

14. Pis'mennyi, E. N., Reva S. A., Terekh, A. M., Rudenko, A. I. (2014). The generalized data of the aerodynamic drag of the staggered bundles of screw-shaped tubes. *International research journal*, V.1, 5 (24), 103-106.

15. Bagriy, P. I., Terekh, A. M., Rohachov, V. A. (2007). *Sravnienie teplovoy effektivnosti shakhmatnykh puchkov poperechno-orebrennykh trub razlichnogo profilia. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, №6/5 (57), 51-56.

16. Kostyuk, A. G., Frolov, V. V., Bulkin, A. E., Trukhniy A. D. (2008). Steam and gas turbines for power station. Moscow, Russia: Publ. House MEI, 556.

УДК 621.18.063

С.А. Рева, інженер, ORCID 0000-0003-0226-706X

О.М. Терех, канд. техн. наук., с. н. с., ORCID 0000-0002-1320-8594

В. А. Рогачов, канд. техн. наук., доц., ORCID 0000-0001-5489-874X

О.І. Руденко, канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-8541-9710

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ОЦІНКА ТЕПЛОАЕРОДИНАМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПАКЕТІВ ГВИНТОПОДІБНИХ ТРУБ

На основі вдосконаленого метода виконана оцінка теплоаеродинамічної ефективності шахових пакетів гвинтоподібних та гладких круглих труб. Проведено порівняння їх теплоаеродинамічних, вагових, габаритних характеристик на прикладі теплового і аеродинамічного розрахунків повітропідігрівача-регенератора. За результатами порівняльного аналізу показані переваги гвинтоподібних труб над поверхнями з традиційних труб круглого перетину.

Ключові слова: гвинтоподібна труба, поверхня, пакет, ефективність, регенератор, розрахунок, порівняння.

Надійшла 26.03.2018

Received 26.03.2018

УДК 621.315.615

Д.Т. Юсупов, ст. науч. сотр.,

ООО «Научно-технический центр» АО «Узбекэнерго»,

г. Ташкент, Республика Узбекистан

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПРИМЕСЕЙ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА И СПОСОБ ИХ УДАЛЕНИЯ

Электрическая прочность трансформаторного масла является самым основным эксплуатационным показателем, определяющий срок службы жидкой изоляции. В процессе эксплуатации трансформаторного масла на его электрическую прочность влияют различные примеси. В связи с этим, в данной работе проведен обзор влияющих примесей на данный основной эксплуатационный показатель масла. Приведены результаты очистки отработанных трансформаторных масел с целью повышения их электрическую прочность.

Для проведения экспериментальных исследований разработан керамический мембранный фильтр, предназначенный для очистки отработанного трансформаторного масла от механических примесей. Очистка отработанных трансформаторных масел растворимых и увлажненных примесей применен адсорбционный способ. В качестве адсорбентов использован силикагель и цеолит. Очистка отработанных трансформаторных масел с использованием керамического мембранного фильтра и адсорбентов осуществлялась по разработанной схеме автором. Окончательная очистка каждой пробы масла керамическим мембранным фильтром позволила повысить значение пробивного напряжения до 60 кВ.

© Д.Т. Юсупов, 2018

Ключевые слова: отработанное трансформаторное масло, механические примеси, растворимые примеси, увлажненные примеси, электрическая прочность, пробивное напряжение, керамический фильтр, адсорбенты.

Введение

Надежные и долговременные эксплуатации маслonaполненных трансформаторов, во многом зависят от качества масла. Качества масла также определяет продолжительность безотказной работы масляных трансформаторов.

Основные влияющие факторы на эксплуатационные характеристики свойства трансформаторного масла являются различные примеси. Самым основным влияющим фактором на эксплуатационные характеристики трансформаторного масла является механические (твердые) примеси.

