

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

РХТУ.2.6.09 РХТУ им. Д.И. Менделеева

по диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

аттестационное дело № 17/25

решение диссертационного совета

от 30 июня 2025 г. № 8

О присуждении ученой степени кандидата технических наук Чернухину Артёму Валерьевичу, представившего диссертационную работу на тему «Автоматизированная система прогнозирования технического состояния промышленного оборудования на базе методов искусственного интеллекта» по научной специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, принятой к защите «22» мая 2025 г., протокол №4 диссертационным советом РХТУ.2.6.09 РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 18 человек приказом и.о. ректора РХТУ № 353 А от «08» сентября 2022 г. В состав диссертационного совета внесены изменения в соответствии с приказом и.о. ректора РХТУ №437 А от «20» октября 2022 г., №309 А от «26» октября 2023 г., №349 А от «22» ноября 2023 г. Полномочия совета продлены приказом и.о. ректора РХТУ № 86 ОД от «05» мая 2025 г.

Соискатель Чернухин Артём Валерьевич 1997 года рождения в 2018 году окончил бакалавриат по направлению подготовки 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии на кафедре компьютерно-интегрированных систем в химической технологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», диплом – серия 107718, номер 0953766. Тогда же начал заниматься научной работой. В 2020 окончил магистратуру с дипломом с отличием по направлению подготовки 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии на кафедре кибернетики химико-технологических процессов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» диплом – серия 107718, номер 1137821.

Чернухин Артём Валерьевич с 2020 г. по 2024 г. являлся аспирантом кафедры кибернетики химико-технологических процессов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» диплом – серия 107734, номер 0245677, продолжив работу над диссертацией в качестве соискателя с 2024 по 2025 г. В ходе выполнения диссертационной работы принимал активное участие в реализации учебного процесса на кафедре кибернетики химико-технологических процессов.

В настоящее время работает ассистентом на кафедре информационных компьютерных технологий и ведущим электроником на кафедре кибернетики химико-технологических процессов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами выполнена на кафедре кибернетики химико-технологических процессов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования (ФГБОУ ВО) «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

Тема диссертационной работы «Автоматизированная система прогнозирования технического состояния промышленного оборудования на базе методов искусственного интеллекта» и научный руководитель доктор технических наук, профессор кафедры кибернетики химико-технологических процессов Савицкая Татьяна Вадимовна утверждены

на заседании Ученого совета факультета цифровых технологий и химического инжиниринга РХТУ им. Д.И. Менделеева от 27 ноября 2024 г, протокол № 11. Тема диссертационной работы изменена на заседании Ученого Совета факультета цифровых технологий и химического инжиниринга РХТУ им. Д.И. Менделеева от 02 апреля 2025 г, протокол № 4.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор **Савицкая Татьяна Вадимовна**.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор **Матвеев Юрий Николаевич**, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», профессор кафедры «Электронные вычислительные машины»;

доктор технических наук, доцент **Обухов Артём Дмитриевич**, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», ведущий научный сотрудник НИЛ «Лаборатория медицинских VR тренажерных систем для обучения, диагностики и реабилитации» управления фундаментальных и прикладных исследований.

Ведущая организация – **ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет»**.

Основные положения и выводы диссертационного исследования в полной мере изложены в 9 научных работах, опубликованных соискателем, в том числе в 2 публикациях в изданиях, индексируемых в международных базах данных и в 7 публикациях в рецензируемых изданиях.

Опубликованные работы общим объемом 41 страница полностью отражают результаты, полученные в диссертации. Основные результаты диссертационной работы доложены на III Международной научно-практической конференции «Компьютерные приложения для управления и устойчивого развития производства и промышленности» (Душанбе, Таджикистан, 2023); Международной конференции «Scientific research of the SCO countries: synergy and integration: Proceedings of the International Conference» (Пекин, Китай, 2023 г.); Международном университетском научном Форуме «Practice Oriented Science: UAE - Russia - India» (Дубай, ОАЭ, 2024); Межвузовском международном конгрессе «Высшая школа: научные исследования» (Москва, 2024), Международном научном форуме «Научный диалог: теория и практика» (Москва, 2025). Получен акт о внедрении результатов диссертационной работы в рамках разработки комплексной автоматизированной системы управления производственным процессом "НостраСУ".

