

Рисунок 4 – График зависимости влагосодержания от частоты: 1 – теоретическая зависимость, 2 – экспериментальные данные

Как видно из сопоставленных теоретических и экспериментальных данных, наблюдается удовлетворительное их совпадение. Так рассогласование теоретических и экспериментальных данных не превышает 13 % для  $W = 20$  %; 27 % для  $W = 10$  %; и 36 % для  $W = 5$  %.

Полученные величины рассогласований между теоретическими и экспериментальными данными можно объяснить как несовершенством теоретической модели инженерного типа, так и возможным наличием воздуха, попавшего в эмульсию в процессе ее приготовления.

Указанные причины определяют направления дальнейших исследований по данному направлению.

**Выводы.** По результатам теоретических и экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Упрощенная теоретическая модель обеспечивает удовлетворительную точность, относительную погрешность не превысила 36 % в диапазоне концентраций 0-5 %, что позволяет использовать разработанный метод для экспресс диагностики трансформаторного масла в электротехнике.

2. В диапазоне концентрации 5-20 % разработанный метод позволяет оперативно определить влагосодержание в сильно обводненных эмульсиях, что позволяет использовать данный метод для экспресс оценки влагосодержания топливных эмульсий типа мазут-вода применяемых в электроэнергетике.

**Список литературы:** 1. *Пеиков Н.П., Коровский М.Я.* Применение метода частотной модуляции для измерения малых содержаний воды в авиационных топливах // Тр. Рижского Краснозн. инсти-

тута инженеров гражданской авиации. – Рига, 1970. – Вып. 166. – С. 66-71. 2. *Мелешико Е.А.* Наносекундная электроника в экспериментальной физике. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – С. 12-14. 3. *Яворский Б.М., Детлаф А.А.* Справочник по физике. 5-е изд. – М.: Наука» 1971. – 939 с.

Поступила в редколлегию 16.11.2009

УДК 621.317.3

**В.В.РУДАКОВ**, докт.техн.наук, проф., НТУ «ХПИ»;  
**А.И.КОРОБКО**, канд.техн.наук, вед.науч.сотр., НТУ «ХПИ»;  
**А.А.КОРОБКО**, студент, НТУ «ХПИ»

### ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭМУЛЬСИИ ТИПА МИНЕРАЛЬНОЕ МАСЛО – ВОДА ИНЖЕНЕРНОГО ТИПА

В статті розглянуті питання щодо визначення кількості води в системі мінеральне масло – вода діелектричним методом. Також наведена теоретична модель, яка описує принцип дії даного пристрою.

In the article the considered questions are in relation to determining the amount of water in the mixes mineral oil – water by a dielectric method. A theoretical model which describes principle of action of this device is also considered.

**Введение.** В настоящее время существует четкая тенденция востребованности эффективных технологий определения различных параметров диэлектрических жидкостей на органической основе [1-3]. Возникновение таких тенденций вызвано, с одной стороны, повышением стоимости очистки технических масел и, с другой стороны, применением эмульсий, типа мазут-вода в качестве топлива в электротехнике.

Особенно актуальными являются технологии экспресс определения содержания вода в энергетических и топливных маслах минерального типа.

Среди экспресс технологий определения влагосодержания наибольшее распространение получил диэлектрический метод анализа, основанный на определении диэлектрических характеристик эмульсии [4,5].

Однако широкому распространению данного метода анализа препятствует тот факт, что известные электрофизические модели эмульсии типа минеральное масло – вода, являются крайне сложными для инженерного их применения и, тем более, для целей экспресс анализа.

**Цель работы.** Разработка упрощенной электрофизической модели эмульсии типа минеральное масло – вода, позволяющей эффективно использовать диэлектрический метод анализа влагосодержания в инженерных целях, в том числе для проведения экспресс - анализа влагосодержания.

**Описание моделей.** В классическом представлении, минеральное масло содержащее воду представляет собой эмульсию в виде гетерогенной системы, которая состоит из двух жидкостных фаз, причем одна из них (вода) диспергирована в виде капелек в другой (масло) [6].

В случае если капли воды имеет вид сфер или эллипсов вращения (рис. 1), а их размеры по обем осям меньше чем расстояние между ними, диэлектрическая проницаемость смеси  $\epsilon_{cm}$  определяется выражением [6]:

$$\epsilon_{\bar{n}i} = \epsilon_i \left( 1 + W \frac{\epsilon_d - \epsilon_i}{\epsilon_i + n(\epsilon_d - \epsilon_i)} \right), \quad (1)$$

где:  $\epsilon_m$  – диэлектрическая проницаемость масла;  $\epsilon_d$  – диэлектрическая проницаемость воды;  $W$  – концентрация воды в эмульсии (соотношение объемов воды к общему объему эмульсии);  $n$  – коэффициент деполаризации.

