

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

УДК

Салихов Т. П., Кан В. В., Юсупов Д. Т.

**АДСОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА
СИЛИКАГЕЛЕМ В СОЧЕТАНИИ КЕРАМИЧЕСКИХ МЕМБРАН**

В статье приведены результаты регенерации отработанного масла, силового трансформатора с длительной эксплуатации. Рассмотрены способы адсорбционной очистки трансформаторного масла. Экспериментально произведена очистка трансформаторного масла от различных видов примесей с применением разработанных керамических мембран. Очищенное масло показало высокие диэлектрические свойства, и вполне соответствовало требованиям нормативных документов.

Ключевые слова: силовой трансформатор, трансформаторное масло, регенерация, адсорбционная очистка, силикагель, керамическая мембрана, примеси.

Салихов Т. П., Кан В. В., Юсупов Д. Т.

**АДСОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА
СИЛИКАГЕЛЕМ В СОЧЕТАНИИ КЕРАМИЧЕСКИХ МЕМБРАН**

В статье приведены результаты регенерации отработанного масла, силового трансформатора с длительной эксплуатации. Рассмотрены способы адсорбционной очистки трансформаторного масла. Экспериментально произведена очистка трансформаторного масла от различных видов примесей с применением разработанных керамических мембран. Очищенное масло показало высокие диэлектрические свойства, и вполне соответствовало требованиям нормативных документов.

Ключевые слова: силовой трансформатор, трансформаторное масло, регенерация, адсорбционная очистка, силикагель, керамическая мембрана, примеси.

Salikhov T. P., Kan V. V., Jusupov D. T.

**ADSORPTION CLEANING OF TRANSFORMER BUTTER SILIKAGELEM IN
COMBINATION OF CERAMIC MEMBRANES**

The results of regeneration of exhaust butter are resulted In the article, power transformer from the protracted exploitation. The methods of the adsorption cleaning of transformer butter are considered. Cleaning of transformer butter is experimentally produced from the different types of admixtures with the use of the developed ceramic membranes. The cleared butter rotined high dielectric properties, and fully conformed to the requirements of normative documents.

Keywords: power transformer, transformer butter, regeneration, adsorption cleaning, silikagel', ceramic membrane, admixtures.

Введение

Для оценки загрязненности трансформаторного масла механическими примесями используется стандартная методика ГОСТ 6370-83, которая предусматривает фильтрацию масла через бумажный фильтр и весовое определение общего количества фильтрата. Однако, указанный метод не даёт возможности оценить общий диапазон размеров частиц и тем более их распределение по нескольким выбранным диапазонам размеров. Эта методика также не даёт возможности классифицировать чистоту масла по принятым классам чистоты ГОСТ 17216-2001. Между тем, электрическая прочность масла существенным образом зависит не только от количества, но и от размеров частиц.

Данные о фактически наблюдаемых размерах частиц механических примесей в масле трансформаторов при введении в работу и при эксплуатации в литературе практически отсутствуют, поэтому представляется целесообразным провести исследования трансформаторного масла на объектах АК «Узбекэнерго» (СРП ОАО «Энерготаймир»).

В зависимости от их происхождения мелкие частицы в масле трансформатора можно подразделить на три вида:

- примеси, находившиеся в масле при заливке трансформатора;
- примеси, попавшие в масло с частей трансформатора, куда они были занесены при изготовлении и сборке;

– примеси, образовавшиеся в процессе эксплуатации.

Первоначально в масле имеются очень мелкие частицы, которые образуются из примесей в сырой нефти или же при ее 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, крупницы металла и смолы, нарастает по мере старения материалов. Они разносятся по всему объему при принудительной циркуляции масла. При местных перегревах и частичных разрядах нарастают также концентрации углеводородных частиц.

Экспериментальные исследования показали [1], что распределение примесей по размерам в трансформаторном масле обнаруживает тенденцию к смещению сторону субмикронных частиц.

Исследованиями также показали [2], что примеси, имеющие размер менее 5 мкм, являются наиболее опасными для функционирования силового трансформатора, так как они представляют примерно 95 % от общего числа загрязнителей в масле и в основном являются продуктами окисления масла.

Анализ отказов силовых масляных трансформаторов с длительной эксплуатации показывает, что среди причин повреждений - увлажнение, загрязнение трансформаторного масла, в том числе продуктами старения [3]. Основным фактором, определяющим реальный срок службы силовых трансформаторов, является твердая изоляция, состояние которой существенно зависит от качества залитого эксплуатационного трансформаторного масла и процессов, протекающих в нем [4–5].

В связи с этим, актуальной задачей электроэнергетики является своевременная очистка масла силовых трансформаторов от различных видов примесей.

Целью работы является очистка трансформаторного масла от влаги, кислот, механической грязи, а также нежелательных компонентов, таких как непредельные углеводороды и асфальто-смолистые вещества.

