

УДК 621.317.08

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭМУЛЬСИИ ТИПА ВОДА В МАСЛЕ

*Б.И. Невзлин, Д.В. Морозова*

*Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, кв. Молодежный, 20а, г. Луганск, 91034, uni@snu.edu.ua, (0642) 41-22-25*

*Запропонована математична модель електричних властивостей емульсії типу вода в маслі. Розглянуто теоретичні основи діелькометричного методу вимірів вологості рідин та діелектричні властивості рідин, що утворюють бінарні системи.*

*Ключові слова: математична модель, зворотна емульсія, пряма емульсія, вологість, рідина, бінарна система, масло, похибка.*

*Предложена математическая модель электрических свойств эмульсии типа вода в масле. Рассмотрены теоретические основы диелькометрического метода измерений влажности жидкостей и диелектрические свойства жидкостей, которые образуют бинарные системы.*

*Ключевые слова: математическая модель, обратная эмульсия, прямая эмульсия, влажность, жидкость, бинарная система, масло, погрешность.*

*A mathematical model of the electrical properties of the emulsion water in oil was offered. The theoretical foundations of the method dielcometric humidity measurements of liquids and dielectric properties of liquids, which form a binary system were considered.*

*Key words: mathematical model, inverse emulsion, direct emulsion, humidity, liquid, binary system, oil, error.*

Замещение реальных объектов идеализированными математическими моделями позволяет существенно снизить как материальные затраты на экспериментальное исследование этих объектов, так и затраты времени, что совсем немаловажно. И хотя при формировании математических моделей допускаются существенные упрощения, они дают удовлетворительные результаты.

В отличие от твердых и сыпучих материалов для бинарных систем, т.е. систем жидкость – вода, можно математически установить детерминированную связь между диелектрической проницаемостью (ДП) и влажностью систем.

Вода с жидкостью образует либо растворы – однородные вещества, либо эмульсии – микрогетерогенные дисперсные системы.

В свою очередь, эмульсии бывают прямыми – типа М/В (масло в воде) и обратными – типа В/М (вода в масле). У обратных эмульсий вода является дисперсной фазой, а масло дисперсионной средой [1, 2]. Тип эмульсий зависит от свойств компонентов, наличия поверхностно-активных веществ и объемного содержания воды (влажности). К обратным эмульсиям относят нефти, масла и др.

Математическими моделями эмульсий, т.е.

дисперсных систем, состоящих из двух несмешивающихся жидкостей, например, таких, как масла и нефти с включением влаги могут быть диелектрические формулы смесей, т.е. зависимости связывающие ДП n-фазной смеси с ДП и объемными концентрациями отдельных компонентов [3].

Целью статьи является определение математической модели обратных эмульсий (типа масло в воде) путем установления связи между диелектрической проницаемостью и влажностью.

Основы теории ДП бинарных систем были разработаны в XIX в. Существует ряд формул для определения ДП бинарной системы по объемному содержанию и ДП ее компонентов. В зависимости от того, влияет ли обращение фаз на ДП системы, все формулы можно разделить на симметричные и несимметричные. К эмульсиям применяются несимметричные формулы, в которых через  $\epsilon_n$  и  $\epsilon_v$  обозначены ДП непрерывной среды и внутренней фазы, а через  $W$  – объемное содержание внутренней фазы.

Из всех несимметричных формул чаще всего используются три: Винера, Бруггемана и Кубо-Накамуры [1, 3]. Здесь следует отметить, что наиболее корректно выводится формула Винера,

а именно с использованием локального поля Лоренца, применимого при беспорядочном или равномерном распределении дисперсных частиц в эмульсии, т.е.

$$\frac{\varepsilon - \varepsilon_H}{\varepsilon + 2\varepsilon_H} = W \frac{\varepsilon_B - \varepsilon_H}{\varepsilon_B + 2\varepsilon_H}. \quad (1)$$

Разложение в ряд по степени  $W$  позволяет получить следующее:

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_H} = 1 + 3WD + 3W^2D^2 + 3W^3D^3 + \dots,$$

где  $D = (\varepsilon_B - \varepsilon_H) / (\varepsilon_B + 2\varepsilon_H)$ .

