

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ПЕРВОГО
ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б.Н. ЕЛЬЦИНА»
(ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»)**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке ФГАОУ ВО «Уральский
федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина»
доктор физико-математических наук
Александр Викторович Германенко

« 30 _____ 2025 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Диссертация «Система многопараметрического контроля и диагностики технического состояния компрессорных установок предприятий нефтегазоперерабатывающей промышленности» выполнена на кафедре электротехники Уральского энергетического института Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

В период подготовки диссертации соискатель Мироненко Ярослав Владимирович работал в ООО «Проектный институт комплексной автоматизации» (г. Владимир) в должности директора (с февраля 2018 г. по март 2023 г.); в АО «РЭС Групп» (г. Владимир) в должности заместителя генерального директора (с января 2014 г. по апрель 2023 г.); в ООО «Газпромнефть-Энергосервис» (г. Москва) в должности руководителя направления (с мая 2023 г. по август 2023 г.); а также в ПАО «Россети» (г. Москва) в должности заместителя начальника управления (с августа 2023 г. по настоящее время).

В 2013 г. Мироненко Я.В. окончил специалитет ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», присуждена квалификация инженер по специальности Электроснабжение.

С 2013 г. Мироненко Я.В. по 30 июня 2017 г. обучался в аспирантуре ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» по направлению подготовки 05.02.05 «Роботы, мехатроника и робототехнические системы».

Соискатель прикреплен для подготовки диссертации в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» с 01.10.2022 по 30.09.2025.

Справка об обучении и сданных кандидатских экзаменах по истории и философии науки (технические науки) и иностранном языке (английский, технические науки) выдана в 2023 г. в ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

С 22.09.2025 г. по 30.09.2025 г. был прикреплен к ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» для сдачи кандидатского экзамена по научной специальности 2.2.8 Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды. Справка о сдаче кандидатского экзамена выдана в 2025 г. в ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет».

Научный руководитель – Хальясмаа Александра Ильмаровна, кандидат технических наук, доцент, заведующий научной лабораторией цифровых двойников в электроэнергетике Уральского энергетического института ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

По итогам обсуждения диссертации «Система многопараметрического контроля и диагностики технического состояния компрессорных установок предприятий нефтегазоперерабатывающей промышленности» принято следующее заключение.

1. Актуальность

Необходимым условием надежной работы предприятий нефтегазоперерабатывающей промышленности является безаварийная работа компрессорных установок (КУ). Они используются для сжатия углеводородных и водородосодержащих газов, азота и воздуха.

Приводом для КУ могут служить электродвигатели, двигатели внутреннего сгорания, а также газовые или паровые турбины. Если на магистральных газопроводах доля КУ с электроприводом менее 15%, то на нефтегазоперерабатывающих предприятиях она, как правило, превышает 80%.

Приблизительно половина всех отказов электроприводных КУ связана с деградацией и пробоем изоляции. При этом более 70% электродвигателей на 6–10 кВ в таких комплексах эксплуатируются свыше 25 лет, а значительная часть используется более 30–40 лет, хотя их расчетный средний срок службы составляет 20 лет.

Тенденция к увеличению в эксплуатации доли выработавших ресурс комплексов в условиях сокращения затрат на модернизацию фондов и невозможность их оперативной замены требует принятия мер по продлению сроков их эксплуатации. Как следствие, обслуживание и ремонт нацелены на поддержание минимально достаточного уровня работоспособности, обеспечивающего требуемые нормативы по надежности, безопасности и экономичности.

С 2017 года Президентом и Правительством Российской Федерации были обозначены цели ведомственных проектов по развитию энергетики, которые формируют риск-ориентированный подход к управлению жизненным циклом оборудования. Он подразумевает отход от модели планово-предупредительного ремонта и создание систем, направленных на идентификацию и прогнозирование текущего состояния и эксплуатационного ресурса оборудования, управления жизненным циклом.

Создание системы контроля, диагностики и прогнозирования технического состояния компрессорных установок требует нового подхода к сбору и обработке данных, позволяющего анализировать поступающую информацию, исследовать работоспособность и качество функционирования комплекса, изучать и устанавливать признаки неисправностей отдельных элементов, прогнозировать развитие аварийных ситуаций и давать рекомендации по применению управляющих воздействий. Для работы с большими массивами данных онлайн-мониторинга перспективными представляются интеллектуальные аналитические системы (ИАС).

