

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, доцента
Шишлянникова Дмитрия Игоревича на диссертацию
Жуковского Юрия Леонидовича «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 рукопись и автореферат диссертации. Диссертация состоит из двух томов, включающих введение, пять глав, заключение, библиографический список, список сокращений и условных обозначений, три приложения. Содержит 526 страниц машинописного текста, 204 рисунка, 77 таблиц, список литературы из 341 наименования. Содержание автореферата изложено на 40 страницах машинописного текста, в составе которого 17 рисунков и 2 таблицы.

1. Актуальность темы диссертационной работы

Для горных и нефтегазовых предприятий актуальными остаются задачи обеспечения надежной и эффективной работы технологического оборудования, снижения затрат на его эксплуатацию, обслуживание и ремонт. Недостаточная точность оценки ресурса деталей и узлов электромеханического оборудования, сложность и трудоёмкость диагностирования обуславливает возникновение аварийных отказов, устранение которых сопровождается длительными простоями. Комплексное решение задач повышения эффективности использования технологических установок в горной и нефтегазовой отраслях возможно посредством разработки и внедрения автоматизированных систем контроля эксплуатационных параметров и оценки технического состояния

оборудования. В комплект таких систем должны входить методики анализа регистрируемых данных, научно-обоснованные диагностические параметры, алгоритмы предотвращения аварийных ситуаций, оповещения о недопустимом развитии событий с выдачей необходимых, соответствующих конкретной ситуации действий, технических решений или рекомендаций.

Разработка научной методологии обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации электромеханического оборудования горных и нефтегазовых предприятий возможна посредством комплексного использования цифровых технологий, включающих создание цифровых двойников объектов, использование нейронных сетей для анализа больших объемов эксплуатационных данных и диагностической информации.

В связи с указанным, тема диссертации Жуковского Юрия Леонидовича «Теория, методы и средства обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации электромеханического оборудования в электротехнических комплексах горных и нефтегазовых предприятий на основе цифровых технологий» является актуальной, представляет научный и практический интерес.

2. Научная новизна работы

Выводы и рекомендации, полученные в диссертации, обоснованы и достоверны, так как они базируются на результатах известных работ ведущих отечественных и зарубежных ученых в области эксплуатации, ремонта и технического обслуживания горного и нефтегазового оборудования, а также на представительных результатах выполненных автором исследований.

Новизна научных выводов и рекомендаций заключается в разработке методологии выполнения диагностирования и оценки остаточного ресурса электромеханического оборудования без остановки и вывода из эксплуатации на основе многофакторного анализа его эксплуатационных параметров. Автором определены комплексные диагностические признаки,

позволяющие отслеживать и прогнозировать динамику изменения остаточного ресурса электромеханического оборудования горных и нефтегазовых производств. Обоснована комплексная взаимосвязанная структура программных модулей и разработаны алгоритмы их функционирования в составе распределенной системы управления жизненным циклом электромеханического оборудования с учетом классификации первичной информации, ранжирования сценариев обмена данными, уровня тяжести последствий аварий и цифровизации электротехнических комплексов горных и нефтегазовых предприятий.

3. Практическая значимость диссертационной работы

Значение полученных автором результатов исследований для практики подтверждается следующим:

- предложены технические решения, алгоритмы и программные продукты, обеспечивающие достоверное выявление дефектов электромеханического оборудования горных и нефтегазовых предприятий;
- разработана методика выбора структуры алгоритмов, применяемых для получения диагностической информации и прогнозирования развития дефектов в системе управления жизненным циклом эксплуатации электромеханического оборудования;
- разработаны архитектуры построения цифровых двойников для интеграции в интеллектуальные электротехнические комплексы с целью управления энергоэффективностью и экологичностью при эксплуатации электромеханического оборудования;
- созданы лабораторные стенды и программное обеспечение, используемые в учебном процессе в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»;

– получены акты внедрения результатов исследования в производственную деятельность горных и нефтегазовых предприятий Российской Федерации.

