

ОТЗЫВ

официального оппонента Фреймана Владимира Исааковича
на диссертационную работу

Фролова Кирилла Владимировича

на тему «**Информационно-измерительная система непрерывной
акустической диагностики электрооборудования
ячеек комплектных распределительных устройств**»,

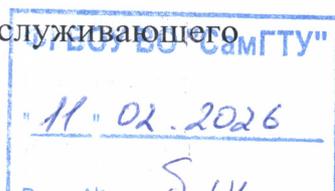
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие
системы

1. Актуальность темы

Представленная диссертационная работа посвящена актуальной и важной научно-технической проблеме – повышению надежности электроснабжения промышленных объектов путем внедрения информационно-измерительной системы (ИИС) контроля и диагностики наиболее важных компонентов, в частности, комплектных распределительных устройств (КРУ) электроустановок. КРУ относится к критической инфраструктуре предприятия, поэтому к нему предъявляются высокие требования по надежности функционирования для разных условий эксплуатации. Их выполнение призвана обеспечить ИИС, которая должна эффективно и результативно решать задачи технического диагностирования КРУ как сложного технического объекта. Для проектирования таких систем необходимо применение адекватных диагностических моделей, методов и алгоритмов измерений и обработки информации. Ожидаемого эффекта можно добиться только с использованием последних достижений науки и техники в области метрологии, цифровой обработки сигналов, электроники и схемотехники, математического, имитационного и программного моделирования и т.д. Важной задачей также является повышение уровня автоматизации и снижение степени задействования обслуживающего

с отзывом от заказчика 1

11.02.2026



персонала в процессе технической эксплуатации. Поэтому тема представленной диссертации, которая направлена на проектирование и реализацию ИИС непрерывной акустической диагностики электрооборудования ячеек комплектных распределительных устройств, представляется актуальной и значимой как с теоретической, так и с практической точек зрения.

2. Содержание работы

Структура диссертационной работы состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и пяти приложений.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, исследована степень разработанности выбранной темы, сформулированы цель и научные задачи исследования, охарактеризованы объект и предмет исследования, представлены научная новизна и практическая ценность результатов работы, описаны методы исследования, приведено обоснование достоверности полученных выводов и рекомендаций. Также приведены сведения по апробации результатов на конференциях и в научных изданиях.

Первая глава посвящена анализу современных подходов к диагностике КРУ и защите от основных воздействующих факторов – частичных и дуговых разрядов. Для этого выполнен подробный обзор возможных дефектов, среди которых выявлены пять основных, проанализированы причины отказов. Выполнен анализ современных систем мониторинга и диагностики технического состояния электрооборудования, особое внимание уделено методам контроля, доказаны преимущества выбранного для дальнейшей работы бесконтактных акустических методов. Проанализированы современные способы защиты от разрядов. Проведен обзор структур ИИС, которые реализуют выбранные методы диагностики, предложены направления их совершенствования.

Во второй главе представлены результаты экспериментальных исследований акустического сигнала, который применяется в выбранном

методе диагностики, для КРУ рассматриваемого класса. Для этого создана экспериментальная установка, позволяющая провести необходимые эксперименты. Оценены метрологические характеристики используемых датчиков. Выполнен анализ достоверности полученных результатов измерения, доказаны их высокая достоверность и воспроизводимость. Проведен гармонический анализ тестового акустического сигнала и параметрическая идентификация его математической модели.

Третья глава посвящена спектральному анализу акустического сигнала от КРУ 6-10 кВ. Для этого разработан метод кластеризации спектральной плотности мощности. Полученный кластерный граф позволяет четко выделить нормальный, предаварийный и аварийный режимы работы КРУ, что позволяет с высокой точностью провести диагностику функционирования его работы.

Четвертая глава описывает разработанную ИИС, использующую выбранный бесконтактный акустический метод диагностирования. Описана и прокомментирована структурная и функциональная схемы ИИС. Приведено подробное описание аппаратных средств, задействованных в разработанной системе, на уровне их принципиальных схем. Представлена методика контроля работоспособности измерительных каналов ИИС, описан каждый шаг реализуемого алгоритма. Приведен алгоритм обработки результатов диагностики, с описание основных его этапов. Проиллюстрировано разработанное программное обеспечение ИИС, на уровне модулей и структуры базы данных. Выполнен метрологический анализ, в рамках которого рассчитаны основные виды погрешностей измерений и доказано, что они удовлетворяют предъявляемым требованиям. Даны рекомендации по практическому применению разработанной системы.

В заключении приведены основные научно-технические результаты выполненной диссертационной работы.

В приложении приведены копии экспертных оценок созданных диагностических методов, параметры идентификации разработанной

математической модели, результаты измерений, копии актов внедрения научных и практических результатов диссертационной работы, копии полученных патентов на изобретение.

3. Научная новизна результатов и практическая значимость результатов

Научная новизна результатов заключается в следующем:

1. Предложен метод бесконтактного акустического контроля, оригинальность которого заключается в оптимальном выборе мест размещения акустических датчиков.

2. Разработан метод кластеризации спектральной плотности мощности акустического сигнала, в котором использован метод главных компонент относительно измеряемого акустического сигнала, что позволило с высокой степенью достоверности режим функционирования: нормальный, предаварийный или аварийный.

3. Разработана информационно-измерительная система на основе метода бесконтактного акустического контроля, в структуре которой выполняется предварительная обработка и кластеризация сигналов, что способствует оперативному выявлению дефектов и снижению нагрузки на измерительные каналы.