Таким образом, необходимость создания новых систем диагностики продиктована целым комплексом факторов: состоянием парка электрооборудования, государственными программами, цифровой трансформацией энергетики, а также отсутствием на рынке готовых отраслевых решений.

2. Научная новизна результатов работы

1. Обоснован подход к определению информативных параметров для многопараметрического контроля и диагностики технического состояния электроприводных компрессорных установок, обеспечивающий учет метрологических характеристик средств измерений и рациональный объем анализируемых данных.

2. Разработан алгоритм классификации технического состояния электроприводных компрессорных установок, основанный на комбинации продукционных правил и ансамблевой модели машинного обучения, обеспечивающий повышение точности оценки текущего состояния оборудования по данным онлайн-мониторинга.

3. Разработан алгоритм прогнозирования технического состояния электроприводных компрессорных установок, реализованный на основе многослойной нейронной сети, учитывающий технологическую загрузку

оборудования и обеспечивающий повышение достоверности предиктивной оценки.

4. Предложена архитектура интеллектуальной аналитической системы многопараметрического контроля и диагностики технического состояния электроприводных компрессорных установок, обеспечивающая интеграцию разработанных алгоритмов с действующими средствами измерений и информационными системами предприятий.

3. Научная и практическая значимость результатов

Теоретическая значимость результатов работы заключается в развитии теоретических основ многопараметрического контроля и диагностики технического состояния электроприводных компрессорных установок; обосновании подходов к использованию данных онлайн-мониторинга и метрологических характеристик средств измерений для построения достоверных моделей оценки и прогнозирования состояния электрооборудования.

Практическая значимость работы заключается в разработке алгоритмов и архитектуры интеллектуальной аналитической системы для достоверной оценки текущего и прогнозного состояния электроприводных компрессорных установок на предприятиях нефтегазоперерабатывающей промышленности, обеспечивающих повышение эффективности многопараметрического контроля и диагностики данного оборудования.

4. Личное участие автора в получении результатов научных исследований, изложенных в диссертации

Соискатель непосредственно участвовал в получении результатов, которые отражены в диссертации и опубликованных статьях.

В рамках работы соискателем проведен анализ существующих отечественных и зарубежных подходов к диагностике и управлению жизненным циклом компрессорных установок предприятий нефтегазоперерабатывающей промышленности. На основе обобщения и систематизации полученных данных автором предложен метод выбора параметров, в достаточной мере характеризующих текущее техническое состояние электроприводных компрессорных установок и его динамику на основе данных онлайн-мониторинга.

Соискателем разработаны алгоритмы контроля, диагностики и предиктивного анализа текущего технического состояния компрессорных установок на основе данных онлайн-мониторинга, учитывающие особенности функционирования оборудования в условиях промышленных предприятий. В процессе выполнения работы предложена архитектура информационно-аналитической системы, предназначенной для сбора, обработки и

интерпретации данных, обеспечивающей поддержку принятия решений в части технического обслуживания и управления эксплуатационным ресурсом оборудования.

Все изложенные в диссертации научные положения, модели и алгоритмы являются результатом самостоятельной исследовательской деятельности соискателя. Соискатель принимал непосредственное участие в анализе и интерпретации результатов, полученных в ходе исследования, осуществлял подготовку научных публикаций, выступал с докладами на конференциях

5. Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность и обоснованность результатов и выводов диссертации подтверждается корректным применением методов математического моделирования, статистического анализа и интеллектуальной обработки данных. Полученные теоретические результаты согласуются с данными онлайн-мониторинга действующих электроприводных компрессорных установок. Достоверность экспериментальных данных обеспечивается метрологической состоятельностью используемых средств измерений, соответствием результатов нормативным требованиям ГОСТ 34100.3.1–2017 и ISO 13379-1:2012, а также практической апробацией разработанных алгоритмов и системы.

