

В диссертационный совет 24.2.334.01
(Д 212.148.02) при ФГБОУ ВО
«Московский государственный
университет пищевых производств»

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, доцента Шкапова Павла Михайловича 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», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами»

Актуальность диссертационной работы

Техническое состояние технологического оборудования зерноперерабатывающих предприятий во многом предопределяет качественные и экономические показатели их работы. Неисправное оборудование зачастую является причиной аварийных ситуаций на производстве. Учитывая тот факт, что здания и помещения предприятий по хранению и переработке зерна имеют высокую категорию пожарной опасности, это может привести к техногенным катастрофам.

В настоящее время, с целью поддержания оборудования в исправном состоянии, на предприятиях отрасли сложилось два вида технического обслуживания машин: после выхода оборудования из строя и согласно регламенту (система планово-предупредительных ремонтов). В случае непредвиденной поломки оборудования (аварии) предприятие несёт значительные экономические издержки из-за несанкционированной остановки и простоя оборудования, особенно в поточных производствах, когда поломка одной машины парализует весь технологический процесс. Техническое обслуживание оборудования по регламенту зачастую носит избыточный характер.

Более совершенным подходом к техническому обслуживанию является стратегия обслуживания по фактическому состоянию с применением методов технического мониторинга и диагностики. Для реализации данной стратегии необходимо создавать эффективные автоматизированные системы технического мониторинга и диагностики оборудования. При этом необходимо

решить целый комплекс задач по разработке и созданию технических средств сбора, обработки и хранения диагностических сигналов с различных датчиков физических величин, математического и программного обеспечения системы обработки сигналов с целью выделения информативных диагностических признаков, реализовать процедуру постановки диагноза по значениям диагностических признаков, обеспечить доступ обслуживающего персонала и сотрудников предприятия к диагностической информации.

Процедура определения класса технического состояния объекта контроля является наиболее сложной, и с точки зрения информатики, относится к разделу теории распознавания образов. В настоящее время методы классификации и идентификации получили развитие благодаря развитию методов машинного обучения, в частности нейросетевого анализа данных с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС) и методов глубокого обучения с применением сверточных нейронных сетей (СНС). Однако статистические методы классификации требуют большого объема обучающих выборок. Для снижения объема натурных исследований могут быть использованы методы математического моделирования.

Учитывая изложенное выше, разработка автоматизированных систем технического мониторинга и диагностики технологических машин зерноперерабатывающих предприятий на базе нейросетевых методов анализа данных, может быть отнесена к актуальным научным направлениям.

Содержание диссертационной работы

Диссертационная работа Яблокова А.Е. состоит из введения, 7 глав, заключения, списка используемой литературы, включающий 212 наименований источников и 24 приложений. Работа изложена на 377 страницах машинописного текста, в т.ч. 330 страниц основного текста, содержит 177 рисунков, 31 таблицу, 7 актов внедрения научно-исследовательских работ, 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи, научная новизна и практическая значимость результатов исследований, а также основные научные положения, выносимые на защиту; дана оценка достоверности полученных результатов.

В первой главе приводится обоснование актуальности выбранной темы и сделан обзор современного состояния вопроса в области технического мониторинга и диагностики оборудования зерноперерабатывающих предприятий. Согласно приведенной статистики, основной причиной возникновения взрывоопасных ситуаций на предприятиях является

неисправное оборудование (п.1.1.). Проанализированы машинно-аппаратурные схемы мукомольных, комбикормовых и крупяных заводов, отмечено, что большинство единиц технологического оборудования относится к машинам роторного типа с вращающимися рабочими органами. Проанализированы типовые дефекты оборудования (п.1.3.). Рассмотрены информационные системы и программные продукты, направленные на автоматизацию процедур, связанных с техническим обслуживанием оборудования.

Проанализированы современные методы, средства и информационные системы технического диагностирования (п.1.5), рассмотрены методы виброакустической диагностики, диагностики по потребляемому току, метод теплового контроля. Приведен обзор программно-аппаратных средств существующих систем технического мониторинга.

В конце главы сформулированы цель и задачи исследования. С учетом проведенного всестороннего анализа проблемы автоматизации процедуры мониторинга и диагностики технического состояния технологических машин, в данной работе предлагается ее решение на основе разработки программно-аппаратного комплекса автоматизированной системы диагностики на основе нейросетевых методов и технологий.

Вторая глава посвящена обзору современных компьютерных и информационных технологий с точки зрения их применения при создании современных диагностических систем. В рамках второй главы рассмотрены проблемы определения класса технического состояния объекта контроля.