Для регенерации отработанных масел применяют разнообразные технологические операции, основанные на физических, физико-химических и химических процессах [6].

В качестве технологических операций обычно соблюдается следующая последовательность методов:

- механический – для удаления из масла свободной воды и твердых загрязнений (фильтрация, центрифугирование, отстой);
- теплофизический – выпаривание, вакуумная перегонка;
- физико-химический – коагуляция, адсорбция;
- химический – если недостаточно первых предыдущих, он связан с применением более сложного оборудования и большими затратами.

В эксплуатационном трансформаторном масле содержится вода, образующаяся в процессе старения масла и изоляции, а также вода, попадающая в масло из окружающей среды. Вода является наиболее опасной примесью в масле, так как даже небольшие её количества значительно снижают пробивное напряжение трансформаторного масла.

Адсорбционный способ, суть которого заключается в очистке масел с помощью твёрдых пористых тел, называемых адсорбентами, является наиболее эффективным. Примеси задерживаются на поверхности и во внутренних порах адсорбентов.

Адсорбционная очистка может осуществляться одним из трёх способов:

1. Перколяционный.
2. Контактный.
3. Методом противотока.

При перколяционном способе отработанное масло фильтруется через слой зернового адсорбента (чаще всего, силикагеля), загруженного в вертикальный цилиндрический сосуд.

При контактной очистке восстанавливаемое масло при 70-75 °С контактирует (перемешивается) с порошкообразным адсорбентом в течение определённого времени, а затем освобождается от адсорбента на фильтре-прессе. Мелкая фракция адсорбента и

температура обеспечивают достаточно высокую скорость массообмена, и очистка масла проходит быстро. К недостаткам контактной очистки следует отнести необходимость утилизации большого количества адсорбента, загрязняющего окружающую среду.

При третьем способе – масло и адсорбент движутся навстречу друг другу. Наиболее перспективным методом является адсорбционная очистка масла в движущемся слое адсорбента, при котором процесс протекает непрерывно, без остановки для периодической замены, регенерации или фильтрования адсорбента, однако, применение этого метода связано с использованием довольно сложного оборудования.

В качестве адсорбентов для осушки и очистки масел можно использовать: силикагель, окись алюминия, алюмосиликатные соединения, отбеливающие глины, синтетические цеолиты [7–8].

Авторами была изготовлена партия многослойных керамических мембранных фильтроэлементов со средней пористостью 3 мкм [8] и произведена очистка экспериментальных проб трансформаторного масла, полученных на объектах СРП «Энерготамбир». Селективный слой керамических мембран формировался послойным нанесением керамической суспензии на основе 20 мкм порошка, и после просушки - суспензии на основе 5 мкм порошка. Предварительная фильтрация масла керамическими мембранами позволила удалить механические примеси с угольными проводящими компонентами. Для оценки влияния угольной составляющей на пробойное напряжение был проведён анализ исходного отфильтрованного масла (табл. 1).

Таблица 1

Электрофизические свойства исходного отфильтрованного масла.

№ п/п	Электрофизические свойства масла	Значение
1.	Электрическая прочность	35,5 кВ
2.	Содержание воды	Присутствует
3.	Механические примеси	Не определено
4.	Содержание взвешенного угля	Присутствует
5.	Цвет	Тёмно-коричневый
6.	Содержание органических кислот (в мг КОН на 1 г масла)	0,27 (Норма до 0,02)
7.	Температура вспышки	148°C (Норма до 135°C)
8.	Тангенс угла δ при 30°C	2,01%
8.1	Тангенс угла δ при 70°C	5,83%
8.2	Тангенс угла δ при 90°C	11,21%

Результаты исследования авторами отработанного масла на содержание мелкодисперсных механических примесей показали, что основная масса частиц находится в субмикронной области распределения (рис.1).

