

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАРКИ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

Д.М. Валиуллина, Ю.К. Ильясова, В.К. Козлов,
Р.А. Гиниятуллин, Э.М. Садыков

Представлены результаты исследования трансформаторного масла и предложена оригинальная методика определения марки трансформаторных масел и их эксплуатационных характеристик по координатам цветности масел.

Ключевые слова: трансформаторное масло, кислотное число, координаты цветности, изолирующая среда, цветовой диапазон, температура, видимая область спектра, механическая прочность, диэлектрический показатель, длина волны.

Введение

Минеральное трансформаторное масло широко применяется в электроэнергетике. Трансформаторное масло в силовом трансформаторе выполняет две функции – изолирующую и охлаждающую. Состояние масла изменяется в зависимости от режима работы трансформатора под действием температуры, электрического поля и сил гравитации. Эти изменения также существенно зависят от марки применяемого трансформаторного масла [1, 2].

Природа происхождения и способ получения разнообразных марок трансформаторных масел индивидуальны. В связи с этим масла имеют характерные различия в химическом составе и различный процент содержания веществ и, как следствие, различие в цвете. Каждая марка масел имеет различные свойства и применяется в различных областях и условиях. Цвет масла зависит как от времени его эксплуатации в трансформаторе, так и от его марки [2].

В большинстве силовых трансформаторов российского производства используется масло ГК благодаря его высоким диэлектрическим показателям. Однако в соответствии с экономической целесообразностью применяют и другие марки масла в зависимости от класса напряжения, типа и назначения силовых трансформаторов. Приведем марки масел и их доли от общего количества используемых трансформаторных масел [3]: ТСО – 7 %; ТКп + ГК – 2 %; ТС – 3 %; ТКп – 8 %; Т-1500 – 2 %; масло по ГОСТ 10121-76 + ГК – 1 %; масло по ГОСТ 10121-76 – 3 %; ГК – 48 %.

Целью работы является разработка методики определения марки трансформаторного масла и эксплуатационных свойств по их цветовым характеристикам. Измерение координат цветности масла позволит с высокой степенью достоверности подтвердить соответствие марки масла и его качества. Достоинствами метода являются простота освоения, быстрота получения результата исследования, отсутствие сложной подготовки проб масел, использование средств цифровой и информационной техники, невысокие затраты на проведение испытаний.

Методика исследования

Марка применяемого трансформаторного масла при изготовлении трансформатора определяется заводом-изготовителем и указывается в документации. Доливка масла в трансформатор в период эксплуатации осуществляется с учетом области применения масел и порядка их смешивания при доливе в соответствии с требованием циркуляра Ц-01-98(Э) [3, 4]. В таблице приведены марки масел, рекомендованных для замены или долива в высоковольтные трансформаторы в период эксплуатации. Согласно таблице эксплуатационные свойства масел ухудшаются в ряду ГК, Т-750, Т-1500У, ТКп, а согласно работе [2] спектры пропускания масел также сдвигаются в этом ряду в область более длинных волн в видимой области спектра, а значит, и их цвет изменяется от прозрачного до коричневого.

№ п/п	Марка масла, залитого во ввод трансформатора	Марка масла, рекомендуемого к замене или доливу
1	ГК	ГК СА ВГ Nytro 10 X Nytro 11GX Technol 2000
2	Т-750	Т-750 Т-1500 У Т-1500 Technol 2000
3	Т-1500	Т-1500 Т-1500 У Technol 2000
4	ТКп	Т- 750 Т-1500 У Т-1500 Technol 2000

Определение эксплуатационных свойств трансформаторных масел также актуально при их регенерации [5–10], т.е. определении качества очистки и прогнозирования сроков эксплуатации этих очищенных масел [11–14].