Результаты исследования признаны существенными для развития топливно-энергетического комплекса России и рекомендованы к использованию Научно-техническим советом угольной промышленности Министерства энергетики РФ (протокол № 12-130-пр от 19.12.2023).

4. Степень обоснованности и достоверности защищаемых положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные результаты, полученные в диссертационном исследовании, сформулированы автором в четырех положениях, выносимых на защиту.

При доказательстве *первого защищаемого положения* автором выполнен анализ существующих методов мониторинга и диагностирования электромеханического оборудования горных и нефтегазовых предприятий. Определены диагностические признаки, характеризующие дефекты механических и электрических частей оборудования, выявляемые при спектральном анализе сигналов токов, напряжений и мощностей приводных электродвигателей. Показано, что в процессе диагностирования необходимо учитывать влияние параметров питающей энергии на характеристики функционирования электромеханического оборудования и изменение диагностических сигналов при оценке технического состояния объектов.

Использование разработанных автором подходов, методов и рекомендаций проиллюстрировано на примере оценки состояния шаровой мельницы. Показано, что износ футеровки, износ измельчающих тел и изменение физико-механических свойств руды возможно оценить по изменению спектров электромагнитного момента при цифровом моделировании процесса измельчения. При этом алгоритмы моделирования строятся на вычислении нормальной и тангенциальной составляющих сил взаимодействия пар «частица-частица» и «частица-граница объекта

симуляции». Полученные результаты компьютерного моделирования согласуются с результатами стендовых испытаний.

При доказательстве *второго защищаемого положения* автором разработаны алгоритмы определения пороговых значений амплитуд спектра тока, напряжения и мощности при проявлении дефектов электромеханического оборудования. Предложен метод прогнозирования остаточного ресурса и оценки вероятности безотказной работы электромеханического оборудования по электрическим и вибрационным параметрам, анализируемым с использованием нейронных сетей. Разработан алгоритм раннего обнаружения дефектов на основе сингулярного анализа спектра тока асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

Обоснованные автором методы и алгоритмы анализа эксплуатационных данных и диагностической информации позволяют перейти к обслуживанию и ремонту электромеханического оборудования горных и нефтегазовых предприятий по его фактическому техническому состоянию, что обеспечит повышение безопасности, энергоэффективности и рентабельности производства.

При доказательстве *третьего защищаемого положения* автором сформулирована концепция управления жизненным циклом электромеханического оборудования горных и нефтегазовых предприятий на основе цифровых технологий. Предлагается использовать динамическую стратегию адаптивного управления техническими объектами, целью которой является предупреждение отказов и обеспечение энергетической и экологической эффективности использования электромеханического оборудования.

Разработана модель оценки стоимости эксплуатации электромеханического оборудования с учётом режимов его работы, наличия потерь времени на обслуживание, ремонт, выполнения вспомогательных операций и интенсивности возникновения отказов.

При доказательстве *четвертого защищаемого положения* автором рассмотрен комплекс взаимосвязанных программных модулей и алгоритмов, использование которых обеспечивает повышение надежности, энергоэффективности и рентабельности использования электромеханического оборудования горных и нефтегазовых предприятий. Указанный комплекс программных модулей образует цифровой двойник процесса управления технологическим объектом.

На основе лабораторных испытаний доказана эффективность применения средств дополненной реальности в составе системы технического сервиса электромеханического оборудования: повышается безопасность выполнения работ по обслуживанию и ремонту оборудования, снижаются материальные и временные затраты.

Все защищаемые положения, сформулированные в диссертационной работе, соответствуют названию диссертации и цели исследования, являются обоснованными и опираются на результаты выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований. Полученные в работе результаты являются новыми и могут быть использованы при решении задач обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации электромеханического оборудования в электротехнических комплексах горных и нефтегазовых предприятий.

5. Общая оценка содержания диссертации

Жуковский Юрий Леонидович выполнил работу на актуальную тему, подтвердил широкий кругозор, хорошее знание проблемы, выполнил значительный объем теоретических и экспериментальных исследований. Диссертация и автореферат написаны грамотно, материал изложен последовательно и логично. Содержание автореферата соответствует основным идеям и выводам диссертации. На все используемые литературные источники имеются ссылки.

