

УДК 621.039

## ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ ТУРБИННЫХ МАСЕЛ АГРЕГАТОВ АЭС

© 2014 г. К.С. Сидоров, В.В. Шапошников

*Снежинский физико-технический институт – филиал Национального исследовательского  
ядерного университета «МИФИ», Снежинск, Челябинская обл.*

В данной работе рассмотрен метод электроимпульсного определения влажности турбинных масел. Описан принцип емкостного измерения влагонасыщения датчиком типа "ЭЛИМ". С помощью секторной диаграммы рассмотрены зоны различных электрических характеристик масла. Использование предложенного метода является важнейшим решением проблемы своевременной непрерывной диагностики элементов конструкций и агрегатов АЭС.

*Ключевые слова:* агрегаты АЭС, турбины, турбинные масла, повышенное влагосодержание масел, диэлектрическая проницаемость, емкостной метод, пороговый датчик, определение влагосодержания, пробой жидких диэлектриков, электрическая емкость, гетерогенные системы, экспресс-диагностика масел.

Поступила в редакцию 30.05.2014 г.

Известно, что масла помимо смазывающих и охлаждающих свойств, являясь диэлектриками, обладают свойствами изолирующей среды. В электротехнике относительную диэлектрическую проницаемость вещества ( $\epsilon_r$ ) принято определять путем сравнения емкости тестового конденсатора с данным диэлектриком ( $C_x$ ) и емкости того же конденсатора с вакуумом ( $C_0$ )[1]:

$$\epsilon_r = \frac{C_x}{C_0} \quad (1)$$

Так как диэлектрическая проницаемость масла  $\sim 2.2$ , а воды  $\sim 80$  (при  $t=20^\circ\text{C}$ ), то при незначительном обводнении масла его электрофизические свойства, как диэлектрика, изменятся, диэлектрическая проницаемость масла увеличится.

Емкость определяется по выражению:

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{S}{d} \quad (2)$$

где  $\epsilon_r$  – диэлектрическая проницаемость масла,  
 $\epsilon_0$  – диэлектрическая постоянная,  
 $S$  – площадь обкладок конденсатора,  
 $d$  – расстояние между обкладками.  
 $\epsilon_0$ ,  $S$ ,  $d$  – в данном случае постоянные величины.

Из выражения (2) следует, что изменение диэлектрической проницаемости масла линейно отражается на емкости.

При использовании в датчике коаксиального измерительного чувствительного элемента (ЧЭ), показанного на рисунке 1 – его емкость необходимо рассчитывать, используя следующее выражение [1]:

$$C = 2\pi\epsilon_0\epsilon_r \frac{l}{\ln(R_2/R_1)} \quad (3)$$

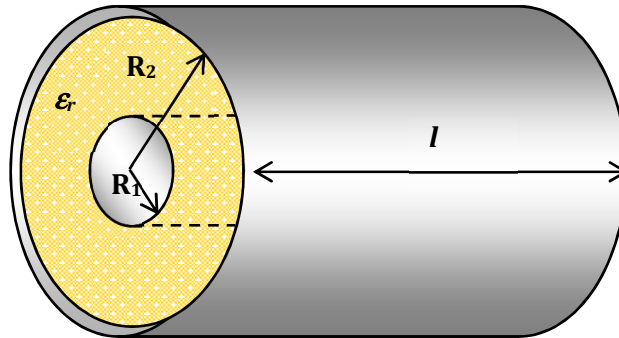


Рис. 1. – Коаксиальный измерительный чувствительный элемент

При повышении значения  $\epsilon_r$ , концентрация носителей заряда увеличивается, емкость  $C$  возрастает, но уменьшается энергия пробивной напряженности диэлектрика.

Соответственно при сравнении емкостным методом масла в состоянии поставки с частично обводненным маслом емкость конденсатора с обводненным диэлектриком ( $C_{иссл}$ ) будет больше емкости конденсатора с «чистым» диэлектриком ( $C_{сп}$ ).

Таким образом, выражение (1) можно преобразовать к следующему виду:

$$\Delta\epsilon = \frac{C_{иссл} - C_{сп}}{C_0} \quad (4)$$

где  $C_{иссл}$  – емкость конденсатора, с исследуемым маслом,

$C_{сп}$  – емкость конденсатора, с эталонным маслом в состоянии поставки.

Датчик типа “ЭЛИМ”, внешний вид которого представлен на рисунке 2, описанный в работе [2] патент № 2471178 [3], является основной частью разрабатываемого аппаратно-программного комплекса оперативного определения влагосодержания турбинного масла на агрегатах АЭС.

