



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по науке и
стратегическим проектам
Гоголев А.С.
«20» 11 2024 г.

федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Диссертация «**Автоматизация систем управления предиктивным техническим обслуживанием и ремонтом промышленных роботов**» по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» выполнена в отделении информационных технологий Инженерной школы информационных технологий и робототехники федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Соискатель **Гончаров Аркадий Сергеевич**, 1994 года рождения, в 2022 году окончил аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по направлению 09.06.01 Информатика и вычислительная техника.

Основное место работы соискателя – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», ассистент отделения информационных технологий Инженерной школы информационных технологий и робототехники.

Сведения о сдаче кандидатских экзаменов по «Иностранный язык (английский)» и «История и философия науки» приведены в приложении к диплому об окончании аспирантуры Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по направлению подготовки 09.06.01 Информатика и вычислительная техника.

Справка о сдаче кандидатского экзамена по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами выдана от 05.11.2024 № Ас/13 в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении

высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники».

Тема диссертационной работы утверждена решением ученого совета Инженерной школы информационных технологий и робототехники Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» от «29» 10 2024 г., номер протокола 7.

Научный руководитель – Савельев Алексей Олегович, кандидат технических наук, заведующий лабораторией отделения информационных технологий Инженерной школы информационных технологий и робототехники Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», назначен приказом по организации № 310-20/с от « 5 » 11 2024 г.

Диссертация **Гончарова А.С.** является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки в области автоматизации систем управления предиктивным техническим обслуживанием и ремонтом промышленных роботов с использованием данных мониторинга их состояния и комплекса алгоритмов управления моделями анализа данных, а также методов, рекомендаций и подбора моделей.

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

Разработка решений в области автоматизации систем управления предиктивным техническим обслуживанием и ремонтом промышленных роботов является актуальной задачей. Исследование технологий интеллектуализации производственных процессов и методов прогнозной аналитики, а также их внедрение в производство позволяют качественно повысить эффективность процессов технического обслуживания и ремонта. Настоящая работа выполнена в отделении информационных технологий ИШИТР ТПУ при поддержке грантов по программам: СТАРТ, УМНИК, РФФИ, ГЗ «НАУКА».

Целью диссертационной работы является повышение эффективности процесса автоматизированного управления техническим обслуживанием и ремонтом промышленных роботов.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации. Основные научные результаты получены лично автором. Постановка цели и задач исследования осуществлялась совместно с научным руководителем А.О. Савельевым. Программная архитектура проблемно-ориентированного

конвейера обработки данных для принятия решений по ТОиР спроектирована автором. Алгоритмическое и программное обеспечение для рекомендации и оценки эффективности модели машинного обучения на основе вычисления меры сходства наборов данных разработаны автором. Алгоритм автоматизированного поиска аномальных значений параметров промышленных манипуляторов разработан автором. Сбор и предварительная подготовка данных для апробации программного обеспечения осуществлялась С.С. Михалевичем. Апробация программного модуля, рекомендации и оценки эффективности модели машинного обучения выполнены автором совместно с А.Ю. Чепкасовым и А.С. Писанкиным. Разработка имитационной модели для оценки экономического эффекта внедрения разработанного программного обеспечения выполнена автором.

Степень достоверности результатов проведенных исследований.

Результаты диссертационной работы получены при корректном и обоснованном применении методов оценки сходства данных, анализа данных (машинного обучения и искусственных нейронных сетей), имитационного моделирования и подтверждаются проведенными экспериментальными исследованиями на исторических данных о работе парка из разных промышленных роботов, собранных в процессе рабочего цикла длительностью не менее 40 часов.

Научной новизной обладают следующие полученные результаты работы:

1. Методика проектирования информационной системы для автоматизации предиктивного технического обслуживания и ремонта промышленных роботов, отличающаяся обеспечением оркестрации, модульности и масштабируемости на всех этапах технического обслуживания.
2. Алгоритм подбора и оценки эффективности модели машинного обучения для прогнозирования параметров работы промышленного робота, отличающийся сокращением времени оценки состояния промышленного робота на 18%.
3. Алгоритм вычисления меры сходства наборов исторических данных о работе промышленного робота, повышающий эффективность процесса прогнозирования его состояния на 5,1%, при пороговом значении потери точности до 12%, и отличающийся возможностью обработки гетерогенных данных.
4. Алгоритм автоматизированного поиска аномальных значений параметров промышленных манипуляторов, обеспечивающий гибкость процесса мониторинга состояния и отличающийся от штатных программных решений учётом диапазона допустимых значений.