6. Соответствие диссертации научной специальности

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды по пунктам паспорта 1 – «Научное обоснование новых и совершенствование существующих методов, аппаратных средств и технологий контроля, диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды, способствующее повышению надежности изделий и экологической безопасности окружающей среды»; 6 – «Разработка математических моделей, алгоритмического и программно-технического обеспечения обработки результатов регистрации сигналов в приборах и средствах контроля и диагностики с целью автоматизации контроля и диагностики, подготовки их для внедрения в цифровые информационные технологии»; 7 – «Автоматизация технологий, приборов контроля и средств диагностирования, способствующая снижению трудоемкости, увеличению оперативности и достоверности оценки эксплуатационного ресурса изделий, повышению уровня экологической безопасности окружающей среды».

7. Полнота изложения результатов диссертации в работах, опубликованных автором

По результатам выполненных исследований опубликовано 15 научных работ, включая 2 статьи в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международной базе данных Scopus; 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК по специальности диссертации; 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК по смежным специальностям, 1 патент Российской Федерации; 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ; 4 публикаций, включенных в РИНЦ.

Статьи в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международной базе данных SCOPUS

1. Mironenko Y. V., Khalyasmaa A. I. Development of Automated Life Cycle Management System for Electrically Driven Compressor Units in the Oil and Gas Industry // Belarusian-Ural-Siberian Smart Energy Conference «BUSSEC 2023». – 2023. – Р. 160–164. (статья в рецензируемом научном издании МБД Scopus, вклад соискателя – 65%).

2. Mironenko Y. V., Khalyasmaa A. I. Maintenance Optimization Within the Lifecycle Management of the Gas Compressor's Electric Motors // International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices «EDM 2023». – 2023. – Р. 1180–1185. (статья в рецензируемом научном издании МБД Scopus, вклад соискателя – 65%).

Статьи в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК по специальности диссертации

3. Шахнин В. А., Чебрякова Ю. С., Мироненко Я. В. Аппаратный анализ и моделирование статистических характеристик частичных разрядов для интродиагностики высоковольтного оборудования // Автоматизация. Современные технологии. – 2015. – № 1. – С. 10–16. (статья в рецензируемом научном издании ВАК, вклад соискателя–40%).

4. Шахнин В. А., Чебрякова Ю. С., Мироненко Я. В. Математическое моделирование статистических характеристик частичных разрядов при диагностике высоковольтного оборудования // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2013. – № 6. – С. 53–59. (статья в рецензируемом научном издании ВАК, вклад соискателя – 40%).

5. Шахнин В. А., Чебрякова Ю. С., Мироненко Я. В. Статистические характеристики частичных разрядов как диагностические признаки состояния изоляции высоковольтного оборудования // Контроль. Диагностика, 2015. – № 2. – С. 59–65. (статья в рецензируемом научном издании ВАК, вклад соискателя – 40%).

6. Мироненко Я. В., Хальясмаа А. И. Архитектура системы поддержки принятия решений на основе интеллектуального анализа данных мониторинга электротехнических комплексов // Автоматизация в промышленности, 2025. –

№ 6. – С. 17–22. (статья в рецензируемом научном издании ВАК К2, вклад соискателя – 70%).

Статьи в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК по смежным специальностям

7. Мироненко Я. В., Хальясмаа А. И. Алгоритм контроля и диагностики технического состояния компрессорных установок предприятий нефтегазоперерабатывающей промышленности с использованием нелинейных многопараметрических моделей // Системы. Методы. Технологии, 2025. – № 3. – С. 80–86. (статья в рецензируемом научном издании ВАК К2, вклад соискателя – 70%).

8. Шахнин В. А., Мироненко Я. В. Экспериментальные исследования пространственной корреляции частичных разрядов в изоляции высоковольтных аппаратов // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2018. – № 1. – С. 30–33. (статья в рецензируемом научном издании ВАК, вклад соискателя – 60%).

9. Мироненко Я. В., Курзанов А. Д. Оценка состояния изоляции электрооборудования с использованием алгоритма градиентного бустинга // Вестник Чувашского университета. – 2021. – № 3. – С. 94–102. (статья в рецензируемом научном издании ВАК, вклад соискателя – 70%).

