

Зокирова Иродахон Закруллаевна-старшая преподавательница  
Андижанский Государственный Технический Институт,  
Республика Узбекистан  
ORCID ID: 0009-0002-7704-6915  
Zokirova Irodakhon Zakrullaevna-senior teacher  
Andijan state technical institute,  
Republic of Uzbekistan  
ORCID ID: 0009-0002-7704-6915

**ВЕЩЕСТВА, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА  
ТРАНСФОРМАТОРНЫХ МАСЕЛ И ПРОЦЕССОВ ИХ ПОДГОТОВКИ**

**SUBSTANCES USED FOR THE CHEMICAL ANALYSIS OF TRANSFORMER OILS  
AND THEIR PREPARATION PROCESSES**

**Аннотация:** В данной статье представлена информация о химическом анализе трансформаторного масла, которое служит изоляцией в электрических устройствах на масляной основе, и химических веществах, используемых в процессе анализа. Эти химические вещества играют значительную роль в получении качественных и точных результатов анализа.

**Ключевые слова:** Трансформаторное масло, электрооборудование с маслом, химический анализ, влага, щелочь, кислота, стандарты, кислотность.

**Abstract:** This article provides information about the chemical analysis of transformer oil, which serves as insulation in oil-based electrical devices, and the chemicals used in the analysis. These chemicals play a significant role in obtaining high-quality and accurate analytical results.

**Key words:** Transformer oil, electrical equipment with oil, chemical analysis, moisture, alkali, acid, standards, acidity

**Введение.** Развитие электроэнергетики и электротехнического машиностроения напрямую связано с использованием широкого ассортимента электроизоляционных материалов. Быстрый прогресс науки и техники требует повышения требований к условиям эксплуатации электротехнической изоляции. Соответственно, возрастает значение испытаний, определяющих соответствие электроизоляционных материалов техническим условиям и стандартам. Для получения достоверных и точных результатов используются специальные приборы и химические вещества.

Трансформаторы в энергетической системе служат для передачи, приёма и распределения электрической энергии. Качество трансформаторного масла, залитого в оборудование, имеет большое значение для надёжной и продолжительной эксплуатации.

Кратко о трансформаторном масле: это продукт, получаемый при нагреве нефти до 280–420°C, содержащий серосодержащие и парафинистые углеводороды. В производстве используется очищенное масло без серы и парафинов. В энергетике применяются масла следующих марок: ТКп/ТУ-38101890-81, Т-750/ГОСТ 982-80, Т-1500/ГОСТ 982-80, ТАп/ТУ 38.101.281-80, ТСн Уз.ДСт 988-2001, ГОСТ 10121-76, ГК ТУ-38.101.1025-85, АГК ТУ 38.101.1277-89, МВГ ТУ 38.401.927-92.

Наиболее широко используется трансформаторное масло марки ТСн Уз.ДСт 988-2001, которое по состоянию делится на: новое, чистое, сухое, регенерированное, бывшее в эксплуатации и переработанное.

Масло в электрических устройствах выполняет изолирующую функцию и служит основной защитной оболочкой. В зависимости от назначения заливается в силовые трансформаторы, устройства РПН, измерительные трансформаторы и масляные выключатели. Для трансформаторов мощностью до 100 кВА ( $U < 10$  кВ) анализ масла не проводится, его состояние оценивается по профилактическим испытаниям. Масло отражает состояние трансформатора. Для надёжной работы масло должно соответствовать стандартным показателям. Поэтому оно регулярно проверяется. Новое масло принимается по паспорту. Его качество определяется наличием примесей. При содержании 0,01–0,02 % влаги пробивное напряжение снижается в 4–5 раз. Причина — полярные капли воды ( $\epsilon=80$ ) в неполярной среде масла ( $\epsilon=2,2$ ), которые образуют цепочки и притягиваются между электродами. Для образования цепочки достаточно минимальной влаги, при дальнейшем увеличении влаги пробивное напряжение не снижается. В неравномерном поле крупные капли оседают на дно и не влияют на пробой. Однако влажность имеет важное значение. Поэтому масло сушится: продувкой сухим азотом, углекислым газом или под вакуумом (20–30 кПа) до остаточного давления 2,5–5,5 кПа при температуре 40–50°C.

В условиях мелких ремонтных мастерских масло нагревают до 25–35°C и отстаивают. Это простой, но длительный способ. Нагревание в собственном баке с собственным током — дёшево, но длительное воздействие ухудшает свойства масла. Масло должно быть не только сухим, но и чистым. В процессе эксплуатации оно загрязняется. Для удаления воды и механических примесей применяется центрифугирование

при 45–55°C. При низкой температуре примеси отделяются хуже, при высокой — вода растворяется в масле и испаряется, ускоряя старение масла.

Фильтрация проводится через картон, бумагу, ткань, силикагель или другие пористые материалы с мелкими порами. Используется фильтр-пресс. Картон удерживает не только примеси, но и влагу. Применяется мягкий, пористый, гигроскопичный картон. Однако он плохо удерживает шлам и уголь и выделяет волокна. Поэтому используется сочетание мягкого и твёрдого картона. Оптимальная температура фильтрации — 45–50°C. При повышении температуры гигроскопичность снижается, а растворимость воды возрастает. Картон периодически промывается, сушится и повторно используется. Для очистки 1 тонны масла требуется 1 кг картона.

