

*На правах рукописи*



**Куренков Алексей Семенович**

**КОМПЛЕКСНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ И ОБСЛУЖИВАНИЯ  
АСИНХРОННЫХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАШИН ТЯГОВЫХ  
ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

**2.9.3. Подвижной состав железных дорог, тяга поездов  
и электрификация**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук**

**Москва - 2023**

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

**Научный руководитель:** доктор технических наук, доцент  
**Смирнов Валентин Петрович**

**Официальные оппоненты:** **Колпахчян Павел Григорьевич,**  
доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», кафедра «Электрическая тяга», профессор;  
**Бабков Юрий Валерьевич,**  
кандидат технических наук, доцент, Акционерное общество «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава», первый заместитель генерального директора – главный инженер.

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет»

Защита состоится «29» февраля 2024 г. в 13:00 часов на заседании диссертационного совета 40.2.002.07 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» по адресу: 127994, Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, ауд. 2505.

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

Автореферат разослан «\_\_» января 2024 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета



Воронин Николай Николаевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В настоящее время общее количество электровозов переменного тока ВЛ85 железных дорог России составляет более половины парка грузовых электровозов переменного тока.

На асинхронные вспомогательные машины (АВМ) с короткозамкнутым ротором типа АНЭ225 (А – асинхронный, Н – защищенного исполнения, Э – электровозный, 225 – высота оси вращения, в мм) и НВА55 (Н – Новочеркасский, В – вспомогательный, А – асинхронный, 55 – номинальная мощность, кВт) электроприводов компрессоров и вентиляторов, которые получают питание от системы преобразования однофазного напряжения в трехфазное с использованием вращающихся и конденсаторных расщепителей фаз, приходится более двенадцати процентов отказов электровозов. Наблюдается рост отказов во времени. Опыт эксплуатации показывает, что снижение безотказности АВМ вызвано перегревом статорных обмоток, роторов и подшипников. Безотказность АВМ типа АНЭ225 и НВА55 ниже, чем ранее выпущенных АВМ типа АЭ92-4 (А – асинхронный, Э – для электровозов, 9 – номер габарита, 2 – длина, 4 – число полюсов) электровозов ВЛ80. Таким образом, определение состояния АВМ АНЭ225 и НВА55 с разработкой рекомендаций по изменению их конструкции и обслуживания для обеспечения необходимого уровня безотказности является актуальной задачей.

**Степень разработанности темы исследования.** Вопросы разработки, структуры, проектирования, изготовления и эксплуатации систем вспомогательных машин исследованы в работах ученых: Р.И. Аликина, Л.А. Астраханцева, Н.Н. Горина, И.П. Исаева, А.Ю. Конашенского, В.В. Литовченко, О.А. Некрасова, О.Л. Рапопорта, Н.А. Ротанова, А.М. Рутштейна, Л.Н. Соруна, А.А. Суровикова, А.М. Худоногова, В.Е. Чернохлебова, Г.Н. Шестопёрова В.П. Янова. Вместе с тем, в известных исследованиях недостаточное внимание уделено влиянию на безотказность АВМ конструкции, (определяющей аэродинамическое сопротивление воздухопроводов, определяющей появление обратных потоков вентилирующего воздуха), размерам вентиляционных лопаток роторов, обуславливающих производительность вентиляции. Не рассмотрена система обслуживания АВМ с определением конструкции и размеров подшипниковых узлов и их температуры в зависимости от реализуемой мощности, а также с выбором как типа консистентной смазки, так и рациональной системы смазки, с учетом испаряемости и температурных свойств, вязкости при температуре воздуха в диапазоне от -30 до -50 °С и ниже, периодичности смены и пополнений смазки, количества смазки при увеличенном пробеге электровозов между заправками в летний и зимний периоды эксплуатации, обеспечивающего непрерывную работу подшипников в режиме качения. Кроме того,

не в полной мере проанализированы способы уменьшения времени пуска двигателей, определяющего в значительной мере безотказность АВМ.

**Цель и задачи.** Целью работы является определение состояния АВМ тяговых электроприводов современных электровозов переменного тока с разработкой рекомендаций по комплексному изменению конструкции и обслуживания АВМ, обеспечивающих их необходимую безотказность.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1 проведен анализ безотказности АВМ электровозов переменного тока в различных географических и макроклиматических зонах Восточного полигона Российских железных дорог (РЖД);

2 создана модель функционирования асинхронной вспомогательной машины, определены ее характеристики, разработана методика оценки уровня надежности основных узлов АВМ тяговых электроприводов электровозов переменного тока;

3 проведено сравнительное исследование безотказности статора, ротора, подшипников АВМ АЭ92-4, находящихся в эксплуатации продолжительное время, и АНЭ225, НВА55 современных электровозов переменного тока;

4 определена производительность вентиляции и температура узлов АВМ современных электровозов;

5 проведен сравнительный анализ обслуживания АВМ, используемых с начала эксплуатации электроподвижного состава переменного тока, и современных электровозов;

6 уточнен процесс частых отказов АВМ тяговых электроприводов современных электровозов переменного тока;

7 сформулированы рекомендации по комплексным изменениям конструкции и обслуживания АВМ современных электровозов.

**Научная новизна** заключается в следующем:

1 разработана математическая модель функционирования АВМ электровоза переменного тока, которая позволяет установить взаимосвязи между элементами системы «асинхронная вспомогательная машина», влияние каждого элемента на надежность системы, определить наиболее «слабые» элементы;

2 установлено, что отказы статора, ротора, подшипников АВМ АНЭ225, НВА55 современных электровозов переменного тока многократно превышают отказы аналогичных узлов АВМ АЭ92-4 электровозов ВЛ80;

3 выявлено, что из-за образования обратного потока воздуха, снижающего производительность вентиляции на  $1/3$ , вследствие двухкратного различия аэродинамических сопротивлений воздухопроводов левой и правой сторон электрических машин АНЭ225 и НВА55 температура подшипников, статора и ротора

нередко превышает расчетную. Температура этих же узлов АВМ АЭ92-4 при включенных расщепителях фаз ниже расчетной во всех режимах работы;

4 установлено, что фактическое количество консистентной смазки в подшипниках АВМ АНЭ225 и НВА55 современных электровозов многократно уменьшено по сравнению с количеством смазки, используемой в АВМ АС81-6 (А – асинхронный, С – с повышенным скольжением, 8 – номер габарита, 1 – длина, 6 – число полюсов), АП81-4 (А – асинхронный, П – с повышенным пусковым моментом, 8 – номер габарита, 1 – длина, 4 – число полюсов), АС82-4 (А – асинхронный, С – с повышенным скольжением, 8 – номер габарита, 2 – длина, 4 – число полюсов), АП82-4 (А – асинхронный, П – с повышенным пусковым моментом, 8 – номер габарита, 2 – длина, 4 – число полюсов), АЭ92-4 электровозов ВЛ60, ВЛ60К, ВЛ80К, ВЛ80Т, ВЛ80С, ВЛ80Р (60 – 6-осный однофазный, К – с кремниевыми выпрямителями, 80 – 8-осный однофазный, Т – с реостатным торможением, С – с возможностью работы по системе многих единиц (СМЕ), Р – с рекуперативным торможением);

5 уточнен процесс частых отказов подшипников, приводящих к выплавлению алюминиевых обмоток роторов и интенсивному тепловому старению изоляции статорных обмоток АВМ АНЭ225 и НВА55 электровозов ВЛ85 и 2ЭС5К, 3ЭС5К, 4ЭС5К из-за перехода контактов ролики (шарики) – кольца подшипников из режима качения в режим «сухого» скольжения, вследствие увеличенной мощности потерь в подшипниках АВМ из-за недостаточного количества смазки в подшипниках;

6 сформулированы рекомендации по комплексным изменениям конструкции и обслуживания АВМ АНЭ225 с несимметричной радиальной вентиляцией, включающие: выравнивание и снижение аэродинамического сопротивления воздухопроводов увеличением длины корпуса и площади сечения выхода воздуха из двигателя, размеров вентиляционных лопаток, повышающих теплоотдачу роторов и производительность вентиляции; применение конструкции подшипникового узла, обеспечивающую заправку и выход смазки без разборки АВМ, позволяющую контролировать наличие смазки в эксплуатации и ее поступление при сменах и пополнениях; рациональное использование смазки подшипников: увеличением количества смазки в связи с недостаточным количеством ранее заправляемой смазки, не обеспечивающим непрерывную работу подшипников в режиме качения, а также повышением пробега между заправками (сменами), пополнениями в летний период эксплуатации и снижением в зимний период вследствие меньшей испаряемости смазки при уменьшении температуры подшипников зимой; увеличение объемов подшипниковых камер для размещения смазки; использование смазки с повышенной вязкостью при низкой температуре воздуха (от -30 до -50 °С и ниже);