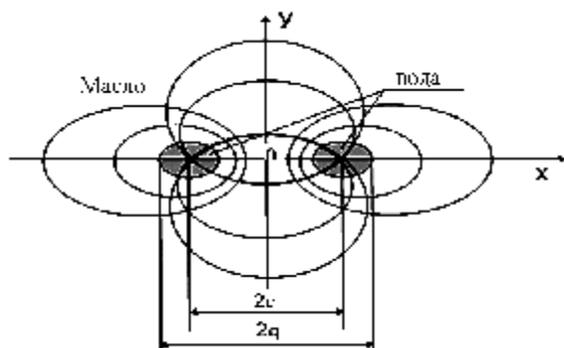


Рисунок 1 – Электрофизическая модель эмульсии трансформаторное масло – вода

Инженерное применение электрофизической модели эмульсии, которая описывается выражением (1) в практических целях, в частности, для целей экспресс анализа, содержания воды в эмульсиях типа минеральное масло – вода крайне затруднительно по следующим причинам.

1. Коэффициент деполаризации  $n$  в выражении (1) зависит как от величины  $W$ , так и от электрофизических свойств воды входящей в состав эмульсии.
2. Величина диэлектрической проницаемость воды  $\epsilon_d$  по своей сути есть комплексная величина, зависящая как от электрофизических свойств воды, входящей в состав эмульсии, так и от частоты.
3. От величины  $\epsilon_{cm}$  зависит частота колебаний измерительного генератора, с помощью которого в диэлектрическом методе определения влагосодержания и проводится определение  $\epsilon_{cm}$ , в дальнейшем, величины  $W$ .

Исходя из того, что ни электрофизические свойства воды, входящей в состав эмульсии, ни величина частоты колебаний, неизвестны заранее, использование модели, описываемой выражением (1) для инженерных целей крайне затруднительно.

Именно по этим причинам была разработана максимально упрощенная электрофизическая модель эмульсии типа минеральное масло – вода, свободная от указанных недостатков (рис. 2).

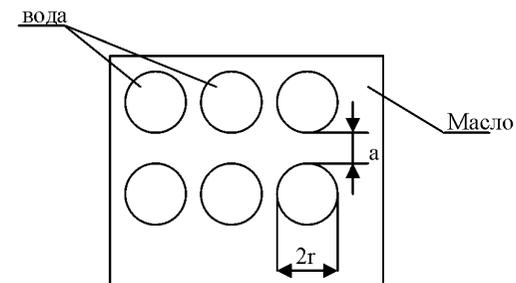


Рисунок 2 – Электрофизическая модель эмульсии трансформаторное масло – вода инженерного типа

При разработке упрощенной модели были использованы следующие предпосылки и допущения.

1. Исходя из того, что  $\epsilon_d \gg \epsilon_m$ , ( $\epsilon_d \approx 81$ ;  $\epsilon_m \approx 2,2$ ) отдельные капли воды в эмульсии заменены идеально проводящими шарами радиуса  $r$ , находящимися на расстояниях  $a$  друг от друга и равномерно распределены по объему эмульсии, при  $a > r$ .
2. Из-за того, что шары, заменяющие водную фазу в эмульсии, являются идеально проводящими, их эквивалентная диэлектрическая проницаемость не зависит от частоты в статическом приближении и равна  $\epsilon_d = \infty$ .

При этом упрощенная модель эмульсии преобразуется в известную электрофизическую систему типа искусственного диэлектрика, широко применяемого в антенной технике [7] и имеющую точные замкнутые решения.

Для этой системы при статических полях или достаточно низких частотах величина  $\epsilon_{cm}$  определяется выражением [7]:

$$\epsilon_{\bar{n}i} = \epsilon_i + N_0 k = \epsilon_i \left( 1 + \frac{N_0 k}{\epsilon_i} \right), \quad (2)$$

где  $N_0$  – число поляризуемых частиц (шаров) в единице объема смеси;  $k$  – средняя поляризуемость частиц.

