

В.П. Пирог, А.К. Семчевский, Б.Ф. Кузнецов

ИЗМЕРЕНИЕ МАССОВОЙ ДОЛИ ВЛАГИ В НЕФТЯНЫХ МАСЛАХ

Аннотация

В статье рассматривается кулонометрический метод измерения влажности трансформаторного масла. Изложено описание и проведен анализ результатов выполненных измерений массовой доли влаги влагомерами циклического действия ВТМ-2 и ВТМ-МК.

Ключевые слова: трансформаторное масло, массовая доля влаги, цикл измерений, кулонометрический влагомер, газ-носитель.

Влажность масла – содержание в масле воды как в молекулярно-растворенной (далее – растворенной), так и в связанной формах, которые находятся в масле в состоянии динамического равновесия и в зависимости от условий (температуры, степени увлажнения масла и состояния твердой изоляции) могут переходить из одной формы в другую. Основное влияние на пробивное напряжение трансформаторного масла оказывает растворенная в нем вода, содержание которой в масле нормируется. Для определения содержания воды в трансформаторном масле используются разные методы измерений: хроматографический, метод Дина-Старка, а также метод титрования с использованием реактива К. Фишера. Наиболее широко распространен последний метод, требующий применения специфических химических реактивов.

Влагомеры трансформаторного масла ВТМ-2 [1] и ВТМ-МК созданы на базе кулонометрического метода измерений, который не требует применения химических реагентов и являются приборами циклического действия [2]. Этот метод основан на извлечении влаги сухим газом-носителем из находящейся в десорбционной колонке точно дозированной пробы масла и последующем электролизе влаги в кулонометрической электролитической ячейке. Конструктивные параметры десорбционной колонки, такие как диаметры колонки и подводящей газ трубки, величина отверстий в последней, выбраны из условия обеспечения наибольшей поверхности контакта фаз при заданном объеме дозы масла и

расходе газа. Барботаж в десорбционной колонке влагомера осуществляется следующим образом. Газ-носитель, проходя через барботажную трубку, выходит через отверстия на ее конце в масло на дне колонки, в результате чего образуются пузырьки газа, поднимающиеся через столб масла. При этом возникает циркуляция масла в вертикальном направлении, так как восходящие потоки пузырьков, двигающиеся в центральной части колонки вдоль барботажной трубки, увлекают за собой часть масла, которая затем стекает вниз вдоль стенок колонки по кольцевому сечению. В итоге обеспечивается перемешивание жидкости, предотвращается возникновение в ней застойных зон, создаются лучшие условия для подвода газа-носителя к границе раздела фаз. В результате проведенных экспериментов были выбраны следующие параметры десорбционной колонки: диаметр колонки – 18 мм, внутренний диаметр барботажной трубки – 2 мм, высота рабочего объема колонки – 60 мм. При таких конструктивных параметрах обеспечивается циркуляция масла без возникновения застойных зон.

Основные такты работы измерительной схемы влагомера:

- по информационному табло устанавливается режим работы «ОСУШКА ДАТЧИКОВ», а затем выбирается проверяемый параметр «ПРОДУВКА». При достижении влажности в газогидравлическом тракте $15...25 \text{ млн}^{-1}$ влагомер готов к работе и можно приступать к измерению массовой доли в трансформаторном масле;

- ввод дозированной пробы масла в десорбционную колонку;
- продувка через десорбционную колонку газ-носителя и прокачка увлажненного газа с расходом 100 см³/мин через кулонометрическую ячейку;
- проведение электролиза накопленной в сорбенте влаги, интегрирование с подсчетом количества электричества;
- дренаж (слив пробы масла из десорбционной колонки).

Далее цикл измерения продолжается. Промежуток времени между анализами должен быть не менее 2...3 мин для продувки газогидравлического тракта влагомера.

