

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ ВЗАИМОСВЯЗИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ МАСЕЛ

**Митрофанова И.Р., Каньгина О.Н., Красникова Н.В., Сальникова Е.В.
Оренбургский государственный университет, г. Оренбург**

Сегодня перед российской энергетикой стоят новые проблемы, связанные со значительным увеличением энергопотребления. Это приведет к росту давления на систему энергоснабжения и потребует повышенного внимания к эффективности использования энергии.

В России по разным статистическим данным около 70% силовых трансформаторов выработали свой ресурс. Но, к сожалению, замена их на новые сопряжена с большими затратами. При этом опыт эксплуатации показывает, что примерно 70-80% всех отказов связаны не с выработкой ресурса трансформатора, а с образованием и развитием внутри него различных дефектов. Поэтому остро стоит вопрос диагностики состояния силового энергооборудования и, в первую очередь, состояния основного рабочего тела трансформатора - трансформаторного масла. [1]

Многие повреждения или отклонения от нормального состояния вообще никак не проявляются при внешнем осмотре трансформаторов. Особенно это относится к начинающимся внутренним повреждениям, информацию о которых можно получить путем диагностики трансформаторного масла. Такие внутренние повреждения, как местные перегревы, частичные разряды (в масле или твердой изоляции), незначительное искрение в контактных соединениях и т.п., так или иначе сказываются на свойствах трансформаторного масла. Применяя комплексную диагностику, можно продлить срок службы не только трансформаторному маслу, но и всему силовому электрооборудованию. [2]

Эксплуатационные свойства трансформаторного масла определяются его химическим составом и физическими свойствами, которые зависят от качества сырья и применяемых способов его очистки при изготовлении. Масло представляет собой смесь достаточно сложных органических соединений, в которой под воздействием электрических и магнитных полей, влажности и температуры происходит разложение исходных органических соединений. Кроме того, в масло переходят продукты разложения твердой изоляции и частицы конструкционных материалов из трансформатора, которые, вступая во взаимодействия друг с другом, ускоряют износ изоляции трансформатора. [2]

Во время эксплуатации трансформаторные масла подвергаются процессам старения, которые выражаются в изменении их химических и физических свойств. К химическим показателям относится кислотное число, по которому определяют содержание водорастворимых кислот и щелочей, степень окисления, «работоспособность» масла.

Нефтяное трансформаторное масло в современном оборудовании эксплуатируется в условиях электрического поля высокой напряженности, при повышенных рабочих температурах в присутствии кислорода воздуха и

взаимодействия с металлами, выполняющими роль катализаторов окисления углеводородов. [3]

Наиболее важными параметрами для диагностики трансформаторного масла считаются пять показателей. (Таблица 1)

Таблица 1. Важнейшие физические параметры, определяющие качество трансформаторного масла

№	Показатель	Определение	Назначение показателя
1	Кислотное число	Количество гидроксида калия, необходимого для нейтрализации свободных кислотных соединений, входящих в состав единицы массы масла. [4]	Характеристика степени старения (окисления) трансформаторного масла. [4]
2	Тангенс угла диэлектрических потерь	Числовая характеристика энергии, которая рассеивается в материале при воздействии на него электромагнитного поля. [5]	Показатель качества масла, чувствительный к содержанию различных типов загрязнения (коллоидных образований, растворимых металлоорганических соединений, продуктов старения масла и твердой изоляции). [5]
3	Оптическая мутность	Величина, обратная расстоянию, на котором интенсивность проходящей через исследуемую жидкость световой волны падает в e раз. [6]	Количественная информация о развитии коллоидно – дисперсных процессов, ведущих к снижению электрической прочности. [6]
4	Оптическая плотность	Мера непрозрачности слоя вещества толщиной e для световых лучей. [7]	Характеристика ослабления оптического излучения в слоях различных веществ [7]
5	Цвет	Числовая характеристика пропускаемого светового излучения, основанная на сравнении с цветовыми стандартами. [8]	Характеристика степени разогрева и загрязнения масла смолами и осадками. [4]

К электрофизическим свойствам относят тангенс диэлектрических потерь, «оптическую мутность», оптическую плотность. Наиболее важными показателями старения трансформаторного масла являются кислотное число, тангенс угла диэлектрических потерь и определение оптической мутности.