Личный вклад соискателя в работах, выполненных в соавторстве, составляет 80-85% и заключается в непосредственном участии в планировании работ, проведении экспериментов, анализе данных, обсуждении полученных результатов и написании текста работ.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Chernukhin A. V. Development of a model for predicting failures of high-tech production equipment based on machine learning algorithms / A. V. Chernukhin, E.A. Bogdanova, T.V. Savitskaya, A.M. Sverchkov, A.V. Dementienko // Third International Conference on Optics, Computer Applications, and Materials Science. – 2023. – № 11. – С. 1306515. (**Scopus**)

2. Чернухин А. В. Система предиктивной аналитики технического состояния эксгаустера агломашины с помощью методов искусственного интеллекта / А. В. Чернухин, Е. А. Богданова, Т. В. Савицкая, Д. Г. Кулаков, И. Р. Павлов // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2024. – № 3. – С. 87-103. (**Scopus**)

3. Чернухин А. В. Построение модели предиктивной аналитики неисправностей промышленного оборудования / А. В. Чернухин, Е.А. Богданова, Т. В. Савицкая // Программные продукты и системы. – 2024. – № 2. – С. 254-261. (**ВАК**)

4. Чернухин А. В. Разработка алгоритма прогнозирования остаточного ресурса эксгаустера агломашины, основанного на машинном обучении / А. В. Чернухин, Т. В. Савицкая // Научно-технический вестник Поволжья. – 2024. – № 4. – С. 185-190. (**ВАК**)

5. Чернухин А. В. Разработка модели прогнозирования отказов высокотехнологичного производственного оборудования на основе алгоритмов изолирующего леса и рекуррентной

нейронной сети / А. В. Чернухин, Т. В. Савицкая // Высшая школа: научные исследования: Материалы Межвузовского международного конгресса, Москва. – 2024. – С. 116-120.

6. Chernukhin A. V. A new method for predicting industrial equipment failures using machine learning / A. V. Chernukhin, E. A. Bogdanova, T. V. Savitskaya // Scientific research of the SCO countries: synergy and integration: Proceedings of the International Conference, Beijing. – 2023. – P. 193-197.

7. Chernukhin A. V. Development of an algorithm for predicting breakdowns of high-tech production equipment based on algorithms of an insulating forest and a recurrent neural network / A. V. Chernukhin, T. V. Savitskaya // Practice Oriented Science: UAE - RUSSIA - INDIA: Proceedings of the International University Scientific Forum, UAE. – 2024. – P. 166-170.

8. Чернухин А. В. Прогнозирование остаточного срока службы промышленного оборудования с использованием методов искусственного интеллекта / А. В. Чернухин, Т. В. Савицкая // Сборник научных статей по итогам работы Международного научного форума Научный диалог: теория и практика, Москва. 2025. № 1. С. 154-160.

9. Чернухин А.В. Разработка многофункционального умного датчика информационной системы эвакуации с химического предприятия / А.В. Чернухин, Т.В. Савицкая // Успехи в химии и химической технологии. – 2023. – Т. 37, № 11 (273). – С. 135-137.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Отзыв официального оппонента – доктора технических наук по научной специальности 05.17.08 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в промышленности), профессора кафедры «Электронные вычислительные машины» ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет» **Матвеева Юрия Николаевича**. В отзыве отмечены актуальность, научная новизна и практическая значимость работы, а также достоверность полученных данных и общий обзор работы. Отзыв положительный. Имеются следующие замечания и рекомендации:

1. В главе 1 представлено большое количество общеизвестных рисунков и классификаций нейронных сетей (рис. 1.4, 1.5, 1.6, 1.7). Вместо этих рисунков автору следовало бы привести систематизацию и сравнительный анализ нейросетевых моделей и алгоритмов глубокого обучения нейронных сетей, используемых во второй главе диссертации.

