

ОТЗЫВ

**официального оппонента Непши Федора Сергеевича 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 специальности 2.2.8. Методы и приборы контроля
и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды**

Актуальность темы диссертационной работы

Современные промышленные предприятия располагают значительным количеством автоматизированных систем, осуществляющих регистрацию технологических, энергетических и диагностических параметров оборудования. Вместе с тем наличие большого объема данных само по себе не обеспечивает повышения эффективности эксплуатации оборудования. Необходимы программные и алгоритмические средства, обеспечивающие объединение данных различных информационных систем, их обработку, интерпретацию и последующее использование при принятии эксплуатационных решений.

Указанная проблема в полной мере относится к электроприводным компрессорным установкам предприятий нефтегазоперерабатывающей промышленности. Как показано в диссертационной работе, такие установки оснащаются средствами технологического, энергетического и диагностического мониторинга, однако накопленная информация зачастую используется преимущественно локальными системами и не рассматривается совместно при оценке технического состояния оборудования. Автором обоснована необходимость перехода от контроля отдельных параметров к многопараметрической обработке данных онлайн-мониторинга с последующим определением текущего и прогнозного состояния установки.

С позиции цифровизации промышленного предприятия существенным является выбранный автором принцип использования уже существующей информационно-измерительной инфраструктуры. Разрабатываемая система не предполагает обязательного создания нового полевого уровня измерений, так как получает данные из действующих АСУ ТП, систем управления электроснабжением, учета электроэнергии и диагностических систем.

Структура и содержание диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка использованных источников и трех приложений. Общий объем составляет 200 страниц. Список использованных источников включает 99 наименований.

Во *введении* обоснована актуальность исследования, сформулированы цель и задачи, определены объект и предмет исследования, приведены основные положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость.

В *первой главе* рассмотрены вопросы управления жизненным циклом электроприводных компрессорных установок, существующие подходы к технической диагностике, информационные системы и особенности накопления эксплуатационных данных. По результатам анализа сформулированы две основные задачи: определение текущего состояния оборудования и прогнозирование его изменения на основе данных онлайн-мониторинга.

Во *второй главе* рассмотрены параметры различной физической природы, используемые при контроле и диагностике компрессорных установок. Автором предложена методика формирования информативного набора параметров, предусматривающая оценку их влияния, распространенности соответствующих средств измерений, качества данных и влияния параметров на диагностическую модель, а также контроль корреляции и дублирования. Следует отметить, что задача выбора параметров рассматривается не изолированно от информационной инфраструктуры предприятия. В методике учитывается фактическая доступность данных, что является важным условием практической реализуемости цифровых диагностических систем.

В *третьей главе* разработана архитектура информационно-аналитической системы контроля и диагностики. В качестве источников информации используются локальные информационно-измерительные системы предприятия и распределенные базы данных. В состав разработанной системы входят модули сбора данных, производственного контроля, классификации состояния, прогнозирования, экспертной оценки и оптимизации моделей. Особый интерес представляет организация межсистемного взаимодействия. Автором рассмотрены вопросы получения данных от существующих средств измерений, интеграции информации, проверки целостности и качества данных, а также взаимодействия расчетных модулей с существующими автоматизированными рабочими местами.

В *четвертой главе* разработаны алгоритмы определения текущего и прогнозного состояния компрессорных установок. Для классификации используются ансамблевые методы машинного обучения, а для прогнозирования диагностических параметров исследованы нейросетевые модели.

Представленные результаты показывают, что включение эксплуатационных данных в состав признаков позволяет повысить качество классификации. Максимальное полученное значение по критерию F_1 составляет 0,869. Прогнозирование временных рядов выполняется с

учетом технологической загрузки оборудования, а относительная ошибка прогнозирования в зависимости от параметра находится в диапазоне от 9 до 23 %.

Пятая глава посвящена апробации разработанных и реализованных в виде программного обеспечения решений соискателя при их интеграции в реальную производственную системы. Разработан пользовательский интерфейс, реализовано получение данных из существующей информационной инфраструктуры и формирование рекомендаций по результатам текущей и прогнозной диагностики. Апробация проведена на действующих компрессорных установках двух нефтегазовых объектов. Для текущей классификации результаты системы были подтверждены эксплуатационными службами. При прогнозировании были выявлены в том числе развивающийся дефект подшипника одной из установок и последующий переход другой установки в предельное состояние. Практическая апробация является важной частью представленной работы, поскольку показывает возможность функционирования разработанных алгоритмов в составе реальной системы контроля и мониторинга оборудования промышленного предприятия.

Научная новизна полученных результатов

1. Предложен подход к определению информативных параметров многопараметрического контроля и диагностики, учитывающий метрологические характеристики средств измерений и обеспечивающий рациональный объем анализируемых данных.
2. Разработан алгоритм определения текущего технического состояния компрессорных установок, объединяющий производственный контроль на основе нормативно заданных ограничений и многопараметрическую модель классификации.
3. Разработан алгоритм прогнозирования диагностических параметров, характеризующих техническое состояние компрессорных установок, учитывающий их технологическую загрузку.
4. Разработана архитектура информационно-аналитической системы, обеспечивающая интеграцию разработанных алгоритмов с действующими средствами измерений и информационными системами предприятия.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость исследования состоит в развитии методов многопараметрической обработки диагностических данных и формировании подхода к определению технического состояния оборудования с использованием информации различной физической природы.