непрерывный контроль температуры подшипников, ротора и статорных обмоток; регулярный контроль влажности и износа изоляции статорных обмоток; периодический контроль мощности АВМ и интенсивности вентиляции электровоза; подогрев масла в картере компрессора в зимний период эксплуатации электроподогревателями на основе ленточного нагревательного кабеля КНФНФЭ; снижение сопротивления пуску приводных двигателей компрессоров рациональным выбором времени срабатывания разгрузочных клапанов.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключается в том, что в ней обоснованы необходимые характеристики конструкции и обслуживания асинхронных вспомогательных машин, позволяющие обеспечить необходимую безотказность перспективных электроприводов электровозов переменного тока. Результаты диссертации используются в учебном процессе в Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)) при изучении дисциплин «Подвижной состав железных дорог», «Тяговые электрические машины», «Эксплуатация и техническое обслуживание подвижного состава», а также в эксплуатации АВМ НВА55С (со сварной медной беличьей клеткой ротора), используемых в качестве приводов компрессоров электровозов переменного тока 2, 3, 4ЭС5К.

**Методология и методы исследования.** Для выполнения задач использованы методы теорий нагревания и охлаждения твердого тела, марковских цепей. Часть исследований проводилось на оборудовании электровозов переменного тока и заключались в определении параметров, характеризующих режим работы АВМ при эксплуатационных испытаниях, заводских, деповских ремонтах и техническом обслуживании. Обработка и анализ опытных и статистических данных об отказах АВМ, полученных из отчетов депо, осуществлялись с использованием теорий и методов математической статистики: теории проверки гипотез; корреляционного и регрессионного анализов. При обработке данных об отказах АВМ использован программный продукт Microsoft Excel.

**Положения, выносимые на защиту.**

1 Методика определения надежности асинхронные вспомогательные машины с использованием математической модели, полученной на основании марковских процессов, происходящих в системе «Асинхронная вспомогательная машина»;

2 Результаты сравнительного анализа частот отказов узлов четырех типов трехфазных асинхронных машин: общепромышленных; тяговых с питанием от вращающихся расщепителей фаз двух типов и статических конденсаторных расщепителей фаз от величины несимметрии напряжения питания;

3 Итоги сравнительного исследования влияния конструкционных, технологических и эксплуатационных факторов на параметры потоков отказов АВМ АЭ92-4 и АВМ АНЭ225, НВА55;

4 Уточненные процессы частых отказов подшипников, выплавления алюминиевых обмоток роторов, ускоренного старения изоляции статорных обмоток АВМ;

5 Рекомендации по комплексным изменениям конструкции и обслуживания АВМ, исключающие частые отказы подшипников с последующим выплавлением алюминиевых обмоток роторов и перегревом статорных обмоток.

**Степень достоверности результатов.** Достоверность результатов работы обоснована экспериментально, теоретически и подтверждается удовлетворительным совпадением полученных в работе результатов по определению расхода охлаждающего воздуха и температуры асинхронных вспомогательных машин, с полученными Всероссийским научно-исследовательским и проектно-конструкторским институтом (ОАО «ВЭЛНИИ»), «Национальным исследовательским Томским политехническим университетом» (НИ «ТПУ») и опубликованными в работах других авторов, занимающихся исследованием асинхронных вспомогательных машин тяговых электроприводов электровозов переменного тока.

**Апробация результатов.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались: на XXII международной конференции «Актуальные проблемы естествознания и образования в условиях современного мира» (Нижний Новгород, 2013 г.); на республиканской научно-технической конференции с участием зарубежных ученых «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте» (Ташкент, 2013 г.); международной интернет-конференции РУТ (МИИТ) (Москва, 2019 г.); международной интернет-конференции РОАТ РУТ (МИИТ) (Москва, 2020 г.); интернет-конференции РОАТ РУТ (МИИТ) с международным участием (Москва, 2021 г.); заседаниях кафедры «Тяговый подвижной состав» РУТ (МИИТ) (Москва 2011 – 2023 гг.).

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка сокращений и условных обозначений и списка литературы. Работа содержит 173 страницы основного текста, включая 67 рисунков и 7 таблиц. Список литературы содержит 86 наименований.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи работы, отражена структура диссертации, характеризуется научная новизна и практическая ценность результатов исследования. В качестве объектов исследования рассматриваются АВМ электровозов переменного тока Восточного полигона ОАО

«РЖД». Предметом исследования является процесс износа асинхронных вспомогательных машин.

В первом разделе выполнен анализ безотказности АВМ электровозов Восточного полигона. Установлено существенное различие между отказами основных узлов промышленных АВМ и вспомогательных машин электровозов переменного тока (рисунок 1 и 2). Выявлено, что безотказность АВМ типа АЭ92-4 (рисунок 3), электровозов ВЛ80, имеющих защищенную конструкцию корпуса, радиальную и аксиальную вентиляцию с отверстиями в листах ротора, существенно выше безотказности АВМ типа АНЭ225 электровозов ВЛ85 и НВА55 электровозов 2,3,4 ЭС5К, масса и габариты которых равны аналогичным параметрам АВМ АЭ92-4. В электровозах ВЛ80 используются вращающиеся расщепители фаз НБ 455А, обеспечивающие меньшую несимметрию фазного напряжения и тока АВМ, в сравнении с расщепителями фаз АНЭ225 электровозов ВЛ85. С наибольшей несимметрией питающего напряжения без вращающегося расщепителя фаз с применением конденсаторного пуска и с конденсаторным симметрированием напряжения работают АВМ НВА55 электровозов 2,3,4 ЭС5К. Гистограммы, представленные на рисунке 4 и 5, показывают, что за десять лет эксплуатации безотказность АВМ АНЭ225 снизилась в три раза.

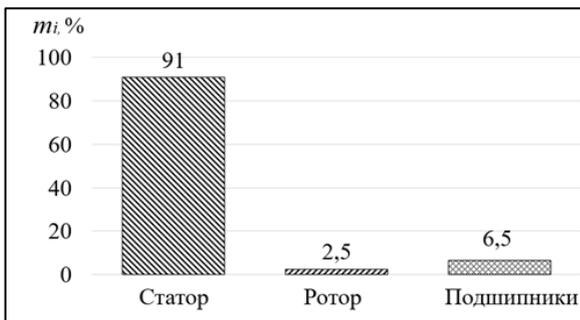


Рисунок 1 – Отказы промышленных асинхронных электрических машин

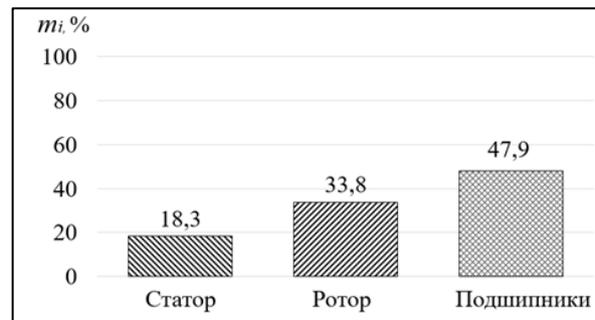


Рисунок 2 – Распределение отказов АВМ НВА55 электровозов 2,3ЭС5К депо Вихоревка

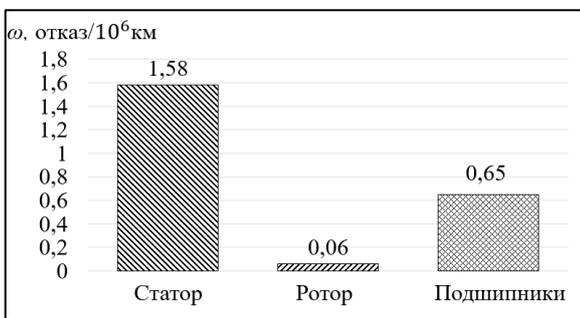


Рисунок 3 – Распределение параметров потоков отказов узлов АВМ АЭ92-4 электровозов ВЛ80С депо Горький

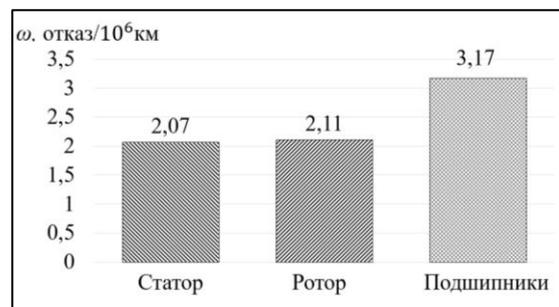


Рисунок 4 – Распределение параметров потоков отказов узлов АВМ АНЭ225 электровозов ВЛ85 депо Нижнеудинск в 2002 – 2003 г.

