



## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования

**«Ивановский государственный  
энергетический университет  
имени В.И. Ленина»  
(ИГЭУ)**

Рабфаковская ул., д. 34, г. Иваново, 15300  
тел.(4932) 269-999, факс (4932) 385-701

e-mail: office@ispu.ru <http://игэу.рф>  
<http://ispu.ru>

ОКПО 02068195; ОГРН 1033700074430  
ИНН/КПП 3731000308/370201001

## «УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе  
ФГБОУВО «Ивановский

технический  
Ленина»,  
профессор

Анатолий Иванович

г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет  
имени В.И. Ленина» на диссертационную работу Яхья Аммар Абдулазиз Яхья  
«Совершенствование моделей предиктивной диагностики и оценки состояния  
трансформаторного оборудования энергообъектов», представленную на соискание  
ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 –  
Электрические станции и электроэнергетические системы

#### 1. Структура и объем работы

На отзыв представлена диссертационная работа на тему  
«Совершенствование моделей предиктивной диагностики и оценки состояния  
трансформаторного оборудования энергообъектов», общим объемом 193 страницы,  
содержащая введение, пять глав, заключение, список сокращений и условных  
обозначений, список литературы из 146 наименований, два приложения.

Автореферат диссертации изложен на 24 страницах. Он включает общую  
характеристику работы, её основное содержание по главам и заключение по  
работе, а также список публикаций по теме диссертации. Автореферат отражает  
основное содержание диссертационной работы.

#### 2. Актуальность диссертационной работы

В современных условиях, когда более 50% силового электрооборудования  
объектов Российской энергетики и большинства промышленных предприятий  
достигло нормативного срока эксплуатации, а его обновление происходит низкими  
темпами, основной задачей становится продление срока службы оборудования  
вплоть до выработки реального, заложенного при изготовлении, ресурса. Если  
существовавшая ранее система планово-предупредительных работ  
предусматривала периодическое проведение технического обслуживания и  
ремонтных работ через определенные, заранее установленные сроки, то сейчас более

рационально и экономически оправдано обслуживание по фактическому состоянию. Для его организации необходимы методы и средства, позволяющие оценить состояние объекта на данный момент времени, проследить изменение состояния и спрогнозировать его на ближайшее будущее. Обладая такой информацией, можно производить профилактический ремонт оборудования лишь тогда, когда износ узлов и деталей достигает значений, при которых дальнейшая работа может привести к отказам или неправильному функционированию. Существенную роль в обеспечении этого процесса играют не только технические средства диагностирования, но и методы обработки и анализа полученной информации. Поэтому тема диссертационной работы «Совершенствование моделей предиктивной диагностики и оценки состояния трансформаторного оборудования энергообъектов» является актуальной как в научном, так и в практическом плане.

**3. Диссертация соответствует паспорту научной специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы в части формулы специальности:** в рамках диссертации проведены исследования по разработке моделей и алгоритмов для предиктивной диагностики силовых трансформаторов, что позволит повысить надежность транспортировки и снабжения потребителей электроэнергией; **в части области исследований:** пункту 5 в части разработки адаптивного алгоритма управления техническим состоянием силового маслонаполненного трансформаторного оборудования энергообъектов; пункту 6 в части разработки математических моделей предиктивной диагностики и оперативной оценки технического состояния силовых трансформаторов, а также расчета текущих значений индекса технического состояния; пункту 13 в части разработки программного обеспечения для оценки технического состояния силовых трансформаторов и выбора эксплуатационных воздействий.

#### **4. Анализ содержания работы**

Во введении обоснована актуальность выбранной темы. Сформулированы цели и задачи исследования, показана научная новизна и практическая значимость работы, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен сравнительный анализ современных методов и моделей для оценки технического состояния и остаточного эксплуатационного ресурса силовых трансформаторов. Произведен обзор методов диагностирования силового маслонаполненного трансформаторного оборудования. Приведено обоснование необходимости совершенствования моделей предиктивной диагностики силовых трансформаторов.

Во второй главе выполнен сравнительный анализ методов искусственного интеллекта, применяемых для определения технического состояния силовых трансформаторов. На основе аппарата теории нечетких множеств и нечеткой логики разработаны математические модели для интерпретации результатов анализа газов, растворенных в масле силовых трансформаторов, по методам ИЕС, отношений Дорненбурга и треугольника Дюваля, а также проведено их сравнение. Сделан вывод о целесообразности разработки предиктивной модели на базе метода треугольника Дюваля.

В третьей главе обоснована необходимость применения математической статистики при анализе результатов диагностирования силовых трансформаторов.

Предложена статистическая модель для предиктивной диагностики силовых трансформаторов на основе статистической Байесовской классификации.

В четвертой главе на основе предложенных моделей и алгоритмов, разработана информационно-аналитическая система поддержки принятия решений при эксплуатации силовых трансформаторов.

В пятой главе на основе предложенных моделей и алгоритмов разработана компьютерная программа распознавания дефектов в трансформаторах по результатам анализа газов, растворенных в трансформаторном масле.

В заключении представлены основные результаты работы и выводы.

## **5. Научная новизна исследований и полученных результатов**

Научная новизна исследований и полученных результатов состоит в разработанных математических моделях, основанных на методах нечеткой логики и статистической классификации, позволяющих повысить точность результатов предиктивной диагностики силовых трансформаторов.

**6. Теоретическая значимость** диссертации состоит в развитии математических моделей для оперативной и предиктивной оценки состояния силовых трансформаторов.

