УДК 621.314.2

Д.Т. ЮСУПОВ, м.н.с. (ИЭиА АНРУз)
г. Ташкент

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВОДЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ НА НЕКОТОРЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

В процессе длительной эксплуатации силовые масляные трансформаторы подвергаются воздействию ряда факторов, которые приводят к их разрушению и выхода из строя. Одним из таких основных факторов, влияющих на работу данного электрооборудования - это ухудшение электрофизических свойств трансформаторного масла. Трансформаторное масло используется для изоляции, т.е. оно обеспечивает около 80% электрической прочности в трансформаторе [1] и для охлаждения, т.е. масло отводит тепло от активных частей (обмотка и т.п.) в систему охлаждения силового трансформатора.

Надежная и долговечная эксплуатация маслонаполненных трансформаторов во многом зависит от качества масла. Качество масла также определяет степень работы масляных трансформаторов. Так, 85% поломок масляных трансформаторов происходит из-за повреждения изоляции [2]. В связи с этим, актуальными задачами являются своевременная очистка и регенерация масла с длительной эксплуатацией силового трансформатора.

Целью настоящей работы - проведение анализа влияния воды и механических примесей на некоторые эксплуатационные свойства трансформаторного масла.

Одним из основных факторов, влияющих на эксплуатационные свойства трансформаторного масла являются:

1. Вода (связанная, растворённая и эмульсионная);
2. Механические примеси (волокна, пыль, продукты растворения в масле компонентов, и т.п.).

Вода. В эксплуатационном трансформаторном масле содержится вода, образующаяся в процессе старения масла и изоляции, а также вода, попадающая в масло из окружающей среды. В зависимости от содержания влаги в трансформаторном масле вода может находиться в трёх состояниях: связанном, растворённом и эмульсионном.

В результате процесса старения масла и твердой изоляции в самом трансформаторном масле появляется ***связанная вода***, имеющая вид осадка, которая образуется до насыщения.

Когда вода переходит в насыщенное состояние, появляется ***растворенная вода***, которая состоит из крупных капель жидкости. В растворённом состоянии вода не оказывает значительного влияния на электрическую

прочность, однако способствует повышению окисляемости трансформаторного масла и снижению его стабильности.

При быстром понижении температуры внутри силового трансформатора масло, влага может оказаться перенасыщенным и произойдет появление ***эмульгированной воды***, которая состоит из мелких капель жидкости. Капельки данной воды могут осаждаться или под действием электрического поля выстраиваться в цепочки и образовывать проводящие мостики [3], и вследствие этого, данный тип воды может оказать влияние на пробивное напряжение трансформаторного масла. Пробивное напряжение масла является показателем, характеризующим способность жидкого диэлектрика выдерживать приложенное напряжение без пробоя. Как видно на рисунке 1 [4], пробивное напряжение понижается в связи с увеличением содержания воды в составе трансформаторного масла.