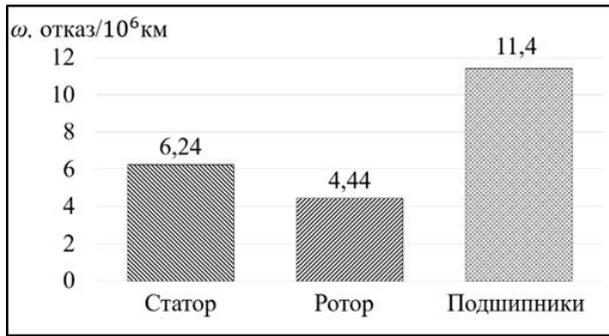


Рисунок 5 – Распределение параметров потоков отказов узлов АВМ АНЭ225 электровозов ВЛ85 депо Нижнеудинск в 2012 году

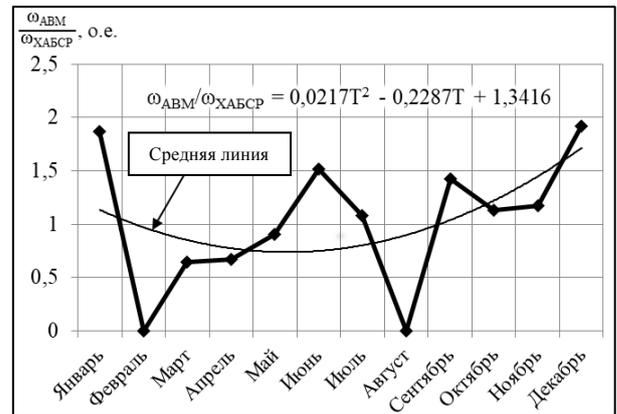


Рисунок 6 – Характер изменения относительного параметра потока отказов АВМ НВА55 электровозов 2,3ЭС5К, депо Хабаровск

Электрические машины АНЭ225 и НВА55 имеют защищенный корпус, аналогичную конструкцию, мощность 55 кВт, радиальную вентиляцию (вентиляционные лопатки ротора). У них отсутствует аксиальная вентиляция (центробежный вентилятор на валу электрической машины) и вентиляционные отверстия в листах ротора как у АЭ92-4.

Климатические условия эксплуатации, интенсивность грузопотока, а также время нахождения электровозов в отстое оказывают существенное влияние на безотказность АВМ. Отмечено, что наименьший относительный параметр потока отказов наблюдается у АВМ электровозов 2,3ЭС5К депо Хабаровск (рисунок 6), которые эксплуатируются в относительно теплых климатических условиях, время отстоя электровозов минимальное (этот параметр был принят за эталонный, равный единице). В тоже время относительный параметр потока отказов АВМ электровозов депо Чита почти в два раза выше (рисунок 7) из-за пониженной температуры окружающего воздуха. Наибольшее число отказов АВМ наблюдается у электровозов северного направления Восточного полигона РЖД (рисунок 8).

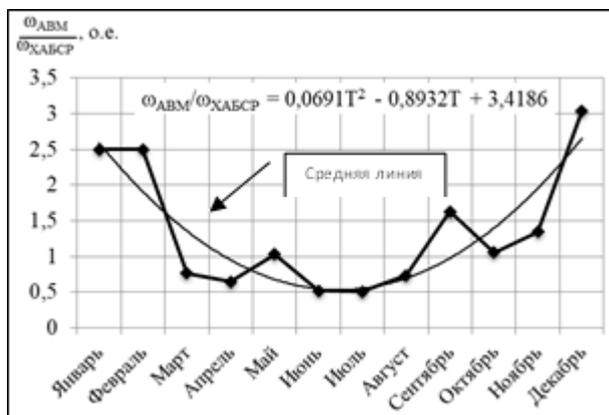


Рисунок 7 – Динамика относительного параметра потока отказов АВМ НВА55 электровозов 2,3ЭС5К, депо Чита

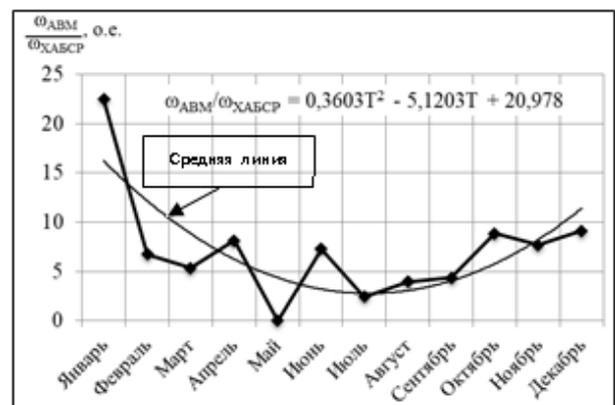


Рисунок 8 – Изменение относительного параметра потока отказов АВМ НВА55 электровозов 2,3ЭС5К, депо Вихоревка

Это обусловлено длительным отстоем электровозов, а также продолжительным зимним периодом эксплуатации при температуре воздуха минус 50 °С и ниже.

**Во втором разделе** проанализирована конструкция АВМ АНЭ225.

Выявлена несимметричность конструкции радиальной вентиляции относительно вертикальной оси двигателя, приводящая к различию аэродинамических сопротивлений воздухопроводов левого и правого вентиляторов. Рассчитаны сопротивления вентиляторов: левого – 1014; правого – 2094.

Полное аэродинамическое сопротивление АВМ  $Z_{\Sigma} = 353$ . Для определения влияния несимметричности конструкции вентиляции на ее производительность рассчитана вентиляция АВМ, подобной АНЭ225, мощностью 55 кВт с симметричной и несимметричной конструкцией радиальной вентиляции. Получены следующие результаты расчета охлаждения двигателя мощностью 55 кВт с симметричной вентиляцией: необходимый расход воздуха  $Q = 0,217 \text{ м}^3/\text{с}$  при подогреве воздуха  $t_{п2} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ; количество воздуха, обеспечиваемое вентиляторами ротора  $Q' = 0,233 \text{ м}^3/\text{с}$ ; давление воздуха  $P = 100,6 \text{ Па}$ . Данные расчета АВМ с несимметричной конструкцией радиальной вентиляции при выходной мощности двигателя 38,7 кВт, близкой к мощности 39 кВт, превышение которой приводит к недопустимому перегреву двигателя следующие :  $Z_{\Sigma} = 353$ ; давление воздуха  $P = 95,8 \text{ Па}$ ;  $Q' = 0,166 \text{ м}^3/\text{с}$ ; подогрев воздуха в АВМ  $t_{п2} = 25,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Анализ конструкций радиальной вентиляции и обслуживания асинхронных вспомогательных машин электровозов переменного тока, а также общепромышленных трехфазных асинхронных двигателей мощностью 26 - 55 кВт показал, что для обеспечения необходимого охлаждения АВМ АНЭ225 и НВА55 с несимметричной конструкцией радиальной вентиляции необходимо провести следующие усовершенствования их конструкции и обслуживания: уменьшить полное аэродинамическое сопротивление АВМ с 353 до 189. Для этого: симметризовать конструкцию двигателя относительно вертикальной оси; выровнять и уменьшить аэродинамическое сопротивление воздухопроводов левого и правого вентиляторов; увеличить длину корпуса АВМ при сохранении электромагнитной системы двигателя и расстояния между подшипниковыми узлами; увеличить площадь сечения выхода воздуха из двигателя, длину и ширину вентиляционных лопаток; изменить конструкцию подшипниковых узлов: увеличить объем камер для размещения повышенного количества смазки; перенести маслопроводы для подачи и выхода смазки на корпуса подшипников; применить смазку подшипников с низкой испаряемостью и повышенной вязкостью при низкой температуре воздуха, рационально использовать заправляемую при смене и пополнениях смазку в подшипниковые узлы АВМ – увеличить количество смазки в связи с повышением пробега между заправками и снизить в зимний период

эксплуатации в следствие существенного уменьшения температуры подшипников по сравнению с летним; очистить или заменить «забитые» маслопроводы; ввести непрерывный контроль температуры подшипников, роторов, статорных обмоток. Проведен расчет охлаждения усовершенствованной АВМ АНЭ225. Получены следующие результаты: производительность вентиляции  $Q' = 0,235 \text{ м}^3/\text{с}$ ; давление воздуха  $P = 101,6 \text{ Па}$ ; полное аэродинамическое сопротивление АВМ  $Z_{\Sigma} = 189$ ; подогрев воздуха в АВМ  $t_{п2} = 27,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$  при выходной мощности 55 кВт.

