

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



КГЭУ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

Абдуллазянов Э.Ю.

2024 г. 07 сентября 2024 г.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский государственный энергетический университет»  
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

Диссертация «Интеллектуальная система онлайн-мониторинга и контроля технического состояния силовых маслонаполненных трансформаторов распределительных сетей 35/6(10) кВ» выполнена на кафедре «Электроснабжение промышленных предприятий».

В период подготовки диссертации соискатель Галяутдинова Алсу Ренатовна работала в ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» в должностях ассистента (с сентября 2021 г. по сентябрь 2022 г.) и преподавателя кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» (с сентября 2022 г. по настоящее время).

В 2020 г. Галяутдинова А.Р. окончила магистратуру ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника».

С 2020 г. Галяутдинова А.Р. по 30 сентября 2023 г. обучается в очной аспирантуре ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет».

Справка об обучении в аспирантуре и сданных кандидатских экзаменах выдана в 2024 г. в ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет».

Научный руководитель – Ившин Игорь Владимирович, доктор технических наук, профессор, проректор по науке и коммерциализации, профессор кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет».

По итогам обсуждения диссертации «Интеллектуальная система онлайн-мониторинга и контроля технического состояния силовых маслонаполненных трансформаторов распределительных сетей 35/6(10) кВ» принято следующее заключение.

## 1. Актуальность

Распределительная электрическая сеть – это сеть, предназначенная для распределения электрической энергии, получаемой от источников питания по территории электроснабжаемого района и непосредственной ее подачи к приемникам и потребителям. Неотъемлемыми элементами распределительной электрической сети являются силовые трансформаторы 35/6(10) кВ. К ним предъявляются повышенные требования по надежности для бесперебойного питания потребителей электрической энергии. В распределительных электрических сетях 35/6(10) кВ преобладают силовые трансформаторы маслонаполненного типа, из них 60% эксплуатируются с превышением ресурса, определённого нормативно-технической документацией (25 лет).

Выбор силового маслонаполненного трансформатора в сетях 35/6(10) кВ в качестве объекта исследований данной диссертации, создание интеллектуальной системы онлайн-мониторинга и контроля технического состояния и своевременное принятие мер по восстановлению работоспособности является актуальным и входит в одну из приоритетных задач в среднесрочном периоде. Это позволит создать инструмент для построения системы предиктивного технического обслуживания или ремонта.

Сегодня в электроэнергетике активно развиваются и внедряются цифровые технологии, применяется рациональное сочетание методов онлайн- и оффлайн-мониторинга. Онлайн-мониторинг – контроль непрерывного характера, который позволяет оценивать техническое состояние трансформатора под рабочим напряжением по набору контролируемых параметров. Информационно-измерительная база на основе современных измерительных комплексов обеспечивает сбор, обработку и хранение информации с различных контрольно-измерительных приборов параметров трансформатора в онлайн-режиме. Такие комплексы обеспечивают дистанционное наблюдение за техническим состоянием силового трансформатора, повышают достоверность оценки контролируемых параметров при эксплуатации оборудования.

Между тем, увеличение объема анализируемой информации о состоянии силового трансформатора ведет к значительным изменениям при выборе методов обработки данных и требует не только автоматизации

процессов обработки и анализа данных, но и использование методов искусственного интеллекта. Применение эксплуатационного опыта (в виде экспертных оценок) и получение объективных оценок состояния силового трансформатора вне зависимости от квалификации персонала, с целью повышения эффективности системы, требуют использования интеллектуальных систем.

## **2. Научная новизна результатов работы**

1. Обоснован перечень контролируемых параметров и КИП интеллектуальной системы онлайн-мониторинга и контроля технического состояния силового маслонаполненного трансформатора в сетях 35/6(10) кВ.

2. Разработана методика онлайн-мониторинга и оценки технического состояния силового маслонаполненного трансформатора в сетях 35/6(10) кВ, позволяющая определять техническое состояние трансформатора с использованием коэффициента экспресс-анализа, который рассчитывается с применением измеренных параметров работающего трансформатора, и принимать решения о предиктивном техническом обслуживании или ремонте.