В течение цикла измерений (15 мин) происходит перенос всей растворенной влаги из масла в газ-носитель. Извлеченная влага с газом-носителем непрерывно подается в кулонометрическую ячейку, где влага поглощается гигроскопической пленкой пятиоксида фосфора и подвергается электролизу [2]. Количество электричества, интегрированное за время цикла измерения, пропорционально массовой доле влаги в масле.

Учитывая близкие физико-химические характеристики трансформаторных масел разных марок, содержание растворенной в них воды можно измерять кулонометрическим влагомером трансформаторного масла ВТМ-МК. Были проведены испытания влагомеров ВТМ-МК с применением стандартного образца массовой доли

воды ГСО 10056-2011, результаты которых приведены в табл. 1.

Влагомер ВТМ-МК имеет следующие преимущества перед другими приборами для измерения содержания влаги в трансформаторном масле:

- высокая точность и повторяемость измерений;
- эксплуатация без применения химических реагентов и расходных материалов;
- наличие обзорного диапазона массовой доли влаги от 0 до 100 млн⁻¹.

В химико-диагностической лаборатории Забайкальского предприятия магистральных электрических сетей проведены сравнительные испытания двух методов количественного анализа влажности рабочих проб трансформаторного масла: стандартизованного метода кулонометрического титрования с реактивом К. Фишера на титраторе DL-32 и кулонометрического анализа влажности с помощью влагомера ВТМ-МК.

Результаты испытаний выявили высокую сходимость этих методов анализа и следующие преимущества метода анализа влажности влагомером ВТМ-МК:

- 1) лучшие показатели точности, правильности, повторяемости и воспроизводимости по сравнению с методом К. Фишера;
- 2) не требуется применения токсичных и огнеопасных реактивов в отличие от метода К. Фишера.

На основании результатов испытаний была разработана и аттестована методика измерений

Таблица 1

Результаты испытаний влагомеров трансформаторного масла ВТМ-МК

$V_{ГСО}, \text{млн}^{-1}$	27				48			
$V_{ИЗМ}, \text{млн}^{-1}$	26,3	26,9	27,6	28,1	49,2	47,8	47,2	48,6
$\Delta, \text{млн}^{-1}$	-0,7	-0,1	0,6	1,1	1,2	-0,2	-0,8	0,6
Оценка мат. ожидания $V_{ИЗМ}, \text{млн}^{-1}$	27,98				48,2			
Среднеквадратичное отклонение $V_{ИЗМ}$ от $V_{ГСО}$	0,68				0,79			

Таблица 2

Значения массовой доли влаги, показателей точности, правильности, повторяемости и воспроизводимости

Значение массовой доли влаги в трансформаторном масле, млн ⁻¹ (г/т)	Показатель повторяемости (абсолютное среднее квадратическое отклонение повторяемости) $\sigma_r, \text{млн}^{-1}$ (г/т)	Показатель воспроизводимости (абсолютное среднее квадратическое отклонение воспроизводимости) $\sigma_R, \text{млн}^{-1}$ (г/т)	Показатель правильности (границы абсолютной систематической погрешности при вероятности $P = 0,95$) $\pm\Delta_c, \text{млн}^{-1}$ (г/т)	Показатель точности (границы абсолютной погрешности при вероятности $P = 0,95$) $\pm\Delta, \text{млн}^{-1}$ (г/т)
От 0 до 10,0	0,4	0,5	$\pm 1,1$	$\pm 2,5$
Свыше 10,0 до 50,0	0,3	0,4	$\pm 1,2$	$\pm 2,3$

массовой доли влаги в трансформаторном масле, которая обеспечивает получение результатов измерений с показателями точности, приведенными в табл. 2.

С целью расширения области применения были проведены опытные испытания по определению массовой доли влаги в авиационных маслах АМГ-10, ИПМ-10 и МС-8П. Результаты испытаний положительные, и кулонометрический метод измерения влажности нефтяных масел может быть рекомендован для дальнейшего применения.