На практике датчик градуируется однократно. Это значит, что ёмкости конденсаторов,  $S$  и  $d$  которых конструктивно выполнены одинаково, должны соответствовать друг другу при  $\epsilon_r = \text{const}$ . По определению прецизионных измерений, для формирования высокой степени сходимости результатов [4], значения сигналов, при использовании одного и того же масла в состоянии поставки, уравнивают.

Градуировка емкостного датчика выполняется с помощью эталонных проб масел, с точным известным влагосодержанием, которое определено титриметрическим методом по К.Фишеру. Емкость конденсатора и соответствующее этой емкости влагосодержание масла становится известным. Таким образом, доступно построение зависимости емкости от влажности  $C=f(W)$  на основе экспериментальных данных.



Рис. 2. – Датчик экспресс-контроля влагосодержания турбинного масла

Электрическая прочность турбинного масла характеризуется минимальной напряженностью электрического поля, необходимой для пробоя. Повышенное насыщение масла влагой уменьшает электрическую прочность (рис. 3а). С увеличением влажности масла, резко возрастает количество носителей заряда, таким образом, емкость коаксиального измерительного ЧЭ увеличивается (рис. 3б) до определенного критического значения (рисунок 3в) когда возникает пробой диэлектрика.

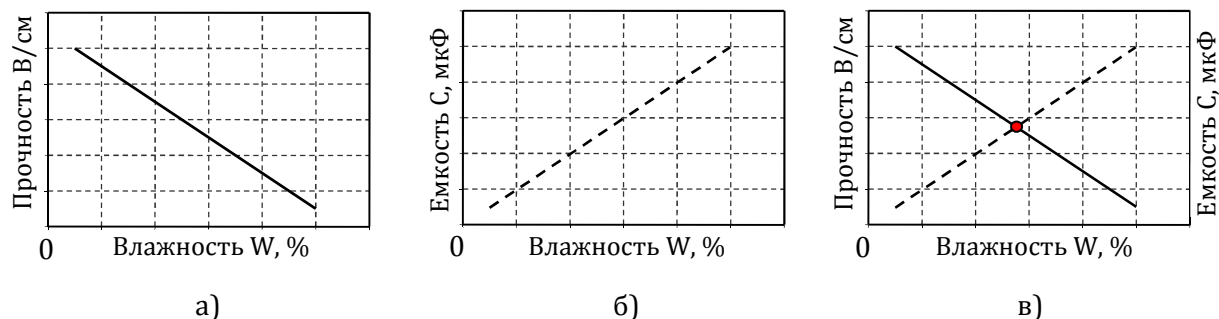


Рис. 3 – Зависимость электрических характеристик масла от влагонасыщения

Исследование комплексной диэлектрической проницаемости обводненных турбинных масел [5] было проведено для анализа корректной установки порога срабатывания датчика при повышении влагонасыщения масла. Порог должен быть установлен в минимально допустимой зоне (рисунок 4).

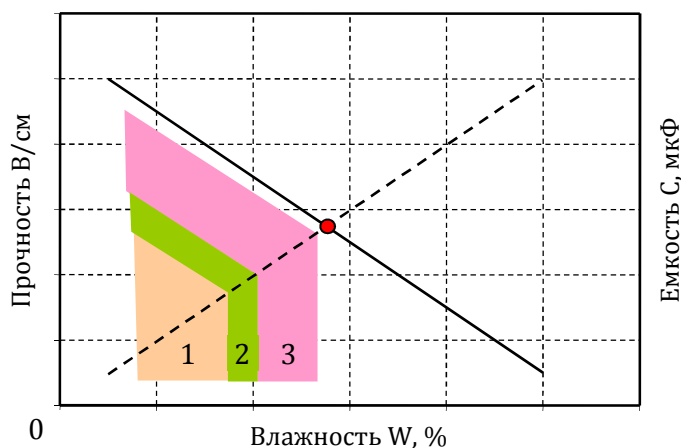


Рис. 4. – Секторная диаграмма

1,2,3 – зоны различных электрических характеристик масла

● – электрический пробой масла

Зона 1 – соответствует характеристике масла в состоянии поставки;

Зона 2 – минимально допустимая зона незначительного насыщения масла влагой, в которой должен быть установлен порог срабатывания датчика типа «ЭЛИМ»;

Зона 3 – критическое состояние масла, возникает риск порчи оборудования.