Любое трансформаторное масло, даже самой глубокой очистки, содержит небольшое число нафтеновых кислот, оказывающие воздействие на конструкционные материалы, из которых изготовлен трансформатор. Если масло к тому же еще и обводнено, то происходит образование, так называемого, металлического мыла, способствующего окислению масла. Продукты взаимодействия накапливаются, выпадают в виде шлама, в результате чего изоляционные свойства масла резко снижаются. Для того, чтобы численно охарактеризовать эти процессы, было введено понятие кислотного числа. [4]

Кислотное число трансформаторного масла – это количество миллиграмм гидроксида калия необходимого для нейтрализации всех свободных кислых соединений, входящих в состав одного грамма масла. Сущность метода – титрование кислых соединений испытуемого продукта спиртовым раствором КОН в присутствии индикатора и определении кислотности, выраженной в мг КОН/ г. [9]

Тангенс угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$) – численная характеристика энергии, которая рассеивается в материале при воздействии на него электромагнитного поля. Определение $\text{tg}\delta$ позволяет выявить незначительные изменения в свойствах масла даже при малой степени загрязнения, которая не определяется химическими методами контроля. Диэлектрические потери для свежих масел характеризуют качество и степень очистки масел на заводе, а в эксплуатации – степень загрязнения и старения масла. Повышение диэлектрических потерь обусловлено наличием асфальто-смолистых веществ и мыл. [5]

Процесс старения масла в результате окислительных процессов сопровождается образованием и ростом коллоидных частиц. Для количественной информации о развитии коллоидно – дисперсных процессов в масляном канале высоковольтных герметичных вводов 110 кВ и силовых трансформаторов было введено понятие оптической мутности. Мутность представляет собой величину, обратную расстоянию, на котором интенсивность проходящей через исследуемую жидкость световой волны падает в ℓ раз. Сущность метода заключается в расчёте мутности трансформаторного масла на основе определении оптической плотности при температуре 20°C на длине волны $\lambda = 490$ нм, измеряемой на угле 0° к направлению освещающего пучка относительно эталонной жидкости. Значение мутности трансформаторного масла определяется согласно формуле

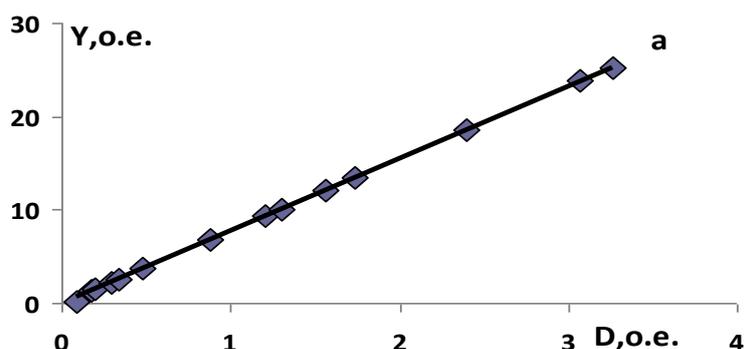
$$\tau = \frac{D}{0,43 \times x}, \text{ где } D - \text{ измеренное значение оптической плотности}$$

трансформаторного масла, измеренное в условных единицах; x - нормируемая длина кюветы. [6]

Задачей данного исследования является установление взаимосвязи путём корреляционного анализа между значениями тангенса угла диэлектрических потерь, оптической мутности, оптической плотности и кислотного числа. В качестве объектов исследования выбраны три партии трансформаторного масла марки ГК из силовых трансформаторов напряжением 110 кВ. Результаты корреляционного анализа приведены на рисунке 1.

Установлено, что между оптической плотностью и технологическим параметром – оптической мутностью наблюдается полная линейная корреляция (рисунок 1а), поэтому оправдано использование последней для расширения шкалы измерений. Корреляции между значениями оптической мутности, тангенса угла диэлектрических потерь и кислотного числа нет (рисунок 1б,с). Значения коэффициентов корреляции не превышают 0,2. Не наблюдается корреляции между значениями кислотного числа и тангенса угла диэлектрических потерь (рисунок 1д); коэффициент корреляции $R=0,49$.

Поэтому необходимо использовать возможности разработки экспериментальных методов, результаты которых могли бы связывать процессы старения структуры трансформаторного масла с изменением его функциональных параметров. Это позволит прогнозировать изменение свойств масла во времени и качественно определять время и способы его регенерации.