3. Разработана новая архитектура многослойной нейросетевой модели, отличающаяся использованием радиальных базисных функций в обучающемся отдельно первом слое, для обработки данных онлайн-мониторинга и повышения точности оценки технического состояния силового маслонаполненного трансформатора.

4. Предложен алгоритм выработки рекомендаций по техническому обслуживанию силового маслонаполненного трансформатора в сетях 35/6(10) кВ на основе разработанной методики.

## **3. Научная и практическая значимость результатов**

Теоретическая значимость работы заключается в расширении научных знаний в области автоматизированного контроля применительно к проблематике диссертации, а также результативного использования онлайн-мониторинга для своевременной оценки технического состояния с применением мер по восстановлению работоспособности силового маслонаполненного трансформатора 35/6(10) кВ.

Практическая значимость работы заключается в автоматизации процесса принятия решений об остаточном ресурсе силового маслонаполненного трансформатора 35/6(10) кВ на предприятиях электроэнергетической отрасли по результатам разработанной методики онлайн-мониторинга.

Разработана интеллектуальная система онлайн-мониторинга и контроля технического состояния, способствующая увеличению эксплуатационного ресурса силового маслонаполненного трансформатора за

счет автоматизированного контроля технического состояния в онлайн-режиме в распределительных сетях 35/6(10) кВ.

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

Соискатель непосредственно участвовал в получении результатов, которые отражены в статьях и диссертации. Автор принимал участие в работе над разработкой интеллектуальной системы онлайн-мониторинга и контроля технического состояния, занимался проверкой достоверности полученных результатов, созданием новой методики онлайн-мониторинга и оценки технического состояния и алгоритма выработки рекомендаций по техническому обслуживанию силового трансформатора.

Автор принимал участие в создании и разработке математической модели обработки результатов параметров технического состояния для автоматизации контроля силового маслонаполненного трансформатора и проведении экспериментальных исследований под руководством научного руководителя Ившина И.В.

#### **5. Степень достоверности результатов проведенных исследований**

Обоснованность и достоверность выводов и результатов диссертации подтверждается применением общепринятых методов неразрушающего контроля. Теоретические результаты согласуются с имеющимися экспериментальными данными. Достоверность экспериментальных данных, полученных при исследовании силовых трансформаторов, обеспечивается применением аттестованных измерительных средств и апробированных экспериментальных методик, а также непротиворечивостью результатов измерений результатам, полученным другими авторами и известным положениям науки.

#### **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 4 – «Разработка методического, математического, программного, технического, приборного обеспечения для систем технического контроля и диагностирования материалов, изделий, веществ и природной среды, экологического мониторинга природных и техногенных объектов, способствующих увеличению эксплуатационного ресурса изделий и повышению 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 трудоёмкости, 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 17 научных работ, из них 2 статьи в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международной базе данных SCOPUS, 3 статьи в рецензируемом научном издании, входящем в перечень ВАК по специальности диссертации, 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ, 10 материалов докладов на научных конференциях, включенных в РИНЦ.

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

1. Vladimirov O., Galyautdinova A., Nizamiev M., Ivshin I., Usmanov I. Equipment and data transmission system for express analysis of the technical condition of the main equipment of the 35/6(10)kV transformer substation // Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. V. 190. P. 122-134. (статья в рецензируемом научном издании МБД SCOPUS, вклад соискателя – 40%).

2. Ivshin I., Galyautdinova A., Vladimirov O., Nizamiev M., Safiullin A. Software and algorithmic support for online assessment of transformer substation technical condition 35/6(10) kV // Proceedings of the 2023 5th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, REEPE 2023. 2023. 10086828. (статья в рецензируемом научном издании МБД SCOPUS, вклад соискателя – 40%).

*Статьи в рецензируемом научном издании, входящем в перечень ВАК по специальности диссертации*

3. Ившин И.В., Галяутдинова А.Р., Владимиров О.В., Низамиев М.Ф., Карпов Е.Н., Мельник Э.П. Интеллектуальная система оценки технического состояния трансформаторной подстанции 35/6(10) кВ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 2. С. 24-34. – DOI: 10.30724/1998-9903-2022-24-2-24-35 (статья в рецензируемом научном издании ВАК К2, вклад соискателя – 50%).