Приводятся обзор методов распознавания классов образов состояния. Автор делает вывод что искусственные нейронные сети (ИНС) являются сбалансированным компромиссом между параметрическим и метрическим методами при решении задач классификации. Одним из преимуществ использования нейронных сетей является возможность анализа больших объёмов данных.

Приводится обзор нейросетевых методов анализа информации (п.2.2.), отмечены перспективы применения сверточных нейронных сетей в случае использования диагностических признаков в виде изображений.

Отмечена целесообразность применения методов цифровой обработки сигналов (ЦОС), в т.ч. цифровых фильтров, математических преобразований в задаче повышения соотношения полезный сигнал/помеха и выделения из сигнала информативных составляющих диагностических признаков. Для формирования диагностических признаков автор предлагает дополнить традиционный метод спектрального преобразования сигнала двумя новыми методами: дискретное кратковременное преобразование Фурье (STFT) и

вейвлет-преобразование (ВП), которые переводят сигнал из временного представления в частотно-временное. При этом, результаты преобразований имеют представления в виде цветных изображений в размерности частота-время-амплитуда/магнитуда. Полученные изображения трудно формализовать традиционными статистическими методами обработки данных. Для автоматического выявления значимых особенностей в изображениях (паттернов), которые коррелированы с теми или иными дефектами, автор предлагает использовать свёрточные нейронные сети (СНС).

Рассмотрены различные технологии передачи данных от средств измерения на сервер БД. Предлагается использовать облачные сервисы, что позволит предприятиям передать на аутсорсинг вопросы, связанные с созданием и поддержанием серверной инфраструктуры распределённой системы диагностики.

В третьей главе исследованы вопросы взаимозависимости между показателями эффективности технологических процессов измельчения и шелушения зернового сырья, техническим состоянием оборудования и их диагностическими признаками.

Изучено влияние неисправностей вальцового станка (п.3.2.), износа молотков дробилки (п.3.3.), износа абразивных дисков шелушителя (п.3.4.) на количественные и качественные показатели процессов измельчения и шелушения. Сделан вывод о том, что различные факторы нестабильности и отклонения показателей технологического процесса можно контролировать через диагностические параметры — шум, вибрацию, температуру подшипниковых узлов, значением тока, потребляемого электродвигателем.

В четвёртой главе рассмотрены вопросы диагностического моделирования технологических машин. Исследование колебательных процессов машин при наличии возмущающих воздействий от неисправностей или отклонений в технологических свойствах сырья целесообразно проводить с использованием их динамических моделей.

В рамках исследований диссертантом разработаны четыре типа диагностических моделей в виде систем дифференциальных уравнений динамики, соответствующие типовым компоновкам зерноперерабатывающих машин (табл. 4.1.): 1) роторная одноопорная механическая система, 2) роторная двухопорная механическая система с консольным креплением ротора, 3) двухопорная роторная механическая система, 4) двухроторная механическая система с механической связью.

Диагностические модели представлены в виде систем дифференциальных уравнений, в которые заложена возможность математического моделирования различных неисправностей машин. При

моделировании конкретных машин необходимо идентифицировать их жёсткостные и инерционные характеристики, размеры и кинематические параметры, определить вынужденные и диссипативные силы. В работе параметры моделей определены расчетным путем методом 3D-моделирования в CAD-системе Solidworks.

Приводятся результаты диагностического моделирования различных неисправностей энтолейтора (п.4.2.), вентилятора (п.4.3.), молотковой дробилки (п.4.4.1), обоечной машины (п.4.4.2.), вальцового станка (п.4.5.). Решение дифференциальных уравнений проведено в среде Matlab численным методом с использованием специально разработанных компьютерных программ. Результатами решений являются временные реализации колебаний цапф валов, их спектры, спектрограммы и скалограммы. Результаты моделирования подтвердили зависимость между техническим состоянием машины и амплитудно-частотным составом колебаний ротора, позволили выработать требования к параметрам диагностических признаков, использовать результаты моделирования в качестве датасета при обучении ИНС.

Пятая глава посвящена экспериментальным исследованиям по разработке методов классификации технических состояний узлов и механизмов с использованием ИНС. Для проведения научных исследований в ФГБОУ ВО МГУПП разработана и создана экспериментальная установка (п.5.1.). Оцифровка и запись аналоговых сигналов с датчиков вибрации, тока и звука осуществляются с помощью внешнего аналого-цифрового преобразователя (АЦП) типа Е-440 (ООО «Л КАРД») Предобработка измеренного диагностического сигнала методами ЦОС (масштабирование, цифровая фильтрация, интегрирование сигнала, выделение огибающей, БПФ, вейвлет-преобразование, расчёт СКЗ и пр.) и формирования входных признаков для ИНС в среде Matlab была специально разработана программа.