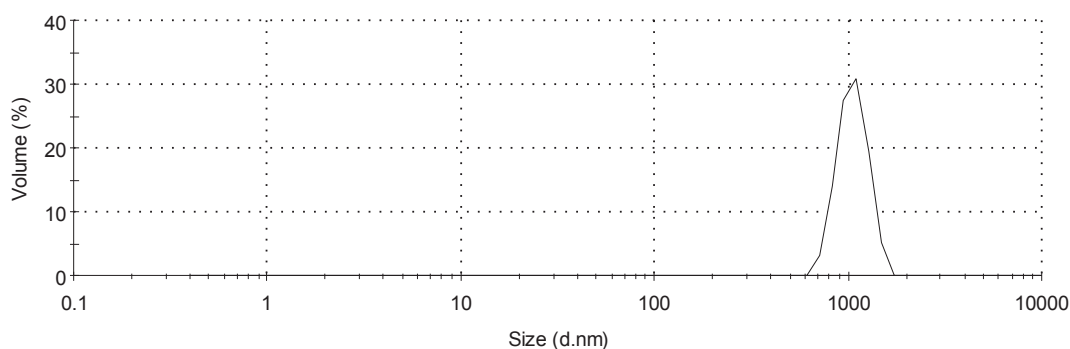


Рис.1. Распределение механических примесей по размерам в трансформаторном масле

Это подтверждает предположение о том, что наиболее вредные частицы в трансформаторном масле – меньше 5 мкм. Результат был получен на лазерном дифракционном анализаторе частиц (фирма «Malvern Ltd»). Образец отработанного трансформаторного масла получен с объекта СРП ОАО «Энерготаймир» (с трансформатора, работающего с 1970 г.).

Регенерация отработанного масла осуществлялась по замкнутой схеме, разработанной авторами [9–10]. Очищенные от механических примесей образцы масла при температуре 50–70 °С были пропущены через крупнопористый силикагель для удаления продуктов старения трансформаторного масла. Общее время контакта масла с адсорбентом составляло 4 часа. После адсорбента масло фильтровалось через керамические мембраны.

Анализ масла показал его высокие диэлектрические свойства (табл. 2), и масло вполне соответствовало требованиям нормативных документов РН 34-301-633:2011 и ГОСТ 6370-83.

Таблица 2

Электрофизические свойства очищенного масла (силикагель+мембрана)

№ п/п	Электрофизические свойства масла	Значение
1.	Электрическая прочность	60 кВ
2.	Содержание воды	Отсутствует
3.	Механические примеси	Отсутствует
4.	Содержание взвешенного угля	Отсутствует
5.	Цвет	Жёлтый
6.	Содержание органических кислот (в мг КОН на 1 г масла)	0,019 (Норма до 0,02)
7.	Температура вспышки	151,5°С (Норма до 135°С)
8.	Тангенс угла δ при 20 °С	0,02 %
	Тангенс угла δ при 70 °С	0,10 %
	Тангенс угла δ при 90 °С	0,30 % (Норма до 1,7 %)

В процессе исследований проводился мониторинг спектрального коэффициента пропускания трансформаторного масла для оценки его визуальной прозрачности в видимом диапазоне спектра. На рис. 2 показаны спектральные зависимости коэффициентов пропускания трансформаторного масла до очистки и после адсорбционной очистки (силикагель + керамическая мембрана).

Из графика видно, что адсорбционная очистка привела к существенному осветлению трансформаторного масла.

Выводы

1. Распределение примесей по размерам в трансформаторном масле обнаруживает тенденцию к смещению сторону субмикронных частиц. Примеси, имеющие размер менее 5 мкм, являются наиболее опасными для функционирования силового трансформатора.

2. Своевременная очистка масла от различных видов примесей позволит продлить срок службы силовых трансформатора на несколько лет, что существенно повышает экономическую и энергетическую эффективность энергетических объектов.

3. Отличительной особенностью керамических мембранных фильтров перед бумажных фильтров заключается в том, что их можно использовать несколько раз, т.е. они регенерируемые.

4. В настоящее время авторами разрабатываются мобильная установка на базе керамических мембран, которая позволяет регенерировать масла на месте эксплуатации силового трансформатора.

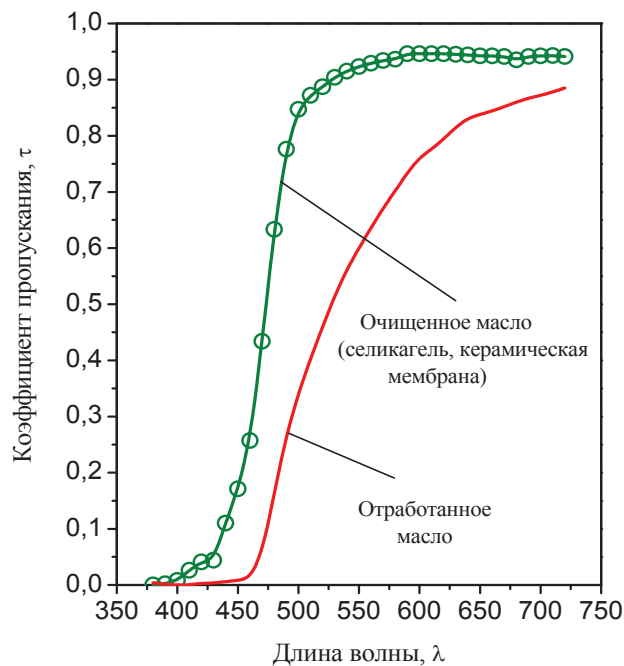


Рис.2. Спектральные коэффициенты пропускания трансформаторного масла до очистки и после адсорбционной очистки (селикагель + керамическая мембрана)