В процессе измерения на центральные электроды эталонного ЧЭ датчика (который заполнен маслом в состоянии поставки) и измерительного ЧЭ (контактирующего с рабочим маслом) с генератора тестовых сигналов подается импульс специальной формы. Этот импульс снимается с каждого ЧЭ и фиксируется с помощью пиковых детекторов. Выходные сигналы с детекторов подаются на дифференциальный усилитель, который выделяет и усиливает разность между сигналами. Выходной сигнал с дифференциального усилителя подается на вход блока определения влажности.

Описанный процесс повторяется непрерывно.

Амплитуда импульса пропорциональна разности влагосодержания масел, расположенных в герметичном и измерительном ЧЭ.

В данной статье авторы описали основные принципы и подходы емкостного электроимпульсного измерения влагосодержания турбинных масел АЭС. Применение предложенного метода для экспресс-контроля состояния энергетических масел, используемых в ответственных узлах промышленного оборудования, является важнейшим решением проблемы своевременной диагностики элементов конструкций и агрегатов АЭС.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смиренин, Б.А. Справочник по радиотехнике [Текст] / Б.А. Смиренин. – М. : «Госэнергоиздат», 1950. – 784 с.
2. Сидоров, К.С. и др. Аппаратно-программный комплекс для оперативного определения влагосодержания турбинного масла на агрегатах АЭС [Текст] К.С. Сидоров, В.В. Шапошников // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – №4(9) – С. 40–45.
3. Шапошников В.В., Лебедев А.В., Щербаков В.Н., Гапонов В.Е. Устройство контроля влажности. Патент РФ №2471178. 2011.
4. ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений [Текст].
5. Шапошников, В.В. и др. Исследование комплексной диэлектрической проницаемости обводненных турбинных масел агрегатов АЭС [Текст] В.В. Шапошников, К.С. Сидоров // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – №1(10) – С. 59–62.

### **Basic Principles of Electropulse Moisture Measurement Turbine Oil of NPP Units**

**K.S. Sidorov, V.V. Shaposhnicov**

*Snezhinsk Physisc-Technical Institute the Branch of National Nuclear Research University MEPHI  
8 Komsomolsk st., Snezhinsk city, Cheliabinsk reg. 456776  
e-mail: k.s.sidorov@bk.ru*

**Abstract** – This work presents the method of determining moisture content electropulse of turbine oils. It also describes the principle of capacitive sensor measuring moisture saturation of "ELIM". Various electrical characteristics of the oil are considered with the pie chart area. Using the proposed method is an important solution to the problem of timely diagnosis of continuous structural elements and units of nuclear power plants.

**Keywords:** NPP units, turbines, turbine oils, increasing moisture content oil, permittivity capacitance method, the threshold detector, determination of moisture content, the breakdown of liquid dielectrics, electric capacity, heterogeneous systems, rapid diagnosis oils.

## REFERENCES

- [1] Smirenin B.A. Spravochnik po radiotekhnike [Reference book on radio engineering]. M. Pub. «Gosjenergoizdat», 1950 ["Gosenergoizdat"]. 784 p. (in Russian)
- [2] Sidorov K.S., Shaposhnikov V.V. Apparato-programmnyj kompleks dlja operativnogo opredelenija vlagosoderzhanija turbinnogo masla na agregatah AJeS [Hardware-software complex for expeditious determination of moisture content of turbine oil in the NPP units]. Globalnaja jadernaja bezopasnost [Global Nuclear Safety]. 2013, №4(9), ISSN 2305-414X, pp. 40–45. (in Russian)
- [3] Shaposhnikov V.V., Lebedev A.V., Shherbakov V.N., Gaponov V.E. Ustrojstvo kontrolja vlazhnosti. Patent RF №2471178. 2011. [Humidity control unit. Patent Russian Federation №2471178. 2011]. 2011. (in Russian)
- [4] GOST R ISO 5725-1-2002 Tochnost' (pravil'nost' i precizionnost') metodov i rezul'tatov izmerenij [SST P ISO 5725-1-2002 Accuracy (correctness and pretsizionnost) methods and results of measurements]. 2002. (in Russian)
- [5] Shaposhnikov V.V., Sidorov K.S. Issledovanie kompleksnoj dijelektricheskoj pronicaemosti obvodnennyh turbinnyh masel agregatov AJeS [Research of complex dielectric permeability of the flooded turbine oils of the NPP units]. Globalnaja jadernaja bezopasnost [Global Nuclear Safety]. 2014, №1(10), ISSN 2305-414X, pp. 59–62. (in Russian)