

УТВЕРЖДАЮ:



И.о. проректора по научной работе
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»»,
доктор техн.наук

И.И. Комаров

«28» февраля 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу **Жуковского Юрия Леонидовича** на тему «Теория, методы и средства обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации электромеханического оборудования в электротехнических комплексах горных и нефтегазовых предприятий на основе цифровых технологий», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы.

На отзыв представлена диссертация, состоящая из 2 томов, 526 страниц машинописного текста, 204 рисунков, 77 таблиц, списка литературы из 341 наименования и автореферата, изложенного на 40 страницах машинописного текста, в составе которого 17 рисунков и 2 таблицы.

1. Актуальность темы диссертационной работы

Для горных и нефтегазовых предприятий (ГиНГП) в текущих условиях крайне актуальными являются задачи обеспечения безопасной и эффективной работы как технологического, так и энергетического оборудования в комплексе для повышения ключевых показателей эффективности и устойчивости предприятий. При этом освоение перспективных месторождений, в том числе на территориях, удаленных от централизованных источников энергообеспечения, эксплуатация оборудования в тяжелых климатических условиях, сопряженных с нестационарными режимами работы, приводят к ускоренному износу и внеплановым простоям. Электромеханическое оборудование (ЭМО) составляет основу большинства технологических процессов на ГиНГП, нарушение его режимов работы приводит к комплексным авариям. В условиях развития цифрового горного и нефтегазового производств, основанных на цифровом представлении данных, ЭМО становится звеном для формирования методологических подходов создания «цифровых двойников» для управления экологичностью, энергоэффективностью и

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-37 от 11.03.24 1
АУ УС

электротехнических комплексов как в оперативном, так и в стратегическом масштабе.

Таким образом, диссертационная работа Жуковского Юрия Леонидовича, посвященная развитию цифровых технологий для повышения безопасности и эффективности эксплуатации электромеханического оборудования, является актуальной.

2. Научная новизна диссертации

Результаты работы являются развитием теории и методов диагностики, безопасной и эффективной эксплуатации электромеханического оборудования, функционирующего в тяжелых условиях и режимах работы на основе комплексного применения цифровых технологий, что создает методическую основу для формирования технических воздействий на ЭМО в структуре электротехнических комплексов, проектирования систем диагностического мониторинга и архитектуры цифровых двойников для развития интеллектуальных систем электроснабжения. Автором обоснована структура и методология функционирования цифрового двойника процесса управления техническими воздействиями на жизненном цикле эксплуатации ЭМО в составе ЭТК ГиНГП, отличающаяся учетом дополнительных потерь электроэнергии и воздействия на окружающую среду обусловленных наличием дефектов ЭМО.

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Целью работы является обеспечение безопасной и эффективной эксплуатации электромеханического оборудования в электротехнических комплексах горных и нефтегазовых предприятий на основе управления его техническим состоянием. В диссертации использован комплексный метод исследования, включающий анализ и обобщение научно-технической и патентной информации, статистических методов обработки данных, спектрального анализа, интеллектуальных алгоритмов разложения временных рядов, машинного обучения, нейронные сети, методы численного и имитационного моделирования.

Апробация ряда алгоритмов выполнена на физическом оборудовании лаборатории «интеллектуального управления и энергообеспечения» Образовательного центра цифровых технологий Санкт-Петербургского горного университета.

Представленные в диссертации выводы и технические рекомендации обоснованы и не противоречат результатам ранее выполненным

исследований в области диагностирования электромеханического оборудования. Разработанные автором теоретические положения, а также методические и практические рекомендации являются результатом самостоятельного исследования.

Достоверность полученных автором результатов подтверждается достаточным объемом экспериментальных исследований. Теоретические исследования построены на известных моделях, проверяемых данных и согласуются с опубликованными результатами в области применения интеллектуальных алгоритмов для диагностики, оценки и прогнозирования технического состояния электромеханического оборудования.

4. Научные результаты, их ценность

К основным научным результатам полученным в работе следует отнести:

выявленные закономерности изменения показателей эффективности работы электромеханического оборудования от вида и степени повреждения, установленное влияние роста потерь электрической энергии на сокращение срока службы электромеханического оборудования в составе электротехнических комплексов ГиНПП;

предложенные комплексные диагностические признаки, позволяющие отслеживать и прогнозировать динамику изменения остаточного ресурса ЭМО при различных параметрах, переменных режимах работы и флуктуации внешних и эксплуатационных факторов ЭТК ГиНПП, на основе интеграции информации об эталонных состояниях, а также диагностических признаков, извлекаемых из электрических сигналов без остановки технологического процесса;

комплекс алгоритмов обработки эксплуатационных данных и диагностических признаков на основе средств искусственного интеллекта для определения вида повреждения и классификации режимов работы ЭМО в ЭТК, позволяющий перейти к предсказательной системе технического обслуживания и ремонта для повышения безопасности и эффективности эксплуатации ЭМО;

комплексная взаимосвязанная структура программных модулей и алгоритмы их функционирования в составе распределенной системы управления жизненным циклом эксплуатации ЭМО с учетом классификации первичной информации, ранжирования сценариев обмена данными, уровня тяжести последствий аварий и цифровизации ЭТК ГиНПП.

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены 52 печатных работы, в том числе 11 статей в рецензируемых

научных изданиях (по специальности 2.4.2 Электротехнические комплексы и системы) из перечня ВАК Министерства науки и высшего образования РФ на соискание ученой степени доктора наук, 27 статей в рецензируемых изданиях, индексируемых в международной наукометрической базе данных и системе цитирования *Scopus*. Соискатель является автором 8 патентов, получил 4 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Выводы и результаты представленной на рассмотрение диссертационной работы имеют высокую научную и практическую ценность. Использование полученных в диссертации результатов и рекомендаций будет способствовать повышению безопасной и эффективной эксплуатации ЭМО.

