

**Отзыв официального оппонента
на диссертационную работу Лютиковой Марины Николаевны
«Факторы старения изоляционной системы высоковольтных
трансформаторов и повышение ее долговечности», представленную на
соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.1.
Теоретическая и прикладная электротехника**

Актуальность темы представленной диссертации М.Н. Лютиковой определяется требованиями повышения надежности работы изоляционной системы высоковольтных трансформаторов в условиях постоянно растущего спроса на электроэнергию. При увеличении нагрузки на изоляционную систему высоковольтных трансформаторов бумажно-масляная изоляция подвергается интенсивному старению, что сказывается на снижении устойчивости к воздействию разрядных процессов, и, как следствие, на увеличении вероятности выхода из строя дорогостоящего высоковольтного трансформатора. В этой связи одна из главных задач энергетического предприятия заключается в повышении эффективности диагностирования состояния изоляции и в продлении жизненного цикла изоляционных материалов, в том числе трансформаторного масла.

Рецензируемая работа посвящена разработке способов эффективного использования трансформаторного масла и продления срока его службы в высоковольтном оборудовании, включающих ингибирование, смешивание их с синтетическим эфиром, а также диагностирование состояния жидкой изоляции высоковольтного оборудования с помощью наиболее эффективным методик контроля.

Диссертационная работа Лютиковой Марины Николаевны написана по традиционной схеме: введение, обзорная глава (1), основные результаты исследований и их обсуждение (главы 2-7), заключение, список сокращений и условных обозначений, список литературы (408 наименований), приложения (А-Д). Общий объем рукописи, включая приложения, составляет 355 страниц.

В первой главе на основе зарубежных и отечественных публикаций выполнен сравнительный анализ изоляционных свойств минерального масла и альтернативных жидких диэлектриков (биоразлагаемых синтетических и натуральных сложных эфиров). Рассмотрены методы и критерии оценки состояния жидких диэлектриков при их эксплуатации в высоковольтных трансформаторах. Приведен анализ проблем, которые следует решить для повышения эффективности использования диэлектрических жидкостей в высоковольтном оборудовании.

Во второй главе представлены результаты исследования влияния физико-химических показателей качества масла на срок службы высоковольтных трансформаторов с учетом марки масла, класса напряжения (110, 220, 500 кВ) и типа защиты масла от окисления. Получены математические модели, описывающие закономерности изменения электроизоляционных свойств

трансформаторного масла в процессе эксплуатации в высоковольтных трансформаторах. Такие модели позволяют получить ценную информацию о степени износа (старения) жидкой изоляции, а также спрогнозировать остаточный срок службы изоляции, и, как следствие, длительность надежной работы высоковольтного трансформатора.

В третьей главе приведены результаты комплексного исследования продуктов старения минерального масла, отобранного из баков высоковольтных трансформаторов напряжением 110-500 кВ, с помощью нестандартных физико-химических и инструментальных методов. Выявлены причины повышенной электрофизической стабильности трансформаторного масла марки ТКп, заключающиеся в том, что в процессе старения масла в нем образуются вещества, по свойствам похожие на ионол, которые проявляют ингибирующую способность. Наиболее ценным в данной главе является разработка автором комплекса методик, которые позволяют проводить достаточно глубокое диагностирование состояния жидкой изоляции в высоковольтном оборудовании.

В четвертой главе предложены способы улучшения химической стабильности парафинового и ароматического трансформаторного масел, как залог продления работоспособного состояния изоляционной системы высоковольтного трансформатора. Для улучшения химической стабильности парафинового масла ГК (получаемое гидрокрекингом) с высоким содержанием перекисей автором предложено совместное применение двух присадок, а именно ионола и второго ингибитора (ранее обнаруженного при расширенном анализе окисленного масла ТКп). При их совместном применении продолжительность индукции окисления парафинового масла ГК увеличивается почти в 4 раза по сравнению маслом, ингибированным только ионолом ($C=0,2$ % масс). Одновременно предложено смешивать масло ТКп, склонного к осадкообразованию, с синтетической сложноэфирной жидкостью Midel 7131. В работе определены условия и пропорция смешения масла ТКп и биоразлагаемого эфира.