Патент Российской Федерации

10. Способ диагностики высоковольтного оборудования по параметрам частичных разрядов: патент 2536795 РФ Бюлл. изобр. № 12, 2014 / Шахнин В. А., Мироненко Я. В., Чебрякова Ю. С.; заявитель и патентообладатель Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. – № 2013136892/28; заявл. 06.08.2013; опубл. 27.12.2014, Бюлл. № 36. – 6 с. (вклад соискателя – 40%).

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019666284. Экспертная система по определению состояния изоляции электрического оборудования «Exp_PD_1» / Мироненко Я. В.; правообладатель АО «РЭС Групп». Зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 06.12.2019 (вклад соискателя – 100%).

Публикации в изданиях, включенных в РИНЦ

12. Мироненко Я. В. Использование в диагностике высоковольтного энергетического оборудования алгоритмов машинного обучения / V Международная научно-техническая конференция «Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности». – 2021. – С. 25–30. (вклад соискателя – 100%).

13. Мироненко Я. В. Обзор существующих систем обработки данных диагностического мониторинга электрооборудования // VI Международная научно-техническая конференция «Проблемы и перспективы развития

энергетики, электротехники и энергоэффективности». – 2022. – С. 38–43. (вклад соискателя – 100%).

14. Мироненко Я. В. Использование алгоритма бэггинга в моделях машинного обучения для диагностики изоляции масляных силовых трансформаторов // XIII Всероссийская научно-техническая конференция «Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике». – 2022. – С. 99–100. (вклад соискателя – 100%).

15. Мироненко Я. В., Хальясмаа А. И. Алгоритм прогнозирования параметров функционирования электроприводных компрессорных установок для предиктивной оценки технического состояния // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. – 2024. – № 5(122). – 17454. (вклад соискателя–65%).

В перечисленных работах Мироненко Ярославом Владимировичем лично получены следующие результаты:

[1, 2, 4, 5, 13] – обоснование подхода к определению информативных параметров для многопараметрического контроля и диагностики технического состояния электроприводных компрессорных установок;

[3, 7, 8, 9, 10, 11, 14] – алгоритм классификации технического состояния электроприводных компрессорных установок, основанный на продукционных правилах и ансамблевой модели машинного обучения;

[1, 6, 11, 12, 15] – алгоритм прогнозирования технического состояния электроприводных компрессорных установок на основе нейросетевой модели;

[1, 6, 10, 11, 13] – архитектура интеллектуальной аналитической системы многопараметрического контроля и диагностики технического состояния электроприводных компрессорных установок.

Все основные положения и результаты, выносимые на защиту, отражены в публикациях автора: по главе 1 – в [3, 4, 5, 8, 12, 13], по главе 2 – в [3, 4, 5, 8, 9, 14], по главе 3 – в [1, 2, 6, 10, 11, 15], по главе 4 – в [2, 7, 9, 15].

В диссертационной работе не выявлено использования материалов или отдельных результатов без ссылок на автора или источник заимствования, включая работы, выполненных соискателем лично и/или в соавторстве.

8. Апробация работы

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на 5 международных и российских научных конференциях:

- V Международная научно-техническая конференция «Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности». Чебоксары, 2021.

- XIII Всероссийская научно-техническая конференция «Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике». Чебоксары, 2022.

- VI Международная научно-техническая конференция «Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности».

Чебоксары, 2022.

- International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM). Республика Алтай, 2023.

- Belarusian-Ural-Siberian Smart Energy Conference (BUSSEC). Екатеринбург, 2023.

Результаты диссертационной работы внедрены в деятельность ООО «СтройЭнергоСистемы ДВ» (г. Хабаровск) и ООО «PCM-системы» (г. Москва), что подтверждается актами внедрения, в которых отмечена достоверность, информативность и удобство использования разработанных алгоритмов и программных решений. Разработанные алгоритмы, архитектура и программное обеспечение интеллектуальной аналитической системы контроля и диагностики технического состояния электроприводных компрессорных установок применяются при техническом сопровождении энергетического оборудования предприятий нефтегазоперерабатывающей промышленности, обеспечивая повышение достоверности диагностики и прогнозирования состояния оборудования.

9. Ценность научных работ соискателя

В опубликованных автором работах содержатся следующие научные результаты:

1. Обоснован подход к определению информативных параметров для многопараметрического контроля и диагностики технического состояния электроприводных компрессорных установок, обеспечивающий учет метрологических характеристик средств измерений и рациональный объем анализируемых данных.