Определена температура подшипников АВМ АНЭ225 в номинальном режиме работы. Согласно конструкторской документации мощность потерь трения в подшипниках  $P_{\text{под}} = 183 \text{ Вт}$ . В расчете принята равная мощность потерь в каждом подшипнике  $P_{\text{лев}} = P_{\text{пр}} = 91,5 \text{ Вт}$ . Средние площади сечений частей вала от середины подшипников до середины ротора: левой части  $S_{\text{лев}} = 48,4 \text{ см}^2$ ; правой части  $S_{\text{пр}} = 44,2 \text{ см}^2$ . Плотность теплового потока при нагреве: от левого подшипника  $A_{\text{лев}} = P_{\text{лев}}/S_{\text{лев}} = 91,5 / 48,4 = 1,89 \text{ Вт} / \text{см}^2$ ; от правого подшипника  $A_{\text{пр}} = P_{\text{пр}}/S_{\text{пр}} = 91,5 / 44,2 = 2,07 \text{ Вт} / \text{см}^2$ . Температура вала под серединой ротора при нагреве: от левого подшипника  $t_{\text{лев}} = A_{\text{лев}} \cdot \beta_{\text{лев}} / \lambda = 1,89 \cdot 29,5 / 0,63 = 88,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ; от правого подшипника  $t_{\text{пр}} = A_{\text{пр}} \cdot \beta_{\text{пр}} / \lambda = 2,07 \cdot 27,6 / 0,63 = 90,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , где  $\beta_{\text{лев}} = 29,5 \text{ см}$  – длина вала от середины левого подшипника до середины ротора;  $\lambda = 0,63 \text{ Вт}\cdot\text{см} / \text{см}^2\cdot^{\circ}\text{C}$  – теплопроводность стали ротора;  $\beta_{\text{пр}} = 27,6 \text{ см}$  – длина вала от середины правого подшипника до середины ротора.

Температура вала под серединой ротора при нагреве: от обоих подшипников  $t_{\text{вал}} = (t_{\text{лев}} + t_{\text{пр}}) / 2 = (88,5 + 90,7) / 2 = 89,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Отсюда средняя температура вала ротора  $t_{\text{ср в}} = t_{\text{вал}} / 2 = 89,6 / 2 = 44,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Тогда при температуре воздуха в секции электровоза температура подшипников составит  $t_{\text{под}} = t_{\text{сек}} + t_{п2} + t_{\text{ср в}}$ , где  $t_{\text{сек}}$  – температура воздуха в секции,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{п2} = 27,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$  – подогрев вентилирующего воздуха при номинальном режиме работы АВМ,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\text{ср в}} = 44,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$  – средняя температура вала ротора при работе подшипников в номинальном режиме. Получены следующие значения температуры подшипников при разных значениях температуры воздуха в секции:  $t_{\text{сек}} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{\text{под}} = + 72,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\text{сек}} = + 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{\text{под}} = + 92,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\text{сек}} = + 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{\text{под}} = + 112,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Анализ многолетних данных о максимальной температуре воздуха центрального и северного направлений Восточного полигона РЖД показал, что в наиболее теплый период года температура воздуха не превышает 40 – 42  $^{\circ}\text{C}$ . То есть температура подшипников АВМ не превысит допустимую при используемой смазке Буксол.

Определение температуры в подшипниках АВМ дает возможность уточнить количество заправляемой в АВМ НВА55 смазки Буксол. Это возможно на основании

результатов анализа эксплуатации АВМ АЭ92-4, в которых использовали смазку Циатим 221, имеющую испаряемость при температуре 100 °С, равную испаряемости смазки Буксол. Установлено, что для эксплуатации подшипников постоянно в режиме качения при пробеге электровоза  $600 \cdot 10^3$  км (смена смазки на текущем ремонте ТРЗ, пять пополнений через  $100 \cdot 10^3$  км пробега) необходимо количество смазки Буксол, заправляемой в одну АВМ: в летний период эксплуатации на всех направлениях Восточного полигона – 3,7 кг; в зимний период: на центральном направлении – 2,03 кг; на северном - 1,38 кг.

Статистические данные об отказах АВМ АНЭ225, НВА55 электровозов ВЛ85, 2,3ЭС5К показывают, что наибольший параметр потока отказов наблюдается у приводных двигателей компрессоров МК. Наибольшее превышение температуры статорных обмоток имеет место при затяжных пусках МК из-за снижения напряжения контактной сети ниже допустимого значения, повышенного момента сопротивления в зимний период эксплуатации, повреждения симметрирующих конденсаторов. В соответствии с результатами опытных поездок с электровозами и экспертных оценок специалистов локомотивных депо Чита, Вихоревка Восточного полигона при температуре воздуха от -35 до -50 °С, снижении напряжения контактной сети, повреждении симметрирующих конденсаторов, время пуска при расчете перегрева МК принято 3; 4; 5 с. Исходные данные для расчета перегрева статорной обмотки АВМ АНЭ225 приняты следующие. Начальный перегрев при кратковременном отстое  $\tau_p = 24$  °С, при продолжительном отстое  $\tau_p = 78$  °С. Время откачки  $t_1 = 43$  с, выключения  $t_2 = 173$  с. Расчетные значения постоянных времени: нагревания  $T_1 = 1895$  с; остывания  $T_2 = 1318$  с. Выполнен расчет нагревания МК для всех вариантов пуска. Необходимо отметить, что время пуска МК после длительного отстоя электровоза в зимний период времени существенно возрастает по сравнению с принятым в расчете. Установлено, что с увеличением времени пуска МК значительно увеличивается температура всех узлов АВМ. Это приводит к выплавлению алюминиевых обмоток роторов, что также подтверждается анализом отказов АВМ северного направления Восточного полигона.

Рассмотрение статистических данных об отказах АВМ АНЭ225, НВА55 электровозов ВЛ85, 2,3ЭС5К и результатов испытаний АВМ показывает, что недостаточную безотказность имеют и приводные двигатели вентиляторов (МВ) электровозов ВЛ85 – МВ1, МВ2, МВ3 – охлаждения ВИП (В – выпрямительно, И – инверторный, П – преобразователь), ТЭД (Т – тяговый, Э – электрический, Д – двигатель), СР (С – сглаживающий, Р – реактор) – входная мощность которых – составляет 52-55 кВт и более, а также МВ1, МВ2 – электровозов 2,3ЭС5К, которые охлаждают ВИП, ТЭД, СР, тяговые трансформаторы и выполняют функции

расщепителей фаз при конденсаторном пуске АВМ. Проведен расчет нагревания и интенсивности износа изоляции статорной обмотки двигателя АНЭ225 с разной выходной мощностью при изменении напряжения контактной сети от 14 до 26 кВ. Результаты расчета интенсивности износа изоляции статорной обмотки при выходной мощности двигателя, равной 81,8 % и 32,7 % номинальной, приведены на рисунках 9 и 10.