2. В задаче прогнозирования остаточного срока службы, представленной в главе 2 (подраздел 2.5.1), и результатах ее апробации (подраздел 4.4) не приведена структура нейронной сети, представленная в автореферате на рис. 3, что затрудняет восприятие постановки данной задачи. Неясно, что все-таки понимает автор под остаточным сроком службы?

3. Приведенный в подразделе 2.5.1 рисунок 2.18 также содержит ряд неопределенностей. Что понимается под границей приемлемого состояния? Что такое коэффициент работоспособности? Всегда ли границей приемлемого состояния является значение коэффициента работоспособности 0.5?

4. В иллюстрации к проблеме оценки остаточного срока службы на рис.2.18 указан временной интервал 2 года в то время, как в подразделе 4.4 все примеры прогнозирования приведены для существенно меньших горизонтов прогнозирования от суток до месяца.

5. В тексте диссертации недостаточно подробно рассмотрены возможные направления и способы интеграции разработанной автоматизированной системы прогнозирования технического состояния оборудования и ее подсистем в АСУШ предприятия. Этому вопросу посвящен один абзац на стр.121 в конце главы 3 и небольшая часть в разделе 4.5, связанная с тестированием системы в режиме реального времени, имитирующая подключение и обработку информации с датчиков. Обратные связи, показанные на рис.3.6 разработанной автоматизированной системы прогнозирования с системой технического обслуживания и ремонта и исполнительными механизмами, в диссертации не раскрыты.

В заключении указано, что диссертационная работа Чернухина Артема Валерьевича на тему «Автоматизированная система прогнозирования технического состояния промышленного оборудования на базе методов искусственного интеллекта» соответствует

паспорту специальности научных работников 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, в части: п. 6. Научные основы и методы построения интеллектуальных систем управления технологическими процессами и производствами; п. 11. Методы создания, эффективной организации и ведения специализированного информационного и программного обеспечения АСУТП, АСУП, АСТПП и др., включая базы данных и методы их оптимизации, промышленный интернет вещей, облачные сервисы, удаленную диагностику и мониторинг технологического оборудования, информационное сопровождение жизненного цикла изделия; п. 15. Теоретические основы, методы и алгоритмы диагностирования (определения работоспособности, поиск неисправностей и прогнозирования) АСУТП, АСУП, АСТПП и др.

Диссертация отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней ФГБОУ ВО Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденного приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 103ОД, а ее автор Чернухин Артём Валерьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

2. Отзыв официального оппонента доктора технических наук по научной специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, ведущего научного сотрудника НИЛ «Лаборатория медицинских VR тренажерных систем для обучения, диагностики и реабилитации» управления фундаментальных и прикладных исследований ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» **Обухова Артёма Дмитриевича**. В отзыве отмечены актуальность, научная новизна и практическая значимость работы, а также достоверность полученных данных и общий обзор работы. Отзыв положительный. Замечания по работе:

1. Помимо «мягкого» голосования (подраздел 2.3.2), в диссертации не рассмотрены другие методы ансамблирования, такие как стекинг (Stacking), кроме того, можно было рассмотреть ансамблевые методы композиции, включающие случайный лес (Random Forest) и адаптивный бустинг (AdaBoost).

2. Целесообразно было бы провести более комплексную оценку качества классификации, используя расширенный набор метрик (помимо описанных в подразделах 2.3.2 и 2.4.2), что позволило бы более объективно оценить сбалансированность модели в условиях возможного дисбаланса классов и дифференцированно проанализировать ошибки классификации.

3. Представление технических характеристик на странице 87 требует методологической доработки, поскольку текущий формат не соответствует стандартным способам: визуализации данных в научных работах. Следует унифицировать оформление, выбрав четкий формат - либо табличный для систематизированного представления параметров, либо графический с поясняющими схемами.

4. Объемное включение программного кода в основной текст раздела 3.2 является избыточным, так как с методологической точки зрения детализированные реализации алгоритмов целесообразнее выносить в приложения, оставив в основном тексте лишь концептуально значимые фрагменты: блок-схемы, формализованный псевдокод либо выборочные листинги ключевых фрагментов.