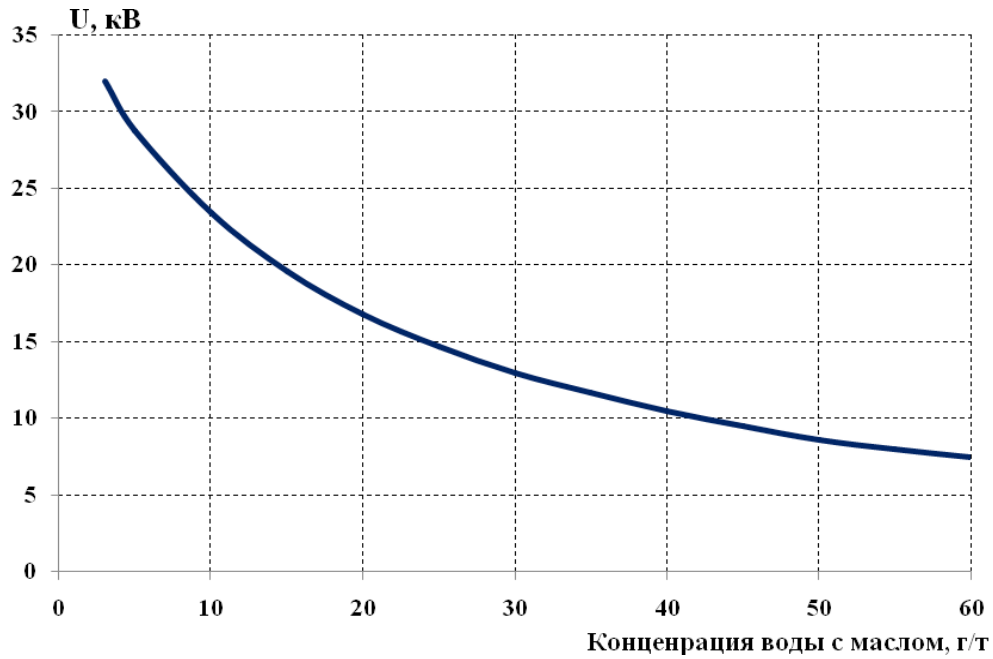

Рис.1. Влияние воды на пробивного напряжения трансформаторного масла

На рисунке 2 представлено распределение частиц воды в трансформаторном масле, полученном автором на лазерном дифракционном анализаторе частиц (фирма «Malvern Ltd»). Образец отработанного трансформаторного масла получен с объекта специализированного ремонтного предприятия (СРП) ОАО «Энерготаъмир». Данное трансформаторное масло было изъято из трансформатора, работающего с 1976 г.

Как видно на рисунке 2, часть воды находится в масле в связанном состоянии (слева), а часть в эмульсионном (справа). Избавиться от связанной воды практически невозможно, она всегда содержится в свежем масле. И с другой стороны, связанная вода не оказывает существенного вредного

влияния на электрофизические показатели трансформаторного масла. Что касается эмульсионной воды, именно она оказывает очень большое влияние на эксплуатационные свойства трансформаторного масла, особенно на величину пробивного напряжения масла, как было отмечено выше.

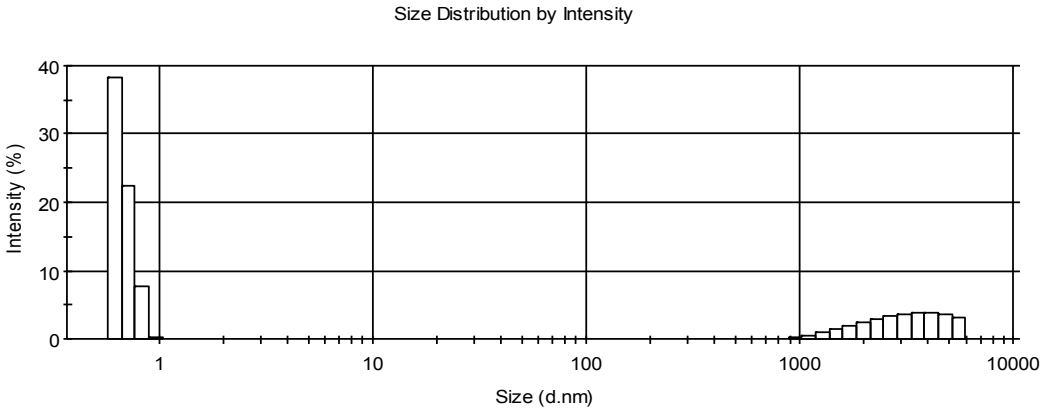

Рис.2. Распределение частиц остаточной воды в трансформаторном масле

Анализ распределения частиц воды по размерам показывает, что содержание эмульсионной воды в образце незначительно. Следует обратить внимание, что распределение частиц дано в интенсивности рассеянного света.

Механические примеси. Механические примеси являются нерастворенными веществами, содержащиеся в масле в виде осадка или во взвешенном состоянии. Это - волокна, пыль, продукты растворения в масле компонентов, применяемых в конструкции трансформатора (лаков, красок и т.п.). Другие примеси появляются в масле после внутренних повреждений трансформатора (электрической дуги, мест перегревов) в виде обуглившихся частиц. По мере старения в масле накапливается шлам, который, осаждаясь на изоляции силового трансформатора, ухудшает её диэлектрические свойства.

Первоначально в трансформаторном масле имеются очень мелкие частицы, которые образуются из примесей в сырой нефти или же при её обработке. При изготовлении и сборке трансформатора в масло могут попасть волокна целлюлозы, частицы смол и металлов, пыль. При работе трансформатора концентрация таких частиц, как волокна целлюлозы, крупицы металла и смолы, нарастает по мере старения материалов. Они разносятся по всему объёму при принудительной циркуляции масла. При местных перегревах и частичных разрядах нарастает также концентрация углеводородных частиц. В процессе эксплуатации трансформаторного масла происходит укрупнение коллоидных частиц, которые наблюдаются уже у базового (заводского) масла. Деградация масла приводит к тому, что за счёт образования парамагнитных центров, вокруг которых сосредотачива-

ются молекулы с меньшими энергиями взаимодействия, происходит формирование коллоидных микрогетерогенных систем.

Результаты исследования автором отработанного масла на содержание мелкодисперсных механических примесей показали, что основная масса частиц находится в субмикронной области распределения. Результат был получен на лазерном дифракционном анализаторе частиц (фирма «Malvern Ltd»). Образец отработанного трансформаторного масла также получен с объекта СРП ОАО «Энерготаъмир» (с трансформатора, работающего с 1976 г.).