Механические примеси являются нерастворенными веществами, содержащиеся в масле в виде осадка или во взвешенном состоянии. Это – уголь, волокна, частицы металла и другие виды механических примесей. Одним из опасных видов механических примесей в трансформаторном масле является уголь. Электрическая дуга, горящая вблизи поверхности масла, образует уголь, обладающий хорошей проводимостью, который снижает его пробивное напряжение. Дуга высокого напряжения при малой силе тока, горящая под толстым слоем масла, дает тонкую угольную пыль, почти не оседающую на дно. Дуга низкого напряжения при большой силе тока дает крупные хлопья угля, оседающие на всех поверхностях трансформатора [1]. Следующими наиболее распространенными примесями являются волокна, попадающие в масло из изолирующих материалов (целлюлозная изоляция) выемной части трансформатора. Волокна целлюлозной изоляции оказывают свое вредное действие на электрическую прочность трансформаторного масла, и проявляют это особенно сильно во влажном масле. В сухом масле волокна на пробивное напряжение влияют слабо. Большое значение имеет структура и размер волокон: крупные волокна целлюлозной изоляции меньше снижают пробивное напряжение, чем мелкие хлопчатобумажные. По мере старения в масле накапливается шлам, который, оседаясь на изоляцию силового трансформатора, ухудшает ее эксплуатационные характеристики [2]. Шлам, накопившийся на поверхности обмоток, отводах, шинах, в масляных каналах трансформатора, ухудшает процессы теплопередачи и, соприкасаясь с целлюлозной изоляцией, ускоряет её старение. Вполне реально опасность образования из частиц шлама проводящих мостиков в изоляции трансформаторов, что непременно приводит к уменьшению её электрической прочности.

Исследованиями последних лет выявлено [3], что 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, являются в основном продуктами окисления масла и базой для образования более крупных частиц. Эти загрязнители полярны и имеют свойство притягиваться и налипать на внутренние поверхности трансформатора по достижению маслом определенного уровня загрязненности. В процессе эксплуатации трансформатора наблюдается процесс укрупнения частиц, называемый «хлопьеобразованием». При этом содержание частиц размером >50 мкм может увеличиться в несколько раз по сравнению с первоначальным содержанием. Опасность загрязнений размером менее 5 мкм заключается в их высокой способности проникать внутрь твердой изоляции и менять их эксплуатационные характеристики.

Для оценки загрязненности трансформаторного масла механическими примесями используется стандартная методика по ГОСТ 6370-83 [4], 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 [5]. 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.

Следующим основным влияющим фактором на эксплуатационные характеристики трансформаторного масла является растворимые примеси. Растворимые примеси - это продукты окислительного старения масла. В процессе длительной эксплуатации трансформаторного масла происходит укрупнение коллоидных частиц, которые наблюдаются уже у заводского масла. Коллоидными частицами, накапливающимися в масле, являются кислые продукты, не содержащие в своем составе металлы, например, смолы, компоненты лака и другие продукты окисления [2]. Появление коллоидных частиц снижает пробивное напряжение трансформаторного масла. Кислоты, которые переходят в жидкий диэлектрик из пленок лаков, ускоряют процесс окисления трансформаторного масла [2]. Асфальто-смолистые растворимые примеси представляют собой порошок темно-коричневого или бурого цвета, происходят от окисления нафтеновых смол. Основная их вредность в том, что, отлагаясь на обмотках, они

ухудшают процесс охлаждения трансформатора [1-2]. Мыловые осадки от светлого до темно-бурого цвета, образуются от взаимодействия металлов и кислот. Эти осадки при взаимодействии с водой представляют большую опасность, так как могут быть причиной перекрытия или пробоя внутри трансформаторов.

Последним основным влияющим фактором на эксплуатационные характеристики трансформаторного масла является увлажненные примеси (вода).

Вода в трансформаторное масло проникает от атмосферы или может развиваться как продукт химических реакций в самом трансформаторе. Основным показателем трансформаторного масла является электрическая прочность - величина, чрезвычайно чувствительная к его увлажнению. Незначительное количество воды может иметь значительное влияние к особенностям эксплуатации трансформатора. Например, если содержание воды в трансформаторном масле превышает 50 г/т, тогда может возникнуть пробой, что приводит к выходу трансформатора из строя [6]. В зависимости от содержания влаги в трансформаторном масле вода может находиться в трёх состояниях.

Эмульсионная вода состоит из мелких капель жидкости. Она трудно отделяется от трансформаторного масла и находится в его химическом составе. Капельки данной воды под действием электрического поля могут выстраиваться в цепочки и образовывать проводящие мостики [7], 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.

На процесс старения трансформаторного масла оказывает влияние смесь различных примесей (особенно частиц меди 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 [8].

Объекты и методы исследований.