Список использованной литературы:

1. Каменчук Я.А., Писарева С.И. Изменение содержания ингибиторов окисления и парамагнитных центров в процессах старения нефтяных трансформаторных масел // Нефтехимия, № 5, 2006. – С. 395–398.
2. 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>
3. Соколов В. В. и др. Вопросы оценки и обеспечения надежности силовых трансформаторов // Екатеринбург: Издательский дом «Автограф», 2010. – С. 22–30.
4. Высогорец С. П., Васильев А. П. Оценка качества эксплуатационных масел силовых трансформаторов напряжением 35–110 кВ // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 1/2013. – С. 84–92.
5. Черкашина В. В. Анализ эффективности методов оценки механической прочности целлюлозной изоляции высоковольтных трансформаторов // Интегрированные технологии и энергосбережение 4'2006. С. 32–36.
6. Горбунов Н. И. и др. Повышение эффективности регенерации отработанного масла // Вісник СевНТУ: зб, наук. пр. Вип. 122/2011. – С. 159–162.
7. Коваль Е. А. и др. Адсорбционная очистка отработанного трансформаторного масла с использованием промышленных монтмориллонит содержащих сорбентов // Известия Томского политехнического университета. №3.2007. – С. 86–89.
8. Кипелов Б. Г., Мезенцев А. И. Контактная очистка отработанных трансформаторных масел отбеливающими землями зикеевского месторождения // Электро 5/2002. – С. 31–33.
9. Салихов Т. П., Кан В. В., Уразаева Э. М., Саватюгина Т. М., Арушанов Г. М., Кан С. Н., Юсупов Д. Т. Пористая структура керамических мембран для тонкой очистки технологических жидкостей нефтегазовой отрасли. Научно-технический журнал ФерПИ, 2015. – № 3. С. 95–98.
10. Салихов Т. П., Кан В. В., Аскарлов Ш. Ш., Юсупов Д. Т. Экономические аспекты регенерации трансформаторного масла // Узбекский журнал Проблемы информатики и энергетики. 2014г. №3-4. Стр.74-78.
11. 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.

References:

1. Kamenchuk Ya.a., Pisareva S.I. Change of maintenance of inhibitors of oxidization and paramagnetic centers in the processes of senescence of oil transformer mase// Petrochemistry, ? 5, 2006. – P. 395–398.

2. Kurochkin And. P., Kurochkin P. And., Lvov of E. V., Osadchiy V. L. Metod super-deep cleaning of transformer butter <http://forca.ru/stati/podstancii/metod-sverhglubokoy-ochistki-transformatornogo-masla.html>
3. Sokolov V. V. and other. Questions of estimation and providing of reliability of power are transformatorov // Ekaterinburg: A publishing house is «Autograph», 2010. – P. 22–30.
4. Vysogorec P. P., Vasil'ev A. P. Ocenka qualities of operating butters of power transformers by tension 35–110 kV // the Scientific and technical lists of Cankt-Pe-terburgskogo of state polytechnic university. 1/2013. – P. 84–92.
5. Cherkashina V. V. Analiz to efficiency of methods of estimation of mechanical durability of cel-lyuloznoy isolation of high-voltage transformers of // Computer-integrated technologies and energy-savings 4'2006. P. 32–36.
6. Hunchbacks of N. And. and other Increase of efficiency of regeneration of exhaust masla//Vicnik SEVNTU: zb, sciences. pr. Vip. 122/2011. – P. 159–162.
7. Shoe-smith E. And. and other Adsorption cleaning of exhaust transformer butter with the use of industrial montmorillonit of containing sorbents of // Information of the Tomsk polytechnic university. '3.2007. – P. 86–89.
8. Kipelov ? .G., Mezencev A. I. Kontaktnaya cleaning of exhaust transformer butters by bleachings earths of zikeevskogo deposit of // Electro- 5/2002. – P. 31–33.
9. Salikhov of T. of P., Kan of V. of V., Urazaeva E. M., Savatyugina of T. of M., Arushanov M., Kan P. N., Yusupov d.t. the Porous structure of ceramic membranes for the thin cleaning of technological liquids of neftegazovoy industry. Scientific and technical magazine of FERPI, 2015. –? 3. P. 95–98.
10. Salikhov of T. of P., Kan of V. of V., Askarov Sh. Sh., Yusupov D. T. Ekonomicheskie aspects of regeneration of transformer masla// the Uzbek magazine of Problem of informatics and energy. 2014g. ?3-4. Str.74-78.
11. Salikhov of T. of P., Kan of V. of V., Yusupov D. T. Metod circulation washing of transformers with the use of adsorbents and ceramic membran// the Scientific and technical magazine of FERPI. – 2014. – N. 4. – P. 62-66.

Поступила в редакцию 18.01 2016 г.