

ОТЗЫВ официального оппонента
о диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук Лютиковой Марины Николаевны
на тему: «Факторы старения изоляционной системы
высоковольтных трансформаторов и повышение ее долговечности»
по специальности 2.4.1. Теоретическая и прикладная
электротехника

Замена изоляции трансформаторов, особенно силовых, – дорогостоящее мероприятие. Однако, продление ресурса такого оборудования экономически целесообразно, с учетом оправданности риска. Соответственно, исследование факторов старения трансформаторных масел и разработка способов повышения износостойкости изоляционной системы высоковольтного оборудования – **актуальная** тема исследований.

Диссертация Марины Николаевны состоит из введения, семи глав, заключения, практических рекомендаций, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и приложений. **Введение** содержит необходимые по требованиям ВАК пункты: актуальность, цель, объекты и предмет исследования, теоретическая и практическая значимость, методология, защищаемые положения, степень достоверности, соответствие специальности, личный вклад, апробация результатов.

Обзор научной и технической литературы по теме – жидкие диэлектрики, их состав, свойства, области и особенности применения, представлен в **первой** главе. Акцентируется внимание на сравнении изоляционных, теплоотводящих, газопоглощающих, влагопоглощающих и других свойств минеральных масел, синтетических и природных эфиров. Также дано описание методов диагностики состояния и свойств жидких диэлектриков. Перечислены механизмы старения масел во время

эксплуатации. Проведенный анализ продемонстрировал возможность повышения эффективности применения жидких диэлектриков.

Вторая глава описывает результаты корреляционного анализа взаимосвязи физико-химических показателей качества масла со сроком службы силовых трансформаторов или трансформаторов тока. На основе найденных корреляционных зависимостей получены уравнения регрессии. Оценка остаточного ресурса трансформатора весьма приближительна в случае использования расхода ионола, а в случае использования кислотного числа или тангенса угла диэлектрических потерь длительность в 300 лет нереальна, что указано в самой диссертации.

Результаты хроматографических и масс-спектрометрических исследований содержания ионола и продуктов старения масла в силовых трансформаторах и трансформаторах тока, в частности перекисных соединений и X-воска, составляют основу содержания **третьей** главы. Очень интересно обнаружение в эксплуатируемом масле и идентификация двух родственных ионолу соединений.

Четвертую главу можно условно разделить на две части. В первой проанализирована эффективность присадки ионол при разных температурах окисления. Эффективность ионола сравнена с эффективностью одновременной работы сразу двух присадок: ионол и 2,6-ди-трет-бутилфенол. Сделан вывод о значительно бо`льшей пользе от одновременного использования сразу двух присадок. Однако, остался не изучен вариант использования только 2,6-ди-трет-бутилфенола. Возможно применение одного лишь 2,6-ди-трет-бутилфенола даст тот же эффект. Как минимум, необходимо объяснение отсутствия такого эксперимента.

Описание электрических, физических и химических свойств смесей минерального масла ТКп и синтетического жидкого диэлектрика

Midel 7131 приведено во второй половине четвертой главы. Оказалось, что добавка Midel 7131 в концентрации 10-30 % приводит к улучшению практически всех основных показателей качества трансформаторного масла, за исключением тангенса угла диэлектрических потерь. Данный результат важен для практических применений.

Результат **пятой** главы – обнаружение замедления старения жидкого диэлектрика при добавлении к минеральному маслу (ТКп) синтетического эфира (Midel 7131) в концентрации 20-30 %. Результаты испытаний по стандартизированным методикам подтверждены исследованиями спектральных характеристик в инфракрасном диапазоне, а также анализом газов, растворенных в жидком диэлектрике, с помощью газовой хроматографии по оригинальной методике.

В **шестой** главе описаны результаты изучения влияния смесей синтетического эфира Midel 7131 и минерального масла ТКп в разных пропорциях на степень полимеризации бумажной изоляции, а именно крепированной бумаги с1 К51-10. Добавка синтетического эфира оказала положительное влияние, т.е. повысила долговечность и надежность бумаги.

Изучению поведения эфиромаслянных смесей при их нагревании и охлаждении в интервале температур включающем 0 °С посвящена **глава семь**. Добавка синтетического эфира в доле 20-30 % по объему значительно увеличивает растворимость воды в смеси с минеральным маслом, что резко снижает вероятность образования ледяных кристаллов в смеси и пробой изоляции.

Высокая **достоверность** основных результатов представленной диссертации подтверждена применением широкого ряда современных методов исследования. Разработан и обоснован ряд **новых**, эффективных методов повышения долговечности трансформаторных масел, которые необходимо применять в энергосистемах. В

представленной работе получены **новые знания** о факторах старения жидких диэлектриков. Полагаю, что и производителям трансформаторных масел, и разработчикам силовых маслонаполненных трансформаторов будет полезным учитывать данную информацию при создании нового оборудования и масел.

Все положения, выводы и рекомендации М.Н. Лютиковой **обоснованы** строгим и логичным анализом огромного экспериментального материала, описанного в данной диссертации.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертационной работы. Результаты диссертации опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК, включая журналы категории К1 и К2, индексируемых в базах данных WoS и Scopus, а также апробированы на международных и всероссийских конференциях. Получены патенты, а также акты использования и внедрения результатов.

Необходимо сделать ряд **замечаний**:

1) И в тексте диссертации, и в автореферате обнаружены опечатки и неточности в оформлении.

2) Ни в тексте диссертации, ни в автореферате не прописаны прямым текстом публикации категории К1 и К2.

3) В п. 2 научной новизны указано: «Установлено, что добавление сложноэфирной жидкости к ароматическому маслу в количестве 10-30 % по объему ведет к увеличению способности масла к биологическому разложению до 7-21 %». Не понятно, что именно тут нового. Сколько добавили биоразлагаемой жидкости, примерно столько и разложилось. Либо идея сформулирована не точно.

4) В положении 6, вынесенном на защиту, и в выводе 13 во фразе «Наиболее низкая электрическая прочность масла и эфиромасляных смесей в процессе охлаждения регистрируется в промежутке от +10 °С до -10 °С.» слово «масло» лишнее. Аналогично и для нагревания.

Указанные замечания не влияют на уровень и качество основных результатов и выводов соискателя. Диссертация полностью соответствует критериям п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. (в редакции от 25 января 2024 г.).

Таким образом, соискатель, Лютикова Марина Николаевна, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.1. Теоретическая и прикладная электротехника.

Старший научный сотрудник
лаборатория молекулярной радиоспектроскопии
Казанский физико-технический институт
им. Е.К. Завойского ФИЦ КазНЦ РАН,
доктор технических наук,
Александр Николаевич Туранов
Тел. +79534801969, e-mail: sasha_turanov@rambler.ru

03.04.2024

Полные данные организации:
Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского
– обособленное структурное подразделение Федерального
государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный
исследовательский центр «Казанский научный центр Российской
академии наук»

Юридический адрес: 420111, г. Казань, ул. Лобачевского, 2/31
Тел.: +7(843)2720503 ; Эл. почта: phys-tech@kfti.knc.ru

Согласно плану от 05.05.2024 г. № 1/2024 М.А.

Согласно уведомлению от 17 мая 2024 г. Лютикова М.Н.