В пятой главе представлены результаты исследований изменения эксплуатационных свойств смесей после их продолжительного старения (2000 ч) в негерметичных и герметичных условиях при температуре 100 °С, а также после воздействия разрядных процессов. Показано, что добавление синтетического эфира к маслу ТКп в количестве 20 % по объему и выше положительно отражается на электроизоляционных свойствах трансформаторного масла в случае его продолжительного термоокисления с доступом воздуха. При термическом воздействии (без доступа воздуха) добавление синтетического эфира к ароматическому маслу в объеме 30 % и выше позволяет устранить образование осадка, обусловленного деструкцией и поликонденсацией ароматических углеводородов в минеральном масле. Установлено, что с увеличением доли синтетического эфира в смеси его с трансформаторным маслом образование газов под действием разрядных процессов снижается на 20 % и более по сравнению с газообразованием в трансформаторном масле без добавок.

В шестой главе показано, что использование эфиромасляных смесей сокращает степень деструкции бумажной изоляции, тем самым увеличивая срок ее службы. Приведены уравнения для расчета прогнозируемого срока службы бумажной изоляции, пропитанной маслом с содержанием эфира 5-10 % по объему.

В седьмой главе важнейшим результатом исследований является установление температурных минимумов в условиях охлаждения (от плюс 60 °С до минус 20 °С) и нагревания (от минус 20 °С до плюс 60 °С), когда электрическая прочность эфиромасляных смесей снижается до критических значений. Кроме того, в ней приведены расчетные значения предельного влагосодержания масла ТКп и его смесей с разным содержанием сложноэфирной синтетической жидкости Midel 7131 (10 %, 20 и 30 %) в диапазоне температур от плюс 60 °С до минус 20 °С. Установлено, что в увлажненных смесях масла с содержанием эфира 10 %, 20 % и 30 % по мере их нагревания растворение избыточной воды происходит немного быстрее, чем в пробах трансформаторного масла. Автором впервые показаны процессы образования и разрушения ледяных и водяных мостиков в масле и эфиромасляных смесях между электродами.

Диссертант Лютикова М.Н. отлично владеет широким спектром физико-химических методов контроля состояния, как трансформаторного масла из действующих высоковольтных трансформаторов, так и смесей масла с альтернативной жидкостью. Она владеет в полном объеме информацией о современном положении дел в области изоляционных материалов, особенностей их применения в высоковольтном оборудовании.

К наиболее значимым результатам диссертационной работы следует отнести:

- математические модели, позволяющие проводить расчет остаточного ресурса изоляции высоковольтных трансформаторов;
- комплекс методик для проведения наиболее эффективного диагностирования состояния жидкой изоляции;
- способы улучшения эксплуатационных свойств масел ГК и ТКп, на которые получены патенты и акты применения в энергетических предприятиях.

Диссертацию в целом характеризует логичная структура, хороший стиль изложения. Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертационной работы. Все положения диссертации отражены в публикациях в журналах, индексируемых в международных базах данных WoS и Scopus (10 статей), а также входящих в перечень ВАК (10 статей), включая журналы категории К1 и К2, апробированы на международных и всероссийских научных конференциях разного уровня. Кроме того, результаты изложены в двух патентах РФ на изобретение, в одном свидетельстве о государственной регистрации программы для ЭВМ. Имеются акты о внедрении результатов исследования.

По материалам диссертации имеются следующие замечания:

1. Слишком большое место отведено обзору литературы (глава 1) – более 100 страниц.

2. В работе не описана технология добавления антиокислительных присадок в трансформаторное масло из действующих высоковольтных трансформаторов.

3. Не приведены (или их нет) данные об изменении свойств масла, ингибированного присадками при различных температурах.

4. Нет данных об изменении эксплуатационных свойствах смеси трансформаторного масла с долей синтетического эфира от 30 % и выше.

5. По тексту диссертации встречаются опечатки.

Отмеченные замечания не снижают ценности диссертационной работы.

Диссертационная работа М.Н. Лютиковой является законченным научным исследованием, выполненным на высоком научно-техническом уровне. Научная новизна, объем выполненной работы, актуальность темы, научная и практическая значимость полностью удовлетворят требованиям, изложенным в п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (в редакции от 25.01.2024 г.), предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор - Лютикова Марина Николаевна заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.1. Теоретическая и прикладная электротехника.

Официальный оппонент:

Ушаков Василий Яковлевич

Заслуженный деятель науки и техники РФ,

доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВО

«Национальный исследовательский

Томский политехнический университет»

Тел. +7-913-82

Ушаков В.Я.

05.04.2024

Подпись Уша

И.о. ученого с

Новикова В.Д.

Полные данные

Федеральное г

образованию «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Юридический адрес: 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, дом 30.

Тел.: +7(3822) 60-63-33; Эл.почта: tpu@tpu.ru

Отзыв получен 13.05.2024г. от Рылова М.А.
С отзывом ознакомлена 17.05.2024г. Лукин / Лютикова М.Н.