Приводятся результаты исследования эффективности методов нейросетевой классификации состояний зубчатой передачи (п.5.2). Автором проведено по 1200 измерений вибрации (по 150 измерений для 8 состояний), акустического сигнала и сигнала датчика тока.

Задача определения класса технического состояния по амплитудно-частотном составу спектров виброускорения, виброскорости, огибающей сигнала акселерометра с применением ИНС решена в пакете Matlab.

Анализ матриц ошибок работы сетей с различными алгоритмами оптимизации показал, что наилучшую обобщающую способность показала ИНС обученной методом обратного распространения ошибки с алгоритмом

оптимизации ММСГ (п.5.2.1.).

Аналогичные исследования выполнены при оценке эффективности нейросетевого классификатора в задачах диагностики по спектрам сигналов от измерительного трансформатора тока и измерительного микрофона.

Проведены исследования по использованию изображений спектрограмм и вейвлет-скалограмм сигналов с различных датчиков в качестве входных диагностических признаков СНС. Результаты классификации показали достоверность распознавания одного из восьми классов состояний более 93%.

Аналогичные исследования проведены для решения задачи классификации состояний ременной передачи, подшипника качения. Обобщённые результаты работы ИНС и СНС при классификации технических состояний зубчатой, ременной передач, подшипника качения представлены в табл. 5.4. (стр. 245).

Изучен вопрос нейросетевого прогнозирования развития дефекта путём анализа тренда значений его диагностических признаков. С использованием диагностической модели вальцового станка смоделирован износ зубьев колёс межвальцовой передачи. Диагностическим признаком износа зубьев является рост амплитуды колебаний на частоте их пересопряжения – 248 Гц. Задача прогнозирования с применением ИНС решена путем аппроксимации временного ряда значений признака по первым семистам измерениям с последующей экстраполяцией модели регрессии до предельного значения. Исследования показали, что наилучшей обобщающей способностью обладает сеть прямого распространения с алгоритм оптимизации Левенберга–Марквардта (стр. 247).

Задача совместного использования различных типов признаков, методов анализа и дополнительной информации об объекте контроля решена путём создания управляющей программы (супервизора) — нейронной сети, которая в качестве исходной информации, при постановке окончательного диагноза, использует результаты классификации специализированных ИНС, работающих с диагностическими признаками и дополнительной информацией об объекте контроля (время наработки, кол-во пусков, величина технологической нагрузки, показатели надёжности и пр.).

Структурная схема разработанного метода диагностики на базе комплектной оценки результатов нейросетевой классификации представлена на рис. 5.59. Сформулирована и решена тестовая задача определения технического состояния вальцового станка по совокупности различных признаков и дополнительной информации об объекте контроля. В результате исследования работы ИНС различных архитектур, наилучшую обобщающую способность

показала сеть с алгоритмом обучения — Байесова регуляризация, 10 нейронов (99,8% правильных ответов по всей совокупности данных) (рис. 5.64).

Шестая глава посвящена практической реализации научных исследований. Автором разработана концепция распределенной системы мониторинга и создан опытный образец стационарного прибора СТМ-12Т. Прибор выполнен на базе миникомпьютера и специально разработанной измерительной платы. ПО микропроцессора измерительной платы обеспечивает функции сбора и анализа информации с датчиков вибрации, тока, звука, температуры, оборотов. Управляющая программа прибора реализована в виде Linux приложения и выполняет интерфейсные функции прибора. Прибор имеет многоуровневое меню (рис. 6.2.), которое обеспечивает доступ к различным функциям прибора (рис. 6.3-6.14).

Данные с прибора по интерфейсу RS485 или WiFi, GSM/GPRS через ТСР/ІР сети передаются на FTP-сервер в БД, к которой подключается специализированное приложение для дополнительной обработки, статистического анализа, прогнозирования и принятия управленческих решений.

Доступ пользователей к текущей информации из БД реализован удаленно, посредством web-интерфейса или графического приложения на ПК. В рамках рецензируемой работы реализован интерфейс пользователя системы мониторинга в среде разработки App Designer (Matlab2020). Разработаны графические интерфейсы к БД: «Мониторинг оборудования предприятия» (рис. 6.18а) и «Мониторинг и диагностика машины» (рис. 6.18б).