**7. Практическая значимость** диссертации состоит в:

- разработанных вычислительных моделей и алгоритмах для расчета текущих значений индекса технического состояния силовых трансформаторов;
- разработанной компьютерной программе для оценки технического состояния силовых трансформаторов и выбора эксплуатационных воздействий;
- разработанной информационно-аналитической системе поддержки принятия решений при эксплуатации силовых трансформаторов.

Разработанные вычислительные модели и алгоритмы, а также компьютерная программа на их основе могут быть использованы генерирующими и электросетевыми компаниями при планировании технического обслуживания и ремонта силовых трансформаторов с учетом его фактического технического состояния.

## **8. Обоснованность и достоверность научных выводов, положений и рекомендаций**

Достоверность научных выводов, положений и рекомендаций подтверждается совпадением результатов работы с фактическими данными, полученными в ходе эксплуатации значительного количества силовых трансформаторов. Результаты работы не противоречат известным теоретическим положениям.

## **9. Апробация диссертации и публикации**

Результаты работы докладывались на международных и российских конференциях и семинарах. Основные положения диссертации и её отдельные результаты опубликованы в 19 научных публикациях, из них 5 – в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК. Получено 2 свидетельства о государственной

регистрации программы для ЭВМ. В публикациях отражены все основные научные положения и полученные результаты.

## **10. Вопросы и замечания по содержанию диссертационной работы**

1. Пункт 1 научной новизны «Обоснована необходимость совершенствования адаптивных (предиктивных) свойств базовых моделей Байесовской классификации дефектов в маслонаполненном трансформаторном оборудовании для повышения их достоверности с применением методов математической статистики и ретроспективы анализа растворенных в масле газов» в большей степени отражает актуальность работы, а не ее научную новизну.

2. В работе утверждается, что автором впервые предложена количественная мера эффективности любого метода мониторинга параметров состояния силового трансформатора в составе объекта электроэнергетики при оценке индекса технического состояния единицы оборудования. Однако в приказе Минэнерго России №676 от 26.07.2017 г об утверждении «Методики оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей» в табл. 6.1 представлены весовые коэффициенты, которые по сути отражают ценность различных методов диагностирования силовых трансформаторов. Неясно в чем отличия результатов, полученных соискателем, от положений методики?

3. Пункты положений, выносимых на защиту, следовало сформулировать с позиции конкретных результатов, а не процессов их получения.

4. В выводе № 1 первой главы утверждается, что использование современных методов прогнозирования при мониторинге и диагностике технического состояния трансформаторов компенсирует недостатки традиционных методов АРГ и улучшает способность систем точно и надежно диагностировать неисправности, что не подтверждено в тексте первой главы.

5. Во второй главе проведено сравнение различных методов анализа газов, растворенных в масле силовых трансформаторов: ИЕС, отношений Дорненбурга и треугольника Дюваля. Не понятно почему не были рассмотрены такие известные методы как анализ по диаграммам состава газов и метод Давиденко-Овчинникова?

6. Результаты расчетов на основе разработанных методов и алгоритмов оценки технического состояния силовых трансформаторов не были сопоставлены с результатами, получаемыми по общепринятым методикам, указанным в стандарте СТО 34.01-23-003-2019 «Методические указания по техническому диагностированию развивающихся дефектов маслонаполненного высоковольтного электрооборудования по результатам анализа газов, растворенных в минеральном трансформаторном масле».

7. В силовых трансформаторах периодически встречается сочетание нескольких дефектов, что существенно смазывает картину, наблюдаемую при хроматографическом анализе газов и усложняет процес получения корректных результатов диагностирования. Кроме того на концентрации растворенных газов оказывают влияние различные эксплуатационные факторы, такие как доливка масла, регенерация масла в термосифонном фильтре, некорректный обор проб и т.п. Как скажутся перечисленные факторы на результатах диагностики при применении методов, предлагаемых автором?

Представленные замечания несколько сказываются на качестве представления научных исследований, но не снижают общей научной и практической ценности работы.

### 11. Общее заключение

Диссертационная работа Яхья Аммар Абдулазиз Яхья «Совершенствование моделей предиктивной диагностики и оценки состояния трансформаторного оборудования энергообъектов» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой содержится решение значимой для отрасли электроэнергетики задачи повышения эффективности предиктивной диагностики силовых трансформаторов.

Диссертационная работа соответствует требованиям Положения «О порядке присуждения ученых степеней», в том числе пункту 9, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям в области технических наук. Диссертационная работа соответствует специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы, а её автор, Яхья Аммар Абдулазиз Яхья, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Отзыв на диссертацию Яхья Аммар Абдулазиз Яхья «Совершенствование моделей предиктивной диагностики и оценки состояния трансформаторного оборудования энергообъектов» составлен кандидатом технических наук, доцентом кафедры электрических станций, подстанций и диагностики электрооборудования ФГБОУ ВО «ИГЭУ» Новоселовым Евгением Михайловичем, обсужден и одобрен на заседании кафедры электрических станций, подстанций и диагностики электрооборудования ФГБОУ ВО «ИГЭУ» (протокол заседания кафедры №6 от 04.03.2022 г.).

Заведующий кафедрой электрических станций,  
подстанций и диагностики электрооборудования,  
проректор  
кандидат т

Васильевич

### Сведения об организации

Название: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» (ФГБОУ ВО «ИГЭУ», ИГЭУ)

Адрес: 153003, Россия, г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34

Тел.: (4932) 269-999. E-mail: office@ispu.ru.

*Отзыв получен 29.03.2022.*

*Проф. Новоселов Е.М.*

*Сотрудником ознакомлен 29.03.2022 г. Яхья А.А.*