Масло отражает общее состояние трансформатора. Его качество должно соответствовать стандартам, поэтому требуется постоянный контроль. В процессе эксплуатации масло не только увлажняется и загрязняется, но и окисляется. Это требует проведения химического анализа.

При окислении масла изменяется его химический состав: образуются кислоты и смолы, разрушаются природные антиоксиданты. Это ускоряет разрушение изоляции трансформатора. Сначала разрушаются углеводороды (3–5 % состава), что приводит к старению масла. Масло подлежит регенерации — возвращению к исходным показателям. После этого оно может использоваться ещё 5–7 лет. Однако его стабильность снижается, и необходимы профилактические испытания. Статистика показывает, что 30 % неисправностей трансформаторов связаны с некачественным маслом. Поэтому регулярный химический анализ является важной мерой по продлению срока службы масла и оборудования.

**Методы.** Перед вводом оборудования в эксплуатацию, в процессе эксплуатации и при выявлении неисправностей отбираются пробы масла для химического и хроматографического анализа. Пробоотбор должен осуществляться квалифицированным специалистом. При плохих погодных условиях пробу не отбирают. Специальная посуда промывается мыльным порошком, несколько раз ополаскивается тёплой водой, затем сушится горячим воздухом или в сушильном шкафу при 100°C в течение 2–3 часов. Объём посуды — 0,8–1 литр.

Показатели сокращённого и физико-химического анализа масла: цвет и внешний вид (визуально), механические примеси, углеродная сажа, влага (визуально), пробивное напряжение, степень окисления, температура

вспышки, наличие растворимых кислот и щелочей, тангенс угла диэлектрических потерь при 90°C и содержание влаги.

Электрический анализ включает определение: пробивного напряжения, температуры вспышки и тангенса угла диэлектрических потерь.

Химический анализ включает: степень окисления, наличие растворимых кислот и щелочей, содержание влаги.

### **Подготовка химических веществ:**

1. Подготовка 100 г 85% этилового спирта: 89 см<sup>3</sup> спирта + 11 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. Используется для определения степени окисления масла.
2. Подготовка 0,5% водного раствора нейтрального жёлтого: 0,5 г вещества + 100 см<sup>3</sup> дист. воды. Используется для выявления водорастворимых кислот и щелочей.
3. Подготовка 0,05% спиртового раствора КОН: 3 г КОН растворяют в 100 мл этанола, выдерживают в тёмном месте 24 часа в тёмной бутылке с пробкой.
4. Приготовление водного раствора КОН: 56 г КОН на 1 л воды — 0,1 л раствора. 28 г КОН на 0,5 л воды — 0,05% раствор. 14 г КОН на 250 мл воды — 0,025% раствор.
5. Приготовление растворов HCl: 0,1 N HCl: 1/10 г концентрата + 1 л воды. 0,05% HCl: 150 мл 0,1 N HCl + 150 мл воды. 0,025% HCl: 150 мл 0,05% HCl + 150 мл воды.
6. Приготовление цветного силикагеля (500 г): 20 г CaCl<sub>2</sub> + 60 мл воды; 15 г CoCl<sub>2</sub> + 15 мл воды; добавить в силикагель, высушить при 90–100°C до синего цвета.
7. Определение влагопоглощения силикагеля: Взвешивается бюкс с 1,5–2 г силикагеля, сушится при 150°C 3 часа, затем помещается в эксикатор до стабилизации массы.  $X_s = (m_1 - m_2) \times 100 / m$ , где:  $m_1$  — масса до сушки,  $m_2$  — после сушки,  $m$  — масса силикагеля.

### **Определение титра:**

1. 5 мл 0,05% HCl + 2–3 капли фенолфталеина — цвет не меняется.
2. 5 мл 0,05% КОН добавляется к HCl до розового оттенка, устойчивого 3 секунды. Титр = 5,4 / 5 = 1,08.

Вывод: эксплуатация жидкого диэлектрика — трансформаторного масла — требует контроля его качества и регулярного анализа. Только при

соблюдении установленных нормативов можно обеспечить надёжную работу оборудования.

### **Используемая литература:**

1. И.З. Зокирова. «Методы и приборы определения пробивного напряжения жидких диэлектриков». Научно-технический журнал ФарПИ, декабрь 2021, спец. выпуск №1. ISSN 2181-7200. стр. 81.
2. ГОСТ 6581-75 (СТ СЭВ 3166-81). «Жидкие электроизоляционные материалы. Методы электрических испытаний». Изд-во стандартов, 1986.
3. ГОСТ 6307-75. «Нефтепродукты. Методы определения водорастворимых кислот и щелочей». Изд-во стандартов, 1984.
4. И.З. Зокирова. Методическое пособие по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электротехнические материалы». Решение учёного совета АНДМИ №8 от 02.04.2021.