

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

В.К. КОЗЛОВ, И.Д. ЗАГУСТИНА

Казанский государственный энергетический университет

В статье рассматриваются способы определения влагосодержания в трансформаторном масле, так как даже небольшое его количество значительно снижает пробивное напряжение масла. Метод нашего исследования – вакуумная осушка с последующим измерением влагосодержания методом кулонометрического титрования по Карлу Фишеру. На основе проведенных экспериментов сделан вывод о влиянии примесей на определение влаги.

Ключевые слова: трансформаторное масло, влагосодержание, вакуумная осушка, кулонометрическое титрование.

В настоящее время мониторинговые и лабораторные данные о влагосодержании изоляционного масла становятся важной составной частью оперативной диагностики маслонаполненного оборудования.

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, т.к. даже небольшие ее количества значительно снижают пробивное напряжение трансформаторного масла.

Вода растворяется в трансформаторном масле в очень небольших количествах.

При появлении в масле кислорода и воды трансформаторное масло окисляется даже при идеальных условиях.

В процессе эксплуатации трансформаторов происходит постепенное переувлажнение изоляционного масла, которое может привести к аварии с безвозвратной потерей дорогостоящего оборудования.

В эксплуатируемом масле вода находится в связанном, растворённом, диспергированном и свободном состоянии. Между этими состояниями воды существует определенное равновесие, зависящее от температуры, давления и концентрации примесей.

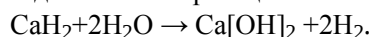
Существуют различные классификации методов определения содержания воды в зависимости от измеряемых параметров, их природы, самих применяемых методов и других факторов. Прежде всего, методы разделяют на прямые и косвенные. В прямых методах измеряется непосредственно влага вещества (метод Дина и Старка, метод Фишера, гидрид-кальциевый метод, центрифугирование). В косвенных методах определение проводится по параметру, который связан с содержанием влаги в веществе (инфракрасная спектроскопия, диэлькометрический метод, кондуктометрический, колориметрический), поэтому косвенные методы требуют предварительной калибровки по прямым методам. Косвенные методы, в свою очередь, разделяют на методы, основанные на электрических (кондуктометрия, диэлькометрия) или неэлектрических свойствах (инфракрасная спектроскопия, метод ядерно-магнитного резонанса) вещества. Ещё одна классификация основана на разделении самих методов на

инструментальные, в которых измеряют сигнал, пропорциональный содержанию воды, и не инструментальные, в которых измеряют массу, плотность и другие показатели. Можно использовать классификацию, когда одна группа методов измеряет физические параметры при изменении содержания воды в самом веществе: массу (гравиметрия), плотность, вязкость, поверхностное натяжение, диэлектрическую проницаемость (диэлькометрия), электропроводность (кондуктометрия), окислительно-восстановительный потенциал, теплопроводность и т.д., а другая – основана на использовании химических и физико-химических свойств самой воды, например, поглощения электромагнитного излучения в УФ- и ИК- диапазоне, измерением сигналов ЯМР и т.д.

Чаще всего методы принято классифицировать по природе измеряемого параметра. Тогда методы классифицируют на химические (методы Фишера, гидрид-кальциевый), электрохимические (кулонометрическое титрования, кондуктометрия, потенциометрия), физико-химические (хроматография), физические (гравиметрия, диэлькометрия), оптические (инфракрасная спектроскопия, спектрофотометрия) и ядерно-физические (метод ядерного магнитного резонанса и т.д.).

Анализ литературы показал, что из большого числа методов определения наличия воды в органических жидкостях, наиболее приемлемыми для трансформаторных масел являются методы гидрид-кальциевый и Фишера. Эти методы отличаются высокой чувствительностью и точностью и позволяют определить малое количество влаги в масле [1].

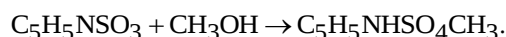
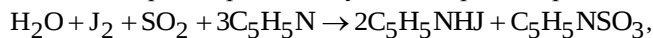
Гидрид-кальциевый метод в настоящее время используется для количественного определения влагосодержания в трансформаторном масле. Он регламентируется требованиями ГОСТ 7822 [2]. Сущность метода заключается во взаимодействии гидрида кальция с растворенной водой, измерении объема выделившегося при этом газа, вычислении объема водорода, соответствующего окончанию реакции, и массовой доли растворенной воды. Метод основан на реакции



Гидрид-кальциевый метод является достаточно сложным как в части проведения, так и в части определения конечного результата. К недостаткам метода относится большая погрешность при определении влагосодержания.

Чувствительность метода кулонометрического титрования по Карлу Фишеру – 0,0002% вес. воды в масле – превосходит чувствительность гидрид-кальциевого метода.

Этот метод, известный также как метод Фишера, выполняется в соответствии с требованиями Публикации МЭК 814 [3]. Он основан на измерении количества электричества, затраченного на электролиз воды в реактиве Карла Фишера. Реактив Фишера представляет собой раствор йода, двуокиси серы и пиридина в метаноле:



Метод кулонометрического титрования позволяет быстро определить процентное содержание влаги в трансформаторном масле с высокой степенью точности. Недостаток метода: он неприменим для окислившихся масел, поскольку реактив Фишера взаимодействует с продуктами окисления, содержащими группу OH.