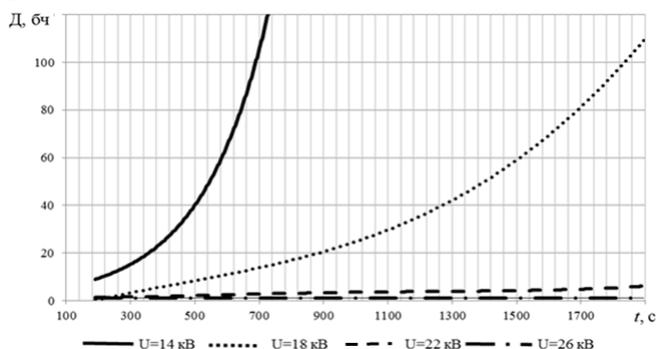


Рисунок 9 – Интенсивность износа изоляции статорной обмотки АВМ типа АНЭ225 привода вентилятора при выходной мощности, равной 81,8 % номинальной

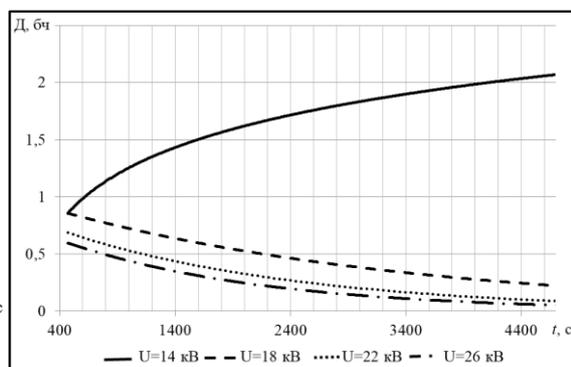


Рисунок 10 – Интенсивность износа изоляции статорной обмотки АВМ типа АНЭ225 привода вентилятора при выходной мощности равной 32,7 % номинальной

**В третьем разделе** на основании статистических данных об отказах АВМ АНЭ225 электровозов Восточного полигона РЖД, установлена применимость марковских цепей для формирования модели функционирования асинхронной вспомогательной машины. Разработана семиэлементная модель функционирования АВМ, включающая следующие элементы: «электрическое питание», «электрические цепи», «статор», «ротор», «вал», «подшипниковый узел», «среда».

В системе «Асинхронная вспомогательная машина» имеет место последовательное соединение семи элементов (рисунок 11, а), снижение надежности одного элемента приводит к снижению надежности всей системы.

Функционирование АВМ можно рассматривать как поток событий, наступающих поочередно в случайные моменты времени, принимая его как простейший марковский процесс, обладающий свойствами случайного простейшего процесса: стационарностью; отсутствием последействия; ординарностью.

Марковские процессы, протекающие в системе с дискретными состояниями и непрерывным временем, характеризуются вероятностями состояний  $P(t)$  и  $q_i(t)$  в любой момент времени  $t$ , которые определяются системой дифференциальных уравнений Колмогорова. Система составляется по мнемоническому правилу с использованием графа состояний (рисунок 11, б)

$$\frac{dP(t)}{dt} = -P(t) \sum_{i=1}^n \lambda_i + \sum_{i=1}^n \mu_i q_i(t), \quad \frac{dq_i}{dt} = \lambda_i P(t) - \mu_i q_i(t). \quad (1)$$

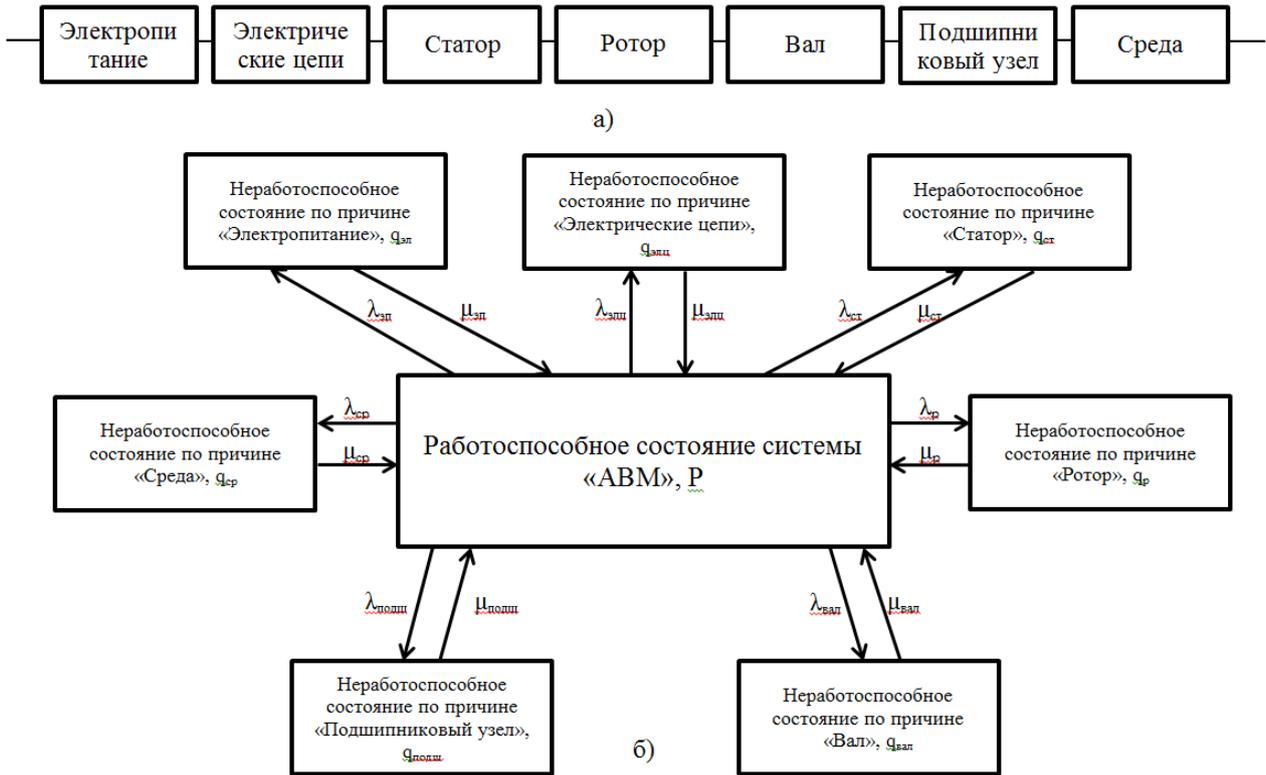


Рисунок 11 - Схема (а) и граф состояний функционирования семиэлементной системы «Асинхронная вспомогательная машина» (б)

$$\frac{dP(t)}{dt} = -P(t) \sum_{i=1}^n \lambda_i + \sum_{i=1}^n \mu_i q_i(t), \quad \frac{dq_i}{dt} = \lambda_i P(t) - \mu_i q_i(t). \quad (1)$$

Эту систему решают при условиях, задающих вероятности состояний в начальный момент времени  $t = 0$ , и выполнении нормировочного условия

$$P + \sum_{i=1}^n q_i(t) = 1. \quad (2)$$

Если эти потоки событий, переводящие систему из состояния в состояние стационарны ( $\lambda_i, \mu_i = \text{const}$ ), общее число состояний конечно и состояний без выхода нет, то существует предельный режим функционирования системы, характеризуемый предельными (финальными) вероятностями

$$q_i = \lim_{t \rightarrow \infty} q_i(t), \quad (i = \overline{1, n}). \quad (3)$$

Установившемся режиму функционирования технологической системы соответствует следующее решение системы уравнений (1)

$$P = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{\text{эп}}}{\mu_{\text{эп}}} + \frac{\lambda_{\text{элц}}}{\mu_{\text{элц}}} + \frac{\lambda_{\text{ст}}}{\mu_{\text{ст}}} + \frac{\lambda_{\text{р}}}{\mu_{\text{р}}} + \frac{\lambda_{\text{вал}}}{\mu_{\text{вал}}} + \frac{\lambda_{\text{подш}}}{\mu_{\text{подш}}} + \frac{\lambda_{\text{ср}}}{\mu_{\text{ср}}}}, \quad (4)$$

$$q_{\text{эп}} = \frac{\lambda_{\text{эп}}}{\mu_{\text{эп}}} \cdot P, \quad q_{\text{элц}} = \frac{\lambda_{\text{элц}}}{\mu_{\text{элц}}} \cdot P, \quad q_{\text{ст}} = \frac{\lambda_{\text{ст}}}{\mu_{\text{ст}}} \cdot P, \quad q_{\text{р}} = \frac{\lambda_{\text{р}}}{\mu_{\text{р}}} \cdot P, \quad q_{\text{вал}} = \frac{\lambda_{\text{вал}}}{\mu_{\text{вал}}} \cdot P,$$

$$q_{\text{подш}} = \frac{\lambda_{\text{подш}}}{\mu_{\text{подш}}} \cdot P, \quad q_{\text{ср}} = \frac{\lambda_{\text{ср}}}{\mu_{\text{ср}}} \cdot P, \quad (5)$$

где  $P$  – вероятность безотказной работы;

$q$  – вероятность отказов системы по соответствующим причинам:  
 $q_{\text{эп}}$  – электрическое питание;  $q_{\text{элц}}$  – электрических цепей;  $q_{\text{ст}}$  – статора;  $q_{\text{р}}$  – ротора;  
 $q_{\text{вал}}$  – вала;  $q_{\text{подш}}$  – подшипниковых узлов;  $q_{\text{ср}}$  – среды.