Для случая сферической симметрии в [7] приведено точное выражение:

$$k = 4\pi r^3 \epsilon_i. \quad (3)$$

Принимая во внимание, что:  $N_0 = \frac{3V_A}{4\pi r^3 V_{Ni}}$ ,

где:  $V_B$  и  $V_{CM}$  – объемы «водной» фазы и эмульсии соответственно ( $V_B/V_{CM} = W$ ), получаем конечные выражения для  $\epsilon_{cm}$ :

$$\epsilon_{\bar{n}i} = \epsilon_i (1 + 3W). \quad (4)$$

В статье данного сборника: В.В.Рудаков, А.И.Коробко, А.А.Коробко «Диэлектрический метод определения влагосодержания в эмульсиях типа минеральное масло – вода с использованием электрофизической модели эмульсии инженерного типа» приведены результаты экспериментальной проверки корректности полученных теоретических результатов. Полученные величины расхождений теоретических и экспериментальных значений свидетельствуют о применимости данного подхода в инженерной практике.

**Заключение.** Полученные соотношения для диэлектрической проницаемости эмульсии предельно просто описывают разработанную упрощенную электрофизическую модель эмульсии типа минеральное масло – вода и позволяют использовать их в инженерных целях для экспресс определения влагосодержания в энергетических, электротехнических и пищевых маслах.

**Список литературы:** 1. *Болога М.К., Берилл И.И.* Рафинация подсолнечного масла в электрическом поле. – Кишинэу: «Stiinta», 2004. – 216 с. 2. *Коробко А.И.* Эффективная электрофильная система очистки трансформаторного масла // Сборник «Физические и компьютерные технологии». 11-я Международная научно-техническая конференция, Харьков: ХНПК «ФЭД».- 2-3 июня 2005 г. – С. 362-364. 3. *Гуназа С.А.* О совершенствовании эксплуатации энергетических масел. Интернет: <http://www.inventors.ru/index.asp?mode=800>. 4. *Кочанов Э.С., Кочанов Ю.С., Скачков А.Е.* Электрические методы очистки и контроля судовых топлив. – Л.: Судостроение, 1990. – 216 с. 5. Теория и практика экспертного контроля влажности твердых и жидких материалов / Под. ред. *Кричевского Е.С.* – М.: Энергия, 1980. – 240 с. 6. *Панченков Г.М., Цабек Л.А.* Поведение эмульсий во внешнем электрическом поле. – М.: Химия, 1969. – 190 с. 7. *Айзенберг Г.В.* и др. Антенны УВК / Под ред. *Г.В.Айзенберга.* Ч. 1. – М.: Связь, 1977. – С. 299-300.

*Поступила в редколлегию 16.11.2009*

УДК 621.3

*С.С.РУДЕНКО*, магистрант, НТУ «ХПИ»;  
*А.А.ПЕТКОВ*, канд.техн.наук, ст.науч.сотр., НТУ «ХПИ»

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ РЕЗИСТОРОВ ТВО-60**

У роботі наведені експериментальні криві розігріву високовольтного резистора ТВО - 60. Показано розподіл відносної температури по поверхні резистора. Визначені теплофізичні характеристики резистора.

Experimental heating curves of high-voltage resistor TВО - 60 are given in the paper. The distribution of relative temperature on the resistor surface is shown. Thermal physics characteristics of the resistor are determined.

**Постановка проблемы.** Для испытания электротехнического и электронного оборудования на стойкость и воздействие электромагнитных факторов различного происхождения применяются высоковольтные импульсные испытательные установки (ВИИУ).

Одним из элементов, входящим в состав ВИИУ, являются высоковольтные резисторы. Они используются в качестве составляющих систем заряда и защиты емкостных накопителей энергии (ЕНЭ), а также в качестве формирующих элементов, обеспечивающих коррекцию формы создаваемых импульсных испытательных воздействий. В зависимости от функционального назначения резистора к его конструкции предъявляются различные требования. Однако общим требованием для всех типов резисторов является устойчивость их конструкции к тепловому воздействию тока, протекающему через резистор в процессе эксплуатации.

**Анализ публикаций.** В работе [1] был рассмотрен процесс нагрева резисторов, и приведены методы теплового расчета проволочного и жидкостного резисторов. Показано, что если ток, проходящий через резистор, изменяется скачком от 0 до  $I$ , то температура нагрева поверхности резистора определяется по соотношению:

$$T = T_0 + \frac{I^2 R}{\alpha S} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right), \quad (1)$$

где  $T_0$  – начальное значение температуры поверхности резистора;  $I$  – действующее значение тока;  $R$  – сопротивление резистора;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи;  $S$  – площадь поверхности резистора;  $t$  – время протекания тока;  $\tau$  – постоянная времени нагрева.

Постоянная времени нагрева определяется по формуле: