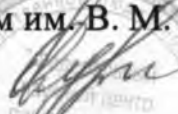


УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН
д.т.н.  Кузнецова О.А.

« _____ » 2022 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» Российской Академии Наук на диссертационную работу Яблокова Александра Евгеньевича на тему: «Научно-практические основы создания автоматизированных систем технического мониторинга и диагностики оборудования зерноперерабатывающих предприятий на базе нейросетевых методов анализа данных», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 — Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Общая характеристика работы

Научная работа на тему «Научно-практические основы создания автоматизированных систем технического мониторинга и диагностики оборудования зерноперерабатывающих предприятий на базе нейросетевых методов анализа данных» выполнена в ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств» (МГУПП) канд. техн. наук, доц. каф. «Прикладная механика и инжиниринг технических» (ПМиИТС) Яблоковым Александром Евгеньевичем. Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка используемой литературы (212 источников) и 24-х приложений. Работа изложена на 377 страницах машинописного текста, в т.ч. 330 страниц основного текста, содержит 177 рисунков, 31 таблицу, семь актов внедрения научно-исследовательских работ. По формальным признакам работа соответствует требованиям ВАК РФ по оформлению докторских диссертаций.

Содержание автореферата соответствует предъявляемым требованиям и достаточно полно отражает основные положения и научные результаты диссертации, выносимые на защиту.

Актуальность темы исследований

Актуальными задачами зерноперерабатывающей отрасли являются обеспечение пожарной и взрывопожарной безопасности производств, повышение функциональной надежности оборудования, снижение затрат на его техническое обслуживание. Отечественный и мировой опыт эксплуатации промышленных объектов свидетельствует о том, что использование на предприятиях автоматизированных систем непрерывного мониторинга

технического состояния оборудования повышает безопасность производства, способствует предупреждению отказов и поломок машин, позволяет прогнозировать изменения технического состояния и более полно использовать ресурс машин. Системы диагностики промышленного оборудования имеют свои специфические особенности и нуждаются в нестандартных методологических подходах и технических решениях по автоматизации процедур сбора, обработки и анализа диагностической информации, определению фактического технического состояния объекта контроля и предоставлению информации конечным пользователям системы. Такие системы, как правило, узкоспециализированы, разрабатываются под конкретное оборудование с учетом его конструкции и особенностей функционирования. Главным недостатком существующих систем технического диагностирования является низкий уровень автоматизации процедур диагностирования.

В настоящее время не существует отечественных системы технического мониторинга и диагностики оборудования зерноперерабатывающих предприятий, а адаптация диагностических систем из смежных отраслей промышленности не представляется возможной по причине их высокой стоимости и сложности в эксплуатации.

Целью диссертационной работы Яблокова А.Е. является повышение безопасности производства, эксплуатационной надежности и эффективности технологического оборудования зерноперерабатывающих предприятий путем научного обоснования и разработки автоматизированной системы мониторинга и диагностики оборудования с использованием современных программно-аппаратных средств сбора и обработки диагностической информации, поступающей с различных датчиков физических величин, а также интеллектуальных методов анализа данных на базе технологий искусственных нейронных сетей.

В этой связи тема диссертационной работы – «Научно-практические основы создания автоматизированных систем технического мониторинга и диагностики оборудования зерноперерабатывающих предприятий на базе нейросетевых методов анализа данных» является актуальной.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, семи глав, выводов, заключения, списка используемых сокращений, списка используемой литературы и 24 приложений.

Во введении обоснована актуальность темы исследований, сформулированы цель, научная новизна и практическая значимость работы, поставлены задачи исследований, приводится описание методов и средств исследования, дана общая характеристика работы.

В первой главе проведен анализ состояния вопроса мониторинга и технического диагностирования оборудования зерноперерабатывающих предприятий. В результате анализа причин пожаров и взрывов на предприятиях отрасли установлено, что наиболее распространенной причиной возгорания

является неисправное оборудование. Эффективным инструментом снижения вероятности отказов является технический мониторинг оборудования.

Проанализированы машинно-аппаратурные схемы мукомольных, крупяных, комбикормовых производств. Отмечено, что на предприятиях в основном используются технологические машины роторного типа, которые состоят из станины, электродвигателя, механической передачи и рабочих органов различной конфигурации. Рабочие органы машин совершают преимущественно вращательные движения. Рассмотрены типовые неисправности оборудования.

Автор отмечает, что резервы повышения надежности и экономической эффективности производства лежат в области совершенствования методов, средств и стратегий технического обслуживания оборудования. Наиболее совершенным подходом к техническому обслуживанию является концепция обслуживания по фактическому состоянию с привлечением методов и средств технического диагностирования.

В рамках обзора методов и средства технической диагностики проанализирована методология определения технического состояния оборудования путем измерения, анализа и контроля характеристик диагностических параметров — физических величин, сопровождающих работу машин. Отмечено, что наиболее универсальными и информационно-емкими диагностическими параметрами являются виброакустический сигнал, сигналы с датчиков тока и температуры. Анализ существующих средств технической диагностики показал невозможность их применения в зерноперерабатывающей отрасли. В этой связи была поставлена задача создания автоматизированной системы технического мониторинга и диагностики оборудования на базе современных электронных компонентов и методов обработки данных с использованием интеллектуальных методов анализа информации.

В конце главы сделаны выводы, сформулированы задачи исследований.

Во второй главе проведен системный анализ методов повышения информативности диагностических признаков путем дополнительной математической обработки диагностических сигналов; классификации и анализа информации; информационных технологий с точки зрения возможности их использования при разработке автоматизированной системы диагностики.

Показано, что кроме традиционного метода повышения информативности виброакустических сигналов путем перевода его из временного представления в частотное с помощью операции БПФ перспективным является метод представления вибрации в частотно-временной области в виде изображений спектрограмм или вейвлет-скалограмм. Такое представление дает больше информации о медленноменяющихся процессах в механизмах при возникновении неисправности. Однако сложность применения такого метода заключается в нерешённой проблеме классификации состояний по изображениям.

Снижение затрат на инфраструктуру системы мониторинга автор связывает с

использованием современной микропроцессорной техники, акселерометров с технологией MEMS, технологиями промышленного интернета вещей IoT, беспроводной передачи данных, облачных технологий обработки и хранения информации.

В третьей главе приводятся результаты практических исследований по изучению взаимосвязей между диагностическими признаками неисправностей технологических машин и показателями эффективности технологических процессов. Исследования проведены для вальцовых станков, молотковых дробилок, шелушителей.

Изучено влияние различных конструктивных отклонений вальцового станка на стабильность величины рабочего зазора. Установлено, что дисбаланс вальцов, нарушение межосевого расстояния зубчатой межвальцовой передачи приводит к уменьшению извлечения муки на 2–11%, увеличению зольности продукта на 0,02–0,04%.

Исследовано влияние износа молотков дробилки на количественные показатели процесса измельчения, а также на гранулометрический состав смеси. Установлено, что износ молотков приводит к заметному снижению производительности. Результаты исследований обработаны в системе MATLAB статистическими методами и представлены в виде уравнений квадратичной регрессии. При износе молотков наблюдается повышение удельных энергозатрат на 6%, увеличение содержания мелкой фракции в измельченном продукте.

В четвертой главе сформулирована задача диагностического моделирования – определение зависимостей между вектором дефектов механической системы и вектором диагностических признаков. Одним из методов установки соответствия между этими векторами является постановка натуральных экспериментов с использованием исправных и дефектных объектов диагностирования. С целью сокращения объема экспериментальных исследований в работе использован метод диагностического моделирования дефектов, при котором физическая интерпретация связи пространства состояния объекта с пространством диагностических признаков устанавливается с помощью математической диагностической модели объекта.

В результате анализа конструкций технологических машин зерноперерабатывающих предприятий автором выделены четыре типовые схемы компоновки рабочих органов, согласно которым разработаны диагностические модели в виде систем дифференциальных уравнений динамики. С использованием математических моделей проведено компьютерное моделирование работы исправных и неисправных машин. Численное решение систем дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутты реализовано в системе MATLAB путем написания соответствующих скриптов. Проведены вычислительные эксперименты по моделированию работы вентилятора ВЦП-8, молотковой дробилки А1-ДМР, обоечной машины РЗ-БГО, вальцового станка А1-БЗН.

Результаты расчета представлены в виде спектров, спектрограмм и вейвлет-скалограмм колебаний рабочих органов. В результате анализа результатов математического моделирования на ПК работы исправных и неисправных машин установлены детерминированные зависимости между дефектами оборудования и их диагностическими признаками. Это позволило глубже изучить динамические процессы, происходящие в машинах при их технической деградации и спроектировать диагностические признаки дефектов.

Пятая глава посвящена практическим исследованиям эффективности применения нейросетевых методов анализа данных в задаче классификации технических состояний объекта.

С целью исследования методов классификации состояний с применением ИНС на кафедре «ПМиИТС» ФГБОУ ВО «МГУПП» был разработан и создан экспериментальный стенд для натурального моделирования различных механических дефектов технологических машин и исследования зависимостей между механическими дефектами узлов (деталей) и их диагностическими признаками (параметрами вибрации, излучаемого шума, потребляемого тока).

Для снятия с машины диагностической информации использовались промышленные датчики и аналого-цифровой преобразователь. Обработка цифрового сигнала методами ЦОС (масштабирование, цифровая фильтрация сигнала, выделение огибающей, БПФ, вейвлет-преобразование, расчет СКЗ и пр.) осуществлялась в пакете MATLAB 2020a с помощью специально разработанного скрипта.

Проведен большой объем экспериментальных исследований по натуральному моделированию различных неисправностей зубчатой, ременной передач, подшипников качения. В качестве диагностических параметров использовались сигналы с датчиков вибрации, тока, звука.

При решении задачи классификации технического состояния с помощью ИНС прямого распространения в качестве входных признаков использованы вектора амплитуд спектров сигналов. В исследованиях использованы ИНС различных архитектур и алгоритмов обучения. Сравнительный анализ результатов исследований позволил определить оптимальную архитектуру ИНС.

Классификация технических состояний механизмов по изображениям спектрограмм и скалограмм сигналов с датчиков вибрации, тока, звука проводилась с использованием глубоких искусственных нейронных сетей сверточного типа (СНС). Для этого был написан скрипт в пакете MATLAB. Автором разработана собственная архитектура СНС, которая имеет хорошую обобщающую способность.

Практические исследования показали высокую эффективность (более 90% правильных результатов) применения нейросетевых классификаторов. Результаты исследований обобщены и представлены в виде таблиц.

Для оценки ресурса оборудования автором выбран экстраполяционный метод прогнозирования, основанный на анализе тренда параметров технического состояния исследуемого объекта. Для отработки методики

прогнозирования проведена серия математических экспериментов на модельных данных. Проведен сравнительный анализ результатов использования различных моделей регрессии на основе ИНС различных архитектур. Наилучшую обобщающую способность показала ИНС сеть прямого распространения (5 слоев с архитектурой промежуточных 1+2+4+16 нейронов и алгоритм обучения – Левенберга–Марквардта).

Разработана методика комплектной оценки технического состояния объекта контроля с использованием результатов классификации специализированных ИНС и дополнительной информации о работе оборудования (температура, потребляемый ток, время наработки) путем создания ИНС верхнего уровня диагностики (супервизора). Математические эксперименты проведены с ИНС различных архитектур. Наилучшие результаты (99,8% правильных ответов по всей совокупности классов и данных) показала сеть с одним скрытым слоем из 10 нейронов, алгоритм обучения — Байесова регуляризация.