Пробивное напряжение каждой пробы трансформаторного масла до и после каждой очистки проверялось с помощью измерительного аппарата электрической прочности диэлектрических жидкостей типа АМИ-60. Средние значения полученных экспериментальных данных по пробивному напряжению отработанных трансформаторных масел до очистки приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Средние арифметические значения пробивных напряжений отработанных трансформаторных масел (ОТМ)

| Номер пробы ОТМ | Пробивное напряжение ОТМ до очистки, кВ |
|--------------------|--|
| Проба №1 | 22,8 |
| Проба №2 | 26,6 |
| Проба №3 | 32 |
| Проба №4 | 35,5 |
| Проба №5 | 31,2 |

Испытание производилось в специальном фарфоровом сосуде, который заполнен пробами отработанного трансформаторного масла объемом 500 мл. Перед испытанием расстояние между электродами установили $h=2,5$ мм. Испытание на пробивное напряжение проводилось также 6 раз согласно нормативному документу РН 34-301-633:2011 [9].

Среднее арифметическое значение пробивного напряжения отработанного трансформаторного масла до и после очистки вычисляли по формуле [10]:

$$U_{пр} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_{пр,i} \quad (1)$$

где $U_{пр}$ - пробивное напряжение (среднее арифметическое значение), кВ; $U_{пр,i}$ - величина, полученная при последовательных пробоях, кВ; n - число пробоев.

Для проведения экспериментальных исследований разработан керамический мембранный фильтр, предназначенный для очистки отработанного трансформаторного масла от механических примесей. Очистка отработанных трансформаторных масел растворимых и увлажненных примесей применен адсорбционный способ. В качестве адсорбентов использован силикагель и цеолит.

Очистка отработанных трансформаторных масел с использованием керамического мембранного фильтра и адсорбентов осуществлялась по схеме, приведенной в [11].

Экспериментальные данные и обсуждение результатов исследования.

Получены результаты испытания отработанного трансформаторного масла каждой пробы до и после очистки по пробивному напряжению. Наблюдалось повышение значения пробивного напряжения отработанного трансформаторного масла всех проб после каждого этапа очистки. Значение пробивного напряжения данной пробы после очистки каждой пробы керамическим мембранным фильтром повысилось в среднем на 8-11 кВ. Адсорбционная очистка каждой пробы трансформаторного масла повысила значение пробивного напряжения в среднем до 58 кВ.

Окончательная очистка каждой пробы масла керамическим мембранным фильтром позволила повысить значение пробивного напряжения до 60 кВ.

На рисунке 1 приведены результаты испытания отработанного трансформаторного масла по всем пробам до и после очистки по пробивному напряжению. Из рисунка видно, что очистка керамическим мембранным фильтром показала значительное повышение пробивного напряжения трансформаторного масла. Это объясняется тем, что очистка отработанных трансформаторных масел керамическим мембранным фильтром от механических примесей с минимальными размерами до 0,3 мкм позволила повысить пробивного напряжения значительно.