5. В ходе решения задач классификации и прогнозирования автором использовались различные варианты данных и характеристик, а также источники получения информации (датчиков), описание размерностей которых распределены по разным пунктам диссертации, что усложняет понимание размерности и содержания данных для обучения моделей классификации и прогнозирования. Компоновка этой информации в рамках единой таблицы намного бы упростила данную проблему.

6. Полученные в 4 разделе результаты классификации для некоторых технических мест, близкие к случайным (точность 0.57 на рисунке 4.6), приводят к выводу о необходимости рассмотрения помимо ансамблевых методов более сложных и современных архитектур,

например, нейронных сетей типа Transformer, способных более эффективно работать на сложных наборах данных.

7. На рисунке 4.9 стоило бы унифицировать обозначение классов, приведя его к аналогичному по тексту (вместо 0-3 указать 1-4).

8. В тексте присутствуют некоторые технические ошибки, включая некорректные падежи, пропущенные или лишние символы, ряд формул имеет низкое качество. Так, например, указывается, что «алгоритм принимает 4D тензор размера 6x16», хотя с учетом размера пакета данных, тензор трехмерный.

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

В заключении отмечено, что диссертационная работа Чернухина Артёма Валерьевича представляет собой завершённое научное исследование, полностью соответствующее требованиям паспорта специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами. В исследовании успешно решена актуальная научно-практическая задача разработки инновационных автоматизированных систем диагностики промышленного оборудования, имеющая важное значение для современной промышленности.

Основным научным достижением работы является разработка принципиально новых подходов к обработке больших массивов данных в реальном времени с применением современных методов искусственного интеллекта. Предложенные автором решения создают теоретическую и методологическую основу для перехода от традиционных схем технического обслуживания к перспективным превентивным моделям, что существенно повышает эффективность эксплуатации промышленного оборудования. Представленная диссертация полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, предусмотренным Положением о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева», утвержденным приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева № 103 ОД от 14 сентября 2023 г., 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.

3. Отзыв ведущей организации – ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет». В отзыве отмечены актуальность, научная новизна и практическая значимость работы, а также достоверность полученных данных и общий обзор работы. Отзыв положительный. Имеются следующие вопросы и замечания:

1. В работе отмечается недостаточная терминологическая строгость при оперировании ключевыми техническими понятиями. В частности, использование разговорного термина «поломки» вместо общепринятых в технической диагностике понятий «отказы» или «критические состояния» снижает научную корректность изложения. Также вызывает вопросы однозначность трактовки терминов «остаточный срок службы» и «остаточный ресурс» (стр. 22), требующих четкого определения исходных параметров оборудования и критериев предельного состояния. Кроме того, применение нестандартного термина «техническое место» в подразделе 4.3.2 вместо общепринятых обозначений элементов или узлов оборудования затрудняет однозначное понимание описываемых технических объектов.

2. В работе мало внимания уделено таким характеристикам, как нормативный срок эксплуатации оборудования и дата его ввода в эксплуатацию, что в перспективе могло бы позволить более точно адаптировать прогностические модели под реальные условия работы промышленного оборудования, повысить точность определения остаточного ресурса и улучшить качество прогнозирования потенциальных отказов, особенно для оборудования с длительным сроком службы.

3. В разделе 2.4.2 описано применение LSTM-архитектур для задач прогнозирования отказов промышленного оборудования, но не рассмотрена возможность применения

альтернативных подходов к моделированию временных рядов, такие как CNN, Transformer или гибридные модели. Проведение сравнительного анализа позволило бы более строго обосновать выбор модели.

4. Некоторые рисунки диссертации трудночитаемы, например рисунки: 2.1, 2.11, 3.4.

Диссертационная работа Чернухина Артёма Валерьевича соответствует паспорту специальности 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, представляет собой завершённое научное исследование, в котором решена важная задача разработки инновационных автоматизированных систем диагностики промышленного оборудования. В работе предложены принципиально новые подходы, основанные на применении методов искусственного интеллекта для обработки больших массивов данных в режиме реального времени, что обеспечивает возможность перехода к превентивным моделям технического обслуживания.

