

## АННОТАЦИЯ

диссертационной работы Латыпова Сергея Ильдусовича  
«Разработка интеллектуальной системы диагностики и мониторинга силового  
оборудования»,

представленной на соискание ученой степени доктора философии (PhD)

по специальности: 6D071800 - «Электроэнергетика»

**Актуальность работы.** Совершенствование интеллектуальных технологий и их дальнейшая интеграция в различные технологические процессы является перспективным направлением развития науки и техники. Прогресс данного направления развития так же актуален в области диагностики, контроля и мониторинга электроэнергетического оборудования.

Работы по модернизации электроэнергетических объектов и повышению эффективности выработки, передачи и распределения – одно из важнейших направлений экономического развития Республики Казахстан.

Существенное повышение эффективности получения результатов при проведении диагностических работ позволяют современные интеллектуальные технологии и компьютеризированные системы. Результатом симбиоза диагностики и современных технологий обработки информации становится увеличение срока эксплуатации оборудования и более точное прогнозирование его остаточного ресурса.

В то же время, существующие интеллектуальные технологии, применяемые при мониторинге и диагностике, недостаточно эффективны. Круг решаемых задач ограничен технологиями технической реализации диагностического оборудования и методиками проведения диагностических работ.

Большая часть оборудования, задействованного в энергетической отрасли, равно как и процесс выработки и передачи электроэнергии, требуют своевременного контроля состояния. Однако, проведение таких мероприятий персоналом электроэнергетических предприятий является трудоемким и низкоскоростным процессом. К тому же, диагностические работы носят периодический характер и, следовательно, не всегда способны определить развивающиеся дефекты, с целью их исправления на ранней стадии их развития.

Применение экспертных систем, на первый взгляд, становится перспективным направлением развитием процессов диагностики. Но их работа оказывается недостаточно эффективной. Дело в том, что экспертные диагностические системы, применяемые в диагностике электроэнергетического оборудования, определяют не конкретный дефект, а группу дефектов со схожими характеристиками. Для уточнения результатов требуется работа эксперта и проведение дополнительных испытаний.

Измерительные сигналы, как правило, имеют случайный характер. Диагностические системы, работающие со спектральными характеристиками сигнала, работают с гармоническими составляющими. При переходе от

временного анализа сигнала к частотному неизбежно растут погрешности, что, в свою очередь, может привести к ошибочному результату диагностирования.

В ответ на имеющуюся проблему, в экспертные системы внедряются новые методы получения и обработки диагностических сигналов.

Но, несмотря на достоинства современных экспертных систем, они не лишены ряда недостатков:

- из-за отсутствия универсальных алгоритмов обработки данных диагностируется сразу группа дефектов;
- как правило, отсутствует возможность самообучения системы;
- существующие экспертные системы, чаще всего, могут работать только локально, а сопоставление данных по диагностике парка оборудования (особенно находящегося на отдалении друг от друга) требует привлечения дополнительных технических средств и времени.

Решение указанных проблем может быть реализовано с привлечением современных компьютеризированных систем, а так же применением технологий искусственного интеллекта.

**Целью настоящей диссертационной работы** является разработка системы контроля и мониторинга электроэнергетического оборудования с применением интеллектуальных алгоритмов обработки и распознавания акустических сигналов на основе современных технологий с целью повышения эффективности диагностирования неисправностей.

**Задачи исследования:**

- оценить вероятные дефектные состояния силового оборудования;
- определить тип наиболее информативных диагностических данных и способы их получения;
- разработать алгоритм обработки диагностических сигналов на основе теории идентификационных измерений и статистической обработки сигналов для силового оборудования в электроэнергетике;
- предложить оптимальный вариант реализации системы контроля и мониторинга состояния силового оборудования;
- разработать алгоритм и осуществить программную реализацию метода анализа и обработки диагностических данных на основе элементов искусственного интеллекта;
- сформировать базу данных дефектных состояний маслонаполненного трансформатора;
- провести испытания разрабатываемой системы.

**Объект исследования** – масляные силовые трансформаторы электроэнергетических систем.

**Предмет исследования** – процессы контроля, диагностики и мониторинга электроэнергетического оборудования; процессы сбора, обработки и отображения информации.

**Методы исследования.**

В процессе проведения диссертационных исследований использовались апробированные методы по обработке и анализу измерительной информации, методы идентификации измерений, методы создания компьютерных приборов,

программно-аппаратных систем на основе промышленных контроллеров. Кроме того, проводились полевые испытания по диагностике силового оборудования в процессе их эксплуатации.