Применение метода экстраполяции при проведении электролиза накопленной влаги позволяет в значительной мере сократить время установления показаний и тем самым повысить эффективность применения измерительного прибора [3]. Уменьшение времени установления не связано с увеличением аппаратной части прибора и затрагивает только программное обеспечение управляющего микроконтроллера. Опытно-конструкторские работы по разработке следующей модели влагомера находятся в заключительной стадии, и оценку реального улучшения погрешности измерений можно получить после изготовления и проведения исследовательских испытаний.

Список литературы:

1. Пирог В.П., Семчевский А.К. и др. Аналитические средства контроля параметров трансформаторного масла // Приборы. 2007. № 5. С. 12-14.
2. Кузнецов Б.Ф., Пинхусович Р.Л., Семчевский А.К., Ильина И.Л. Циклический кулонометрический метод измерения микроконцентраций влажности в газах // Приборы. 2001. № 5. С. 32-35.
3. Урютина О.А., Бородкин Д.К., Кузнецов Б.Ф. Метод снижения динамической погрешности в кулонометрическом гигрометре циклического действия // Приборы. 2013. № 12. С. 12-14.

Виктор Павлович Пирог,
г. инженер,
Анатолий Константинович Семчевский,
канд. техн. наук, директор,
ООО «НПП ОКБА»,
Борис Федорович Кузнецов,
д-р техн. наук, профессор,
кафедра электрооборудования и физики,
ФБГОУ ВПО «Иркутская государственная
сельскохозяйственная академия»,
г. Ангарск,
e-mail: mail@okba.ru



Поздравляем юбиляра!

В марте 2015 года исполнилось 80 лет доктору физико-математических наук, профессору, заслуженному работнику высшей школы Российской Федерации, ветерану труда

МИХАИЛУ ИВАНОВИЧУ КИСЕЛЕВУ.

М.И. Киселев в 1959 г. окончил физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова и в 1962 году защитил кандидатскую диссертацию, а в 1972 – диссертацию на степень доктора физико-математических наук.

Михаил Иванович прошел большой трудовой путь, участвуя в научных разработках ОКБ-1 ГКАТ и Судпрома, ВНИИ электромеханики, ЦКТБ по электробурению и ВНИИ оптико-физических измерений, занимая должности заведующего лабораторией и начальника отдела.

С 1975 года и по настоящее время профессор М.И. Киселев трудится в МВТУ/МГТУ им. Н.Э. Баумана, в 2001-2012 гг. был заведующим кафедрой «Метрология и взаимозаменяемость», где работает сейчас профессором.

Михаил Иванович прошел большой путь в науке и принял участие в решении проблемы управления космическими аппаратами в межпланетном и околоземном пространстве; создал и руководит научным направлением в области информационно-метрологического сопровождения жизненного цикла машин и механизмов на базе фазохронометрического подхода; разработал вопросы волновой динамики конденсированных проводящих сред в сильных и сверхсильных магнитных полях. Он организовал более 20 конференций, посвященных инженерно-физическим проблемам новой техники и метрологии, ставших традиционными. Подготовил более 29 кандидатов и 2 доктора наук. Опубликовал монографию, более 200 научных публикаций и имеет свыше 40 авторских свидетельств и патентов на изобретения.

Михаил Иванович имеет звания «Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации», «Ветеран труда», награжден малой серебряной медалью им. А.С. Попова, медалью «В память 850-летия Москвы», золотой медалью международного салона инноваций (г. Женева), отмечен почетным знаком Минвуза СССР «За успехи в научно-исследовательской работе студентов» и «За заслуги перед Университетом» и др.

Уважаемый Михаил Иванович!

Международное научно-техническое общество приборостроителей и метрологов и редакция журнала «Приборы» сердечно поздравляют Вас с юбилеем, желают здоровья, благополучия и успешного продолжения Вашей деятельности.