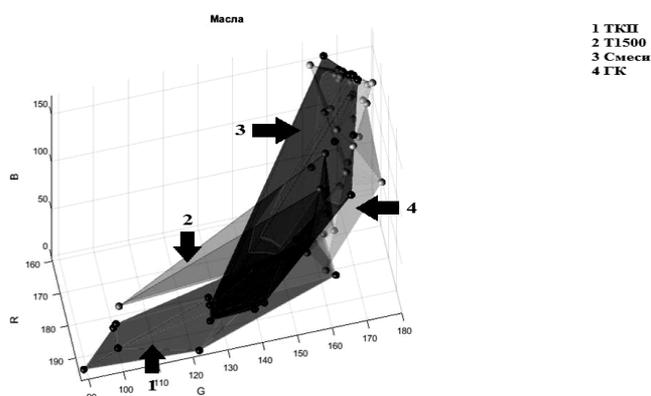
Эксперимент

Определение цвета различных объектов является важной задачей во многих отраслях науки и техники. В большинстве случаев определение цвета осуществляется визуально, это приводит к погрешности определения цвета, обусловленной субъективностью восприятия цвета разными людьми.

Для проведения исследований были отобраны 64 образца различных трансформаторных масел, взятых из работающих трансформаторов с различными кислотными числами. Образцы были сфотографированы в специальных оптических кюветах при постоянном искусственном белом освещении с расстояния 0,5 м.

Все масла разделены по маркам на четыре группы: ТКП, Т-1500, смесь ТКП, Т-750, Т-1500, ГК. С использованием программ Corel PHOTO-PAINT X4 и Photoshop определяются координаты цветности каждого масла.

Координаты цветности исследуемых масел близки по значениям, так что для их определения можно использовать любую из указанных программ. Для удобства использования результатов и визуализации исследований разработана оптимальная программа в MATLAB и построена цветная 3D-модель для представления полученных результатов (рисунок).



Как видим (см. рисунок), у разных марок изоляционных масел различные координаты цветности, при этом масла с одинаковой маркой имеют координаты цветности, размещенные в определенных цветовых диапазонах, и находятся в одной плоскости.

Так, трансформаторные масла марки ТКП находятся в пределах R: 173-196; G: 100-184; B: 0-14 (рисунок, плоскость 1); трансформаторные масла марки Т-1500 находятся в пределах R: 166-178; G: 103-165; B: 1-73 (рисунок, плоскость 2); смесь масел ТКП, Т-750, Т-1500 находятся в пределах R: 162-188; G: 127-173; B: 0-169 (рисунок, плоскость 3); трансформаторные масла марки ГК находятся в пределах R: 160-180; G: 156-179; B: 0-162 (рисунок, плоскость 4). При всем этом плоскости 1-4, соответствующие различным маркам трансформаторных масел, не пересекаются.

Таким образом, полученные результаты по зависимости спектров пропускания трансформаторных масел и их координат цветности позволяют решить вопрос определения марки масла и его эксплуатационных свойств после регенерации. Получив спектр пропускания неизвестного масла и определив, к спектру пропускания какого масла он находится ближе, со стороны больших длин волн можно определить марку масла. Определив координаты цветности неизвестного масла, в зависимости от того, на какую из плоскостей (см. рисунок) они ложатся, также возможно определить марку масла. Изучив спектры пропускания или координаты цветности восстановленного после регенерации масла, можно определить, к какому из масел полученное масло ближе. Тем самым определяются эксплуатационные характеристики восстановленного масла, которые будут близки к характеристикам исходного невосстановленного масла.