**Научная новизна** заключается в следующих положениях и результатах:

– предложен интеллектуальный метод по обработке измерительных сигналов электроэнергетического оборудования на основе положений теории идентификационных измерений и статистической обработки информации, что позволило распознать отдельные дефекты, а так же повысить точность распознавания;

– предложена методика цифровой обработки диагностических сигналов, отличающаяся тем, что обработка квазислучайных сигналов происходит с использованием технологии искусственного интеллекта и идентификационных измерений;

– предложена модель группировки качественных характеристик состояния электроэнергетического оборудования по значениям идентификационных и статистических параметров диагностических сигналов, а так же их систематизация;

– предложена техническая реализация системы мониторинга и диагностики, работающая на основе разработанных методов и алгоритмов, позволяющая определять качественные характеристики для электроэнергетического оборудования, а так же способная пополнять базу данных возможных состояний в режиме «обучения».

**Практическая значимость.**

Разработанный метод и алгоритм анализа диагностических сигналов по идентификационным и статистическим параметрам позволяет создавать компактные и универсальные инструменты контроля, диагностики и мониторинга электроэнергетического оборудования.

Предложенный алгоритм обработки диагностических сигналов позволяет встраивать его в уже существующие системы диагностики, мониторинга и контроля состояния различного технологического оборудования.

**Положения диссертации, выносимые на защиту:**

– метод цифровой обработки измерительных случайных сигналов на основе положений теории идентификационных измерений и статистической обработки данных;

– качественные характеристики состояния силового оборудования по значениям диагностических параметров измерительных сигналов;

– алгоритм работы интеллектуального прибора обработки измерительных сигналов на основе положений теории идентификационных измерений и статистической обработки данных;

– структура интеллектуального блока контроля и мониторинга силового оборудования.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационного исследования доложены и обсуждены на: III Международной научно-технической конференции (Омск, 2019); Международной научно-практической конференции «Проблемы развития технического потенциала и направления его

повышения» (Уфа, 2019); Международной научно-практической конференции «Козыбаевские чтения-2018: Евразийский потенциал и новые возможности развития в условиях глобальных вызовов» (Петропавловск, 2018); Международной научной конференции «International Conference on Applied Mathematics, Modeling and Simulation» (AMMS, Китай, 2017); Международной научно-практической конференции «Молодежь и наука - 2018» (Петропавловск, 2018).

**Публикации.** Основные результаты исследования нашли отражение в ряде научных работ, в том числе, в 4 статьях, опубликованных в изданиях рекомендуемых Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК, в 2 статьях – в международных научных журналах, имеющих ненулевой импакт-фактор (индексированных в базе данных Web of Science и Scopus), в 4 работах, отраженных в трудах международных научных конференций, в том числе 2 в зарубежных и 2 в республиканских, а также в 2 патентах.

#### **Личный вклад автора.**

Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований получены автором самостоятельно. В печатных работах, которые написаны в соавторстве, соискателю принадлежит ведущая роль при обобщении и анализе полученных результатов.

#### **Структура диссертации.**

Диссертация имеет классическую структуру: вводная часть, основная часть (шесть глав), заключение, список использованных источников. Работа изложена на 102 страницах компьютерного текста, включает 54 рисунка, 8 таблиц и 102 наименований библиографических источников.

#### **Результаты исследования.**

Объектом исследования являются электродвигатель и маслонаполненный трансформатор. По результатам проведенных исследований принято решение в качестве измерительной информации выбрать виброакустические сигналы. Разработаны метод и алгоритм обработки диагностических сигналов, базирующиеся на положениях теории идентификационных измерений, обработке статистических данных и элементах искусственного интеллекта.

На основе накопленных данных выбраны наиболее информативные характеристические показатели. Для вибродиагностики электродвигателей такими показателями стали: идентификационный параметр формы и виртуальная частота. При диагностике маслонаполненных трансформаторов наиболее информативными параметрами стали: параметр формы, виртуальная частота, энергия сигнала, среднее квадратическое значение и дисперсия.

Благодаря технологиям искусственного интеллекта удалось перейти от определения состояния объекта к распознаванию отдельных дефектов. Такой переход стал возможным благодаря индивидуальным показателям характеристик сигнала для каждого дефекта.

Реализация алгоритма возможна как на базе компьютера, так и силами промышленных контроллеров. Второй вариант даёт возможность создания компактных систем, способных удаленно от эксперта контролировать состояние оборудования. Благодаря модулям связи, контроллеры, при

необходимости, выполняют действия по отключению питания, а также сигнализируют о возникновении дефектного состояния на центральный сервер.

Встраивание разработанного алгоритма в уже имеющиеся диагностические системы позволяют значительно повысить качество распознавания дефектов уже на ранней стадии их развития. Например, при встраивании алгоритма в диагностическую систему «Камертон» позволило перейти от распознавания состояний электропривода к точной и четкой идентификации дефектов. Точность диагностики состояния двигателя при этом увеличилось на 10%.