4. Ившин И.В., Галяутдинова А.Р., Владимиров О.В., Низамиев М.Ф., Усманов И.К. Методика онлайн оценки технического состояния трансформаторной подстанции 35/6(10) кВ по коэффициенту экспресс-анализа // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 4. С. 14-26. DOI: 10.30724/1998-9903-2021-23-4-14-26 (статья в рецензируемом научном издании ВАК К2, вклад соискателя – 50%).

5. Галяутдинова А.Р., Ившин И.В., Соловьев С.А. Система оценки и прогнозирования технического состояния силового маслонаполненного трансформаторного оборудования распределительных сетей с применением машинного обучения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2024. Т. 26. № 2. С. 32-45. DOI: 10.30724/1998-9903-2024-26-2-32-45 (статья в рецензируемом научном издании ВАК К2, вклад соискателя – 70%).

*Свидетельства о регистрации программы для ЭВМ*

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022682581. Определение уровня технического состояния магнитопровода силового трансформатора / Ившин И.В., Басенко В.Р., Галяутдинова А.Р. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 23.11.2022 (вклад соискателя – 30%).

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2024662931. Программа оценки технического состояния силового трансформатора на основе машинного обучения / Галяутдинова А.Р., Соловьев С.А., Петров К.А. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 03.06.2024 (вклад соискателя – 60%).

*Публикации в изданиях, включенных в РИНЦ*

8. Галяутдинова А.Р., Низамиев М.Ф. Корреляционный анализ параметров силового трансформатора // Тинчуринские чтения – 2022 «Энергетика и цифровая трансформация»: Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3 томах, Казань, 27–29 апреля 2022 года. Том 1. – Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. – С. 178-182 (вклад соискателя – 70%).

9. Галяутдинова А.Р., Ившин И.В. Система оценки технического состояния силовых маслонаполненных трансформаторов распределительных сетей // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: Материалы VIII Национальной научно-практической конференции. Казань, 08–09 декабря 2022 года. – Казань: КГЭУ, 2023. – С. 176-178 (вклад соискателя – 70%).

10. Галяутдинова А.Р., Ившин И.В. Анализ параметров силового маслонаполненного трансформатора распределительных сетей для оценки его технического состояния // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: Материалы V Всероссийской научно-практической (с международным участием) конференции, посвященной празднованию 55-летия КГЭУ. В 2-х томах, Казань, 11–12 октября 2023 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Том 2.– Казань: КГЭУ, 2023. – С. 234-238 (вклад соискателя – 80%).

11. Галяутдинова А.Р., Ившин И.В. Алгоритм определения коэффициента экспресс-анализа трансформаторной подстанции 35/6(10) кВ //

Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: Материалы VII Национальной научно-практической конференции. Казань, 09–10 декабря 2021 года. – Казань: КГЭУ, 2022. – С. 151-154 (вклад соискателя – 70%).

12. Галяутдинова А.Р., Низамиев М.Ф. Применение машинного обучения для оценки технического состояния оборудования трансформаторной подстанции // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике: Материалы XVII Всероссийской открытой молодежной научно-практической конференции. Казань, 20–22 октября 2022 года. Редколлегия: А.Г. Арзамасова (отв. редактор). Казань, 2022. Санкт-Петербург: ООО «Издательство Фолиант». – С. 159-162 (вклад соискателя – 70%).

13. Ившин И.В., Галяутдинова А.Р. Разработка системы оценки работоспособности трансформаторной подстанции 35/6(10) кВ // Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Новые материалы и энергетика в ВС РФ»: Сборник статей научно-технической конференции. Анапа, 20 апреля 2022 года. Федеральное государственное автономное учреждение «Военный инновационный технополис «ЭРА», Анапа, 2022. – С. 6-8 (вклад соискателя – 60%).