В шестой главе приводятся результаты практической реализации научных исследований. Приводится описание и технические характеристики разработанной автором аппаратуры для сбора и анализа диагностической информации – первичного прибора сбора и анализа данных СТМ-12Т и микропроцессорного комбинированного датчика вибрации и температуры ДВТ-8g. Представлена структура меню прибора, описаны функции программ микроконтроллеров прибора и ДВТ, структура БД, протоколы обмена информацией между прибором и БД, приводится описание интерфейса удаленного рабочего места пользователя системы мониторинга.

Разработана концепция распределенной online-системы мониторинга, согласно которой технологическое оборудование снабжается стационарными датчиками и приборами непрерывного мониторинга, диагностики и прогнозирования изменения технического состояния оборудования с использованием встроенного в прибор нейросетевого классификатора технических состояний. Данные с приборов (информация с датчиков и результаты оперативной диагностики) в режиме online передаются на сервер в БД, где специалисты осуществляют их углубленный анализ с применением технологий ИНС, проводят дополнительное обучение и корректировку архитектур ИНС с последующей генерацией программного кода и удаленное обновление ПО стационарных приборов. Доступ пользователей к информации из БД обеспечивается через сеть Internet посредством веб-интерфейса. При этом используются облачные сервисы, а настройкой и поддержанием системы занимается специализированная организация.

В седьмой главе представлены результаты апробации созданного прототипа системы СТМ-12Т на зерноперерабатывающем оборудовании, установленном на кафедре «ПМиИТС» (ФГБОУ ВО «МГУПП»). Проведена серия экспериментов по натурному моделированию различных неисправностей машин мукомольного производства: энтолейтора, деташера, вальцового станка.

Созданный программно-аппаратный комплекс показал хорошую воспроизводимость результатов измерений. Задача автоматической классификации технических состояния машин по измеренным параметрам решена путем использования ИНС. В качестве входных признаков полностью связанной сети использовались амплитуды спектров вибрации, тока, звука. Диагностическое обследование технологических машин показало, что наиболее информативным параметром является вибрация.

Хорошие результаты классификации состояний вальцового станка марки А1-БЗН по спектрограммам и вейвлет-скалограммам показали сверточные нейронные сети. Точность классификации по вейвлет-скалограммам виброускорения составила более 97%.

В конце каждой главы приводятся выводы по разделу.

В конце диссертации приводятся **общие выводы** по работе.

В приложениях приводятся акты о внедрении результатов научной работы на производстве (Приложения 1-6) и в учебном процессе ФГБОУ ВО «МГУПП» (Приложение 7). Приводится листинг программ на языке MATLAB диагностического моделирования работы вентилятора (Приложение 8), молотковой дробилки (Приложение 9), вальцового станка (Приложение 10), программа для обработки сигналов, расчета спектрограмм и скалограмм (Приложение 11). Патенты на полезные модели и свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ представлены в приложениях 12–19. Сертификаты и дипломы, подтверждающие участия автора в работе конференций и выставок представлены в приложениях 20–24.

Научная новизна диссертационной работы

Научным результатом работы является развитие теории и практики создания диагностических математических моделей оборудования на базе законов классической механики, позволяющих устанавливать зависимости между отклонениями в работе машин и их диагностическими признаками — параметрами колебаний. Предложена методология разработки автоматизированных систем диагностики технического состояния оборудования зерноперерабатывающих предприятий на основе автоматизации процедур сбора, передачи, хранения и анализа диагностических показателей работы машин с использованием нейросетевых технологий классификации и прогнозирования технического состояния оборудования.

В рамках проведенных научных исследований Яблоковым А.Е. разработаны научно-практические основы в области создания автоматизированных систем технического мониторинга, диагностики и прогнозирования технического состояния оборудования зерноперерабатывающих предприятий на базе систем автоматического сбора и интеллектуального анализа диагностической информации. Наиболее значимые результаты исследований представлены следующими положениями:

- определены зависимости между техническим состоянием технологических машин, диагностическими признаками неисправностей