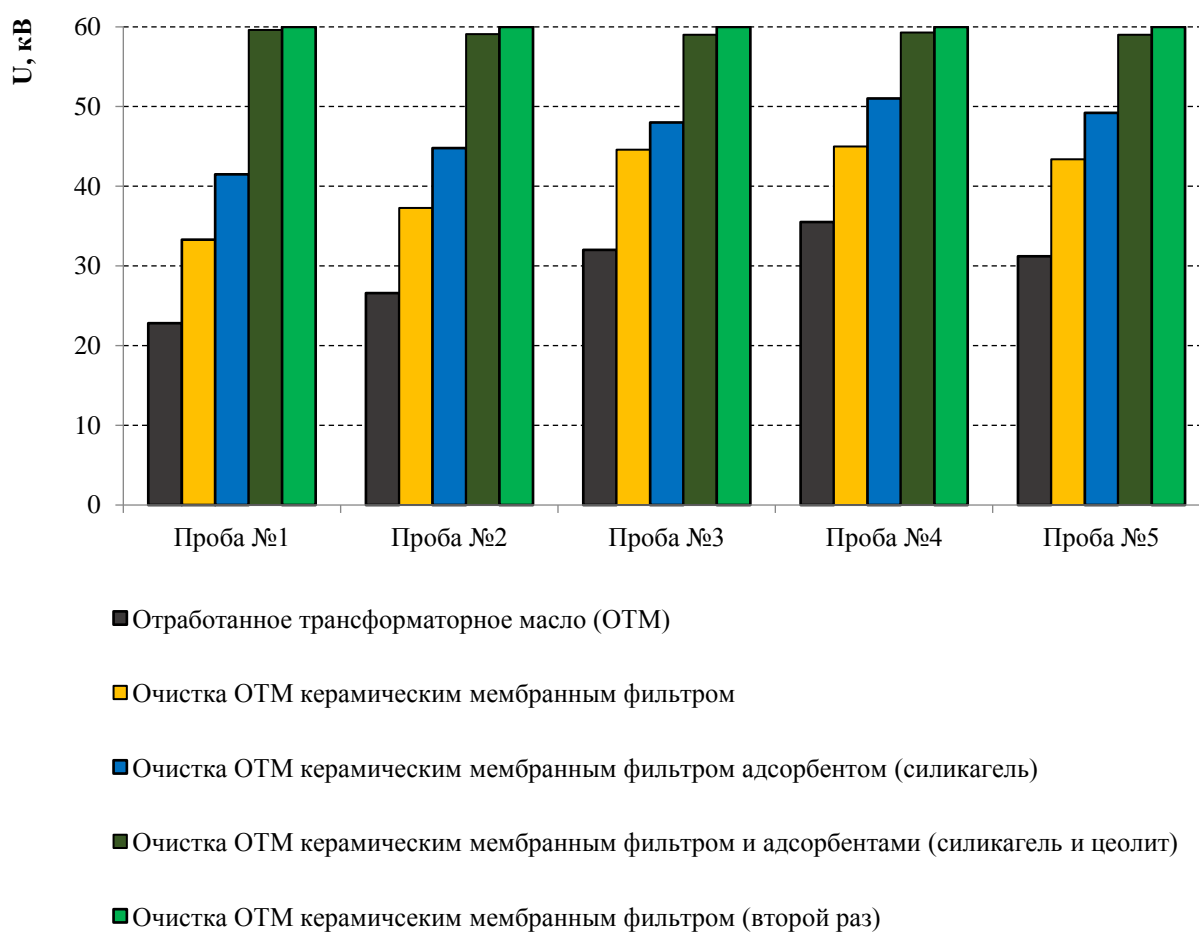


Рисунок 1 – Пробивные напряжения отработанных трансформаторных масел до и после очистки

Выводы:

1. Основным влияющим примесям на электрическую прочность трансформаторного масла являются механические примеси. Поэтому необходимо глубокая очистка отработанных трансформаторных масел от механических примесей.

2. Очистка отработанных трансформаторных масел керамическим фильтром от механических примесей с минимальными размерами до 0,3 мкм позволила повысить электрическую прочность значительно.

3. Комплексная очистка отработанных трансформаторных масел с использованием керамического мембранного фильтра и адсорбентов позволила повысить их эксплуатационные показатели.

Список использованной литературы

1. Липштейн Р.А., Шахнович М.И. Трансформаторное масло. –М.: Энергоатомиздат, 1983 г. - 296с.
2. Маневич Л.О. Обработка трансформаторного масла. 2-е изд., перераб. и доп. –М.: Энергоатомиздат, 1985. - 104с.
3. Курочкин А.С., Курочкин С.А., Львов Е.В., Осадчий В.Л. Метод сверхглубокой очистки трансформаторного масла и маслонеполненного оборудования как способ повышения надежности работы трансформаторов // Международная научно-практическая конференция «Трансформаторы: эксплуатация, диагностирование, ремонт и продление срока службы». г. Екатеринбург. 13-17 сентября 2010 г. С.233-243
4. ГОСТ 6370-83. Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей. – М: Стандартинформ, 2007. – 7 с.
5. ГОСТ 17216-2001. Межгосударственный стандарт чистота промышленная. Классы чистоты жидкостей. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2003 г., 11 с.
6. Суслин М.А., Тетушкин В.А., Чернышов В.Н., Дмитриев Д.А. Микроволновой термовлагодетрический метод контроля органических соединений. Вестник ТГТУ. 2004 г. №2. С.28-31.
7. Попов Г.В. Вопросы диагностики силовых трансформаторов// ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет». – Иванова, 2012г. -176 с.
8. Маневич Л.О. Осушка масла цеолитами и дегазация. -2-е изд., перераб. и доп. –М.: Энергия, 1980. -168 с.
9. Руководящий документ РН 34-301-633:2011. Инструкция. Эксплуатация трансформаторных масел. – Т: Узбекэнерго, – 2011. – 98 с.
10. ГОСТ 6581-75. Материалы электроизоляционные жидкие. Методы электрических испытаний. – М: Стандартинформ, 2008. – 18 с.
11. Салихов Т.П., Кан В.В., Юсупов Д.Т. Разработка технологической схемы мобильной установки для очистки масла и целлюлозной изоляции силового трансформатора с использованием керамических мембран // Общегосударственный научно-производственный и информационный журнал “Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит” (Украина). 2017 г. №01 (156). С. 44-49.

