

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Чернухина А.В. «Автоматизированная система прогнозирования технического состояния промышленного оборудования на базе методов искусственного интеллекта», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 2.3.3 - Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

Проблема анализа и оценки надежности сложных технических систем остается актуальной на протяжении многих десятилетий. Несмотря на существенные достижения в рассматриваемой области в отечественной и зарубежной науке и практике, внедрение методов искусственного интеллекта позволило вывести решения данной проблемы на качественно новый уровень. В этой связи диссертационная работа Чернухина А.В., посвященная созданию математического и программно-алгоритмического обеспечения автоматизированной системы прогнозирования технического состояния промышленного оборудования на базе методов искусственного интеллекта является актуальной.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, библиографического списка и одного приложения. Автором с позиций системного подхода проведен анализ современного состояния научных исследований в области прогнозирования технического состояния промышленного оборудования и выявлены перспективные направления анализа и обработки информации по имевшим место на предприятиях неисправностям и отказам на основе технологии Big Data для обучения моделей прогнозирования на основе нейронных сетей.

Одним из ключевых аспектов новизны исследования является разработка комплекса моделей прогнозирования неисправностей и прогнозирования отказов, которые позволяют решать поставленные задачи в режиме реального времени, обучаясь на выборках, содержащих небольшое количество неисправностей и отказов. Автором обоснованы предлагаемые структуры нейронных сетей и алгоритмы их обучения. Для каждой задачи прогнозирования предложены свои метрики качества: критерий Жаккара и F1-score оценки.

Еще одной интересной научной задачей является прогнозирование остаточного срока службы элементов оборудования. Для решения данной задачи выбрана нейронная сеть краткосрочной долговременной памяти LSTM, позволяющая эффективно работать с временными рядами, сохраняя при этом информацию об интервале значений показателей надежности.

Для проверки качества обучения нейронной сети предложены 2 метрики, отражающие ошибку в абсолютных значениях показателей остаточного срока службы элементов оборудования (часах) и отношение величины ошибки к размеру горизонта прогнозирования. Данный подход позволяет универсально и гибко масштабировать и настраивать обучение нейронных сетей на различные горизонты прогнозирования значений показателей надежности.

Практическая значимость работы заключается в программной реализации новой функциональной структуры автоматизированной системы

прогнозирования технического состояния промышленного оборудования на основе искусственного интеллекта и предложенных автором новых алгоритмов машинного обучения. Для реализации использованы высокоуровневый язык программирования Python, находящийся в свободном доступе СУБД Click House и Postgre SQL. Для удобства работы с моделями в системе используется открытая платформа MLflow. Пользовательские интерфейсы реализованы на React-JavaScript - библиотеке с открытым исходным кодом. Для улучшения масштабирования системы использовано контейнерное управление программными приложениями. Столь широкий спектр применяемого в работе программного обеспечения свидетельствует о высокой квалификации диссертанта как программиста - исследователя.

Практическое применение разработанного программно-алгоритмического обеспечения для решения всех поставленных задач прогнозирования рассмотрено на конкретном промышленном объекте.

В качестве объекта исследования выбран эксгаустер агломашины, т.к. от его исправной работы зависит все последующее функционирование установки. На основе анализа выборок (исходные данные работы устройства за 3 года) были выбраны технические места и систематизированы причины неисправностей и отказов, причем выбор технических мест индивидуален для каждого эксгаустера. Также обоснованно были выбраны временные интервалы в задачах прогнозирования неисправностей и отказов.

С целью раннего обнаружения неисправностей проводился выбор и построение моделей прогнозирования, их гиперпараметров и обучение как для каждого метода: сверточной нейронной сети, метода опорных векторов, логистической регрессии, так и для ансамбля моделей. Во всех случаях лучшие решения были получены для тестового набора данных ансамблевым методом.

Построен алгоритм, прогнозирующий развитие аномального режима работы датчиков. Установлено, что развитие отказов элементов оборудования наиболее значимо отражается на различных показаниях определенного набора датчиков. Для прогнозирования отказов использован двухэтапный подход, где на первом этапе происходит отбор потенциальных аномальных режимов с использованием изолирующего леса, а на втором – классификация выделенных аномалий нейронной сетью краткосрочной долговременной памяти LSTM по элементам оборудования, ставшими причинами отказа.

В заключительной части автореферата представлены также результаты прогнозирования остаточного срока службы и тестирования программно-алгоритмического обеспечения.

По работе имеется **одно замечание**:

Несмотря на показанную в автореферате высокую квалификацию автора по созданию программно-алгоритмического обеспечения автоматизированной системы прогнозирования технического состояния оборудования и безусловную масштабность решаемых задач прогнозирования, из текста

автореферата и опубликованных работ неясно, получено ли Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ?

Данное замечание не снижает уровня научной новизны и практической значимости проведенного диссертационного исследования.

В целом диссертационная работа Чернухина Артёма Валерьевича является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне и имеющей практическую ценность. Выполненное Чернухиным Артёмом Валерьевичем диссертационное исследование отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденного приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 103 ОД, а ее автор, Чернухин Артём Валерьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности: 2.3.3 - Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Главный научный сотрудник – советник
генерального директора Федерального
государственного унитарного предприятия
"Государственный научно-исследовательский
институт органической химии и технологии"
(ФГУП "ГосНИИОХТ"),

доктор технических наук, профессор
111024, г. Москва, шоссе Энтузиастов, д. 23
Рабочий телефон: 8-495-673-75-55

Адрес электронной почты: dir@gosniiocht.ru

Татьяна Николаевна
Швецова-Шиловская

19.06.2025

Подпись главного научного сотрудника –
советника генерального директора Федерального
государственного унитарного предприятия
"Государственный научно-исследовательский
институт органической химии и технологии"
(ФГУП "ГосНИИОХТ"),

доктора технических наук, профессора,
Т.Н.Швечовой-Шиловской заверяю:

Ученый секретарь

Федерального государственного унитарного
предприятия "Государственный научно-
исследовательский институт органической химии
и технологии" (ФГУП "ГосНИИОХТ"),
кандидат фармацевтических наук

У.А.Мурашова