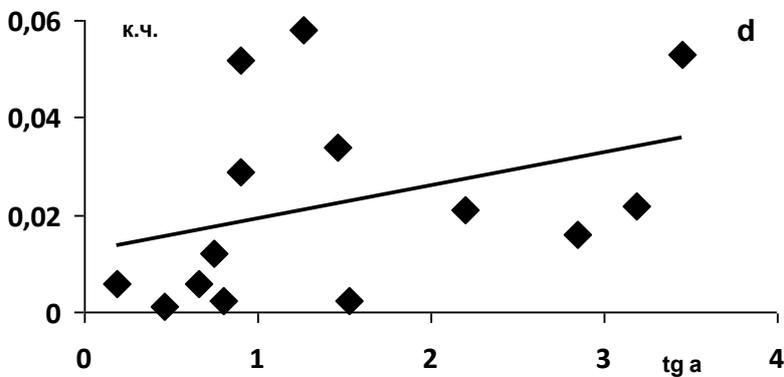
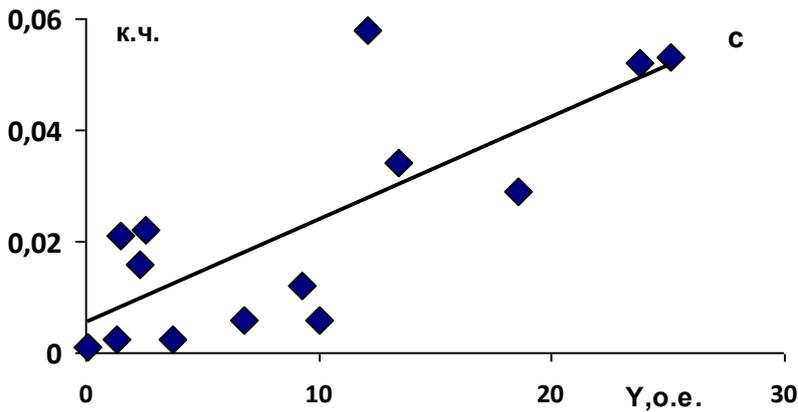
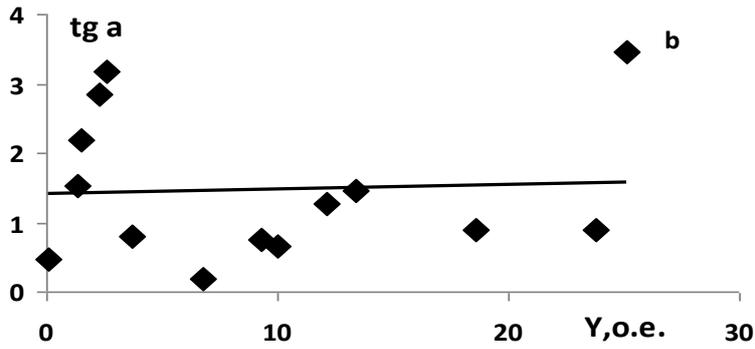


Рисунок 1. Корреляционные зависимости для:
 а) оптической плотности и мутности;
 б) оптической мутности и $\text{tg } \alpha$;
 с) оптической мутности и кислотного числа;
 д) $\text{tg } \alpha$ и кислотного числа

Проводимость трансформаторного масла обусловлена наличием свободных заряженных частиц, это могут быть как ионы, так и коллоидные частицы, движение которых в электрическом поле создает ток проводимости. Ионы обоих знаков образуются в жидких диэлектриках в результате диссоциации нейтральных молекул. В некоторых случаях это могут быть молекулы самой диэлектрической жидкости, однако в значительно большей степени диссоциируют молекулы различного рода примесей. [10]

Выводы:

1. Значения оптической плотности имеют линейную зависимость от оптической мутности. Оптическая мутность расширяет линейку измерений и является полезным технологическим параметром.

2. Многофакторные процессы, протекающие в трансформаторном масле при эксплуатации, не позволяют установить корреляции между используемыми измеряемыми параметрами.

3. Целесообразна разработка методики новых экспериментальных методов, которые помогут привести к возможности прогнозирования скорости старения трансформаторного масла, с учетом основных процессов, протекающих в нём при эксплуатации.

Список литературы

1. <https://alternativenergy.ru/>
2. <http://leg.co.ua/info/transformatory>
2. Гайнуллина Л. Р., Тутубалина В. П., Харлампиди Х. Э. Зависимость диэлектрических характеристик трансформаторного масла от углеводородного состава. // Вестник технологического университета. 2016. Т.19, №14 удк 621.3.048
3. <http://elektro-montagnik.ru>
4. <http://globecore.ru/>
5. Методические указания по определению оптической мутности трансформаторного масла герметичных вводов 110 кВ и выше силовых трансформаторов и шунтирующих реакторов. – М.: ЗАО «Энергетические технологии», 2007. – 8с.
6. <http://femto.com.ua/>
7. РД 34.43.105-89 Методические указания по эксплуатации трансформаторных масел .ПО «Союзтехэнерго» и ВТИ им. Ф.Э. Дзержинского. Р.А. Липштейн, Д. В. Шуварин, В. М. Ерохин, А. Д. Петриченко
8. ГОСТ 5985-79 Нефтепродукты. Метод определения кислотности и кислотного числа
9. Муратаева Г. А., Муратаев И. А. Оценка старения трансформаторного масла по температурной зависимости диэлектрических потерь. Состояние и перспективы развития электротехнологии. УДК621.314.21: 621.3.048