- и качественными показателями технологических процессов измельчения и шелушения зернового сырья;
- на базе законов классической механики и методов динамического моделирования механических систем разработаны диагностические модели, в результате математического моделирования функционирования технологических машин установлены зависимости между отклонениями в работе оборудования и их диагностическими признаками – параметрами колебаний;
 - разработаны новые методы классификации технических состояний зерноперерабатывающего оборудования по параметрам вибрации, потребляемого тока и излучаемого звука на базе методов нейросетевого анализа диагностических признаков с использованием мелких и глубоких ИНС;
 - разработаны новые методы прогнозирования технического состояния оборудования по трендовым характеристикам диагностических признаков с использованием нейросетевых методов анализа временных рядов;
 - созданы методологические основы и разработан новый класс автоматизированных распределенных систем сбора, обработки (на базе методов ЦОС), интеллектуального анализа (на базе методов ИНС) и удаленного доступа к диагностической информации для решения задач технического мониторинга, диагностики и прогнозирования состояния оборудования зерноперерабатывающих предприятий.

Практическая значимость работы

Практическая значимость результатов диссертации Яблокова А.Е. определяется следующим:

- результаты теоретических и экспериментальных исследований получили практическую реализацию при разработке стационарной системы мониторинга технического состояния молотковой дробилки. Разработка защищена патентом RU 195763 на полезную модель;
- по результатам исследований технологической эффективности работы вальцового станка разработаны и защищены патентами РФ: устройство подачи продукта в вальцовый станок (Патент RU 2135287); привод вальцового станка с пониженным уровнем вибрации (Патент RU 2176549); мукомольный валец повышенной жёсткости (Патент RU 2366506); размольный узел вальцового станка с устройством стабилизации рабочего зазора (Патент RU 148345, система виброизоляции ротора дробилки (Патент RU 150 282);
- разработана автоматизированная система научных исследований методов технической диагностики технологических машин по параметрам вибрации, потребляемого тока и излучаемого звука на базе АЦП Е-440 и комплекса специально разработанных на языке MATLAB программ для автоматизации процедур сбора, цифровой обработки и анализа диагностических сигналов, формирования обучающих и тестовых выборок для обучения ИНС и решения задач классификации

(Свидетельства ПрЭВМ № 2020660665 и № 2020614100), в т.ч. для акустической диагностики оборудования по вейвлет-скалограмме излучаемого звука с использованием свёрточной нейронной сети (Свидетельство ПрЭВМ № 2021661786);

- разработан и создан опытный образец комбинированного датчика вибрации и температуры ДВТ-8g для системы мониторинга; разработаны и получены свидетельства о государственной регистрации (Свидетельство ПрЭВМ № 2020619541) микропрограммы для МК dsPIC30F6012 цифрового датчика ДВТ-8g;
- разработана конструкторская документация и создан опытный образец прибора сбора и первичной обработки диагностической информации СТМ-12Т, который является базовым прибором распределённой системы мониторинга и диагностики;
- разработана, создана и прошла апробацию распределённая система мониторинга и технической диагностики оборудования, которая обеспечивает удалённый сбор, хранение, анализ и отображение диагностической информации с использованием облачных технологий и технологий удалённого доступа посредством сети Internet;
- разработаны архитектуры и обучены на распознавание механических дефектов оборудования ИНС прямого распространения и свёрточного типов;
- результаты исследований используются в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров, обучающихся по направлениям 15.03.02 и 15.04.02 «Технологические машины и оборудование», 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника», 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств при проведении практических занятий и лабораторных работ», а также при выполнении выпускных работ, курсовых проектов и магистерских диссертаций.

Обоснованность и достоверность полученных результатов

Достоверность результатов исследований подтверждается сходимостью и воспроизводимостью теоретических и экспериментальных результатов исследований, применением современных измерительных приборов и оборудования, положительными результатами внедрения разработок на производстве.

В работе использованы теоретические и эмпирические методы исследования. Теоретические методы основаны на принципах системного анализа и математического моделирования, методах машинного обучения и искусственных нейронных сетей, методах математической статистики. Диагностические модели оборудования построены на законах классической механики и представлены в виде систем дифференциальных уравнений динамики, которые получены с помощью уравнений Лагранжа 2-го рода. Компьютерное 3D-моделирование оборудования проводилось в системе SolidWorks, обработка сигналов, статистический анализ данных и

математическое моделирование проводились с использованием пакета MATLAB.