Практическая значимость результатов исследования заключается в разработанном программном обеспечении, которое реализует требования и ограничения процесса управления техническим состоянием парка разнородного оборудования на основе анализа данных с использованием методов машинного обучения и искусственных нейронных сетей. Разработаны: программное обеспечение «Диагностика аномальных состояний приводов промышленных манипуляторов» (свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2020614448 от 09.04.2020 г.); «Модуль адаптивного выбора прогнозной модели работоспособности промышленного манипулятора» (свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2022617263 от 19.04.2022 г.).

Результаты диссертационного исследования использованы при выполнении следующих научно-исследовательских проектов: грант СТАРТ № 3173ГС1/48576 «Разработка и испытания прототипа программного обеспечения для интеллектуальной диагностики неисправности приводов промышленных манипуляторов», 2019-2020 гг.; грант РФФИ № 20-37-90113 «Разработка методики адаптивного выбора модели машинного обучения для анализа данных промышленного манипулятора», 2020-2022 гг.; грант УМНИК № 692ГУЦЭС8-D3/63782 «Разработка алгоритма адаптивного выбора модели машинного обучения для анализа данных промышленного манипулятора с целью оптимизации временных ресурсов», 2020-2022 гг.; проект ГЗ «НАУКА» FEWM-2023-0013 «Гибридная методология построения цифровых моделей социально-экономических и технических систем со структурной и параметрической неопределенностью».

Результаты работы также используются в ООО «Инспайр-технологии» (г. Томск) в составе программного обеспечения мониторинга работоспособности и оценки текущего состояния промышленного манипулятора.

По результатам диссертационной работы **опубликовано** 11 работ, в том числе 2 в российских изданиях из перечня ВАК, 1 – в журналах, индексируемых SCOPUS.

Работы, опубликованные соискателем в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации:

1. Гончаров А.С. Разработка алгоритма подбора модели анализа данных для прогнозирования работоспособности промышленных роботов / А.С. Гончаров, А.О. Савельев, А.С. Писанкин, А.Ю. Чепкасов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – Т. 11, – №4. – С. 1-12. DOI: 10.26102/2310-6018/2023.43.4.028. В статье приведены результаты разработки алгоритма подбора

модели анализа данных для прогнозирования работоспособности промышленных роботов на примере задачи прогнозирования температуры электропривода. Разработка алгоритма производилась лично автором (Гончаров А.С.), постановка задач согласовывалась с научным руководителем (Савельев А.О.), численные результаты апробации алгоритма получены вместе с соавторами (Писанкин А.С., Чепкасов А.Ю.).

2. Гончаров А. С. Подход к автоматическому прогнозированию состояния промышленных манипуляторов с применением методов машинного обучения / А. С. Гончаров [и др.] // Доклады ТУСУР. – 2021. – Т. 24, № 1. – С. 48–54. DOI: 10.21293/1818-0442-2021-24-1-48-54. Разработка комплекса алгоритмов, представленных в рамках подхода автоматического прогнозирования состояния промышленных манипуляторов производилась лично автором (Гончаров А.С.), постановка задач согласовывалась с научным руководителем (Савельев А.О.) и профессором НОЦ АИТ (Джаякоди А.Д.Н.К.), численные результаты апробации алгоритма получены вместе с соавторами (Писанкин А.С., Чепкасов А.Ю.).