Интенсивности отказов  $\lambda_i$  и восстановлений  $\mu_i$  АВМ по соответствующим причинам:

$$\lambda_i = \frac{1}{t_{\lambda}^i}; \mu_i = \frac{1}{t_{\mu}^i}, \quad i = \text{эп, элц, ст, р, вал, подш, ср}, \quad (6)$$

где  $\overline{t_{\lambda}^{\text{эп}}}, \overline{t_{\lambda}^{\text{элц}}}, \overline{t_{\lambda}^{\text{ст}}}, \overline{t_{\lambda}^{\text{р}}}, \overline{t_{\lambda}^{\text{вал}}}, \overline{t_{\lambda}^{\text{подш}}}, \overline{t_{\lambda}^{\text{ср}}}$  – средняя продолжительность работы системы АВМ до отказа по соответствующим причинам (наработка на отказ);

$\overline{t_{\mu}^{\text{эп}}}, \overline{t_{\mu}^{\text{элц}}}, \overline{t_{\mu}^{\text{ст}}}, \overline{t_{\mu}^{\text{р}}}, \overline{t_{\mu}^{\text{вал}}}, \overline{t_{\mu}^{\text{подш}}}, \overline{t_{\mu}^{\text{ср}}}$  – средняя продолжительность нахождения системы в состоянии соответствующих отказов.

Выполнен расчет характеристик надежности функционирования системы «Асинхронная вспомогательная машина». Анализ полученных данных показывает, что определяющее влияние на надежность системы оказывают элементы: «подшипниковые узлы» – 33,9 %; «статор» – 21,8 %; «ротор» – 17,9 % отказов системы.

Рассмотрены зависимости относительных параметров потоков отказов АВМ НВА55 электровозов 2,3ЭС5К депо Хабаровск, эксплуатируемых на направлении Карымская-Находка (Владивосток) и депо Вихоревка, работающих на направлении Тайшет-Таксимо Восточного полигона от среднемесячной температуры воздуха в 2016 году (наименьший параметр потока отказов в течение года наблюдается у АВМ электровозов депо Хабаровск). Рассмотрение показало следующее. Если в летний период эксплуатации относительный параметр потока отказов АВМ электровозов депо Вихоревка превышает аналогичный показатель безотказности АВМ электровозов депо Хабаровск в 2,45 раза, то в зимний период он увеличивается в 9,1 раза. Это было вызвано в основном ростом отказов приводных двигателей компрессоров (МК) вследствие увеличения момента сопротивления вращению МК зимой из-за низкой температуры компрессорного масла, существенно меньшей допустимой (- 15 °С), при повреждении или пониженной мощности нагревателей, а также использования масла в редукторах КТ6-Эл с температурой замерзания - 25 °С и выше вместо - 40 °С по стандарту. Замерзание масла в картерах и редукторах компрессоров происходит при длительном простое электровозов из-за уменьшенного грузопотока. Снижению безотказности АВМ способствует также продолжительный зимний период с температурой воздуха от - 30 °С до - 50 °С и ниже.

Результаты сравнительного анализа частоты отказов трехфазных асинхронных машин: общепромышленных; с питанием от вращающихся расщепителей фаз (ФР) двух типов и статических конденсаторных ФР от величины

несимметрии напряжения питания показали, что с увеличением коэффициента несимметрии напряжения с 2 до 16 % доли отказов узлов электрических машин изменяются: статоров снижается в 4,95 раза; роторов и подшипников увеличиваются, соответственно, в 9,52 и 7,37 раза. Это вызвано ростом токов обратной последовательности, вызывающих снижение КПД двигателя, и, в большей степени, недостаточным количеством смазки в подшипниках АВМ, приводящим к повышению температуры подшипников при переходе их из режима качения в режим «сухого» скольжения с многократным увеличением потерь мощности в контакте и, как следствие этого, увеличенным нагревом обмоток роторов.

Проведено сравнительное исследование безотказности статоров, роторов, подшипников АВМ АЭ92-4 парка электровозов ВЛ80Р переменного тока депо Боготол за 1997-2000 годы, находящихся в эксплуатации продолжительное время и АНЭ225 парка современных электровозов ВЛ85 переменного тока депо Нижнеудинск за 2012 год, при практически равных температурных условиях. Электровозы вышеуказанных парков, работали в грузовом движении на направлении Мариинск – Карымская Восточного полигона более десяти лет после поступления с завода изготовителя. Сравнение параметров потоков отказов узлов АВМ АЭ92-4 электровозов ВЛ80Р и АНЭ225 электровозов ВЛ85 показывает, что параметры потоков отказов статоров, роторов и подшипниковых узлов АВМ типа АНЭ225 электровозов ВЛ85, соответственно, в 4,2; 6,1 и 9,6 раз превышает аналогичные показатели АВМ типа АЭ92-4 электровозов ВЛ80Р.

Выявлено, что из-за образования обратного потока воздуха, существенно снижающего производительность вентиляции вследствие двукратного различия аэродинамических сопротивлений воздухопроводов левой и правой сторон АВМ АНЭ225 и НВА55 температура подшипников, статоров и роторов в несимметричных режимах работы при повышенной мощности двигателя превышает расчетную. Температура этих же узлов АВМ АЭ92-4 при включенных ФР ниже расчетной во всех режимах работы.

В свою очередь многократное уменьшение количества смазки в подшипниках АНЭ225 по сравнению с количеством смазки в подшипниках АЭ92-4, способствует переходу контактов ролики (шарики)–кольца подшипников из режима качения в режим «сухого» скольжения, когда многократно возрастает коэффициент трения в контактах (на отказы подшипников приходится более 1/3 отказов АВМ АНЭ225, причем 2/3 отказавших подшипников работают без смазки в режиме «сухого» скольжения). Рост температуры подшипников при увеличении коэффициента трения в контактах ролики (шарики) – кольца подшипников приводит к интенсивному тепловому износу роторов.

**Четвертый раздел** посвящен рекомендациям по комплексным изменениям конструкции и обслуживания АВМ, которыми было предусмотрено следующее.

1 Выравнивание и уменьшение аэродинамического сопротивления воздухопроводов, увеличение размеров вентиляционных лопаток, объемов подшипниковых камер для заправки повышенного количества смазки, установку маслопроводов для заправки смазки и удаления смазки на корпусах подшипников, обеспечивающих смену смазки без разборки двигателя и позволяющих осуществлять контроль наличия смазки в эксплуатации и ее поступление при периодических пополнениях, рациональное обеспечение смазкой подшипников для их непрерывной эксплуатации в режиме качения с увеличением количества смазки вследствие повышения пробега электровозов между заправками и снижение в зимний период эксплуатации из-за существенного уменьшения температуры подшипников по сравнению с летним, использование смазки подшипников с низкой испаряемостью и повышенной вязкостью при низкой температуре воздуха.

2 Разработка устройств непрерывного контроля температуры статорных обмоток, роторов, подшипников АВМ.

Контроль температуры с использованием в качестве датчиков температуры позисторов-термосопротивлений с положительным коэффициентом сопротивления, устройств встроенной температурной защиты (УВТЗ), являющихся пороговым устройством превышения уровня температуры и светодиодной сигнализации о превышении температуры. В диссертации разработана схема подсистемы температурного контроля (ПСТК) АВМ электровоза 2ЭС5К.

Микроконтроллерная подсистема температурного контроля ПСТК, включающая аналоговые и цифровые микросхемы, обеспечивающие неизменный алгоритм работы. Разработана схема подсистемы температурного контроля приводных двигателей компрессоров и вентиляторов электровоза 3ЭС5К. Схема и алгоритм работы схемы приведены в приложении 1 диссертации.