В п.6.3. приводится концепция распределенной системы мониторинга и диагностики оборудования.

В седьмой главе представлены результаты апробации системы СТМ-12Т на промышленном зерноперерабатывающем оборудовании, установленном на кафедре ПМиИТС (ФГБУ ВО «МГУПП»). Экспериментальные установки созданы на базе машин ударного измельчения зернового сырья — энтолейтора РЗ-БЭР, деташера А1-БДГ, вальцового станка А1-БЗН. В исследованиях использовался прибор СТМ-12Т и разработанная измерительная система на базе АЦП Е-440. Экспериментальные исследования подтвердили адекватность разработанных методов и средств технического мониторинга и диагностики оборудования зерноперерабатывающих предприятий.

Разработанные методы, алгоритмы, программные и технические средства прошли апробацию и были переданы для внедрения на предприятиях: ООО «Эрман», ООО «Русское поле», ООО «Экан», ООО «Северный лес», ООО «Пачелмское хозяйство» ОП «Пачелмское».

Результаты работы также внедрены в учебном процессе ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет пищевых производств».

В **заключении** работы обобщаются полученные результаты, приводятся выводы по диссертационной работе.

Представленные материалы позволяют достаточно полно оценить объем и сложность проведенного исследования.

Автореферат в должной мере отражает содержание диссертации.

Основные научные результаты диссертационного исследования

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертационной работе, базируются на результатах обширного анализа источников информации и значительном экспериментальном материале. Диссертант Яблоков А.Е. в процессе исследований получил ряд новых научных результатов, среди которых следует отметить следующие:

- определены зависимости между техническим состоянием технологических машин, диагностическими признаками неисправностей и качественными показателями технологических процессов измельчения и шелушения зернового сырья;
- выявлены структурные особенности технологических машин зерноперерабатывающих предприятий, согласно которым на базе законов классической механики и методов динамического моделирования механических систем разработано четыре типа диагностических моделей оборудования;
- в результате математического моделирования функционирования технологических машин (энтолейтора, молотковой дробилки, вентилятора, шелушителя, обоечной машины, вальцового станка) установлены зависимости между кинематическими (зазоры в сопряжениях), динамическими (жесткость элементов, силы сопротивления, инерционные характеристики, внешние силы) и технологическими (расход и равномерность подачи продукта, характеристики рабочих органов, рабочие зазоры и пр.) 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.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций работы

Проведенные в диссертационной работе теоретические и экспериментальные исследования позволили выявить ряд новых зависимостей параметров вибрации оборудования от технического состояния машин зерноперерабатывающих предприятий. Поскольку в основу анализа динамических дефектов технологических машин положено количественное моделирование кинетических уравнений Лагранжа, то научные положения, выводы и рекомендации диссертанта по исследуемой проблеме обоснованы. Принимая во внимание, что теоретические результаты по технической диагностике зерноперерабатывающего оборудования согласуются с многочисленными экспериментальными наблюдениями, научные положения, выводы и рекомендации, полученные в диссертации, являются новыми и достоверными.

В целом в диссертации поставлена и успешно решена важная научно-техническая и практическая проблема, связанная с повышением безопасности производства, снижением затрат на техническое обслуживание, повышения эффективности работы машин зерноперерабатывающих предприятий. Автореферат и опубликованные по теме диссертации работы в полной мере отражают её содержание.

Диссертантом опубликовано 106 работ, в т.ч. 26 в изданиях, включенных в перечень ВАК, имеет четыре свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Следует положительно оценить апробацию результатов исследований 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.). Основные положения диссертационной работы были доложены и одобрены на расширенных заседаниях кафедр «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами», «Прикладная механика и инжиниринг технических систем», «Информатика и вычислительная техника пищевых производств» ФГБОУ ВО «МГУПП».

Теоретическая и практическая значимость выводов и результатов

Научным результатом 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.

Практическая значимость результатов исследования:

- 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);
- 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.

