

УДК 621.039

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ОБВОДНЕННЫХ ТУРБИННЫХ МАСЕЛ АГРЕГАТОВ АЭС

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

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

В данной работе рассмотрены методы расчета комплексной диэлектрической проницаемости. Предложен метод аналитического определения приращения диэлектрической проницаемости при известных объемах долей компонентов гетерогенной системы. Использование предложенных методов целесообразно для установки порога датчика типа «ЭЛИМ» для экспресс-диагностики влагосодержания турбинных масел агрегатов АЭС.

Ключевые слова: агрегаты АЭС, турбины, турбинные масла, повышенное влагосодержание масел, диэлектрическая проницаемость, приращение диэлектрической проницаемости, пороговый датчик, установка порога датчика влагосодержания, комплексная диэлектрическая проницаемость, гетерогенные системы.

Поступила в редакцию 10.03.2014 г.

Вычисление приращения диэлектрической проницаемости масла от эмульгирования с водой, при известном соотношении объемных долей компонентов (Φ) – с практической стороны затруднительно, и рассматривается теоретически, для определения чувствительности выбранных методов измерения, косвенного анализа экспериментальных данных и установки порога срабатывания датчика экспресс-контроля влажности масла типа «ЭЛИМ» [1].

Чаще всего возникает сложность с точным определением количественной части дисперсной составляющей эмульсии. Поэтому расчетная база определения влияния дисперсной фазы на диэлектрическую проницаемость непрерывной среды (ϵ_m) сводится к функциональным зависимостям и вероятностным моделям, как правило, объединяющих несколько внешних факторов.

Объемные доли компонентов масла и воды имеют следующий вид:

$$\varphi_m = \frac{V_m}{V}, \quad \varphi_p = \frac{V_p}{V},$$

где φ_p – объемная доля дисперсной фазы;
 φ_m – объемная доля непрерывной среды;
 V_m и V_p – объемы растворенного вещества;
 V – общий объем эмульсии.

Тогда соотношение объемных долей:

$$\Phi = \frac{\varphi_p}{\varphi_m} \tag{1}$$

Из формулы 1 следует, что при $\Phi=1$ $\varphi_p = \varphi_m$, соответственно при $\Phi>1$ и $\Phi>>1$, рассматриваемый расчет инвертной эмульсии, должен быть преобразован в расчет эмульсии прямого типа. Поэтому в нашем случае $\Phi \leq 1$.

Для того чтобы вывести формулу приращения комплексной диэлектрической проницаемости ($\Delta\varepsilon$) эмульсии, диэлектрическая проницаемость дисперсной фазы (ε_p) которой в десятки раз больше ε_m , нужно принять, что $\varphi_p = 1(\text{const})$, а φ_m – изменяется в соответствии с исследуемым обводнением.

Тогда выведем выражение усреднения ε компонентов относительно объемной доли непрерывной среды:

$$\Delta\varepsilon = \frac{\varepsilon_p + \varepsilon_m}{2^{\varphi_m}} \quad (2)$$

Это идеальная модель, в которую по правилам системного расчета нужно внести стохастический элемент X_i [2]. Который будет характеризовать технологические процессы, и включать в себя зависимость $\Delta\varepsilon$ от температуры, давления, частоты измерительного импульса и т.д. Тогда выражение должно принять вид:

$$\Delta\varepsilon = \frac{\varepsilon_p + \varepsilon_m}{2^{\varphi_m}} \cdot X_i \quad (3)$$

где $X_i = \sum f(t, ^\circ\text{C}), f(P, \text{Па}), f(f, \text{Гц})$

Практически выражение 3 должно иметь большую достоверность, но так как используется емкостной дифференциальный электроимпульсный метод определения влажности [1], стохастическая поправка в итоге даст ложный результат. Это можно объяснить уникальной, независимой от внешних факторов, методикой выполнения измерений датчиком типа «ЭЛИМ» патент № 2471178.