Распределение механических примесей по размерам в трансформаторном масле приведено на рисунке 3.

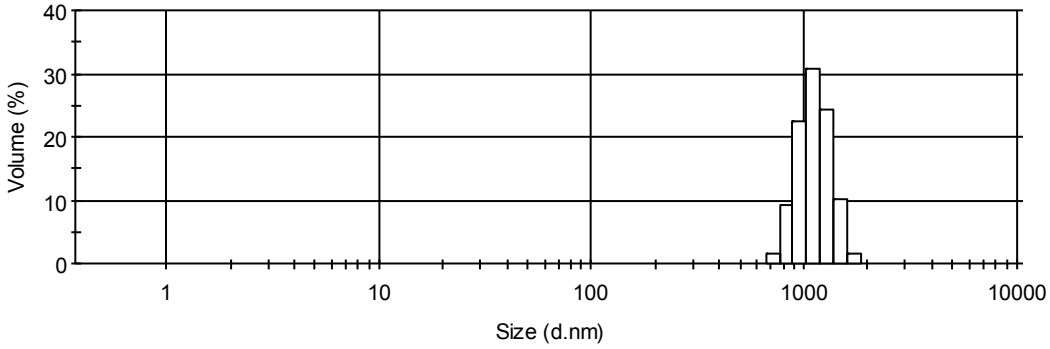

Рис.3. Распределение механических примесей по размерам в трансформаторном масле

Исследованиями зарубежных ученых выявлено [5], что именно механические примеси, имеющие размер менее 5 мкм, являются наиболее опасными для функционирования трансформатора, так как они представляют примерно 95% от общего числа загрязнителей в масле и в основном являются продуктами окисления масла.

На процесс старения трансформаторного масла оказывает влияние содержание воды и механических примесей (особенно частиц меди, железа и других металлов, целлюлозных волокон, коллоидных частиц), причем их совместное влияние на эксплуатационные свойства трансформаторного масла намного сильнее, чем влияние одного из этих факторов в отдельности [6].

Для проведения регенерации отработанного трансформаторного масла, имеющего в своем составе воду и механические примеси, применяются различные методы. Один из таких методов предлагается в данной работе [7]. Этот метод позволяет не только проводить регенерацию отработанного трансформаторного масла, но и очистку целлюлозной изоляции силового трансформатора.

Выводы:

1. Эмульсионная вода является наиболее опасной для жизненного цикла силового трансформатора, поскольку снижает пробивное напряжение трансформаторного масла. Эмульсионная вода также под действием электрического поля может выстраиваться в цепочки и образовывать проводящие мостики.

2. Наиболее опасными механическими примесями для функционирования трансформатора, являются примеси в размере менее 5 мкм, так как они представляют примерно 95% от общего числа загрязнителей в масле.

3. Совместное влияние воды и механических примесей на эксплуатационные свойства трансформаторного масла намного сильнее, чем влияние одного из этих факторов в отдельности.

4. Проведение своевременной регенерации трансформаторного масла и очистки его от воды и механических примесей на месте эксплуатации позволит повысить энергетическую эффективность и увеличить срок эксплуатации силового масляного трансформатора.

Литература

1. Регенерация и очистка трансформаторных масел. ***www.eprom.net.ua***
2. Богачков И.М., Савиных Ю.А. Регенерация трансформаторного масла вращающимся электромагнитным полем. Научно-технический журнал «Геология, география и глобальная энергия», 2010 г., №3 (38), стр. 79-80.
3. Г.В. Попов. Вопросы диагностики силовых трансформаторов// ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет». – Иванова, 2012. -176 с.
4. I. Masuzic, B. Jeremic. Modern approach to problems of transformer oil purification// Tribology in industry, Volume 24, No 3&4, 2002. Pages 39-44.
5. Курочкин А.С., Курочкин С.А., Львов Е.В., Осадчий В.Л. Метод сверхглубокой очистки трансформаторного масла http://forca.ru/stati/podstancii/metod-sverhglubokoy-ochistki-transformatornogo-masla.html
6. С.П. Высогорец, А.П. Васильев. Метод оценки эффективности восстановления ресурса трансформаторных масел в процессе работы силовых трансформаторов// Электротехнические комплексы и системы управления, №2, 2011. Стр. 59-65.
7. Салихов Т.П., Кан В.В., Юсупов Д.Т. Метод циркуляционной промывки трансформаторов с использованием адсорбентов и керамических мембран// Научно-технический журнал ФерПИ. 2014. №4. С.62-66.