

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе и инновациям
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Новосибирский
государственный технический университет»,
М.П. _____



_____ С.С. Оспичев

_____ 2026 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» на диссертационную работу Мироненко Ярослава Владимировича на тему «Система многопараметрического контроля и диагностики технического состояния компрессорных установок предприятий нефтегазоперерабатывающей промышленности», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды

1. АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

Электроприводные компрессорные установки относятся к ответственному технологическому оборудованию предприятий нефтегазоперерабатывающей промышленности. Нарушение их работоспособности может приводить к вынужденному ограничению технологических процессов, увеличению продолжительности простоев и затрат на техническое обслуживание и ремонт. Существенная часть эксплуатируемого парка высоковольтных электродвигателей имеет длительный срок службы, что повышает требования к своевременному выявлению развивающихся дефектов и обоснованию решений о дальнейшей эксплуатации.

Современные компрессорные установки оснащены большим количеством средств измерений и локальных информационно-измерительных систем, в которых регистрируются технологические, электрические, температурные, вибрационные и другие диагностические параметры. Вместе с тем даже при наличии развитой измерительной инфраструктуры совместный анализ данных различных систем требует разработки специализированных методов отбора, обработки и интерпретации.

В диссертационной работе Я.В. Мироненко задача повышения достоверности диагностики решается за счет многопараметрического анализа

данных онлайн-мониторинга без обязательного расширения состава средств измерений. Такой подход соответствует современному направлению перехода от регламентного обслуживания к обслуживанию по фактическому состоянию и предиктивным стратегиям, а также позволяет использовать уже накопленные предприятиями массивы эксплуатационной информации.

Разработка алгоритмического и программного обеспечения, способного объединять данные различных информационных систем, классифицировать текущее состояние компрессорных установок, прогнозировать диагностические параметры и формировать рекомендации по управлению их жизненным циклом, представляет собой актуальную научно-техническую задачу.

Цель работы заключается в повышении достоверности оценки технического состояния электроприводных компрессорных установок нефтегазоперерабатывающей промышленности на основе данных онлайн мониторинга за счет разработки алгоритмического и программного обеспечения интеллектуальной системы многопараметрического контроля и диагностики.

Объектом исследования являются электроприводные компрессорные установки предприятий нефтегазоперерабатывающей промышленности, а предметом исследования – параметры контроля технического состояния электроприводных компрессорных установок и методы их диагностики.

Учитывая изложенное, тематика диссертационного исследования Я.В. Мироненко является актуальной и соответствует современным задачам технической диагностики и цифровизации процессов эксплуатации промышленного оборудования.

2. НАУЧНАЯ НОВИЗНА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

Научная новизна диссертационной работы определяется разработкой взаимосвязанного комплекса методов и алгоритмов многопараметрического контроля, диагностики и прогнозирования состояния электроприводных компрессорных установок на основе данных действующей измерительной инфраструктуры. К основным новым результатам относятся:

1. Подход к определению информативных параметров многопараметрического контроля и диагностики технического состояния электроприводных компрессорных установок предприятий нефтегазоперерабатывающей промышленности, учитывающий метрологические характеристики средств измерений и рациональный объем анализируемых данных.

2. Алгоритм классификации технического состояния электроприводных компрессорных установок, реализующий комбинацию продукционных правил и ансамблевой модели машинного обучения, учитывающий эксплуатационные параметры оборудования и обеспечивающий классификацию текущего

состояния по данным онлайн-мониторинга с показателем 87 % по критерию F_1 .

3. Алгоритм прогнозирования технического состояния электроприводных компрессорных установок, основанный на архитектуре многослойной нейронной сети, учитывающий технологическую загрузку оборудования и обеспечивающий прогнозирование диагностических параметров с относительной ошибкой 9–23 %.

4. 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 нефтегазоперерабатывающей промышленности.

Теоретическая значимость работы связана с развитием подходов к многопараметрическому контролю состояния сложных электромеханических объектов, объединением параметров различной физической природы и учетом метрологических характеристик измерительных каналов при построении моделей текущего и прогнозного состояния.