Предположим, что масло и вода хорошо смешиваются друг с другом и образуют стойкую эмульсию мгновенно, при этом смесь остается гетерогенной. Тогда если в масло пропорционально внести части воды, начиная от 0,01 (1%) и, доводя это соотношение до 0,1, с шагом 0,01, будем наблюдать увеличение значения ε масла на значение $\Delta\varepsilon$, из этого следует, что комплексная диэлектрическая проницаемость (ε_k) определяется по формуле:

$$\varepsilon_k = \varepsilon_m + \Delta\varepsilon \quad (4)$$

Недостаток данного метода в том, что расчет $\Delta\varepsilon$ (2) не обладает необходимой чувствительностью к влажности. Например, при $\Phi < 0,05$ $\Delta\varepsilon \approx 7,9 \cdot 10^{-5}$, что по экспериментальным данным [3] для 5% влагонасыщения очень мало, так как фактически такое обводнение увеличивает справочное значение $\varepsilon_{\text{масла}}$ на ~10%.

Выведение более чувствительной модели возможно при рассмотрении отдельных объемов двухкомпонентной эмульсии, введением в непрерывную среду дисперсной фазы. Авторами данной статьи предложена формула расчета $\Delta\varepsilon$, которая имеет следующий вид:

$$\Delta\varepsilon = \frac{\frac{\varepsilon_p + \varepsilon_m}{\varphi_m} + \frac{\varepsilon_p + \varepsilon_m}{\varphi_p}}{\varphi_p + \varphi_m} \quad (5)$$

Для расчета комплексной диэлектрической проницаемости ε_k можно было бы обратиться к теории смешивания жидкостей и газов, используя для этого преобразованное выражение расчета концентрации двухкомпонентной смеси:

$$\varepsilon_K = \frac{\varepsilon_p \varphi_p + \varepsilon_m \varphi_m}{\varphi_p + \varphi_m} \tag{6}$$

Но, выводы по формуле 6 не соответствуют экспериментальным данным [3], так как существует функциональная зависимость для сферических частиц воды в масле [4], и расчет ε_K следует проводить, исходя из приращения ε , а не аддитивного соотношения объемных долей.

Близкое значение $\Delta\varepsilon$ к экспериментальным данным дает формула Пиекара [5]:

$$\Delta\varepsilon = \frac{\Phi \cdot (\varepsilon_p - \varepsilon_m) \cdot (\varepsilon_m + 2)}{\varepsilon_p + 2 - \Phi \cdot (\varepsilon_p - \varepsilon_m)} \tag{7}$$

При $\Phi=0,01$ (1% насыщения), $\varepsilon_p = 64,8$, $\varepsilon_m = 2,1$ значения приращений, рассчитанных по формулам (2, 5, 7) будут следующими:

$$\begin{aligned} \Delta\varepsilon(2) &= 5,11 \cdot 10^{-29} \\ \Delta\varepsilon(5) &= 0,0275 \\ \Delta\varepsilon(7) &= 0,0388 \end{aligned}$$

По работе [3] усредненные экспериментальные данные ε_K при 1% насыщении влагой масла имеют близкое значение с расчетами по формулам 5, 7.

Следовательно, по выражению 5 $\varepsilon_K = 2,127$, что близко соответствует результатам опытов Пиекара для обводнения трансформаторного масла $\varepsilon_K = 2,138$, и подходит для исследуемой системы «вода в турбинном масле».

Выполнив расчеты по формулам 2, 5, 6, 7, используя справочные данные ε масла ($\varepsilon_m=2$) и воды ($\varepsilon_p=81$), получим графики функций $\varepsilon_K(\Phi)$, рисунок 1. График функции выражения 6 показан для наглядности используемых методов расчета ε_K .

Анализ теории комплексной диэлектрической проницаемости гетерогенных систем, а также математическое описание соотношений между составом и электрофизическими свойствами разбавленной эмульсии типа «вода-масло» может проводиться с использованием предложенных методов.

