:  $N$  – число отказов  $i$ , имевших место в практике эксплуатации тепловозов серии 2ТЭ116У и описанных в разделе 2;  $P_i$  – вероятность наступления отказа  $i$  в рассматриваемый период времени;  $C_i$  – 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);  $P_{Oi}$  – вероятность правильного диагностирования.

$P_i$  – рассчитывается по формуле (20):

$$P_i = M_i / M_{\Sigma}, \quad (20)$$

где:  $M_i$  – количество отказов  $i$ -го типа;  $M_{\Sigma}$  – общее количество отказов.

$P_{Oi}$  рассчитывается как вероятность отсутствия ошибок первого  $Q_{O1i}$  и второго  $Q_{O2i}$  родов:

$$P_{Oi} = 1 - Q_{O1i} + Q_{O2i}, \quad (21)$$

где вероятность ошибки первого рода  $O_1$  (отказ есть, но не диагностирован) и второго рода  $O_2$  (отказа нет, но диагностирован) рассчитываются по статистике пропуска отказов  $M_{1i}$  и ложного диагностирования  $M_{2i}$ :

$$Q_{O1i} = M_{1i} / M_i; \quad Q_{O2i} = M_{2i} / M_i. \quad (22)$$

Задача прогнозирования технического состояния в работе решена методом трендов. Зависимость изменения параметров объекта диагностирования от времени (пробега) зависит от физических особенностей объекта и может иметь как линейную, так и другие виды закономерностей. Применительно к тепловозам серии 2ТЭ116У необходимым является диапазон до ближайшего деповского ТОиР: ТО-3, ТР-1 и др. Для таких относительно небольших периодов подходит метод наименьших квадратов, основанный на минимизации суммы квадратов отклонений искомой функции от статистических данных. При таком подходе, ожидаемое значение параметра ( $d$ ) вычисляется по формуле (23):

$$d = k \cdot l + b, \quad (23)$$

где:  $l$  – заданная наработка, км или час.;  $k$  и  $b$  – коэффициенты, вычисляемые по формулам (24) и (25):

$$k = [N \cdot \sum_{n=1}^N (l_n \cdot d_n) - \sum_{n=1}^N l_n \cdot \sum_{n=1}^N d_n] / [N \cdot (\sum_{n=1}^N l_n^2) - (\sum_{n=1}^N l_n)^2], \quad (24)$$

$$b = [\sum_{n=1}^N (d_n) - k \cdot \sum_{n=1}^N l_n] / N, \quad (25)$$

где:  $N$  – объём выборки, шт.;  $l_n$  – наработка до замера, км или час.;  $d_n$  – результат  $n$ -го замера параметра  $d$ .

Таким образом, несмотря на сложность задачи определения остаточного ресурса в ряде случаев по данным МСУ-ТП тепловозов серии 2ТЭ116У возможно прогнозирование работоспособности такого оборудования, как форсунки дизеля, система охлаждения, масляные фильтры, турбокомпрессор, колёсно-моторные блоки, электрические аппараты, поездной компрессор и аккумуляторной батареи. Дополнение данных МСУ-ТП данными деповской диагностики также позволяет определять остаточный ресурс цилиндропоршневой группы дизеля, подшипниковых узлов, изоляции электрических цепей и бандажей колёсных пар.

**В четвёртом разделе** описана практическая реализация результатов исследований в группе компаний «ЛокоТех», в состав которой входит первая сервисная компания «ЛокоТех-Сервис» (ранее «ТМХ-Сервис») с 85-ю сервисными локомотивными депо (СЛД).

Первые эксперименты с участием автора выполнены в СЛД «Тында-Северная» с данными аппаратно-программного комплекса АПК «Борт» (НИИТКД, г. Омск) на тепловозах серии 2ТЭ10МК. Высокая эффективность бортового диагностирования предопределила создание сверх штата в 70 сервисных локомотивных депо (СЛД) групп диагностики для считывания данных с МСУ и диагностирования первоначально по программам разработчиков 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 (программа «Осциллограф»): МСУ-ТП и МСУ-ТЭ.

По заданию компании «ТМХ-Сервис» по алгоритмам автора диссертации программа «Осциллограф» доработана до версии «Осциллограф-2», а затем «Осциллограф-3»: сделан дружественный интерфейс, автоматический поиск отказов, предотказов и случаев нарушения режимов эксплуатации. АРМ внедрён во всех депо, эксплуатирующих тепловозы серий 2ТЭ116У, ТЭП70У и ТЭП70БС.

В «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). В основу технического задания в части тепловозов легли исследования автора и опыт эксплуатации «Осциллограф-3».