3 Периодический контроль увлажненности и степени износа изоляции статорных обмоток АВМ электровозов ВЛ85, 2,3,4ЭС5К, которой, согласно результатов исследований, необходимо выполнять один раз в году при переводе электровоза с летних условий эксплуатации на зимние. Предлагаемая в диссертации подсистема контроля увлажненности и степени износа изоляции статорных обмоток АВМ электровоза (ПСКУ) включает следующие приборы и устройство: инфракрасный термометр «Кельвин»; измеритель сопротивления, увлажненности и степени старения изоляции МИС-500 (контроль поверхностного увлажнения изоляции статорных обмоток по коэффициенту абсорбции Ка); разработанное сотрудниками Проектно-конструкторского бюро локомотивного хозяйства (ПКБ ЦТ)

микропроцессорное устройство для измерения увлажненности тяговых электродвигателей (контроль объемного увлажнения изоляции статорных обмоток по отношению абсорбционной емкости изоляции  $\Delta C$  к геометрической емкости  $C_r$ ). Как показывают результаты исследования, величина объемного увлажнения, определяемая устройством, с достаточной достоверностью характеризует степень износа изоляции статорных обмоток АВМ. Сотрудниками ПКБ ЦТ предложена классификация величины объемного увлажнения  $\Delta C / C_r$  (степени износа изоляции) на пять классов:

- |  |  |
|--|--|
| 1) класс $\Delta C / C_r$ от 0 до 0,099;   | 4) класс $\Delta C / C_r$ от 0,3 до 0,399;         |
| 2) класс $\Delta C / C_r$ от 0,1 до 0,199; | 5) класс $\Delta C / C_r$ от 0,4 до 0,499 и более. |
| 3) класс $\Delta C / C_r$ от 0,2 до 0,299; |  |

При выполнении диссертации установлено, что использование АВМ со статорными обмотками 4 и 5 классов износа изоляции в зимний период на северном направлении Тайшет – Таксимо Восточного полигона, приводит к пробоям изоляции. Поэтому все АВМ с изоляцией этих классов износа должны проходить пропитку изоляции статорных обмоток в объеме среднего (СР) или капитального (КР) ремонтов перед зимним периодом эксплуатации.

4 Определение мощности АВМ и интенсивности вентиляции электровоза переменного тока по методике, разработанной при исследовании, необходимо выполнять два раза в году при переводе электровоза с летних условий эксплуатации на зимние и наоборот. Цель испытания – выявление причин чрезмерного увеличения мощности МВ, вследствие нарушений в регулировке вентиляции и (или) эксплуатации подшипников в режиме «сухого» скольжения из-за отсутствия смазки в контакте ролики (шарики) – кольца подшипников, а также МК вследствие: повреждений масляных насосов или вращения двигателей в обратном направлении из-за смены фаз приводных двигателей, когда компрессоры работают при сухом трении в баббитовых подшипниках; обрывов питания или повреждений разгрузочных клапанов; эксплуатации подшипников МК без смазки.

5 Разработка и продолжительная предварительная эксплуатация предложенного алгоритма включения разгрузочных клапанов, который существенно повысил безотказность АВМ НВА55С приводов высокоскоростных компрессоров электровозов 2,3,4ЭС5К.

6 Уменьшение момента сопротивления вращению МК электровозов северного направления Восточного полигона подогревом масла в картере компрессора, при длительном отстое электровозов в зимний период времени, электронагревателями на основе ленточного нагревательного кабеля марки КНФНФЭ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Установлено, что на асинхронные вспомогательные машины электровозов Восточного полигона РЖД приходится более 12 % от общего количества отказов. Безотказность АВМ современных электровозов переменного тока ВЛ85, 2ЭС5К, 3ЭС5К, 4ЭС5К значительно ниже, чем электровозов ВЛ80, эксплуатируемых в Восточном полигоне продолжительное время. Это вызвано несимметричностью конструкции радиальной вентиляции АВМ, не обеспечивающей необходимое охлаждение двигателей и, как следствие этого, приводящей к превышению допустимой температуры подшипников, ротора и статорных обмоток. В свою очередь, недостаточное количество смазки в подшипниках, не обеспечивает постоянную работу их в режиме качения. На подшипники приходится 1/3 отказов АВМ, причем 2/3 из них работают без смазки в режиме «сухого» скольжения. При этом выплавляются обмотки роторов и перегреваются статорные обмотки.

2 Разработана математическая модель функционирования системы «Асинхронная вспомогательная машина» электровоза переменного тока Восточного полигона РЖД, которая позволяет установить взаимосвязи между элементами системы и выявить определяющее влияние элементов «подшипниковые узлы», «ротор», «статор» на безотказность системы. Наибольшее количество отказов подшипникового узла указывает на то, что он является первопричиной основных отказов АВМ.

3 Выявлено, что с увеличением коэффициента несимметрии напряжения питания от двух до шестнадцати процентов, доля отказов основных узлов АВМ изменяется: статоров снижается в 4,95 раза; роторов и подшипниковых узлов увеличивается, соответственно, в 9,52 и 7,37 раза. Это обусловлено как ростом токов обратной последовательности, так и в, большей степени, недостаточным количеством смазки в подшипниках АВМ. Увеличение токов обратной последовательности вызывает уменьшение КПД двигателя и повышение времени пуска.

4 Уточнен процесс частых отказов подшипников, приводящих к выплавлению алюминиевых обмоток роторов и повышению теплового износа изоляции статорных обмоток АВМ современных электровозов, из-за перехода контактов ролики (шарики) – кольца подшипников из режима качения в режим «сухого» скольжения вследствие недостаточного количества смазки в подшипниках, не обеспечивающего непрерывную эксплуатацию подшипников в режиме качения.

5 Внедрен в микропроцессорную систему управления и диагностики (МСУД-015) 477 секций электровозов переменного тока 2,3,4ЭС5К локомотивных депо Карталы, Лянгасово, Иланская, Чита, Хабаровск, Смоляниново извещениями ДИНЮ.И.1391-20 об изменении конструкторской документации на электровозы

серии 2ЭС5К, 3ЭС5К, 4ЭС5К производства ООО «ПК НЭВЗ» и АРКИ.002-2020 об изменении ПО МСУД-015 производства АО «ЛЭС» разработанный в рамках диссертационного исследования откорректированный алгоритм включения разгрузочного клапана У5.

6 Рекомендуется для обеспечения необходимой безотказности АВМ проведение следующих мероприятий:

а) изменить конструкцию: выровнять и снизить аэродинамические сопротивления воздухопроводов левой и правой сторон АВМ увеличением длины корпуса и площади сечения выхода вентилирующего воздуха из двигателя, размеров вентиляционных лопаток, объемов подшипниковых камер под повышенное количества смазки; ввести в корпуса подшипников АВМ маслопроводы для заправки и выхода отработанной смазки, что позволяет, без разборки двигателя, контролировать наличие смазки в эксплуатации и ее поступление при сменах и пополнениях.

б) изменить обслуживание: рационально использовать заправляемую смазку при сменах и пополнениях в подшипниковые узлы АВМ - увеличить количество смазки в связи с недостаточным количеством ранее заправляемой смазки, не обеспечивающим непрерывную работу подшипников в режиме качения а также повышением межремонтного пробега между заправками (сменами) и пополнениями в летний период эксплуатации и снизить в зимний вследствие существенного уменьшения температуры подшипников по сравнению с летним; очистить или заменить «забитые» маслопроводы для подачи смазки к подшипникам; использовать смазки подшипников с повышенной вязкостью при низкой температуре воздуха (от -30 °С до -50 °С и ниже);

в) ввести непрерывный контроль температуры статорных обмоток, роторов и подшипниковых узлов с использованием подсистемы, состоящей из датчиков температуры-позисторов, устройства мониторинга температуры, блока световой (звуковой) сигнализации и микроконтроллерной подсистемы температурного контроля, работающей по неизменной программе;

г) обеспечить контроль увлажненности и степени износа изоляции статорных обмоток АВМ подсистемой ПСКУ по отношению абсорбционной емкости изоляции к геометрической;

д) ввести методику определения мощности АВМ и интенсивности вентиляции оборудования электровоза переменного тока, позволяющую выявлять электрические машины с повышенной мощностью из-за отсутствия смазки в подшипниках и (или) нарушений в регулировке вентиляции;

е) использовать внедренный рациональный алгоритм включения разгрузочных клапанов для обеспечения безотказности АВМ НВА55С (С – с медным ротором) приводов высокоскоростных компрессоров электровозов 2,3,4ЭС5К;

ж) обеспечить необходимую температуру масла в картере высокоскоростного компрессора в зимний период эксплуатации вводом электроподогревателей на основе кабеля марки КНФНФЭ для надежного пуска приводного двигателя НВА55С после продолжительного отстоя электровоза.

7 Перспективой дальнейшей разработки темы является: усовершенствование конструкции подшипникового узла - увеличение объема подшипниковой камеры для размещения повышенного количества смазки, размещение маслопроводов для заправки и удаления отработанной смазки на корпусе подшипника; усовершенствование конструкции вентиляции, что обеспечит снижение температуры узлов АВМ во всех режимах работы; статистический анализ безотказности тяговых двигателей электровозов железных дорог Восточного полигона и разработка системы обеспечения безотказности тяговых двигателей путём прогрева их подачей тока на главные полюсы от выпрямительных установок возбуждения при длительном отстое электровозов в зимний период эксплуатации.

