

## **Отзыв**

**официального оппонента на диссертацию Галяутдиновой Алсу Ренатовны на тему «Интеллектуальная система онлайн-мониторинга и контроля технического состояния силовых маслонаполненных трансформаторов распределительных сетей 35/6(10) кВ», 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»**

На рассмотрение представлены:

- диссертация общим объемом 171 страница печатного текста, которая состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 101 наименования, 41 рисунка, 39 таблиц, семи приложений;
- автореферат диссертации на 19 страницах с характеристикой работы и кратким изложением основного содержания работы.

### **Актуальность темы исследования**

К силовым трансформаторам как одним из ключевых элементов электрической сети предъявляются повышенные требования по надежности для предотвращения аварий и обеспечения бесперебойного питания потребителей электрической энергии. Поддержание силовых трансформаторов в рабочем состоянии в течение всего срока эксплуатации и своевременное принятие мер по восстановлению их работоспособности является актуальным и входит в одну из приоритетных задач в среднесрочном периоде. Силовые трансформаторы с рабочим напряжением 35/6(10) кВ являются наиболее массовыми, при этом большинство из них работает с превышением нормативного срока эксплуатации (по различным оценкам – более (60 – 70) % выработали нормативный ресурс). Для оценки технического состояния силового трансформатора возможно применение онлайн-мониторинга с использованием современных контрольно-измерительных

приборов и методов искусственного интеллекта для автоматизации обработки данных. Возникает актуальная задача разработки интеллектуальной системы онлайн-мониторинга и контроля технического состояния силовых трансформаторов ввиду высокой повреждаемости трансформаторов данного типа.

Работа Галяутдиновой А.Р., посвящённая разработке интеллектуальной системы онлайн-мониторинга и контроля технического состояния, способствующей увеличению эксплуатационного ресурса силового маслонаполненного трансформатора, решает актуальные научные и практические задачи в области неразрушающего и аналитического контроля трансформаторов.

### **Основные научные результаты диссертационного исследования, их значимость и достоверность**

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

Научная новизна диссертационной работы состоит в разработке:

- методики и алгоритма для анализа полученных результатов онлайн-мониторинга и оценки технического состояния силового маслонаполненного трансформатора в сетях 35/6(10) кВ, позволяющих определять техническое состояние трансформатора и его эксплуатационного ресурса;

- архитектуры многослойной нейросетевой модели, отличающейся использованием радиальных базисных функций в обучающемся отдельно первом слое для обработки данных онлайн-мониторинга и повышения точности оценки технического состояния силового маслонаполненного трансформатора;

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

Полученные в диссертации результаты вполне достоверны и обоснованы, что подтверждается их широким обсуждением на профильных конференциях различного уровня и опубликованием в рецензируемых научных изданиях, а также апробацией и внедрением результатов в различных компаниях.

Полученные результаты исследований отражены в 17 научных работах, среди которых 3 статьи в рецензируемом научном издании, входящем в перечень ВАК по специальности диссертации, 2 статьи в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международной базе данных Scopus, 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ, 10 материалов докладов на научных конференциях, включенных в РИНЦ.

По результатам выполнения научно-исследовательской и опытно-конструкторской работ на ПАО «Татнефть» имени В.Д. Шашина и ООО «Газпром трансгаз Казань» подтверждена работоспособность интеллектуальной системы онлайн-мониторинга и контроля технического состояния силового маслонаполненного трансформатора 35/6(10) кВ.

Результаты научной работы реализованы в ПАО «Татнефть» имени В.Д. Шашина, внедрены в ООО «Димрус» и учебный процесс кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Казанского государственного энергетического университета, что подтверждено актами внедрения.

## Анализ содержания диссертационной работы

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи исследования, объект и предмет исследования, основные положения, выносимые на защиту, научная новизна исследования, представлены теоретическая и практическая значимость исследования, приведены сведения по апробации результатов работы и публикациям.

**В первой главе** диссертационного исследования выполнен анализ повреждаемости силовых маслонаполненных трансформаторов и существующих методов контроля состояния силовых трансформаторов. Автором показано, что существующая система обслуживания и ремонта силовых трансформаторов не всегда своевременно может определить его техническое состояние, что может привести к выходу из строя трансформатора. Поэтому непрерывный контроль и оценка технического состояния, способствующие увеличению эксплуатационного ресурса силовых маслонаполненных трансформаторов распределительных сетей 35/6(10) кВ, являются актуальной задачей.

**Во второй главе** приведены теоретические исследования разработки интеллектуальной системы онлайн-мониторинга и контроля технического состояния силового трансформатора. Разработана методика онлайн-мониторинга и оценки технического состояния силового маслонаполненного трансформатора 35/6(10) кВ, которая позволяет определять техническое состояние трансформатора с использованием коэффициента экспресс-анализа (КЭА), который рассчитывается с применением измеренных параметров работающего трансформатора и позволяет принимать решения о необходимости технического обслуживания или ремонта. На основе разработанной методики автором разработан алгоритм выработки рекомендаций по техническому обслуживанию силового маслонаполненного трансформатора в распределительных сетях 35/6(10) кВ.