Формула Винера пригодна для любых влажностей, но наличие расхождений экспериментальных зависимостей  $\varepsilon/\varepsilon_H = \varphi(W)$ , поднимающихся над теоретической кривой, свидетельствует о влиянии какого-то фактора, вызывающего дополнительный рост ДП эмульсии [3]. Этим фактором может быть поляризация или структурные изменения – группировка дисперсных частиц вдоль силовых линий или их соединение в агрегаты (флокулы). Это говорит о том, что ДП эмульсии зависит не только от объемного соотношения ДП ее компонентов, но и от других свойств дисперсионной среды [1].

Причем с ростом влажности ДП эмульсии начинает зависеть в гораздо большей мере от  $F$ , чем от  $\varepsilon_H$ . Согласно флокуляционной теории эмульсия в целом может рассматриваться как смесь двух эмульсий – компонентов, одна из которых включает в себя флокулы, а другая – дисперсионную среду с одиночными дисперсными частицами. Для определения ДП эмульсии в целом вводится коэффициент флокуляции  $F$ , показывающий отношение влажности, сосредоточенной во флокулах, к общей влажности:

$$F = W_\phi / W. \quad (2)$$

Объем, занимаемый флокулами,

$$V_\phi = W_\phi / W = FW / W_M. \quad (3)$$

Объем и влажность нефлокулированной эмульсии определяются так:

$$V = 1 - V_\phi = \frac{W_M - WF}{W_M};$$

$$W_O = \frac{W - W_\phi}{V} = W \frac{1 - F}{1 - FW/W_M}. \quad (4)$$

ДП эмульсии, состоящей из одних флокул,  $\varepsilon_\phi$  и ДП эмульсии с дисперсными частицами  $\varepsilon_0$

определяются по формуле Винера (1), а общая эмульсия рассматривается как смесь этих двух эмульсий и ее ДП может быть рассчитана по формуле Ньютона – Зильберштейна:

$$\varepsilon = V\varepsilon_0 + V_\phi\varepsilon_\phi =$$

$$\varepsilon_H \left\{ 1 + \frac{3W}{D_1 - W} \left[ 1 + \frac{F}{W_M} \frac{D_1(W_M - W)}{(D_1 - W_M)(D_1 - W)} \right]^2 \right\}, \quad (5)$$

$$\text{где } D_1 = (\varepsilon_B + 2\varepsilon_H) / (\varepsilon_B - \varepsilon_H). \quad (6)$$

При малых влажностях ( $W \leq 0,1$ ), когда дисперсные частицы достаточно удалены друг от друга и практически  $F = 0$ , выражение (5) превращается у формулу Винера:

$$\varepsilon = \varepsilon_H \left( 1 + \frac{3W}{D_1 - W} \right). \quad (7)$$

Между ДП и влажностью можно математически установить детерминированную связь, что является основной особенностью бинарных систем. При определении ДП эмульсий чаще всего применяется формула Винера. ДП эмульсии зависит не только от объемного соотношения ДП ее компонентов, но и от других свойств дисперсионной среды, к которым относят способность к флокулизации. Общая эмульсия состоит из двух эмульсий, одна из которых включает в себя флокулы, а другая – дисперсионную среду с одиночными дисперсными частицами. ДП общей эмульсии рассчитывается по формуле Ньютона – Зильберштейна. Для определения ДП эмульсии приведены формулы без учета погрешностей, вызываемых изменением температуры, давления, наличием эмульгатора, выделением свободного газа, осаждением посторонних примесей.

1. Теория и практика экспрессного контроля влажности твердых и жидких материалов / Под ред. Кричевского Е.С. – М.: Энергия, 1980. – 240 с. 2. Рудаков В.В. Электрофизическая модель эмульсии типа минеральное масло – вода инженерного типа / В.В. Рудаков, А.И.Коробко, А.А. Коробко // Вісник НТУ «ХПИ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Техніка і електрофізика високих напруг. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2009. № 39. – С. 158-161. 3. Берлинер М.А. Измерения влажности. Изд. 2-е, перераб. и доп. / М.А. Берлинер – М.: Энергия, 1973. – 400с.

Поступила в редакцію 07.12.2010 р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук, проф. Яковенко В.В.