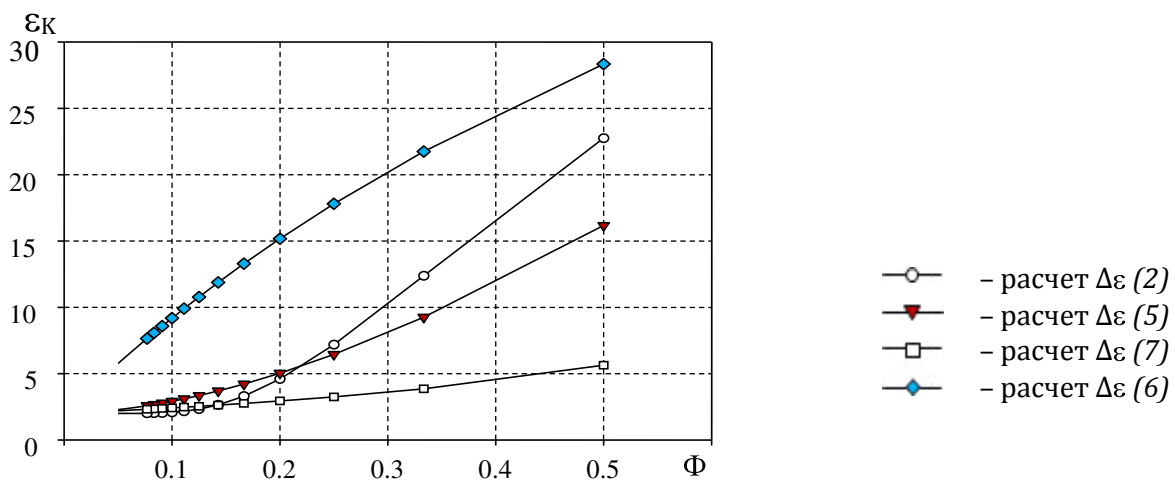


Рис. 1. Зависимости комплексной ε от соотношения объемных долей компонентов, рассчитанные по формулам

На рисунке 1 при $\Phi > 0,3$ присутствует значительное расхождение расчетных

выводов, которое, при необходимости, подлежит усреднению. Но, исследование ϵ_K турбинных масел при обводнении, равном 30% насыщения и более, чаще всего, не имеет смысла, так как физические свойства масла такие как: вязкость, плотность и поверхностное натяжение – примут критические изменения и приведут к порче оборудования на гораздо меньшем объемном соотношении компонентов, рассматриваемой гетерогенной системы.

Таким образом, для исследования комплексной диэлектрической проницаемости обводненных турбинных масел агрегатов АЭС и анализа экспериментальных данных, полученных с помощью откалиброванного емкостного датчика типа «ЭЛИМ-1», необходимо использовать предложенные в данной статье методы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Adomian, G. Stochastic systems. - Orlando, FL: Academic Press Inc. – 1983. – 350 p.
3. Гвоздев, В.С. Обводнение турбинного масла и средства контроля и защиты его от влаги на турбогенераторах ТЭС : дис. канд. техн. наук [Текст] / В.С. Гвоздев – Новочеркасск : ЮРГТУ, 2003. – 156 с.
4. Lichtenecker K., Phis. Z., 27, 1926. – 115 p.
5. Piekara A. Kolloid. Z., 49, 1929. – 97 p.

Complex Dielectric Transmittivity Research of Watered Turbine Oils of NPP Aggregates

V.V. Shaposhnicov, K.S. Sidorov

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

Abstract – This article is devoted to the methods of complex dielectric permittivity calculating. It also proposes the method of analytical determination of dielectric transmittivity increment in known volume fraction of the components of heterogeneous system. Using of the proposed methods is rational for the setting of the threshold sensor «Elim» type for express diagnostics of turbine oils moisture of NPP units.

Keywords: nuclear power plants units, turbines, turbine oil, high moisture content of oil, dielectric transmittivity, dielectric constant increment, threshold sensor, moisture sensor threshold setting, complex dielectric transmittivity, heterogeneous systems.

REFERENCES

- [1] Sidorov K.S., Shaposhnikov V.V. Apparato-programmnyj kompleks dlja operativnogo opredelenija vlagosoderzhaniya turbinnogo masla na agregatah AJeS [Hardware-software complex for expeditious determination of turbine oil moisture content on the NPP units]. Globalnaja jadernaja bezopasnost [Global Nuclear Safety]. 2013, №4(9), ISSN 2305-414X, pp. 40–45. (in Russian)
- [2] Adomian G. Stochastic systems. Orlando, FL: Academic Press Inc. 1983. 350 p. (in English)
- [3] Gvozdev V.S. Obvodnenie turbinnogo masla i sredstva kontrolja i zashhity ego ot vlagi na turbogeneratorah TJeS [Turbine oil flood and control protection devices from moisture on

ШАПОШНИКОВ и др.

thermal power plant turbogenerators] : dis. kand. tehn. nauk. [PhD thesis in Technical Sciences]. Novocherkassk. Pub. JuRGTU [SRSTU], 2003. 156 p. (in Russian)

[4] Lichtenecker K., Phis. Z., 27, 1926. 115 p. (in English)

[5] Piekara A. Kolloid. Z., 49, 1929. 97 p. (in English)