Для исключения влияния примесей на определение влагосодержания нами создана экспериментальная установка для вакуумной осушки трансформаторного масла с целью удаления влаги и дальнейшего определения примесей. Удаление примесей не представляется возможным, так как не известна природа их происхождения. Поэтому можно определить влагосодержание до вакуумной осушки и после нее, а затем,

определив разность между этими измерениями, найдем чистое содержание воды в масле, исключив влияние примесей.

При вакуумировании и загрязненного масла, содержащего и диспергированную, и связанную воду, сначала удаляется эмульгированная часть диспергированной воды через стадию растворения. После удаления эмульгированной воды начинается снижение концентрации растворенной воды, находящейся в равновесии с коллоидной и физически связанной водой при данной температуре. Через стадию растворенной воды происходит одновременное удаление и коллоидной. Таким путем может быть удалена вся растворенная вода и вода, связанная адсорбционными силами [4].

Эксперименты проводились на свежем трансформаторном масле ГК. Трансформаторное масло (100 г) в колбе подогревается до температуры 100 С°. С помощью вакуумного насоса ($P=2$ мм рт.ст.) подсоединенного к колбе создается вакуум, и отводится влага. Колба равномерно непрерывно подогревается в течение всего эксперимента, через равные промежутки времени производится отбор экспериментального осушенного трансформаторного масла из колбы и определяется его влагосодержание с помощью кулонометрического титратора 831 КФ *Coulometer* (масса внесенной пробы масла в прибор – 10 г).

Результаты эксперимента показаны на рис. 1.

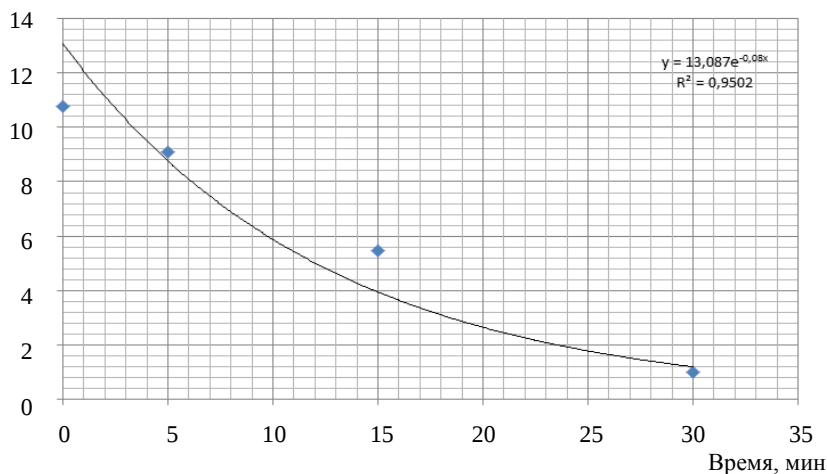


Рис.1. Зависимость содержания влаги в трансформаторном масле от времени эксперимента

Как видно из данных рисунка, зависимость содержания влаги в трансформаторном масле от времени проведения эксперимента выражается следующим уравнением:

$$y = 13,087e^{-0,08x}.$$

Таким образом, определено время вакуумной осушки для удаления влаги (с учетом диапазона измерения прибора) из трансформаторного масла – оно составило 30 мин.

Перспективным направлением дальнейших исследований является вакуумная осушка отработанного трансформаторного масла и определение содержания примесей, которые влияют на влагосодержание.

Выводы

Анализ литературы показал, что из вариантов определения воды по Фишеру, кулонометрический метод наиболее перспективен ввиду своей простоты, хорошей

воспроизводимости, малого расхода токсичного реактива Фишера, отсутствия необходимости стандартизации раствора, доступности оборудования и реактивов. Недостаток этого метода можно устранить путем нагревания и вакуумирования, так как удаляется вся растворенная и связанная вода, после чего можно определить количество примесей в масле и растворенную воду.

Summary

This article describes how to determine the moisture content in transformer oil, as even a small amount of it significantly reduces the breakdown voltage of the oil. our research method - vacuum drying, followed by measuring the moisture content by coulometric Karl Fischer titration. On the basis of the experiments concluded that the effect of impurities on the determination of moisture.

Key words: transformer oil, moisture content, vacuum drying, coulometric titration.

Литература

1. Липштейн Р.А., Шахович М.И. Трансформаторное масло. М.: Энергоатомиздат, 1983. 296 с.
2. ГОСТ 7822. Масла и смазки.
3. Метод определения растворенной воды. МЭК 814. Определение воды в электроизоляционных жидкостях автоматическим кулонометрическим титрованием методом Карла Фишера.
4. Аракелян В.Г. Диагностика состояния изоляции маслонаполненного оборудования по влагосодержанию масла // 2004. Электротехника. №3.

Поступила в редакцию

27 июня 2016 г.

Козлов Владимир Константинович – доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры «Электроэнергетические системы и сети» (ЭСиС) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел. 8(843)5194271; 8(843)5194272. E-mail: kozlov_vk@bk.ru.

Загустина Ирина Дмитриевна – магистр техники и технологии, аспирант кафедры «Электроэнергетические системы и сети» (ЭСиС) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел. 8(843)5194272; 8(904)6633522. E-mail: irina-zag@bk.ru.