Работы, опубликованные в индексируемых в международной базе цитирований Scopus изданиях:

3. A Goncharov, A Savelev, N Krinitsyn and S Mikhalevich. Automated anomalies detection in the work of industrial robots // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1019, 14th International Forum on Strategic Technology (IFOST 2019) 14th-17th October 2019, Tomsk, Russian Federation. (Scopus). В статье приведен подход по обнаружению аномальных значений при работе промышленного манипулятора. Разработка алгоритма автоматического обнаружения аномальных значений проводилась лично автором (Гончаров А.С.), постановка задачи согласовывалась с научным руководителем (Савельев А.О.) и заведующим лабораторией промышленной робототехники (Криницин Н.С.), сбор данных проводился с участием инженера лаборатории промышленной робототехники (Михалевич С.С.)

Свидетельства о регистрации результатов интеллектуальной деятельности:

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022617263 Российская Федерация. Модуль адаптивного выбора прогнозной модели работоспособности промышленного манипулятора: № 2022615922: заявл. 03.04.2022: опубл. 19.04.2022 / А. С. Гончаров, А. С. Писанкин, А. Ю. Чепкасов. – EDN HNHILG.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020614448 Российская Федерация. Диагностика аномальных состояний приводов промышленных манипуляторов : № 2020613448 : заявл. 31.03.2020 : опубл. 09.04.2020 / С. С. Михалевич, А. О. Савельев, А. С. Гончаров ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Инспайр-технологии». – EDN POFSON.

Другие работы, опубликованные автором по теме диссертации:

6. Мангутова, Е. А. Обзор современных алгоритмов кластеризации данных / Е. А. Мангутова, А. С. Гончаров // Молодежь и современные информационные технологии: Сборник трудов XX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 20–22 марта 2023 года. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2023. – С. 242-243.

7. А.С. Гончаров. Сравнительный анализ методов машинного обучения для анализа данных об отказах оборудования // XVIII Международная научно-практическая конференция старшеклассников, студентов и аспирантов «Молодёжь и наука» 27 мая 2022 года, УрФу, г. Уфа.

8. А.С. Гончаров. Архитектура программного обеспечения управления прогнозными моделями «умного» производства // XXVII Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Научная сессия ТУСУР – 2022», г. Томск, 18-20 мая 2022 г.

9. А.С. Писанкин, А.Ю. Чепкасов, А.С. Гончаров. Разработка алгоритма подбора обученных моделей методами оценки подобия данных // XXVII Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Научная сессия ТУСУР – 2022», г. Томск, 18-20 мая 2022 г.

10. А.С. Писанкин, А.Ю. Чепкасов, А.С. Гончаров. Прогнозирование перегрева привода промышленного манипулятора с использованием методов интеллектуального анализа данных // Международная научно-практическая конференция «Электронные средства и системы управления» (МНПК ЭСиСУ-2020), г. Томск, 18 – 20 ноября 2020 г., Томск. — Томск : Изд-во ТУСУР, 2020. — [С. 10-12].

11. Гончаров А. С. Разработка алгоритма автоматизированного поиска аномальных значений параметров промышленных манипуляторов // XX Всероссийская конференция молодых учёных по математическому моделированию и информационным технологиям: тезисы докладов, Новосибирск, Новосибирск, 28 Октября-1 Ноября 2019. - Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2019 - С. 57.

Диссертационное исследование соответствует следующим пунктам паспорта специальности 2.3.3:

п. 6 «Научные основы и методы построения интеллектуальных систем управления технологическими процессами и производствами».

п. 12 «Методы создания специального математического и программного обеспечения, пакетов прикладных программ и типовых модулей функциональных и обеспечивающих подсистем АСУТП, АСУП, АСТПП и др., включая управление исполнительными механизмами в реальном времени».

Диссертация «Автоматизация управления предиктивным техническим обслуживанием и ремонтом промышленных роботов» Гончарова Аркадия Сергеевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Заключение принято на заседании научного семинара Инженерной школы информационных технологий и робототехники. Присутствовало на заседании 9 чел. Результаты голосования: «за» – 9 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет, протокол № 2 от «13» сентября 2024г.

Председатель научного семинара
А.И. Кочегуров, канд. тех. наук,
доцент, доцент ОИТ



подпись

Секретарь заседания
С.Г. Небаба, канд. тех. наук,
доцент ОИТ



подпись

И.о. ученого секретаря Ученого совета ТПУ
Новикова Валерия Дмитриевна



подпись


Захарова А.К.