УДК 621.315.615

Д.Т. Юсупов, старш. наук. співроб.,
ТОВ «Науково-технічний центр» АТ «Узбекэнерго»,
м. Ташкент, Республіка Узбекистан

**ВПЛИВ РІЗНИХ ВИДІВ ДОМІШОК НА ЕЛЕКТРИЧНУ МІЦНІСТЬ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ
ОЛИВИ ТА СПОСІБ ЇХ ВИДАЛЕННЯ**

Електрична міцність трансформаторної оливи є основними експлуатаційними показниками, що визначає термін служби рідкої ізоляції. В процесі експлуатації трансформаторного масла на його електричну міцність впливають різні домішки. У зв'язку з цим, в даній роботі проведено огляд впливають домішок на даний основний експлуатаційний показник масла. Наведено результати очищення відпрацьованих трансформаторних масел з метою підвищення їх електричну міцність.

Для проведення експериментальних досліджень розроблений керамічний мембранний фільтр, призначений для очищення відпрацьованого трансформаторного масла від механічних домішок. Очищення відпрацьованих трансформаторної оливи розчинних і зволожених домішок застосований адсорбційний спосіб. Як адсорбенти використаний силікагель і цеоліт. Очищення відпрацьованих трансформаторних оливи з використанням керамічного мембранного фільтру і адсорбентів здійснювалася за розробленою схемою автором. Остаточне очищення кожної проби оливи керамічним мембранним фільтром дозволила підвищити значення пробивної напруги до 60 кВ.

Ключові слова: відпрацьоване трансформаторна олива, механічні домішки, розчинні домішки, зволожені домішки, електрична міцність, пробивна напруга, керамічний фільтр, адсорбенти.

D. Yusupov, SRF
LLC "Scientific and Technical Center" JSC "Uzbekenergo"
Tashkent, Republic of Uzbekistan

INFLUENCE OF VARIOUS IMPURITIES ON ELECTRIC STRENGTH OF TRANSFORMER OIL AND METHOD OF REMOVAL

The electrical strength of transformer oil is the most basic performance indicator, which determines the service life of liquid insulation. In the process of operation of transformer oil, its electrical strength is affected by various impurities. In this regard, in this paper, a review of the influencing impurities on this basic oil performance indicator has been made. The results of purification of waste transformer oils with the purpose of increasing their electrical strength are given.

A ceramic membrane filter designed for cleaning spent transformer oil from mechanical impurities was developed for carrying out experimental studies. Purification of waste transformer oils of soluble and moistened impurities is applied by the adsorption method. Silicagel and zeolite are used as adsorbents. Purification of waste transformer oils using a ceramic membrane filter and adsorbents was carried out according to the developed scheme by the author. The final cleaning of each oil sample with a ceramic membrane filter allowed to increase the breakdown voltage up to 60 kV.

Key words: used transformer oil, mechanical impurities, soluble impurities, wet impurities, electrical strength, breakdown voltage, ceramic filter, adsorbents.

Надійшла 14.06.2018
Received 14.06.2018

УДК 621.3:614.8

Є.А. Бондаренко, д-р техн. наук, доц
Т.В. Андрієнко, студент;
Д.С. Кушнір, студент
Вінницький національний технічний університет

ОЦІНЮВАННЯ ПРОФЕСІЙНИХ РИЗИКІВ ЕЛЕКТРОТРАВМАТИЗМУ ДЛЯ ПЕРСОНАЛУ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ ТА СИСТЕМ

Розглянуто найбільш розповсюджені підходи та методи оцінювання ризику. Розроблено класифікацію методів кількісного оцінювання ризику електротравм. Це дозволило проводити теоретичні дослідження причинно-наслідкових зв'язків щодо ризику електротравм та професійних захворювань для персоналу, який обслуговує електроустановки надвисоких класів напруги від дії електричної енергії та запропонувати метод для його оцінювання. Запропонований матричний метод оцінювання ризику, на відміну від відомих, виділяє 36 різновидів ризику у вигляді значень для бінарних груп «імовірність нещасного випадку – важкість травматичної події від дії електричної енергії». Якісні та кількісні показники матриці оцінки ризику дозволяють робити об'єктивні висновки щодо залежності небезпеки впливу електричного поля промислової частоти на персонал і трансформувати отримані оцінки в адекватні і адресні профілактичні заходи для технологічних робіт в електроустановках 330, 500, 750 кВ.

Ключові слова: електрична станція, енергія, електричне поле, менеджмент, ризик, електробезпека.

© Є.А. Бондаренко, Т.В. Андрієнко, Д.С. Кушнір, 2018