Таким образом, результаты настоящих исследований позволили создать действующую в группе компаний «ЛокоТех» комплексную систему технического диагностирования, результаты которого автоматизировано передаются в АСУ ТОиР компании для планирования дополнительных сверхцикловых работ для устранения отказов и предотказов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования получены новые научно обоснованные технические и технологические решения, направленные на повышение эффективности системы ТОиР локомотивов за счет использования диагностических данных бортовых аппаратно-программных микропроцессорных систем управления (МСУ-ТП) тепловозов серии 2ТЭ116У при планировании объема ремонтов.

1 Выполнен вероятностно-статистический анализ данных МСУ-ТП по трём полигонам их эксплуатации. Обработано 1,2 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 ПКМ по объёму вырабатываемой энергии (в %) имеет отличие: 5 (11,4 %,  $P = 0,1$ ), 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 сэкономит топливо в объёме 3,5 %.

2 Разработаны способы диагностирования по данным МСУ-ТП: дизель-генераторной установки (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.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**  
*публикации в рецензируемых научных изданиях ВАК:*

- 1 Лакин, И.К. Модель управления рисками отказов локомотивов. / Лакин И.К., Аболмасов А.А., Мельников В.А. // Мир транспорта. – 2013 – № 4 – С. 130 – 136.
- 2 Мельников, В.А. Диагностирование тепловозов по данным бортовых микропроцессорных систем / Мельников В.А. / Мир транспорта. – 2014 – № 3 – С. 56 – 62.
- 3 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.
- 4 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.

5 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.

6 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.

7 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.

8 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.

*патенты:*

9 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

10 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.

11 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.

12 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.

*свидетельства на программу для ЭВМ:*

13 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.

*научные монографии:*

14 Липа, К.В. Автоматизированная система управления надёжностью локомотивов (АСУНТ). Концепция ТМХ-Сервис / Липа К.В., Гриненко В.И., Лянгасов С.Л., Лакин И.К., Аболмасов А.А., Мельников В.А. – Москва : ООО «ТМХ-Сервис», 2012. – 160 с.

15 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.

16 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.

17 Липа, К.В. Мониторинг технического состояния локомотивов. Теория и практика / Липа К.В., Белинский А.А., Пустовой В.Н., Лянгасов С.Л., Лакин И.К., Аболмасов А.А., Мельников В.А., Лакин И.И., Баркунова А.А., Пустовой И.В.. – Москва : ООО «Локомотивные технологии», 2015 – 212 с.

*статьи в отраслевых журналах и трудах конференций:*

18 Мельников, В.А. Опыт мониторинга тепловозов по данным бортовых микропроцессорных систем / Наука МИИТа – транспорту – 2013. – С. III-88 – III-89.

19 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.

20 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 второй всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – 2014 – С. 12 – 19.

21 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.

22 Мельников, В.А. Алгоритмическая защита современных локомотивов / Мельников В.А. // Наука МИИТа – транспорту. – 2014 – С. III-86 – III-87.

23 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.

24 Мельников, В.А. Алгоритмическая защита локомотивов / В.А. Мельников, И.И. Лакин, А.А. Аболмасов. // Локомотив – 2015. – № 4. – С. 8-10.

25 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.

26 Мельников, В.А. Использование корреляционного анализа при диагностировании тепловозов 2ТЭ116У / Мельников В.А. // Транспортная инфраструктура Сибирского

региона. Материалы шестой международной научно-практической конференции. Иркутск. – 2015. – С. 343 – 349.

27 Субботин, Р.Н. Анализ наработки на неплановый ремонт тепловозов 2ТЭ116 / Субботин Р.Н., Аболмасов А.А., Мельников В.А. // Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов. Материалы второй научно-практической конференции. – Москва : ООО «Локомотивные технологии». – 2015. – С. 297 – 308.

28 Лакин, И.К. Совершенствовать технологию реостатных испытаний тепловозов / Лакин И.К., Пляскин А.К., Мельников В.А., др. // Локомотив. – 2016. – № 5. – С. 38-42.

29 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.

30 Мельников, В.А. Диагностирование локомотивов с применением методов машинного обучения / Неделя науки - 2017. Труды. В двух частях. – 2017 – С. III-60 – III-61.

31 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.

32 Дмитриев, С.А. Определение предотказного состояния тяговых электродвигателей / Дмитриев С.А., Мельников В.А. // Локомотив. – 2017. – № 6. – С. 36 – 37.

33 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.

34 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.

35 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.

36 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.

37 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.

38 Вдовенко М.Ю. Устройство для регистрации данных телеметрии тягового электродвигателя: предпосылки создания и особенности диагностики / М.Ю. Вдовенко, М.Д. Зотов, В.А. Мельников // Локомотив. – 2022. – №1. – С. 21 – 37.

**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

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание  
ученой степени кандидата технических наук

---

Подписано в печать « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_.2022 г. Заказ № \_\_\_\_\_  
Усл.- печ. л. – 1,5

Формат 60x90/16  
Тираж 80 экз.

---

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