Заключение

Таким образом, разработана новая методика определения марки трансформаторных масел с использованием их спектров пропускания в видимой области спектров или координат цветности исследуемых масел. Предложена новая методика определения эксплуатационных характеристик трансформаторных масел после их регенерации с использованием сравнения спектров пропускания или координат цветности полученного масла с аналогичными параметрами свежих трансформаторных масел. Срок эксплуатации восстановленного масла будет определяться сроком эксплуатации полученного при сравнении свежего масла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Липштейн Р.А., Шахнович М.И.* Трансформаторное масло. М.: Энергоатомиздат, 1983. 296 с.
2. *Козлов В.К., Гарифуллин М.Ш.* Контроль состояния трансформаторных масел по их оптическим спектрам // Новое в российской электроэнергетике. 2017. № 1. С. 16-22.
3. *Высогорец С.П.* Разработка методики экспресс-анализа параметра качества изоляционного масла // Надежность и безопасность энергетики. 2018. № 1. С. 41-47.
4. СТО 70238424.27.100053-2013. Энергетические масла и маслохозяйства электрических станций и сетей. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. М.: НП «ИНВЭЛ», 2013. 163 с.
5. *Томин В.П., Корчевин Е.Н.* Исследование старения трансформаторных масел в атмосфере различных газов под воздействием электрического поля // Энергетик. 2017. № 5. С. 25-28.
6. *Абдрашитов Р.Р.* Диагностика и мониторинг силовых трансформаторов // Роль и место информационных технологий в современной науке: Сб. ст. междунар. науч.-практ. конф. Уфа: Аэтерна, 2018. С. 19-21.
7. *Петрова В.В., Новиков В.Ф., Гарифуллина Р.Р.* Проблемы пробоподготовки трансформаторного масла // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты: Материалы 1-й Междунар. науч.-практ. конф. Грозный: ГГНТУ, 2017. С. 118-120.
8. *Сырцов А.И., Половинка Д.В., Парсентьев О.С.* Повышение надежности силовых трансформаторов путем совершенствования их испытаний // Перспективы развития информационных технологий. 2016. № 32. С. 76-86.
9. *Shutenko O., Proskurnina O., Abramov V.* Comparative Analysis of Risks Which Are Accompanied by the Use of Typical and Boundary Gases Concentrations for the Diagnostics of High Voltage Transformers. *Energetika*. 2018. Vol. 64. Iss. 3. P. 137-145.
10. *Ваганов Т.Р., Волкова Т.А.* Трансформаторное масло как диагностическая среда силовых трансформаторов // Электротехнические комплексы и системы: Материалы междунар. науч.-практ. конф. Уфа: УГАТУ, 2016. С. 39-42.
11. *Poiss G., Vitolina S., Marks J.* Development of a Risk Matrix Considering Specific Features of the Power Transformer Park of Latvia // *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*. 2018. Vol. 3. № 1. 148-154.

12. *Ohodnicki P.R., Stewart E.M.* Chemical Sensing Strategies for Real-Time Monitoring of Transformer Oil // IEEE Sensors Journal. 2017. Vol. 17. Iss. 8. P. 5786–5806.
13. *Jashandeep Singh, Yog Raj Sood, Piush Verma.* Impact of Accelerated Stresses on Power Transformer Insulation // Energy and Power Engineering. 2017. Vol. 9. Iss. 4. P. 217–231.
14. *Lilan Liu et al.* Influence of Moisture and Temperature on the Frequency Domain Spectroscopy Characteristics of Transformer Oil // Proc. of the IEEE International Conference on Dielectrics, 2016. Montpellier, France. Vol. 1. P. 565–568.

Поступила в редколлегию 11.06.20

A METHOD OF DETERMINING THE TRANSFORMER OIL GRADE

**D.M. Valiullina, Yu. K. Il'yasova, V.K. Kozlov,
R.A. Giniatullin, and E.M. Sadykov**

The paper presents the results of research on transformer oil and proposes an original method for determining the grade of transformer oils and their operational characteristics by the coordinates of the oil color.

Keywords: transformer oil, acid number, chromaticity coordinates, insulating medium, color range, temperature, visible region of the spectrum, mechanical strength, dielectric index, wavelength.

Валиуллина Диля Мансуровна – канд. техн. наук (КГЭУ, Казань)
E-mail: valiullinadiliya@mail.ru

Ильасова Юлия Камильевна – аспирант (КГЭУ, Казань)
E-mail: iljasovayulia@yandex.ru

Козлов Владимир Константинович – д-р физ.-мат. наук (КГЭУ, Казань)
E-mail: kozlov_vk@bk.ru

Гиниатуллин Руслан Анатольевич – канд. тех. наук (КНИТУ, Казань)
E-mail: g_ruslan7@mail.ru

Садьков Эрнест Маратович – аспирант (КГЭУ, Казань)
E-mail: 301sem@gmail.com