14. Галяутдинова А.Р., Владимиров О.В., Низамиев М.Ф., Усманов И.К. Разработка системы мониторинга технического состояния основного оборудования трансформаторной подстанции 35/6(10) кВ // Тинчуринские чтения – 2021 «Энергетика и цифровая трансформация»: Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3 томах, Казань, 28–30 апреля 2021 года. Том 1. – Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. – С. 97-101 (вклад соискателя – 70%).

15. Галяутдинова А.Р., Низамиев М.Ф. Дистанционный контроль технического состояния трансформаторной подстанции 35/6(10) кВ // XXV Туполевские чтения (школа молодых ученых): Международная молодежная научная конференция, посвященная 60-летию со дня осуществления Первого полета человека в космическое пространство и 90-летию Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань, 10–11 ноября 2021 года. Том III. – Казань: Изд-во ИП Сагиева А.Р., 2021. – С. 355-359 (вклад соискателя – 80%).

16. Ившин И.В., Галяутдинова А.Р., Владимиров О.В., Низамиев М.Ф. Система мониторинга и экспресс-анализа основного оборудования трансформаторной подстанции 35/6(10) кВ // Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н.Гумилева. Серия: Технические науки и технологии. 2021. № 1 (134). – С. 100-108 (вклад соискателя – 50%).

17. Ившин И.В., Галяутдинова А.Р., Владимиров О.В., Низамиев М.Ф. Оценка работоспособности трансформаторной подстанции по результатам экспресс-мониторинга ее элементов // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве. Материалы VI Национальной научно-

практической конференции, Казань, 10–11 декабря 2020 года. В 2 томах. Казань: КГЭУ, 2020. – С. 33-35 (вклад соискателя – 50%).

В перечисленных работах Галяутдиновой Алсу Ренатовны лично получены следующие результаты:

[1, 9, 13, 14, 15, 16] – разработка и описание интеллектуальной системы онлайн-мониторинга и контроля технического состояния силового трансформатора;

[3, 6, 7, 10, 17] – обработка данных и анализ полученных результатов после проведения экспериментов;

[5, 12] – разработка архитектуры многослойной нейросетевой модели для оценки технического состояния силовых трансформаторов;

[4, 8] – разработка методики онлайн-мониторинга и оценки технического состояния силового трансформатора;

[2, 11] – разработка алгоритма выработки рекомендаций по техническому обслуживанию силового трансформатора.

Все основные положения и результаты, выносимые на защиту, отражены в публикациях автора: по главе 1 – в [6, 9, 14, 15], по главе 2 – в [2, 3, 4, 11, 13], по главе 3 – в [5, 8, 12], по главе 4 – в [1, 7, 10, 16, 17].

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 и практические результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

- международная молодежная конференция по радиоэлектронике, электротехнике и энергетике, 2023 г., Москва, МЭИ;

- международные молодежные научно-практические конференции «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике, 2022-2023 гг., Казань, КГЭУ;

- международные молодежные научные конференции «Тинчуринские чтения – Энергетика и цифровая трансформация», 2021-2022 гг., Казань, КГЭУ;

- международный симпозиум «Устойчивая энергетика и энергомашиностроение – 2021», 2021 г., Казань, КГЭУ;

- национальные научно-практические конференции «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве», 2020-2022 гг., г. Казань, КГЭУ;

- всероссийская научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники», 2023 г., Казань, КГЭУ;



- всероссийская научная конференция МФТИ в честь 115-летия Л.Д.Ландау, 2023 г., Москва, МФТИ;

- международная молодежная научная конференция, посвященная 60-летию со дня осуществления Первого полета человека в космическое пространство и 90-летию Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ, 2021 г., Казань, КНИТУ-КАИ.

## **9. Ценность научных работ соискателя**

В опубликованных автором работах содержатся следующие научные результаты:

1. Проведен анализ существующих методов и систем контроля силового трансформатора в сетях 35/6(10) кВ. Установлено, что 60% эксплуатируемых силовых трансформаторов выработало свой ресурс, следовательно, контроль и оценка технического состояния, способствующая увеличению эксплуатационного ресурса, является актуальной задачей.

