





рабочим напряжением по набору контролируемых параметров, что является существенным преимуществом при проведении контроля технического состояния. Обработка данных с применением методов искусственного интеллекта широко начали применять для различных задач электроэнергетики, в различных системах диагностики и системах предиктивной аналитики, для оценки технического состояния силовых трансформаторов применяется нейросетевая модель в работе Галяутдиновой А.Р.

Поэтому диссертационная работа Галяутдиновой А.Р., посвящённая разработке интеллектуальной системы онлайн-мониторинга и контроля технического состояния силовых маслонаполненных трансформаторов распределительных сетей 35/6(10) кВ обладает научной новизной, носит практико-ориентированный характер и решает актуальную задачу в области неразрушающего и аналитического контроля трансформаторов.

## **2. Основные практические результаты и их значимость для науки и производства**

Основные научные результаты, полученные соискателем:

- 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.

- 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.

- 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.

- Разработаны алгоритм и программное обеспечение для реализации методики онлайн-мониторинга и оценки технического состояния.

- Разработан алгоритм выработки рекомендаций по техническому обслуживанию с целью продления ресурса силового маслаполненного трансформатора в сетях 35/6(10) кВ.

В рассматриваемом диссертационном исследовании применялся комплексный подход, основанный на методах искусственного интеллекта, теории вероятности, математической статистики. Обработка экспериментальных данных осуществлялась на ПК с помощью программного обеспечения, реализованного в среде разработки PyCharm, реализованной на языке программирования Python, что позволяет формировать статистику по данным оценки трансформатора и применять полученные сведения для дальнейших научных исследований и на практике.

### **3. Анализ содержания диссертационной работы**

Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы, включающего 101 наименование и 7 приложений. Содержит 171 страницу машинописного текста, проиллюстрированного 41 рисунками и 39 таблицами.

Введение посвящено рассмотрению актуальности решения задач в области контроля технического состояния силовых маслаполненных трансформаторов распределительных сетей.

Первая глава научного исследования посвящена анализу повреждаемости силовых трансформаторов, их методов и систем контроля. Надежность работы распределительных электрических сетей напрямую зависит от надежности работы силовых трансформаторов, эксплуатируемых в электрических сетях. На сегодняшний день большое количество трансформаторов выработали свой ресурс 25 лет, установленный стандартом ГОСТ 11677–85. Рассмотрены причины возникновения повреждений силовых трансформаторов во время их работы,



которые вызваны, прежде всего, возникающими дефектами в обмотках, системе охлаждения, вводах, РПН (регулятор напряжения под нагрузкой) в результате действия эксплуатационных факторов, а также из-за ошибок персонала в ходе монтажа, наладки, ремонта и при техническом обслуживании. Рассмотрены методы неразрушающего контроля для проведения онлайн-мониторинга и контроля технического состояния силового трансформатора под рабочим напряжением.

Во второй главе представлена разработанная интеллектуальная система онлайн-мониторинга и контроля технического состояния (ИСОМТС), которая позволяет автоматизировать процесс контроля и оценки технического состояния с применением методов искусственного интеллекта на основе данных методов неразрушающего контроля. ИСОМТС состоит из семи блоков (измерений, передачи и первичной обработки данных, формирования базы данных, формирования базы знаний, обработки и анализа данных, принятия решений, вывода результатов) и четырех уровней передачи данных. Методика онлайн-мониторинга и оценки технического состояния силового трансформатора позволяет определить интегральный показатель технического состояния и эксплуатационный ресурс трансформатора. Разработанная методика онлайн-мониторинга и оценки технического состояния силового трансформатора включает в себя алгоритм проведения измерений и алгоритм анализа результатов измерений. Введён и определён новый термин «коэффициент экспресс-анализа».

Третья глава посвящена разработке метода обработки данных в блоке формирования базы знаний ИСОМТС. Для решения поставленной задачи классические методы обработки данных не могут быть определены с приемлемой точностью. Использование искусственной нейронной сети с радиальной базисной функцией метода опорных векторов позволяет повысить точность оценки технического состояния силовых маслонаполненных трансформаторов. Предложена новая архитектура многослойной нейросетевой модели для обработки данных.

Четвертая глава посвящена проведению экспериментальных исследований



ИСОМТС силового маслонаполненного трансформатора в сетях 35/6(10) кВ. Полученные экспериментальные результаты ИСОМТС силовых трансформаторов ТМН-6300 подтверждают работоспособность предложенной системы.

#### **4. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Рекомендация по использованию результатов диссертационной работы – это внедрение данной системы метода в существующие системы контроля технического состояния трансформаторов для расширения функционала диагностических систем, а также для создания единой базы данных со сбором информации от различных диагностических систем и повышения качества контроля технического состояния трансформаторов.

Полученные результаты имеют интерес для широкого круга специалистов и могут быть использованы эксплуатирующими организациями и производителями диагностического оборудования, такими как ПАО «Россети», ПАО «Интер – РАО», ПАО «Газпром», АО «Сетевая компания», ООО «Димрус», АО «Пергам-Инжиниринг».

#### **5. Замечания и вопросы по диссертационной работе**

По рассматриваемому диссертационному исследованию имеется ряд замечаний и вопросов:

1. Какими нормативными документами руководствовался автор при выборе перечня контролируемых параметров для онлайн-мониторинга?

2. В чем отличие между индексом технического состояния (ИТС) и коэффициентом экспресс-анализа, указанным в работе? Как соотносится коэффициент экспресс-анализа с индексом технического состояния?

3. Какие критерии использовались при анализе методов искусственного интеллекта? Было бы полезно привести сравнительный численный анализ методов.

4. В диссертации на странице 45 утверждается, что «ИСОМТС обладает рядом технических преимуществ». Далее приводится 8 пунктов. Однако, эти преимущества не раскрыты.



5. С какой периодичностью измеряются данные в системе онлайн-мониторинга?

6. Каким образом выбирается или формируется балльная шкала для каждого контролируемого параметра?

7. Было бы полезно рассмотреть вопросы кибербезопасности предлагаемой системы.

## **6. Заключение**

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».

Автореферат диссертации полностью отражает содержание работы. Диссертационная работа Галяутдиновой А.Р. имеет научную ценность и является законченной научно-квалификационной работой, результатами которой являются разработка научно обоснованного технического решения в области автоматизированного контроля, способствующего увеличению



эксплуатационного ресурса силового трансформатора. Представленная работа отвечает требованиям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, а ее автор, Галяутдинова Алсу Ренатовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден на расширенном заседании кафедры «Электрических станций» ФГБОУ ВО «НГТУ», протокол № 10 от «10» октября 2024 г.

Председательствующий:

Декан факультета энергетики, заведующий кафедрой «Электрических станций»,  
доктор технических наук, доцент,

Русина Анастасия Георгиевна



630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, д. 20  
Тел.: +7(383) 346-11-60, e-mail: rusina@corp.nstu.ru

Проректор по научной работе и инновациям  
ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный  
технический университет»,  
кандидат технических наук

Отто Артур Исаакович

Тел.: +7(383) 346-04-57, e-mail: otto@corp.nstu.ru

ПОДПИСЬ Русиной А.Г.  
ЗАВЕРЯЮ



Министерство образования Российской Федерации  
Федеральный научный центр технического образования  
Новосибирский государственный технический университет  
1025401  
1025401