Подводя итоги проведенных исследований, можно выделить следующие положения:

– разработан интеллектуальный метод диагностики и алгоритм обработки измерительных сигналов силового электроэнергетического оборудования на основе положений теории идентификационных измерений и обработки статистических данных с применением технологий искусственного интеллекта, что позволяет повысить точность получения диагноза;

– предложена модель сбора и систематизации характеристических показателей состояния диагностируемого оборудования по значениям идентификационных параметров и статистических данных;

– апробация предложенного метода показала, что вибродиагностика электроприводов позволяет выявить дефекты с вероятностью 0,75, а акустическая диагностика по частичным разрядам, – с вероятностью 0,9;

– предложенный интеллектуальный алгоритм работы системы диагностики работает в режимах «обучение» и «измерение», что, в свою очередь, позволяет программно встраивать его в уже существующие системы мониторинга, контроля и диагностики всевозможного технологического оборудования;

– возможность двунаправленной связи с диагностическим прибором позволяет обслуживать технологическое оборудование, располагаемое на больших расстояниях от эксперта (сервера), что особенно актуально при использовании протяженных электроэнергетических системах с ветвящейся структурой.

#### **Работы, опубликованные по теме диссертации.**

1. Kashevkin A., Klikushin Yu., Koshekov A., Koshekova B., Latypov S., Kalantayevskaya N. and Savostina G. Computer Diagnostic and Monitoring Device Based on the Theory of Identification Measurement of Signals // International Conference on Applied Mathematics, Modeling and Simulation (AMMS 2017). – 2017. – vol. 153 – P. 391-395.

2. Koshekov K.T., Belyaev P.V., Latypov S.I., Savostin A.A., Kalantayevskaya N.I., Kobenko V.Yu., Koshekova B.V. Modernization of acoustic method for the diagnostics of power transformers based on digital signal processing. Journal of Physics: Conference Series, Volume 1260, 2019, c1-7.

3. Koshekov K.T., Kashevkin A.A., Latypov S.I., Savostina G.V., Koshekov A.K., Klikushin Y.N., Sofina N.N. An Intelligent System for Vibrodiagnostics of Oil

and Gas Equipment. Russian Journal of Nondestructive Testing. 2018. Vol. 54. No. 4. pp. 249-259.

4. Кашевкин А. А., Кликушин Ю.Н., Латыпов С.И., Кошекова Б.В. Алгоритм кодирования случайных сигналов по идентификационному параметру формы. Вестник СемГУ им. Шакарима. - Семей, 2018. - № 2(82) - С. 103-108.

5. Кликушин Ю.Н., Кашевкин А.А., Кошеков А.К., Латыпов С.И., Калантаевская Н.И. Метод и компьютерный прибор идентификационного кодирования случайных сигналов по виртуальной частоте // Вестник ПГУ. Энергетическая серия. – Павлодар. – 2018. – №2. – С. 351–359.

6. Кошеков К.Т., Беляев П.В., Латыпов С.И., Савостин А.А., Калантаевская Н.И., В.Ю. Кобенко, Кошекова Б. В. Модернизация акустического метода диагностики силовых трансформаторов на основе цифровой обработки сигналов. Проблемы машиноведения. Материалы III Международной научно-технической конференции. Издательство: Омский государственный технический университет (Омск), 2019.

7. Кошеков К.Т., Кликушин Ю.Н., Латыпов С.И., Софьина Н.Н., Савостина Г.В., Кошеков А.К. Интеллектуальная система вибродиагностики нефтегазового оборудования. Научный журнал «Дефектоскопия». – Москва: Наука – 2018. - №4. – С. 31-41.

8. Кошеков К.Т., Латыпов С.И., Калантаевская Н.И. Алгоритм диагностики электроэнергетического оборудования с интеллектуальной обработкой сигналов. Вестник ПГУ. Энергетическая серия, №1(2019), 2019, стр.244-254.

9. Латыпов С.И., Зыкова Н.В., Дарий Е.М., Аушакимов А.К. Investigation of the power transformer of the substation «Krasnaya goroka» using acoustic methods involving modern techniques and equipment. «Молодежь и наука - 2018»: Материалы V международной студенческой научно-практической конференции в одном сборнике. - Петропавловск: СКГУ им. М. Козыбаева, 2018. Стр. 634-637.

10. Латыпов С.И., Зыкова Н.В., Дарий Е.М., Жусупов Е.Б. Современные тенденции в диагностике маслонеполненных трансформаторов. Материалы МНПК «Козыбаевские чтения-2018: Евразийский потенциал и новые возможности развития в условиях глобальных вызовов», Т.2. - Петропавловск: СКГУ им. М.Козыбаева, 2018. с. 288-291.

11. Латыпов С.И., Калантаевская Н.И., Кошеков К.Т. Предпосылки применения цифровой обработки сигналов для диагностики состояния электрооборудования. Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции «Проблемы развития технического потенциала и направления его повышения». Агентство международных исследований. 2019. Стр.67-71.

12. Латыпов С.И., Калантаевская Н.И., Кошеков К.Т., Савостин А.А. Дистанционный мониторинг состояния силовых трансформаторов с применением цифровой обработки диагностических сигналов. Вестник АУЭиС. №4(4)(43)2018, стр.85-91.