Чернухин Артём Валерьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

4. Отзыв на автореферат доктора технических наук, профессора, главного научного сотрудника - советника генерального директора ФГУП «ГосНИИОХТ» **Швецовой-Шиловской Татьяны Николаевны**. Отзыв положительный. При анализе автореферата возникло 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?

5. Отзыв на автореферат доктора технических наук, доцента, профессора кафедры информационных технологий и систем института информационных наук и технологий безопасности ФГАОУ ВО «РГГУ», **Колыбанова Кирилла Юрьевича**. Отзыв положительный.

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

6. Отзыв на автореферат доктора технических наук, профессора, профессора кафедры информационных систем в химической технологии ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российского технологического университета» **Бурляевой Елены Валерьевны**. Отзыв положительный.

По автореферату имеется **замечание**:

Из текста автореферата непонятно, в каких случаях требуется дообучение модели прогнозирования неисправностей и какие управляющие воздействия необходимо предпринимать в случае неудачного дообучения модели.

7. Отзыв на автореферат кандидата технических наук, доцента, заведующего кафедрой Техносферной безопасности и химии Института нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного федерального университета **Плуготаренко Нины Константиновны**. Отзыв положительный.

По автореферату имеются следующие **замечания**:

1. В автореферате отсутствует обоснование, почему для исследования был выбран именно эксгаустер, а не любое другое промышленное оборудование.

2. Из текста автореферата неясно, генерирует ли автоматизированная система непосредственно управляющие решения, направленные на предотвращение неисправностей и отказов?

8. Отзыв на автореферат доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Системотехника» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» **Зиятдинова Надира Низамовича**.

Отзыв положительный. По автореферату диссертации имеются следующие замечания:

1. В автореферате можно было бы более подробно осветить процесс переобучения моделей, в частности уточнить используемые критерии инициирования этого процесса, особенности алгоритмической реализации и подходы к валидации обновленных моделей. Такое дополнение позволило бы лучше оценить методическую строгость и практическую применимость предложенного решения.

2. В автореферате недостаточно раскрыто описание эксгаустера агломерационной машины как объекта управления. Кроме того, отсутствует сравнение предлагаемых методов диагностики состояний оборудования с теми, которые уже применяются на предприятии.

9. Отзыв на автореферат доктора технических наук, доцента, профессора кафедры автоматизации производственных процессов ФГБОУ ВО «КубГТУ» **Лубенцова Валерия Федоровича.** Отзыв положительный.

В качестве **замечания** к автореферату стоит отметить следующие:

Из текста автореферата неясно, возможно ли использование автоматизированной системы прогнозирования технического состояния промышленного оборудования в качестве тренажерной для обучения навыкам диагностики неисправностей.

10. Отзыв на автореферат доктора технических наук, профессора, заместителя директора по научной работе филиала ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске **Дли Максима Иосифовича.** Отзыв положительный.

В качестве **замечания** к автореферату стоит отметить следующие:

1. Несмотря на обоснованность важности прогнозирования состояния оборудования, обоснование востребованности именно выбранного направления недостаточно детализировано. Рекомендуются раскрыть конкретные экономические показатели эффективности внедрения подобных систем, возможно, сравнить их с традиционными методами техобслуживания. Целесообразно представить количественную оценку экономической выгоды, полученной предприятием в ходе внедрения разработанного пилотного проекта.

2. Хотя указан широкий спектр используемых методов, отсутствуют конкретные описания выбора и обоснования применяемых алгоритмов и методик обработки данных. Следует дополнительно пояснить критерии отбора конкретных методов и архитектур нейронных сетей, а также подробнее описать процедуры предварительной обработки большого объема данных.

3. В автореферате информация о тестировании и экспериментальном исследовании выглядит неполной. Необходимы более точные цифры, графики и таблицы, иллюстрирующие успешность работы системы на реальном примере. Важно также отметить объём и репрезентативность собранных данных, которая влияет на достоверность выводов.