В диссертации приведено достаточное количество иллюстративного материала, такого как рисунки, таблицы, графики, что обеспечивает наиболее полное понимание изложенной информации.

Основные положения работы докладывались на международных конференциях и симпозиумах. По результатам выполненных исследований по теме диссертации опубликовано 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.

В период работы над диссертацией Жуковским Юрием Леонидовичем подготовлено два кандидата технических наук по специальности 2.4.2 Электротехнические комплексы и системы.

6. Замечания по диссертационной работе

1. Замечания к оформлению рукописи диссертации. Автор чрезмерно часто использует аббревиатуры. Нумерация рисунков и таблиц собственная в пределах каждого пункта и даже подпункта. Вполне достаточно было бы использовать собственную нумерацию рисунков и таблиц в пределах каждой главы. Указанное затрудняет восприятие информации. Объем рукописи составляет 526 страниц машинописного текста, что явно избыточно.

2. Замечание методологического характера. Цель и задачи исследования должны формулироваться по результатам обзора и анализа известной информации по теме исследования, которые выполняются в первой главе. Понятно, что пункты «Цель работы» и «Задачи исследования» приведены в общей характеристике работы. Но их следует продублировать после выводов, полученных в первой главе диссертации. Необходимо таким

образом показать, что цель и задачи исследования логично следуют из результатов анализа научно-технической информации, выполненного в первой главе.

3. В пункте «научная новизна работы» указывается, что в ходе выполнения исследования *«выявлены закономерности изменения показателей эффективности работы электромеханического оборудования от вида и степени повреждения»*. Следует пояснить, о каких показателях идет речь? Какие критерии эффективности работы электромеханического оборудования использует автор?

4. В пункте «теоретическая и практическая значимость работы» указывается, что автором *«предложены технические решения и алгоритмы, повышающие достоверность выявления дефектов, что повышает эффективность процедуры технической диагностики применительно к электромеханическому оборудованию»*. Следует пояснить, каким образом количественно оценено повышение достоверности выявления дефектов на основе предлагаемых автором подходов в сравнении с традиционно используемыми методами диагностирования горного и нефтегазового оборудования?

5. При формулировании второго защищаемого положения использован термин «предсказательная система обслуживания и ремонта». Указанное является не корректным переводом термина «предиктивное (то есть прогнозное) техническое обслуживание». Согласно действующему ГОСТ 18322-2016 «Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения», в данном случае необходимо использовать термин «ремонт по техническому состоянию». Указанный выше ГОСТ в списке используемой литературы не приводится.

6. Для оценки остаточного ресурса электромеханического оборудования в исследовании автором применяется величина энергоресурса. Обоснованность такого подхода показана М. Д. Коломийцовым. Однако в

списке используемой литературы дана лишь одна ссылка на работу указанного ученого. Нет ссылок на работы Ю. Д. Красникова, В. В. Габова.

7. Автором разработан метод диагностирования горного и нефтегазового оборудования на основе анализа электрических параметров приводных двигателей. Применение предложенного метода на практике описано при выполнении оценки технического состояния шаровой мельницы (стр. 18 автореферата; стр. 160-178 рукописи диссертации). Следует пояснить, чем предложенные автором методические подходы отличаются от известных из технической литературы. Например, от изложенных в работе А. В. Баркова и др. «Методика диагностирования механизмов с электроприводом по потребляемому току»?

7. Заключение

Диссертация **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» является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная проблема разработки методологии обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации электромеханического оборудования в структуре электротехнических комплексов на основе применения цифровых технологий, что вносит значительный вклад в развитие горных и нефтегазовых предприятий и имеет высокую значимость для промышленности России.

Диссертация выполнена автором самостоятельно на высоком научном уровне. Цель и задачи исследования соответствуют уровню диссертации на соискание степени доктора наук. Полученные результаты достоверны и обоснованны. Приведенные в настоящем отзыве замечания не снижают научной и практической ценности диссертации.