2. Разработан алгоритм классификации технического состояния электроприводных компрессорных установок, основанный на комбинации продукционных правил и ансамблевой модели машинного обучения, обеспечивающий повышение точности оценки текущего состояния оборудования по данным онлайн-мониторинга.

3. Разработан алгоритм прогнозирования технического состояния электроприводных компрессорных установок, реализованный на основе многослойной нейронной сети, учитывающий технологическую загрузку оборудования и обеспечивающий повышение достоверности предиктивной оценки.

4. Предложена архитектура интеллектуальной аналитической системы многопараметрического контроля и диагностики технического состояния электроприводных компрессорных установок, обеспечивающая интеграцию разработанных алгоритмов с действующими средствами измерений и информационными системами предприятий.

10. Характер результатов

Характер результатов диссертации соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней Российской Федерации.

11. Выводы

Диссертация Мироненко Я.В. «Системы многопараметрического контроля и диагностики технического состояния компрессорных установок предприятий нефтегазоперерабатывающей промышленности» выполнена на кафедре «Электротехника» и является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой содержится решение комплексной задачи – разработка подходов и алгоритмов для построения информационно-аналитической системы, обеспечивающей контроль и предиктивную диагностику технического состояния электроприводных компрессорных установок на основе данных онлайн-мониторинга. Решение данной задачи имеет значение для развития теоретических основ и практических подходов в области интеллектуального контроля и предиктивной диагностики промышленного оборудования электроприводных компрессорных установок, повышая надежность и эффективность производственных процессов в нефтегазоперерабатывающей отрасли.

В диссертационном исследовании представлен разработанный метод выбора параметров, характеризующих текущее техническое состояние оборудования на основе данных онлайн-мониторинга, без необходимости установки дополнительной измерительной аппаратуры. Предложены алгоритмы диагностики и прогнозирования состояния компрессорных установок нефтегазоперерабатывающей промышленности на основе данных онлайн-мониторинга, обеспечивающие повышение достоверности оценки технического состояния без расширения состава средств измерений. Разработана архитектура и программное обеспечение интеллектуальной аналитической системы контроля и диагностики технического состояния электроприводных компрессорных установок, реализующей указанные подходы и обеспечивающей принятие обоснованных решений по дальнейшей эксплуатации оборудования. Проведена апробация разработанных алгоритмов и системы на действующих компрессорных установках предприятий нефтегазоперерабатывающей промышленности.

Диссертация является результатом самостоятельной научной работы, отличается внутренней логикой и целостностью, содержит новые научные положения и результаты, выносимые на защиту. Представленные материалы подтверждают личный вклад Мироненко Я.В. в развитие темы исследования. В ходе подготовки диссертации соискатель продемонстрировал высокий уровень профессиональной компетентности, умение формулировать научные задачи и

находить их обоснованные решения как в теоретической, так и в прикладной плоскости.


Работа соответствует критериям пп. 9–14 Положения о присуждении ученых степеней Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Диссертация «Система многопараметрического контроля и диагностики технического состояния компрессорных установок предприятий нефтегазоперерабатывающей промышленности» Ярослава Владимировича Мироненко рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры электротехники Уральского энергетического института Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

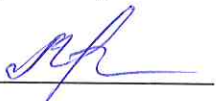
Присутствовало на заседании 32 чел. Результаты голосования: «за» – 32 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 2 от «29» сентября 2025 г.

Председатель расширенного заседания кафедры электротехники



Фризен Василий Эдуардович,
доктор технических наук, доцент,
кафедра электротехники ФГАОУ ВО «УрФУ»,
заведующий кафедрой

Секретарь расширенного заседания кафедры электротехники



Грובה Людмила Семеновна,
кафедра электротехники ФГАОУ ВО «УрФУ»,
заведующий учебной лабораторией

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.
Тел. 8(343)375-47-51, e-mail: vefrizen@urfu.ru

Сведения о лице, утвердившем заключение:
Германенко Александр Викторович, доктор физико-математических наук,
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», проректор по науке,
620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.
Тел. 8(343) 375-45-07, e-mail: rector@urfu.ru