**Третья глава** посвящена разработке метода обработки данных в блоке формирования базы знаний интеллектуальной системы. Приведен анализ

методов искусственного интеллекта для оценки технического состояния силового маслонаполненного трансформатора. Автором принято решение использовать метод нейронных сетей. Выбрана модель на основе многослойного персептрона с прямым распространением ошибки. Предложена новая архитектура многослойной нейросетевой модели, отличающаяся использованием радиальных базисных функций в обучающемся отдельно первом слое для повышения точности оценки технического состояния силовых маслонаполненных трансформаторов.

**В четвертой главе** представлены практические результаты работы интеллектуальной системы онлайн-мониторинга и контроля технического состояния силового маслонаполненного трансформатора в сетях 35/6(10) кВ. Разработанная интеллектуальная система установлена на силовые маслонаполненные трансформаторы марки ТМН – 6300/35 в ПАО «Татнефть» имени В.Д. Шашина. Результаты экспериментальных исследований подтвердили работоспособность предложенной методики онлайн-мониторинга и оценки технического состояния силового маслонаполненного трансформатора в распределительных сетях.

**В заключении** приведены результаты диссертационной работы и выводы, которые соответствуют поставленной цели и задачам исследования, обозначенным во введении к работе.

**В Приложениях** приведены листинг программы для ЭВМ «Программа оценки технического состояния силового трансформатора на основе машинного обучения», свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, акты внедрения результатов работы.

#### **Замечания и вопросы по диссертационному исследованию**

1. В п.1 «Научная новизна работы» непонятно какие новые контролируемые параметры предложено ввести в разработанную интеллектуальную систему онлайн мониторинга и контроля технического

состояния маслонаполненного силового трансформатора рассматриваемого класса напряжения – 35/6(10) кВ?

2. Возможно ли применение разработанной интеллектуальной системы онлайн мониторинга и контроля технического состояния маслонаполненного силового трансформатора для силовых трансформаторов более высоких классов напряжений и различных условий эксплуатации?

3. В Российской Федерации нормативный документ РД 153-34.0-46.302-00 представляет собой официально утвержденный стандарт, который регламентирует концентрацию следующих газов, растворенных в масле силовых трансформаторов: водорода ( $H_2$ ), метана ( $CH_4$ ), ацетилена ( $C_2H_2$ ), этилена ( $C_2H_4$ ), этана ( $C_2H_6$ ), оксида углерода ( $CO$ ), диоксида углерода ( $CO_2$ ), причем для каждого вида дефекта определены характерные газы и их концентрация. В главе 2 в таблице 2.1 для контролируемых параметров приведены указанные газы (параметр  $x_3$ ) для изоляционной системы трансформатора. Однако в главе 4 при определении предельно-допустимых значений контролируемых параметров трансформатора рассматриваются уровни растворенных в масле газов: водорода ( $H_2$ ) и оксида углерода ( $CO$ ). Автору следует пояснить, почему были выбраны только эти газы в качестве контролируемых параметров силового трансформатора?

4. Каким образом во 2 главе определены степени важности весовых коэффициентов для каждого контролируемого параметра в методе парных сравнений?

5. Результаты обучения каких моделей нейронной сети приведены в таблице 3.1 главы 3? Следует пояснить, каким образом получены приведенные в таблице 3.1 значения метрик качества.

6. Учитывались ли при определении диапазонов предельно-допустимых значений коэффициента загрузки трансформатора рекомендации ГОСТ 14209-85 «Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки»: зависимость допустимых систематических и аварийных нагрузок

силовых масляных трансформаторов общего назначения от начальных нагрузок и температуры окружающей среды?

7. Имеется ряд замечаний редакционного характера, например, орфографические ошибки в тексте диссертации, ошибки при оформлении списка литературы.

Отмеченные замечания не снижают научной и практической значимости выполненной работы и носят рекомендательный характер.

### **Заключение**

Диссертация Галяутдиновой Алсу Ренатовны соответствует паспорту специальности 2.2.8. «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды» по направлениям исследования:

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».

Представленное научное исследование является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение задачи, имеющей высокую

научную ценность в области неразрушающего и аналитического контроля силовых маслонаполненных трансформаторов.

Автореферат диссертации полностью отражает содержание работы.

Считаю, что диссертация «Интеллектуальная система онлайн-мониторинга и контроля технического состояния силовых маслонаполненных трансформаторов распределительных сетей 35/6(10) кВ» соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» Постановления Правительства РФ, а ее автор, Галяутдинова Алсу Ренатовна, 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,  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Электроснабжение и электротехника»  
Института химии и энергетики  
ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет»  
Вахнина Вера Васильевна



«28» \_\_\_\_\_ 2024 г.  
*Вахнина В.В.*  
ЗАБЕРЯЮ  
начальника управления делами ТГУ  
*Шпомер* Н.В. Шпомер  
2024 г.

Контактные данные:  
445020, Самарская область, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14 (центральный кампус)

Полное наименование организации:  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тольяттинский государственный университет»

Тел. раб. +7 (8482) 44-94-24

E-mail: office@tltsu.ru; адрес сайта организации: <https://www.tltsu.ru/>