Положения, выносимые на защиту, логически связаны с поставленными задачами и отражают основные этапы исследования: формирование состава информативных данных, определение текущего состояния, прогнозирование его изменения и интеграцию разработанных решений в единую информационно-аналитическую систему.

3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ И РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

Диссертационная работа имеет выраженную практическую направленность. Разработанная система ориентирована на использование существующих средств измерений, локальных систем автоматизации и накопленных массивов эксплуатационных данных, что позволяет использовать существующую измерительную инфраструктуру без обязательного расширения состава средств измерений при внедрении на действующих объектах.

Практическая ценность результатов определяется возможностью автоматизированного сбора и структурирования данных, проверки их соответствия нормативным требованиям, классификации текущего состояния, прогнозирования диагностических параметров и формирования рекомендаций по эксплуатации и техническому обслуживанию компрессорных установок.

Апробация информационно-аналитической системы проведена на четырех действующих компрессорных установках двух нефтегазовых объектов Ямало-Ненецкого автономного округа. В ходе апробации выполнены контроль и диагностика текущего состояния, прогнозирование

диагностических параметров и последующая проверка результатов по данным обследований и ремонтов. Отдельно следует отметить пример предиктивного выявления развивающегося дефекта подшипника.

Результаты диссертационной работы внедрены в деятельность ООО «СтройЭнергоСистемы ДВ» и ООО «РСМ-системы». По результатам исследований получены патент Российской Федерации на изобретение и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Разработанные результаты рекомендуется использовать при модернизации информационно-диагностических систем электроприводных компрессорных установок; при формировании рекомендаций по изменению межремонтных интервалов и периодичности диагностических обследований; при интеграции диагностической аналитики с действующими АСУ ТП, АСУД и энергетическими информационными системами предприятий; а также при дальнейшем формировании цифровых двойников компрессорного оборудования

4. ОБОСНОВАННОСТЬ И ДОСТОВЕРНОСТЬ НАУЧНЫХ ВЫВОДОВ, ПОЛОЖЕНИЙ И РЕКОМЕНДАЦИЙ

Обоснованность основных положений диссертации обеспечивается анализом отечественной и зарубежной научно-технической литературы, нормативной документации, исследованием физических диагностических признаков и использованием статистических методов и методов интеллектуальной обработки данных.

Для решения задачи определения текущего состояния автором рассмотрены различные методы классификации и выполнено сравнение ансамблевых моделей. Для прогнозирования временных рядов диагностических параметров исследованы нейросетевые подходы с различными алгоритмами обучения. Качество классификации оценивается с применением F_1 -меры и матриц ошибок, качество прогнозирования – по относительному среднеквадратическому отклонению.

Исходные данные сформированы на основе информации диагностических, технологических и энергетических систем. Для построения классификационных моделей использованы данные по 29 объектам и 232 сценариям, при этом автором отдельно отмечена несбалансированность выборки, характерная для задач технической диагностики. Наилучшее приведенное в работе значение F_1 составляет 0,869.

Достоверность результатов повышается за счет промышленной апробации системы и сопоставления результатов диагностики с фактическим состоянием оборудования. В работе также рассмотрены метрологические характеристики средств измерений и предложена интегральная оценка неопределенности результатов контроля и прогнозирования.

В совокупности использованные методы, результаты вычислительных экспериментов и апробация на действующем оборудовании позволяют считать

основные положения, выводы и рекомендации диссертации в достаточной степени обоснованными. Вместе с тем отдельные методические и редакционные вопросы, требующие пояснения, приведены в разделе замечаний настоящего отзыва.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ О СООТВЕТСТВИИ ДИССЕРТАЦИИ УСТАНОВЛЕННЫМ КРИТЕРИЯМ

Диссертационная работа Я.В. Мироненко является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, обладающей внутренним единством. Поставленные задачи последовательно решаются путем анализа диагностических параметров, разработки архитектуры системы, алгоритмов классификации и прогнозирования, программной реализации и апробации на действующем оборудовании.