Эмпирические методы реализованы путём проведения натуральных экспериментов на экспериментальных установках и промышленном оборудовании. Измерение физических величин, сопровождающих работу объекта контроля, осуществлялось с помощью промышленных датчиков вибрации, оборотов, тока, измерительного микрофона. В качестве системы сбора и предварительной обработки измеренной информации использовался 24-битный АЦП с прикладным программным обеспечением «LGraph2». Математическая обработка и анализ измеренных диагностических сигналов проводились с применением системы MATLAB.

При создании электронных схем и программного обеспечения разработанного микропроцессорного измерительного прибора диагностики СТМ-12Т использовались программы Proteus, MikroC, Microchip, Microsoft Visual Studio.

Апробация работы

На различных этапах выполнения научной работы результаты исследований и диссертация в целом были доложены и получили одобрение на расширенных заседаниях кафедр «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами», «Прикладная механика и инжиниринг технических систем», «Информатика и вычислительная техника пищевых производств» ФГБОУ ВО «МГУПШ». Основные положения диссертационной работы были доложены и одобрены на всероссийских и международных научно-практических конференциях, в т.ч. на VI Международной НП конференции «Вопросы науки: современные технологии и технический прогресс» (г. Воронеж, 2015 г.), II Международной НП конференции «Фабрика будущего» (г. Москва, 2020 г.), Международной НП конференции «Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса» (г. Пенза, 2021), Международном НТК «Лучший исследовательский проект — 2021» (г. Петрозаводск, 2021), IV Международной НП конференции «Фабрика будущего» (г. Москва, 2022 г.г.) и пр.

Часть диссертационной работы выполнялась в рамках НИР «Разработка интеллектуальной системы технического мониторинга и диагностики оборудования отрасли», выполняемой в рамках конкурса научных грантов ФГБОУ ВО «МГУПШ».

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 109 печатных работ, в т.ч. один учебник, 3 учебно-методических пособия, 3 монографии, 26 статей в журналах, рекомендованных ВАК для публикаций, 22 — в прочих изданиях, опубликовано 48 докладов на научных конференциях, получено 6 патентов на изобретения и полезные модели, 4 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Подтверждение личного вклада соискателя в разработку научной проблемы

Диссертационная работа является обобщением научных исследований, проведенных автором в 2002-2022 гг. Все теоретические и экспериментальные результаты, представленные в диссертационной работе, получены соискателем лично.

При общей положительной оценке выполненной работы необходимо сделать следующие **замечания** по материалам диссертации:

1. В первой главе можно было сократить обзор литературы по общим вопросам технического обслуживания и методам диагностики без ущерба для всей работы;
2. Некоторые рисунки в диссертации (рис. 5.4-5.7, 5.10, 5.11, 5.13, 5.15 и др.) и автореферате (рис. 16, 18, 21) имеют мелкие надписи и плохо читаются;
3. Чем обусловлен выбор метрики (RMSE- среднеквадратическая ошибка) для уравнений регрессии (стр. 132, 138, 139 диссертации)? Почему автор не выбрал в качестве метрики MAE-среднюю абсолютную ошибку, RAE-относительную абсолютную ошибку, RSE-относительный квадрат ошибки?
4. Из текста диссертации не совсем понятно, какому алгоритму обучения ИНС отдается предпочтение (стр. 204 диссертации): 1) сопряженных градиентов; 2) Левенберга-Марквардта; 3) Байесова? И почему? Для каких функций активации были рассмотрены эти алгоритмы? Необходимо также указать объем DataSet обучающей и тестовой выборки, а также количество эпох обучения?
5. Проводилось ли апробация разработанных моделей на производстве? Какое программное обеспечение? сервер с какими техническими характеристиками для этого необходимы?
6. Структуру базы данных STM_DB (рис. 6.17, стр. 276 диссертации) следовало дать в виде логической схемы с отображением принципов связей между таблицами.
7. Автор использует различные пакеты прикладных программ (Matlab, Solidworks и др.), как происходит взаимодействие между программами (передача данных)?
8. Автору следовало провести дополнительные исследования по изучению влияния технологической нагрузки на значения диагностических признаков, и как следствие, на результаты классификации с использованием технологии ИНС;
9. Из материалов работы не понятно, есть ли возможность интегрировать результаты диагностирования в SCADA – систему предприятия;
10. Концепцию распределенной системы мониторинга оборудования следовало дополнить экспертной системой принятия решений;
11. В седьмой главе нужно было привести результаты внедрения разработанной системы диагностики на промышленных предприятиях.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Развитие систем мониторинга и диагностики оборудования связано с созданием доступных аппаратных средств на базе новых электронных компонентов, цифровых датчиков вибрации и температуры, доступных