4. В автореферате отсутствуют подробности о масштабируемости системы, требованиях к аппаратному обеспечению и инфраструктуре предприятия. Какие минимальные ресурсы необходимы для развертывания системы на предприятии, например, среднего масштаба.

5. В содержательной части третьей главы исследования автор предлагает пути расширения возможностей системы, но пока не ясно, насколько легко интегрируются новые виды оборудования на предприятиях и получаемые объёмы и типы данных. Не хватает описания необходимых шагов по адаптации разработанной системы для других видов оборудования и промышленных установок.

11. Отзыв на автореферат кандидата технических наук, доцента, заведующего кафедрой «Автоматизация производственных процессов» Новомосковского института (филиала) ФГБОУ ВО «РХТУ им. Д.И. Менделеева» **Лопатина Александра Геннадьевича.** Отзыв положительный.

По работе имеется **замечание**: в автореферате не указано, для каких категорий производственного персонала предназначена автоматизированная система прогнозирования. Также отсутствует описание функций разграничения прав доступа, реализованных в данной

системе.

На все замечания Чернухиным Артёмом Валерьевичем даны полные и исчерпывающие ответы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается компетентностью, достижениями в научных исследованиях с близкой тематикой, наличием у оппонентов и ведущей организации публикаций в рецензируемых журналах и их высоким профессиональным уровнем.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана математическая модель, основанная на «мягком голосовании» между алгоритмом логистической регрессии, методом опорных векторов и сверточной нейронной сетью, способная с высоким качеством решать задачу прогнозирования неисправностей промышленного оборудования;

предложена математическая модель, основанная на алгоритме изолирующего леса, используемого для поиска аномальных режимов работы, а также нейронной сети краткосрочной долговременной памяти LSTM (Long short-term memory) в качестве классификатора, способная с высоким качеством решать задачу прогнозирования отказов промышленного оборудования;

решена задача разработки архитектуры автоматизированной системы прогнозирования неисправностей и отказов промышленного оборудования, обладающей уникальной гибкой функциональной структурой и включающей подсистемы импорта, хранения и обработки данных, прогнозирования, управления моделями и отображения;

доказана эффективность применения моделей, построенных на базе методов искусственного интеллекта для решения задач прогнозирования технического состояния промышленного оборудования.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

предложен комплексный подход к прогнозированию технического состояния промышленного оборудования, заключающийся в постановке задач прогнозирования неисправностей и отказов, а также оценке остаточного срока службы оборудования и научно обоснована возможность реализации сформулированных постановок задач с использованием методов искусственного интеллекта;

сформулирован новый подход к техническому обслуживанию промышленного оборудования, создающий теоретическую и методологическую основу для перехода от традиционных схем технического обслуживания к перспективным превентивным моделям, что существенно повышает эффективность эксплуатации промышленного оборудования;

разработан новый метод анализа и обработки данных о неисправностях промышленного оборудования, учитывающий специфику использования в автоматизированной системе прогнозирования, заключающуюся в предобработке данных в режиме реального времени с высокой скоростью и точностью с учетом их физической природы.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

решена задача разработки новой функциональной структуры автоматизированной системы прогнозирования технического состояния промышленного оборудования, включающей в себя подсистемы импорта данных, хранения и обработки данных, прогнозирования, отображения данных и уникальную подсистему управления моделями, позволяющую дообучать модели с учетом динамически изменяющихся условий производственного процесса;

предложен новый алгоритм прогнозирования состояния технических систем с использованием уникального ансамблевого подхода, на основе которого разработаны и обучены новые модели прогнозирования неисправностей и отказов промышленного оборудования с высокими метриками точности;

разработан новый алгоритм прогнозирования остаточного срока службы оборудования, основанный на современных архитектурах нейронных сетей, показавший высокие метрики точности для горизонта прогнозирования, равного одному месяцу;

предложены принципиально новые подходы, основанные на применении методов искусственного интеллекта для обработки больших массивов данных в режиме реального времени, что обеспечивает возможность перехода к превентивным моделям технического обслуживания;