2. Разработана интеллектуальная система онлайн-мониторинга и контроля технического состояния силового маслонаполненного трансформатора под рабочим напряжением в сетях 35/6(10) кВ, позволяющая автоматизировать процесс контроля и оценки технического состояния с применением методов искусственного интеллекта на основе данных методов неразрушающего контроля.

3. Разработана методика онлайн-мониторинга и оценки технического состояния силового маслонаполненного трансформатора в сетях 35/6(10) кВ, позволяющая определить техническое состояние с использованием коэффициента экспресс-анализа и отличающаяся возможностью определения его эксплуатационного ресурса.

4. Разработана новая архитектура многослойной нейросетевой модели с использованием радиальных базисных функций в обучающемся отдельно первом слое для повышения точности оценки технического состояния силового маслонаполненного трансформатора, позволяющая автоматизировать онлайн-контроль.

5. Разработаны алгоритм и программное обеспечение для реализации методики онлайн-мониторинга и оценки технического состояния, алгоритм выработки рекомендаций по техническому обслуживанию с целью продления ресурса силового маслонаполненного трансформатора в сетях 35/6(10) кВ.

6. Разработанная интеллектуальная система онлайн-мониторинга и контроля технического состояния установлена на силовых трансформаторах ТМН 6300 в сетях 35/6(10) кВ. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили работоспособность интеллектуальной системы онлайн-мониторинга и контроля технического состояния, показали среднюю расширенную неопределенность оценки технического состояния – 4,31%.

## 10. Характер результатов

Характер результатов диссертации соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

## 11. Выводы

Диссертация Галяутдиновой А.Р. «Интеллектуальная система онлайн-мониторинга и контроля технического состояния силовых маслонаполненных трансформаторов распределительных сетей 35/6(10) кВ» является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой содержится решение задачи – разработка интеллектуальной системы онлайн-мониторинга и контроля технического состояния, способствующей увеличению эксплуатационного ресурса силового маслонаполненного трансформатора за счет автоматизированного контроля технического состояния в онлайн-режиме в распределительных сетях 35/6(10) кВ. Решение данной задачи имеет значение для развития теории и практики неразрушающего и аналитического контроля трансформаторов.

В диссертационной работе предложено новое научно обоснованное техническое решение в области автоматизированного контроля, способствующее увеличению эксплуатационного ресурса силового трансформатора за счет выбора перечня контролируемых параметров для онлайн-мониторинга и контроля технического состояния, имеющее существенное значение для развития электроэнергетики России.

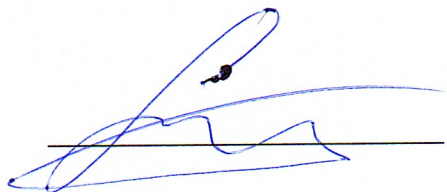
Диссертация обобщает самостоятельные исследования автора, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые на защиту, свидетельствует о личном вкладе автора в науку. При выполнении диссертационной работы Галяутдинова А.Р. проявила себя зрелым научным работником, способным ставить и решать сложные теоретические и практические задачи.

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

Диссертация «Интеллектуальная система онлайн-мониторинга и контроля технического состояния силовых маслонаполненных трансформаторов распределительных сетей 35/6(10) кВ» Галяутдиновой Алсу Ренатовны 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 заседании кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет».

Присутствовало на заседании 25 чел. Результаты голосования: «за» – 25 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 4 от «18» сентября 2024 г.



Сафин Альфред Робертович,  
доктор технических наук, доцент, заведующий  
кафедрой «Электроснабжение промышленных  
предприятий» ФГБОУ ВО «КГЭУ»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет»,  
420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, 51.  
Тел. (843)519-42-73, e-mail: epp.kgeu@mail.ru

Сведения о лице, утвердившем заключение:

Абдуллазянов Эдвард Юнусович: кандидат технических наук, доцент  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», ректор,  
420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, 51.  
Тел. (843)519-42-02, e-mail: rector@kgeu.ru