К основным теоретическим и практическим результатам можно отнести: технические решения и алгоритмы, повышающие достоверность выявления дефектов, что повышает эффективность процедуры технической диагностики применительно к ЭМО;

алгоритмическое и программное обеспечение для выявления вида и уровня дефектов, предназначенное именно для электромеханического оборудования ЭТК ГиНГП;

архитектуры построения цифровых двойников для интеграции в интеллектуальные ЭТК с целью управления энергоэффективностью и экологичностью на протяжении жизненного цикла эксплуатации ЭМО.

Полученные автором результаты исследования используются рядом компаний и признаны существенными для развития топливно-энергетического комплекса России Научно-техническим советом угольной промышленности Министерства энергетики РФ (протокол № 12-130-пр от 19.12.2023).

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты работы могут быть использованы предприятиями топливно-энергетического и минерально-сырьевого комплексов при обслуживании и ремонте техники и оборудования для определения потерь и эквивалента вредных выбросов, обусловленных техническим состоянием для управления техническим обслуживанием и ремонтом, в частности, изменения межремонтных периодов. Разработанная в диссертационной работе структура распределённой системы управления жизненным циклом эксплуатации, а также методология диагностики и оценки остаточного ресурса

электромеханического оборудования по электрическим параметрам включая комплекс алгоритмов позволяет перейти к предсказательной системе технического обслуживания и ремонта, может быть принята к применению при проектировании строящихся электротехнических комплексов горных и нефтегазовых предприятий, а также при модернизации и реконструкции действующих.

7. Замечания и вопросы по работе

1. Диссертационная работа, представленная к рассмотрению, содержит 2 тома (526 страниц машинописного текста), считаем, что количество представленной информации избыточно и текст диссертации мог быть сокращен.

2. При раскрытии актуальности работы автор указывает, что *«на долю электромеханической нагрузки приходится до 70% потребляемой электроэнергии ГИНПП»*, при этом, в тексте работы не дается пояснений, как получена эта цифра? В работе не проводится анализ вариации доли электромеханической нагрузки в отдельности при добыче, транспортировке и переработке полезных ископаемых и энергетических ресурсов на горных и нефтегазовых предприятиях. Такой анализ позволил бы более точно выделить роль электромеханического оборудования в технологических процессах.

3. В качестве объекта исследования рассматривается электромеханическое оборудование, однако в некоторых разделах упор делается на автоматизированном электроприводе, в других на асинхронном и других электрических двигателях. Конкретного определения, что считать электромеханическим оборудованием в тексте диссертации нет, следует пояснить границы различий или эквивалентность между понятиями автоматизированного электропривода и электромеханического оборудования.

4. Некоторая статистическая информация, в том числе в графической форме, требует обновления, например, на рисунке 1.1.2. приведены данные по оценке состояния основных фондов Российской Федерации только до 2017 года, что является уже устаревшей информацией.

5. Во второй главе автором рассматриваются в качестве источника диагностической информации спектры сигналов мгновенной мощности оборудования, однако в самом тексте диссертации не приведены примеры графического изображения спектров мощности, что усложняет восприятие информации.

6. В третьей главе представлены алгоритмы, построенные на обучении нейронных сетей различных видов, однако не совсем ясно, по каким метрикам оценивалось качество полученных на их базе моделей.

7. Автором не поясняется объем экспериментальных данных для алгоритма работы программного датчика обнаружения повреждения подшипника, для которого классификатор был обучен с использованием трех методов: дерева решений, машины опорных векторов и K-ближайших соседей, поэтому остается не понятным, случайны ли результаты экспериментов. Вызывает опасения, что полученная высокая точность модели (98%) не будет получена в реальном производстве при изменяющихся условиях, следует пояснить эти замечания.

8. В 3 главе предлагается алгоритм обнаружения повреждений на ранней стадии методом сингулярного разложения тока статора (SSA), однако известным недостатком этого алгоритма является его вычислительная сложность, при этом сравнения с традиционными подходами, например использованием быстрого преобразования Фурье (БПФ) автором в количественном выражении не приведено. Следует пояснить, в чем преимущества данного подхода и его роль в случае комбинации с алгоритмами обнаружения на основе искусственных нейронных сетей.

Замечания по работе соискателя Жуковского Ю. Л. носят частный характер и не снижают значимости полученных автором научных и практических результатов.

8. Заключение

Диссертационная работа **Жуковского Юрия Леонидовича** на тему «Теория, методы и средства обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации электромеханического оборудования в электротехнических комплексах горных и нефтегазовых предприятий на основе цифровых технологий» представленная на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор **Жуковский Юрий Леонидович** заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы.

Отзыв ведущей организации по диссертации **Жуковского Ю. Л.** обсуждён и утверждён на заседании кафедры Электроснабжения

промышленных предприятий и электротехнологий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (протокол № 9 от 08.02.2024).

Заведующий кафедрой
электроснабжения промышленных
предприятий и электротехнологий
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»,
канд. техн. наук

Цырук
Сергей Александрович

Профессор кафедры
электроснабжения промышленных
предприятий и электротехнологий
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»,
доктор техн. наук

Янченко
Сергей Александрович

Людмила Владимировна



ЗАМЕСТИТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА
УПРАВЛЕНИЯ ПО РАБОТЕ С ЛС
Л.И.ПОЛЕВАН

111250, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Лефортово, ул.
Красноказарменная, д. 14, стр. 1.
Тел./факс: +7 495 362-70-01
E-mail: universe@mpei.ac.ru.