### **Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах**

#### *а) в рецензируемых научных изданиях*

1 Попов, Ю.И. Исследование состояния тяговых электрических машин, эксплуатируемых в сложных природно-климатических условиях [Текст] / Ю.И. Попов, А.С. Куренков, М.Д. Глущенко, В.П. Смирнов // Наука и техника транспорта – 2015. – № 1. – С. 45-52.

2 Куренков, А.С. Обоснование и разработка модели функционирования асинхронной вспомогательной машины электровоза переменного тока восточного региона РЖД [Текст] / А.С. Куренков, В.П. Смирнов // Наука и техника транспорта – 2017. – № 2. – С. 24-31.

3 Куренков, А.С. Уточнение механизма отказов асинхронных вспомогательных машин современных электровозов переменного тока [Текст] / А.С. Куренков // Наука и техника транспорта – 2017. – № 3. – С. 23-33.

4 Куренков, А.С. Результаты сравнительного исследования безотказности асинхронных вспомогательных машин АЭ92-4 и АНЭ225 электровозов переменного тока. [Текст] / А.С. Куренков, Д.И. Бодриков, Е.М. Лыткина, В.П. Смирнов // Наука и техника транспорта – 2021. – № 4. – С. 59-63.

#### *б) патент*

5 Патент на полезную модель №148398 Российской Федерации. Устройство для измерения увлажненности изоляции тяговых электродвигателей [Текст] / Ю.И. Попов, А.С. Куренков, В.А. Мельников, О.О. Соколов, В.П. Смирнов, А.С. Космодамианский, В.В. Лексаков // Заявитель и патентообладатель ОАО «РЖД». - № 2014132720/28; заявл. 08.08.2014; опубл. 10.12.2014, Бюл. – № 34.

*в) в других изданиях и материалах конференций*

6 Ходакевич, А.Н. Энерго – и ресурсосберегающие режимы работы электровозов переменного тока [Текст] / А.Н. Ходакевич, Ю.И. Попов, А.С. Куренков, С.К. Попов, В.А. Мельников, К.Ю. Никольский. // Сборник молодежных научных проектов «Молодые ученые Москве» – 2012. – С. 33-37.

7 Куренков, А.С. Надежность вспомогательных электрических машин переменного тока [Текст] / А.С. Куренков, О.О. Соколов, Ю.И. Попов, С.И. Баташов // Межвузовский сборник научных трудов «Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта» – 2014. – С. 98-101.

8 Попов, Ю.И. Результаты анализа системы контроля состояния изоляции силового электрооборудования [Текст] / Ю.И. Попов, А.С. Куренков, О.О. Соколов, В.П. Смирнов, А.С. Космодамианский, С.И. Баташов // Межвузовский сборник научных трудов «Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта» – 2014. – С. 105-107.

9 Соколов, О.О. Влияние токовой нагрузки на надежность ТЭМ электропоездов постоянного тока Московского узла [Текст] / О.О. Соколов, Д.Н. Хомченко, А.С. Куренков, А.С. Космодамианский // Межвузовский сборник научных трудов «Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта» – 2014. – С. 119-122.

10 Иванов, В.Н. Уточнение механизма пробоя изоляции открытых лобовых соединений якорных обмоток тяговых электрических машин [Текст] / В.Н. Иванов, Ю.И. Попов, А.С. Куренков, О.О. Соколов // Межвузовский сборник научных трудов «Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта – 2014. – С. 96-98.

11 Иванов, В.Н. Восстановление изоляции ТЭД локомотивов с использованием инфракрасного излучения [Текст] / В.Н. Иванов, Ю.И. Попов, А.С. Куренков, О.О. Соколов // Межвузовский сборник научных трудов «Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта» – 2014. – С. 89-92.

12 Иванов, В.Н. Математическая модель кинетики нагревания пропитанной изоляции в технологии восстановления ОЛС [Текст] / В.Н. Иванов, Ю.И. Попов, А.С. Куренков, О.О. Соколов // Межвузовский сборник научных трудов

«Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта» – 2014. – С. 92-95.

13 Попов, Ю.И. Влияние затягивания меди на надежность ТЭД [Текст] / Ю.И. Попов, О.О. Соколов, А.С. Куренков, С.И. Баташов. // Межвузовский сборник научных трудов «Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта» – 2014. – С. 111-115.

14 Попов, Ю.И. Особенности возникновения круговых огней на коллекторах ТЭМ электровозов [Текст] / Ю.И. Попов, О.О. Соколов, А.С. Куренков, Д.Н. Хомченко. // Межвузовский сборник научных трудов «Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта» – 2014. – С. 102-104.

15 Попов, Ю.И. Вероятность возникновения кругового огня на электровозах ВЛ85 [Текст] / Ю.И. Попов, О.О. Соколов, А.С. Куренков, А.С. Космодамианский // Межвузовский сборник научных трудов «Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта» – 2014. – С. 107-111.

16 Куренков, А.С. Определение интенсивности теплового старения изоляции приводного вентилятора электровоза [Текст] / А.С. Куренков, Ю.И. Попов, О.О. Соколов, В.П. Смирнов, А.С. Космодамианский, С.И. Баташов // Вопросы электротехнологии – 2014. – №1. – С. 78-82.

17 Попов, Ю.И. Расчет теплового старения изоляции тяговых электродвигателей электровозов [Текст] / Ю.И. Попов, А.С. Куренков, О.О. Соколов, В.П. Смирнов, А.С. Космодамианский, С.И. Баташов // Вопросы электротехнологии – 2014. – №1. – С. 82-86.

18 Смирнов, В.П. Совершенствование конструкции и технологии эксплуатации асинхронных вспомогательных машин современных электровозов переменного тока [Текст] / В.П. Смирнов, А.С. Куренков, Д.И. Бодриков, Т.Н. Фадейкин // Сборник трудов по результатам международной интернет-конференции (21-22 марта 2019 года) «Современные проблемы железнодорожного транспорта» Том 1. под общей редакцией д.т.н. проф. К.А. Сергеева. Москва ФГАОУ ВО РУТ(МИИТ), РУТ(МИИТ) – 2019. – С.166-172.

19 Смирнов, В.П. Состояние изоляции тяговых электрических машин электровозов переменного тока [Текст] / В.П. Смирнов, А.С. Куренков, Д.И. Бодриков, Т.Н. Фадейкин // Сборник трудов по результатам международной интернет-конференции (21-22 марта 2019 года) «Современные проблемы железнодорожного транспорта» Том 1. под общей редакцией д.т.н. проф. К.А. Сергеева. Москва ФГАОУ ВО РУТ(МИИТ), РУТ(МИИТ) – 2019. – С.172-177.

20 Смирнов, В.П. Способы определения состояния изоляции тяговых электрических машин. [Текст] / В.П. Смирнов, А.С. Куренков, Д.И. Бодриков, Т.Н.

Фадеекин // Сборник трудов по результатам международной интернет-конференции (21-22 марта 2019 года) «Современные проблемы железнодорожного транспорта» Том 1. под общей редакцией д.т.н. проф. К.А. Сергеева. Москва ФГАОУ ВО РУТ(МИИТ), РУТ(МИИТ) – 2019. – С.178-184.

21 Куренков, А.С. Особенности работы асинхронных вспомогательных машин электровозов переменного тока [Текст] / А.С. Куренков, Д.И. Бодриков, А.С. Космодамианский, В.П. Смирнов // Сборник трудов научно-практической конференции с международным участием. (20-21 октября 2021 года) «Инновационные технологии на железнодорожном транспорте» – 2022. – С.201-205.

22 Куренков, А.С. Режимы эксплуатации подшипников асинхронных вспомогательных машин электровозов [Текст] / А.С. Куренков, Д.И. Бодриков, А.С. Космодамианский, В.П. Смирнов // Сборник трудов научно-практической конференции с международным участием. (20-21 октября 2021 года) «Инновационные технологии на железнодорожном транспорте» – 2022. – С.206-209.

**Куренков Алексей Семенович**

**КОМПЛЕКСНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ОБСЛУЖИВАНИЯ  
АСИНХРОННЫХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАШИН ТЯГОВЫХ  
ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

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

Автореферат диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

---

Подписано в печать \_\_\_\_ \_\_\_\_ 2023 г.  
Усл. печ. л. 1,5

Формат 60x90/16  
Заказ №

Тираж 80 экз.

---

127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9