предложен и апробирован новый подход к комплексному тестированию в приближенных к реальной промышленной эксплуатации условиях, заключающийся в комплексной симуляции рабочей среды, нагрузочном тестировании на исторических данных и проверке интеграции с промышленными системами, показавший высокую эффективность работы системы в рамках задач автоматизации контроля технического состояния промышленного оборудования.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

идея базируется на анализе практики и обобщении передового опыта в области разработки систем прогнозирования состояния промышленного оборудования на базе методов искусственного интеллекта;

использованы современные методы сбора и обработки больших массивов данных, содержащих показания датчиков, отражающих состояние промышленного оборудования в режиме реального времени;

теория построена на современных методах искусственного интеллекта и подходах к проектированию промышленных автоматизированных систем;

показана эффективность разработанных моделей прогнозирования и высокая гибкость архитектуры автоматизированной системы.

Личный вклад соискателя состоит в участии на всех этапах процесса: в постановке и реализации задач исследований, в получении и подготовке исходных данных; в разработке математических моделей и алгоритмов; в проектировании и программной реализации автоматизированной системы прогнозирования технического состояния промышленного оборудования; в проведении вычислительных экспериментов; в проведении комплексного тестирования работы системы; в систематизации, интерпретации и оценки полученных результатов, формулировке выводов, подготовке материалов для публикаций и представления результатов исследований на российских и международных научных конференциях.

Работа соответствует паспорту специальности научных работников 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, в части: п. 6. Научные основы и методы построения интеллектуальных систем управления технологическими процессами и производствами; п. 11. Методы создания, эффективной организации и ведения специализированного информационного и программного обеспечения АСУТП, АСУП, АСТПП и др., включая базы данных и методы их оптимизации, промышленный интернет вещей, облачные сервисы, удаленную диагностику и мониторинг технологического оборудования, информационное сопровождение жизненного цикла изделия; п. 15. Теоретические основы, методы и алгоритмы диагностирования (определения работоспособности, поиск неисправностей и прогнозирования) АСУТП, АСУП, АСТПП и др.

Диссертационная работа Чернухина Артёма Валерьевича на тему «Автоматизированная система прогнозирования технического состояния промышленного оборудования на базе методов искусственного интеллекта» полностью соответствует Положению о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденному приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 103ОД. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержатся новые научно обоснованные технические решения и разработки, имеющие значение для развития качественно новых автоматизированных систем прогнозирования технического состояния

промышленного оборудования на основе методов искусственного интеллекта, позволяющих обрабатывать и анализировать большие массивы данных в режиме реального времени и заблаговременно планировать профилактическое обслуживание и ремонты. Научные положения, выводы и рекомендации, теоретически обоснованные и сформулированные автором не вызывают сомнений. Представленные в работе результаты принадлежат лично Чернухину Артёмом Валерьевичем; они оригинальны, достоверны, обладают внутренним единством, теоретической и практической значимостью, содержат новые научные результаты и положения, выдвинутые для публичной защиты.

На заседании диссертационного совета РХТУ.2.6.09 РХТУ им. Д.И. Менделеева 30 июня 2025 года принято решение о присуждении ученой степени кандидата технических наук Чернухину Артёму Валерьевичу.

Присутствовало на заседании – **16** членов диссертационного совета,
в том числе в режиме видеоконференции – **4**,
в том числе докторов наук по научной специальности, отрасли науки рассматриваемой диссертации – **9**.

При проведении голосования члены диссертационного совета по вопросу присуждения ученой степени проголосовали:

Результаты тайного голосования:

«за» – **12**,

«против» – **нет**.

Проголосовали **4** члена диссертационного совета, присутствовавшие на заседании в режиме видеоконференции:

«за» – **4**,

«против» – **нет**.

Итоги голосования:

«за» – **16**,

«против» – **0**.

Председатель диссертационного совета

Ученый секретарь диссертационного совета

Дата «30» июня 2025 г.



— д.т.н., профессор Глебов М.Б.

— к.т.н., доцент Василенко В.А.