Основные результаты диссертационной работы изложены в 13 научных статьях, из которых 4 опубликованы в рецензируемых научных изданиях, включенных в Перечень ВАК Российской Федерации, 2 работы индексируются в базе Scopus. По теме исследования получены патент Российской Федерации на изобретение и свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Результаты докладывались и обсуждались на международных и всероссийских научно-технических конференциях.

По тематике, объекту и предмету исследования, разработанным методам и алгоритмам, а также научной и практической ценности представленная диссертация соответствует научной специальности 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды, в том числе следующим пунктам паспорта специальности:

п. 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.

п. 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.

п. 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.

Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук и установленным пунктами 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» в действующей редакции.

6. АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационная работа Я.В. Мироненко имеет общий объем 200 страниц и состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка использованных источников из 99 наименований и трех приложений.

Во введении обоснована актуальность темы, определены объект и предмет исследования, сформулированы цель и пять задач, приведены методы исследования, основные положения, выносимые на защиту, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, сведения об апробации и внедрении результатов.

В первой главе проведен анализ состояния электрооборудования нефтегазоперерабатывающей промышленности, рассмотрены подходы к управлению жизненным циклом, методы технической диагностики и информационно-диагностические системы. По результатам анализа сформулирована необходимость решения задач определения текущего состояния компрессорной установки и прогнозирования его изменения по данным онлайн-мониторинга.

Во второй главе рассмотрены технологические, энергетические, ресурсные и диагностические параметры, включая вибрацию, температуру, частичные разряды и электрические величины. Предложена методика выбора информативных параметров, включающая оценку влияния, охвата, качества данных, влияния на модель и контроль избыточности.

В третьей главе сформирована архитектура информационно-аналитической системы. Рассмотрены источники данных, способы интеграции с локальными системами, проверки качества и целостности информации. В состав информационно-аналитической системы включены модули сбора данных, производственного контроля, классификации, прогнозирования, экспертной оценки и оптимизации моделей.

В четвертой главе разработано алгоритмическое обеспечение определения текущего и прогнозного состояния. Для классификации исследованы различные ансамблевые методы на основе деревьев решений. Для прогнозирования временных рядов диагностических параметров используется многослойная нейронная сеть с алгоритмами обратного распространения ошибки и Левенберга-Марквардта. Рассмотрена методика оценки достаточности точности с учетом метрологических составляющих.

В пятой главе приведены результаты интеграции системы в производственный контур и апробации на действующих компрессорных установках. Сформированы рекомендации по управлению жизненным циклом, разработан пользовательский интерфейс, выполнена верификация текущей и прогнозной диагностики по результатам эксплуатации и ремонта.

В заключении обобщены основные результаты, сформулированы рекомендации по практическому применению и направления дальнейшего

развития, включая использование прогнозных моделей в составе цифровых двойников технологических объектов. Приложения содержат акты внедрения, патент на изобретение и свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

7. ВОПРОСЫ И ЗАМЕЧАНИЯ ПО СОДЕРЖАНИЮ ДИССЕРТАЦИИ

При ознакомлении с диссертационной работой Я.В. Мироненко возникли следующие вопросы и замечания:

1. Предложенная в главе 2 методика отбора параметров использует трехбалльные экспертные оценки влияния и охвата, а также экспертно задаваемые весовые коэффициенты. В работе не приведен анализ чувствительности итогового набора параметров к изменению этих весов и к вариации экспертных оценок, что было бы полезно для подтверждения устойчивости методики.

2. Выборка существенно несбалансирована: в работе приведено распределение классов 71/19/9/1 %. При этом в таблице 4.3 в качестве итогового показателя приведена агрегированная F1-мера. Для наиболее редкого и практически значимого предельного состояния было бы целесообразно дополнительно показать полноту, точность и F1-меру по каждому классу, поскольку общий показатель может скрывать недостаточное качество распознавания редких состояний.

3. Методика интегральной оценки неопределенности объединяет составляющие неопределенности измерительного канала, ошибку классификации и RRMSE прогнозирования путем квадратичного суммирования. Данные величины имеют различную статистическую природу, поэтому предположение об их независимости и приведение к единой шкале требуют более строгого обоснования.