Практическая значимость работы определяется прежде всего возможностью использования разработанных решений совместно с существующими средствами автоматизации предприятия. В диссертации предусматривается получение данных непосредственно из распределенных баз данных и локальных информационных систем. Такой подход уменьшает необходимость дублирования измерительной инфраструктуры и позволяет использовать накопленную историю эксплуатации оборудования.

Практическая применимость подтверждена апробацией системы на действующих компрессорных установках и внедрением результатов работы в деятельность ООО «СтройЭнергоСистемы ДВ» и ООО «РСМ-системы».

Следует также положительно оценить разработку программной реализации системы. По результатам работы получены патент Российской Федерации на изобретение и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Степень обоснованности и достоверности результатов

Обоснованность результатов обеспечивается использованием значительного объема эксплуатационных данных, сравнительным анализом различных методов классификации и прогнозирования, применением установленных метрик оценки качества и последующей апробацией разработанной системы. Автор рассматривает проблему несбалансированности классов, характерную для технической диагностики, и применяет соответствующие методы оценки качества. Достоверность результатов также подтверждается проверкой разработанных решений на действующем оборудовании и сопоставлением результатов диагностики с фактическим состоянием компрессорных установок при проведении обследований и ремонтов.

Соответствие диссертационной работы научной специальности

Содержание диссертации соответствует научной специальности 2.2.8 «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды». Полученные результаты относятся к разработке и совершенствованию методов технической диагностики, алгоритмического и программного обеспечения обработки измерительной информации и автоматизации процессов определения технического состояния оборудования. Работа соответствует следующим пунктам:

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.

Публикации по теме работы и ее представление на конференциях

Основные результаты диссертационного исследования 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.

Результаты исследований докладывались на международных и всероссийских научно-технических конференциях. По результатам работы получены патент Российской Федерации на изобретение и свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Вопросы и замечания по диссертационной работе

При общей положительной оценке работы имеются следующие вопросы и замечания.

1. В разработанной архитектуре ключевым механизмом объединения информации является получение данных по тегам из различных локальных информационных систем и распределенной базы данных. При этом в работе недостаточно подробно рассмотрен вопрос унификации семантики данных, поэтому представляется целесообразным более подробно рассмотреть использование единой информационной модели или онтологии объекта при масштабировании системы.

2. В состав архитектуры включен модуль оптимизации моделей, предназначенный для их совершенствования по мере накопления новых данных. Вместе с тем практически не рассмотрены процедуры управления жизненным циклом самих аналитических моделей. Для промышленной интеллектуальной системы данные вопросы имеют существенное значение.

3. В работе основное внимание уделено точности алгоритмов, однако практически отсутствует количественная оценка производительности программной системы. Не представлены

анализ вычислительной сложности алгоритма, требования к вычислительным ресурсам и время обработки поступающих данных в зависимости от количества контролируемых компрессорных установок. Такие характеристики представляли бы практический интерес при распространении системы на парк оборудования предприятия.

4. В разработанной системе совместно используются данные различных информационных систем, имеющие различную дискретность регистрации и глубину хранения. При этом недостаточно подробно описаны процедуры синхронизации временных рядов и обработки пропусков при формировании входных выборок. Представляется целесообразным оценить влияние указанных процедур на точность классификации и прогнозирования технического состояния.

5. Практическая апробация проведена на четырех компрессорных установках. Полученные результаты подтверждают работоспособность предложенного подхода, однако для оценки масштабируемости информационно-аналитической системы было бы полезно провести дополнительную апробацию на данных большего количества разнотипных установок.

Указанные вопросы и замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

Общее заключение

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

В работе разработаны подход к формированию информативного набора контролируемых параметров, алгоритмы классификации текущего состояния и прогнозирования диагностических параметров, а также архитектура информационно-аналитической системы, обеспечивающая взаимодействие с существующими средствами измерения и информационными системами предприятия.

Полученные результаты имеют научную новизну и практическую значимость. Работоспособность разработанных решений подтверждена результатами апробации на действующем промышленном оборудовании.

Диссертационная работа 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, а ее автор, Мироненко Ярослав Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды.

Официальный оппонент:

кандидат технических наук,
начальник отдела управления
Микрогрид «РТСофт – Смарт Грид»



Непша Федор Сергеевич

03.09.2026

Подпись Непши Ф. С. заверяю.
Генеральный директор
ООО «РТСофт – Смарт Грид»




Пуйде Ирина Анатольевна

105264, Россия, г. Москва, Верхняя Первомайская улица, д. 51, 89, +7 (495) 967-15-05,
rtsoft@rtsoft.ru nepsha_fs@rtsoft.ru

Я, Непша Федор Сергеевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Мироненко Ярослава Владимировича на тему «Система многопараметрического контроля и диагностики технического состояния компрессорных установок предприятий нефтегазоперерабатывающей промышленности», и их дальнейшую обработку.