

**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**

Диссертационная работа Чернухина А.В. посвящена актуальной проблеме разработки программно-алгоритмического обеспечения мониторинга и прогнозирования технического состояния промышленного оборудования на основе методов искусственного интеллекта. Это связано, прежде всего, с необходимостью обработки и анализа больших объемов данных, генерируемых промышленным оборудованием в режиме реального времени. Актуальность проблемы особенно возрастает в случае возникновения крайне редких неисправностей и отказов, последствия которых могут оказаться катастрофическими для человека и экономики страны.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов по работе, библиографического списка и одного приложения.

В первой главе автором дан всесторонний анализ степени разработанности темы отечественными и зарубежными исследователями и компаниями, как с позиций надежности технологических систем, так и с позиций использования методов интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении техническим состоянием оборудования.

Во второй главе разработана функциональная структура автоматизированной системы прогнозирования технического состояния промышленного оборудования, включающая в себя подсистемы импорта данных, хранения и обработки данных, прогнозирования, отображения данных и подсистему управления моделями, описаны информационные потоки взаимодействия между ними.

Предложены постановки задач прогнозирования неисправностей, прогнозирования отказов и оценки остаточного срока службы. При формировании моделей прогнозирования автором предложено использовать подход, основанный на “мягком” голосовании между несколькими алгоритмами прогнозирования. К каждому алгоритму подбирались весовые коэффициенты с использованием метода градиентного бустинга. Приведены предложенные структуры нейронных сетей для прогнозирования технического состояния оборудования и рекомендации по метрикам качества: индекс Жаккара – в модели прогнозирования неисправностей, F1-score-оценка

– в задаче прогнозирования отказов, RMSE и WRMSE – метрики в задаче прогнозирования остаточного срока службы.

Третья глава посвящена рассмотрению вопросов программной реализации функциональной структуры автоматизированной системы. Для реализации использованы высокоуровневый язык программирования Python, колоночная СУБД Click House. Для реализации подсистемы управления моделями выбрана открытая платформа MLflow. Пользовательские функции и интерфейс реализованы на React-JavaScript, использованы также программные средства контейнерной обработки Docker и Kubernetes, позволяющие осуществлять масштабирование системы. Рассмотрен интерфейс пользователя системы.

В четвертой главе представлены результаты тестирования разработанной автоматизированной системы прогнозирования технического состояния промышленного оборудования на примере эксгаустера агломашины. Исходную выборку составляли показания 16 датчиков для 6-ти эксгауэров за 3 года с шагом фиксации 10 сек. В автореферате детально описаны все этапы предобработки, подготовки и обработки данных. Для прогнозирования неисправностей наилучшие значения метрики качества были получены ансамблевым методом. При построении алгоритма, прогнозирующего развитие аномальных режимов работы, ведущих к отказу, было выявлено, что для различных технических мест развитие отказов по-разному отражается в показаниях различных датчиков. Для прогнозирования аномальной работы автором предложено на первом этапе использовать алгоритм изолирующего леса, а на втором – выявленные потенциальные аномалии классифицировать с использованием нейронной сети краткосрочной долговременной памяти LSTM.

В заключении четвертой главы представлены результаты тестирования обученной модели для прогнозирования остаточного срока службы для различных горизонтов прогнозирования и различных технических мест. По большинству технических мест, кроме электрооборудования, получены хорошие результаты прогноза. В автореферате также представлены результаты тестирования автоматизированной системы и показаны направления ее дальнейшей интеграции в архитектуру АСУТП предприятия.

По работе имеется **замечание**: из текста автореферата неясно, какие инструменты визуализации используются для представления результатов мониторинга лицу, принимающему решение, в режиме реального времени.

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

Проведённое 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.

Колыбанов Кирилл Юрьевич, доктор технических наук, доцент,
научная специальность: 05.13.01 – Системный анализ,
управление и обработка информации (химическая промышленность),
профессор кафедры Информационных технологий и систем
Института информационных наук и технологий безопасности
Адрес: 125047, ЦФО, г. Москва, Миусская пл., д. 6
Федеральное государственное автономное учреждение высшего образования
Российский государственный гуманитарный университет (ФГАОУ ВО РГГУ)
Рабочий e-mail: cyail.ru, рабочий телефон: (+) -52

Подпись Колыбанова К.Ю. заверяю
Заместитель директора Департамента
по управлению персоналом и социальным
вопросам



Н.Н. Толстых