Соответствие результатов заявленной научной специальности

Научные результаты соответствуют следующим пунктам научной специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами»:

- «п. 2. Методология, научные основы и формализованные методы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и производствами (АСУП), а также технологической подготовкой производства (АСТПП) и т. д.»;
- «п. 4. Теоретические основы, средства и методы промышленной технологии создания АСУТП, АСУП, АСТПП и др.»;
- «п. 5. Научные основы, модели и методы идентификации производственных процессов, комплексов и интегрированных систем управления»;
- «п. 8. Методы эффективной организации и ведения специализированного информационного и программного обеспечения АСУТП, АСУП, АСТПП и др., включая базы и банки данных и методы их оптимизации»;
- «п. 13. Теоретические основы, методы и алгоритмы диагностирования (определения работоспособности, поиск неисправностей и прогнозирования) АСУТП, АСУП, АСТПП и др.»;
- «п. 14. Теоретические основы, методы и алгоритмы интеллектуализации решения прикладных задач при построении АСУ широкого назначения (АСУТП, АСУП, АСТПП и др.)»;
- «п. 17. Разработка автоматизированных систем научных исследований»;
- «п. 19. Цифровизация управления в промышленности».

Замечания по диссертационной работе

По диссертационной Яблокова Александра Евгеньевича можно сделать следующие замечания:

1. Излишне велик объем первой главы, в работе информация из п.1.4. не используется;
2. Из работы не понятно, как в дальнейшем, при разработке автоматизированной системы мониторинга и диагностики оборудования используются результаты исследований, представленные в третьей главе;
3. Необходимо было более четко прописать методологию использования диагностических моделей технологических машин при разработке системы мониторинга и диагностики;
4. Не понятно, чем обоснованы частотные диапазоны и разрешение по частоте спектров виброускорения и виброскорости, а также частотно-временные интервалы спектрограмм и скалограмм диагностических сигналов;
5. На стр. 251 и в табл. 5.5 не корректно приводятся обозначения «результаты диагностирования ИНС в виде класса состояния — ТС1, ТС2, ТС3 и ТС4 (категориальный признак)» и «Рассмотрено четыре технических

состояния: ТС1 — норма, ТС2 — дефект подшипника, ТС1 — дисбаланс б/в вальца, ТС1 — дефект зубьев зубчатой передачи». Следовало дать различные обозначения;

6. Из работы не понятно, чем обусловлен выбор архитектуры СНС (стр. 215);
7. Решение хранить значения амплитуд спектров вибрации в БД (стр. 276) является не рациональным;
8. Из работы не ясно, какими метрологическими характеристиками обладает разработанный автором датчик вибрации и температуры (ДВТ-8) и прошёл ли он сертификацию для использования на зерноперерабатывающих предприятиях.

Сделанные замечания не носят принципиального характера и не снижают общий высокий уровень диссертационной работы.

Оценка содержания диссертации, её завершенность, подтверждение публикаций автора

В целом в диссертации поставлена и успешно решена важная научно-техническая и практическая проблема, связанная с повышением безопасности производства, снижением затрат на техническое обслуживание, повышения эффективности работы машин зерноперерабатывающих предприятий. Автореферат и опубликованные по теме диссертации работы в полной мере отражают её содержание.

Диссертантом опубликовано 106 работ, в т.ч. 26 в изданиях, включенных в перечень ВАК, имеет четыре свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Следует положительно оценить апробацию результатов исследований на всероссийских и международных научно-практических конференциях, в т.ч. 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.). Основные положения диссертационной работы были доложены и одобрены на расширенных заседаниях кафедр «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами», «Прикладная механика и инжиниринг технических систем», «Информатика и вычислительная техника пищевых производств» ФГБОУ ВО «МГУПП».

Заключение

В диссертации содержится решение важнейшей проблемы повышения

безопасности производства, надежности и эффективности технологического оборудования зерноперерабатывающих предприятий путем разработки автоматизированной системы мониторинга и диагностики оборудования на базе нейросетевых методов анализа данных. Считаю, что поставленная цель исследования достигнута, соответствующие задачи решены на достаточно высоком научном уровне.

На основе анализа содержания диссертации, автореферата, опубликованных автором работ можно сделать следующее заключение: диссертация Яблокова Александра Евгеньевича является законченной научно – квалификационной работой и соответствует требованиям п.п. 9–14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (ред. От 01.10.2018 г), предъявляемым Высшей аттестационной комиссией Министерства науки и высшего образования РФ к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук.

Считаю, что автор диссертационной работы, Яблоков А. Е., заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

Заведующий кафедрой «Теоретическая механика»
ФГБОУ ВО Национального Исследовательского университета «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», доктор технических наук, доцент

П.М. Шкапов

105005, г. Москва, Рубцовская наб., 2/18.

+7(499) 263-69-69

E-mail spm@bmstu.ru

Подпись заведующего кафедрой,
д.т.н., доцента П.М. Шкапова
заверяю



А. Г. Матвеев

ЗАМ. НАЧ УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВ

ТЕЛ: 8499-263-67-69