4. Предложена методика контроля работоспособности измерительных каналов разработанной ИИС, в котором формирование тестовых сигналов происходит по результатам параметрической идентификации математической модели акустического сигнала дуговых и частичных разрядов, что позволяет обеспечить высокую (заданную) точность измерений.

Практическая значимость работы заключается в разработке и внедрении ИИС непрерывной акустической диагностики электрооборудования ячеек КРУ 6-10 кВ, которая обеспечивает высокую достоверность определения режимов функционирования КРУ, использует устройства и способы защиты для одновременной диагностики электрооборудования, позволяет выполнить контроль работоспособности

измерительных каналов ИИС на основе периодической подачи тестовых сигналов (что подтверждено актами внедрения и экспертными оценками).

4. Достоверность и обоснованность полученных результатов

Научные положения и выводы, полученные в диссертационной работе, представляются достоверными и обоснованными. Это подтверждается корректным применением апробированного математического аппарата и обоснованных численных методов при решении поставленных задач, соответствием данных натурных испытаний результатам аналитических расчетов и имитационного моделирования, и согласованностью с результатами других авторов. Полученные научные и практические результаты подтверждаются также их представительным обсуждением в научных изданиях и выступлениях на научно-технических конференциях.

Основные результаты диссертации представлены на международных и Всероссийских конференциях и научных семинарах, опубликованы в трех ведущих рецензируемых научных изданиях (общее количество публикаций 14). Получено два патента на изобретение.

5. Замечания по диссертационной работе

По представленной диссертационной работе имеются замечания:

1. В разделах «Введение» диссертации и «Общая характеристика работы» автореферата желательно было бы сформулировать имеющееся научно-техническое противоречие и гипотезу, что достижение цели и решение поставленных задач диссертационного исследования его разрешит.

2. В заглавии и тексте работы применяются разные термины: «комплектные распределительные устройства» и «комплектно-распределительные устройства», обозначающие одно и то же (уместнее всё же использование первого, ориентируясь, например, на ГОСТ Р 55190-2022).

3. На стр. 21 при обосновании выбора метода диагностирования основное внимание уделено описанию преимуществ бесконтактных методов по сравнению с контактными, при этом не приведено столь же подробное обоснование выбора именно акустических методов (кроме констатации их

перспективности). Хотя затем с помощью метода анализа иерархий это численно аргументируется.

4. На стр. 43 приводится описание размещения акустических датчиков, но не обосновывается, как их количество и расположение может влиять на результаты измерений.

5. Не обоснован выбор цифрового фильтра (КИХ. БИХ) и его порядка; также можно было бы использовать структуру с прямой формой II, что позволило бы уменьшить количество элементов памяти в два раза.

6. Судя по кластерному графу (рис. 3.11), графики для разных режимов работы достаточно четко локализованы, в связи с чем недостаточно подробно обосновано использование сложного метода главных компонент для кластеризации при принятии решения.

7. При анализе структуры ИИС (стр. 86) говорится об использовании двух датчиков для снижения вероятности статистических ошибок второго (и, очевидно, первого) рода, но это в работе не оценивается.

8. В работе много расчетов и конкретных значений параметров, но на фоне этого не ясна возможность применения полученных результатов для аналогичных устройств либо в смежных областях техники, что важно для обоснования их теоретической значимости.

9. Имеют место неточности, например: в подписи к рис. 2.1 на стр. 40 используется частично дословный перевод FPGA как «поле-программируемая ...», хотя общепринятый перевод «программируемая логическая интегральная схема» (программирование «в поле», то есть после изготовления, многократно); на стр. 42 говорится о регистрации «звуковых колебаний» в диапазоне до 80 кГц, хотя это уже ультразвук; в формулах (2.2) и (2.13) в числителе два одинаковых параметра u_i ; на стр. 51 сказано, что вейвлет-анализ применяется для «непериодических» сигналов (вместо «для нестационарных»); в формуле (2.12) приведен не совсем канонический вид прямого дискретного преобразования Фурье (параметр f_k не описан, там должен быть просто индекс частотного отчета k).

Необходимо отметить, что представленные замечания не снижают общее положительное впечатление от представленных результатов диссертационной работы.

6. Заключение

Диссертационная работа Фролова К.В. на тему «Информационно-измерительная система непрерывной акустической диагностики электрооборудования ячеек комплектных распределительных устройств» является законченной научно-квалификационной работой, в которой представлены новые научно обоснованные технические и технологические решения и разработки в области применения эффективных методов и средств измерений и диагностики сложных технологических объектов. Автореферат и публикации достаточно полно отражают содержание диссертационной работы.

На основании вышеизложенного считаю, что представленная диссертационная работа соответствует п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г., а ее автор, Фролов Кирилл Владимирович, достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы.

Официальный оппонент
доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры «Автоматика и телемеханика»
Пермского национального
исследовательского политехнического университета

В.И. Фрейман

«26» января 2026 г.

Фрейман Владимир Исаакович

ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

614990, Россия, Пермский край, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29

Рабочий тел.: +7 (342) 239-18-16

E-mail: VIFREJMAN@pstu.ru

Докторская диссертация защищена по специальности 05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления»

Подпись Фреймана В.И. заверяю

Ученый секретарь Ученого совета ПНИПУ, к.и.н.

Макаревич В.И.



«27» января 2026 г.