одноплатных компьютеров, современных методов обработки и анализа диагностической информации с использованием технологии ИНС, применением распределенных архитектур для системы мониторинга и диагностики с использованием информационных технологий удаленного доступа, облачного хранения и обработки данных.

Полученные научные результаты могут использоваться проектными организациями, разработчиками систем автоматизации пищевых производств, специалистами, занимающимися разработкой и совершенствованием систем технического мониторинга, а также научным сотрудниками вузов и студентам.

Рекомендуется продолжить работы по созданию программно-аппаратных комплексов автоматизированных систем мониторинга и диагностики оборудования зерноперерабатывающей отрасли. Расширить область применения подобных систем на другие отрасли промышленности.

Завершенность и качество оформления диссертации

Диссертационная работа является завершенной, грамотно оформленной, содержит необходимые иллюстрации и таблицы, в полной мере отражающие полученные автором результаты исследований. По каждому разделу диссертации приведены соответствующие выводы. Содержание диссертационной работы соответствует поставленной цели и задачам исследований. Диссертация и автореферат написаны технически грамотным языком, а структура и содержание автореферата отражает содержание диссертации.

Результаты научной работы опубликованы в профильных журналах, сборниках научных конференций, оформлены в виде патентов и зарегистрированных программ для ЭВМ. Результаты исследований нашли практическое воплощение в разработанной системе технического мониторинга и диагностики СТМ-12Т. Система успешно апробирована в лабораторных условиях ФГБОУ ВО «МГУПП» и на промышленных предприятиях ООО «Русское поле», ООО «Пачелмское хозяйство» ОП «Пачелмское», ООО «Эрман», ООО «Экан», ООО «Северный лес».

В диссертации автор продемонстрировал глубокое знание вычислительной техники, информационных технологий, методов статистической обработки данных и теории нейронных сетей, а также умение пользоваться ими.

Заключение по диссертационной работе


Оценивая работу в целом, считаем, что работа Яблокова А.Е. является законченным научным исследованием, в котором решена важная научно-техническая задача, имеющая как теоретическое значение, так и практическую ценность, соответствует научно-техническим задачам специальности 2.3.3 — Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами. Выводы и рекомендации достаточно обоснованы. Отмеченные замечания не снижают ценность выполненной работы.

В целом по уровню научной новизны, теоретической и практической значимости, реализации научных результатов, выводов и предложений, диссертационная работа «Научно-практические основы создания

автоматизированных систем технического мониторинга и диагностики оборудования зерноперерабатывающих предприятий на базе нейросетевых методов анализа данных», отвечает критериям, изложенным в п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (редакция 11.09.2021), предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Яблоков Александр Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Отзыв на диссертационную работу Яблокова Александра Евгеньевича рассмотрен и одобрен на заседании направления «Информационные технологии» Центра экономико-аналитических исследований и информационных технологий ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

Протокол № 6 от « 21 » 09 2022 г.

Ведущий научный сотрудник, руководитель направления «Информационные технологии» Центра «Экономико-аналитических исследований и информационных технологий» ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН,
Доктор технических наук, доцент  Никитина М.А.