4. В единой модели используются данные из различных информационных систем с существенно различающейся дискретностью регистрации – от секунд до минут. В диссертации недостаточно подробно описаны процедуры синхронизации временных рядов, агрегации и обработки пропусков при формировании общей матрицы признаков. Эти операции могут существенно влиять на результаты классификации и прогнозирования.

5. Для производственного контроля сформирована база правил на основе нормативных требований. В работе приведены примеры уставок, однако недостаточно раскрыта трассировка каждой уставки к конкретному нормативному документу, его редакции и условиям применимости. Для промышленной эксплуатации системы целесообразно предусмотреть формализованное управление версиями базы правил при изменении нормативных требований.

6. В разделе, посвященном информационной инфраструктуре, распределенная база данных определяется как хранилище большого объема неструктурированных данных, хранящихся в несистематизированном виде.

Такое определение является терминологически неточным и фактически ближе к понятию озера данных.

7. В тексте имеются отдельные разночтения в единицах измерения. В частности, реактивная мощность указана как измеряемая в ВА и кВА, хотя эти единицы относятся к полной мощности; для интенсивности частичных разрядов в разных разделах используются мВт и Вт, а для кажущегося заряда встречаются нКл, пКл и обозначение «пкКл». Эти обозначения следует унифицировать.

8. Представление архитектуры разработанной системы и процесса автоматизированного контроля и диагностики на Рисунках 3.2 и 3.3 целесообразно было бы дополнить структурными или компонентными диаграммами, например в UML-нотации или в соответствии с ГОСТ 19.701-90. Используемая ЕРС-нотация отображает последовательность процессов и событий, однако не вполне наглядно представляет состав программных компонентов, интерфейсы и информационные связи между ними.

Приведенные вопросы и замечания имеют преимущественно уточняющий и редакционный характер, не затрагивают основные научные положения и не снижают общей высокой положительной оценки диссертационной работы.

8. ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная диссертационная работа Мироненко Ярослава Владимировича «Система многопараметрического контроля и диагностики технического состояния компрессорных установок предприятий нефтегазоперерабатывающей промышленности» является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научно-техническая задача повышения достоверности оценки технического состояния электроприводных компрессорных установок на основе многопараметрической обработки данных онлайн-мониторинга.

В работе получены новые научные результаты, включающие подход к определению информативных параметров, алгоритмы классификации и прогнозирования технического состояния, а также архитектуру информационно-аналитической системы, обеспечивающую интеграцию с действующими средствами измерений и информационными системами предприятий.

Содержание диссертационной работы соответствует поставленной цели и задачам. Изложение материала последовательное, выводы по главам связаны с полученными результатами, практическая применимость подтверждена апробацией на действующем оборудовании и актами внедрения. Основные результаты полно представлены в научных публикациях, а программная реализация подтверждена свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ.

реализация подтверждена свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ.

По своему научному уровню, новизне, практической значимости и степени завершенности диссертационная работа Мироненко Ярослава Владимировича «Система многопараметрического контроля и диагностики технического состояния компрессорных установок предприятий нефтегазоперерабатывающей промышленности» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, установленным пунктами 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» в действующей редакции, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды.

Диссертационная работа, автореферат Мироненко Ярослава Владимировича и настоящий отзыв ведущей организации рассмотрены и одобрены на объединенном заседании кафедры электрических станций межкафедральной научно-исследовательской лаборатории обработки, анализа и представления данных в электроэнергетических системах Новосибирского государственного технического университета, протокол от «03» сентября 2026 г. № 12.

Отзыв подготовлен доктором технических наук, профессором, деканом факультета энергетики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» Русиной Анастасией Георгиевной.

Доктор технических наук, профессор,
декан факультета энергетики НГТУ



Русина Анастасия Георгиевна

«03» сентября 2026 г.

630073, Россия, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20
Тел. +7 (383) 346-11-60, e-mail: rusina@corp.nstu.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет»

Адрес: 630073, Россия, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20

Телефон: +7 (383) 346 50 01

E-mail: rector@nstu.ru

Сайт: <https://www.nstu.ru/>

