

В.А. ГРИГОРЯН, М.А. КАРАПЕТЯН, Л.О. КАРАХАНИЯН, В.В. ВАРДАНИЯН

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОЛИДИСПЕРСНОЙ СИСТЕМЫ, НАХОДЯЩЕЙСЯ ВО ВНЕШНЕМ ОДНОРОДНОМ ПОЛЕ

На основе формулы диэлектрической проницаемости системы определена объемная концентрация пузырьков воздуха в зависимости от объемной концентрации f_2 капелек воды. Проведен расчет коэффициента деполяризации N_2 включений, деформированных под воздействием поля включений. С учетом формулы усредненной диэлектрической проницаемости дисперсной системы с включениями трех типов определена зависимость концентрации f_3 проводящих включений от ϵ_{cp} , E_0 , f_1 , f_2 , N_1 и N_2 .

Ключевые слова: капельки воды, пузырьки газа, диэлектрическая проницаемость, тангенс угла потерь, электрическое поле.

В [1] осуществлено теоретическое исследование полидисперсной системы с двумя сортами инородных включений (пузырьков газа и капелек воды) в жидкой диэлектрической среде под действием внешнего однородного поля. Показано, что деформация форм включений (сплюснение газовых пузырьков и вытягивание капелек воды) повышает вероятность частичных пробоев как газовых пузырьков, так и промежутков между соседними (вдоль направления поля) капельками воды, что, в конечном итоге, существенно снижает длительную электрическую прочность неоднородного жидкого диэлектрика.

Экспериментальное исследование указанной полидисперсной системы осуществлено с использованием электродов Роговского [2]. Были измерены емкость (для перерасчета диэлектрической проницаемости ϵ) и тангенс угла потерь ($tg\delta$) с помощью высоковольтного моста МДП. Определенная объемная доля воды f_2 добавлялась в масло в смесителе.

Однако измеренные значения ϵ в зависимости от объемной концентрации капелек воды f_2 оказались существенно меньше данных табл. 2 [1], где рассматривается идеальный вариант - отсутствие в масле газовых пузырьков. Это объясняется тем, что вращение лопастей мешалки создает условия для поглощения воздуха (газа) из окружающей среды. Следовательно, одной из задач данной работы является определение объемной концентрации газовых пузырьков f_1 в водо-масляной эмульсии в зависимости от f_2 .

Данную задачу целесообразно решить с помощью формулы ϵ для дисперсной системы с двумя сортами инородных включений [3]:

$$\epsilon = [1 + f_1 m_1 (1 + D_2) + f_2 m_2 (1 + D_1)] \epsilon_3, \quad (1)$$

где

$$m_i = \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_3}{\varepsilon_3 + (\varepsilon_i - \varepsilon_3)(1 - f_i)N_i}, \quad D_i = f_i m_i N_i, \quad i=1,2; \quad (2)$$

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ - диэлектрические проницаемости газа, воды и дисперсионной среды - трансформаторного масла; N_1, N_2 - коэффициенты деполяризации пузырьков газа и капелек воды в направлении внешнего поля $\vec{E}_0$.

При весьма низкой напряженности внешнего поля ($E_0 \approx 150$ В/см) сферическая форма включений не искажена и $N_1 = N_2 = 1/3$. Тогда в (1) и (2) неизвестным является только f_i . Результаты расчета f_i при трех заданных значениях f_2 следующие:

$$\frac{f_1}{f_2} \rightarrow \frac{0,046}{0,01}, \frac{0,100}{0,03}, \frac{0,275}{0,10}.$$

В [1] показано, что механические силы поля на границе включение-среда сплющивают газовые пузырьки и, наоборот, вытягивают капли воды. Однако числовые расчеты деформаций форм этих включений отсутствуют. В настоящей работе приводятся результаты расчета N_2 при заданных значениях N_1 , меняющихся в пределах от 0,35 до 0,85, в зависимости от концентраций f_1 и f_2 , напряженностей внешнего однородного поля $E_0 \leq 8$ кВ/см, измеренных диэлектрических проницаемостей $\varepsilon_{\text{экс}}$ системы.

Расчеты осуществлены с использованием выражений (1) и (2) (табл.).

Таблица

N_1	f_1	f_2	$E_0,$ кВ/см	$\varepsilon_{\text{экс}}$	N_2	N_1	f_1	f_2	$E_0,$ кВ/см	$\varepsilon_{\text{экс}}$	N_2
0,35	0,046	0,01	2	2,30	0,215	0,85	0,046	0,01	2	2,30	0,142
			4	2,32	0,172				4	2,32	0,119
			6	2,40	0,089				6	2,40	0,067
			8	2,66	0,021				8	2,66	0,016
0,35	0,10	0,03	2	2,36	0,257	0,85	0,10	0,03	2	2,36	0,178
			4	2,40	0,216				4	2,40	0,155
			6	2,56	0,127				6	2,56	0,097
			8	2,90	0,058				8	2,90	0,046
0,35	0,275	0,10	2	2,52	0,311	0,85	0,275	0,10	2	2,52	0,212
			4	2,76	0,223				4	2,76	0,157
			6	3,40	0,119				6	3,40	0,087
			8	4,30	0,064				8	4,30	0,046

Формула (1) предложена в [4] для расчета усредненной проницаемости системы с двумя сортами эллипсоидальных включений без какой-либо связи с соображениями, высказанными в [1]. Однако она подтверждает факт одновременного сплющивания газовых пузырьков и вытягивания капелек воды под действием внешнего однородного поля. Чем меньше сплющены газовые пузырьки, тем меньше вытянуты капли воды. С ростом концентраций f_1, f_2 уменьшается деформация капелек воды. Это положение объясняется более сильной зависимостью ε от концентраций f_1, f_2 , чем от формы пузырьков и капелек - N_1, N_2 . Отметим также, что с увеличением концентрации f_2 отношение f_1/f_2 уменьшается. Это

приводит к уменьшению абсолютной величины отрицательного второго члена в квадратной скобке уравнения (1) по сравнению с третьим.

Экспериментальные исследования ε от $E_0 \leq 8$ кВ/см внешнего поля показали [2], что эта зависимость заметна при $f_2 \geq 0,01$ и f_1 , определяемой в вышеприведенном отношении концентраций. Существование этой зависимости может быть обусловлено двумя факторами: 1) ионизацией газа в некоторой части пузырьков; 2) вытягиванием капелек воды вдоль внешнего поля [1]. Обнаруженная экспериментальным путем резкая зависимость $tg\delta$ от E_0 [2] и появление характерного звука (шипение) с повышением напряженности внешнего поля дают основание утверждать, что зависимость ε (E_0) обусловлена в основном ионизацией газа в некоторой части пузырьков.

Ионизированный газ становится проводником электрического тока. Следовательно, ионизированные газовые пузырьки превращаются в проводящие включения. Если объемную концентрацию проводящих включений обозначить через f_3 , то концентрация газовых пузырьков будет $f_1 - f_3$. С началом ионизации части газовых пузырьков среда становится полидисперсной системой с тремя сортами инородных включений с неизвестной объемной концентрацией проводящих включений f_3 , зависящей от напряженности E_0 внешнего поля.

Задача определения зависимости f_3 от $\varepsilon_{\text{экс}}$, E_0 , f_1 , f_2 , N_1 , N_2 решается с помощью упрощенной формулы (с целью уменьшения объема весьма громоздких расчетов) усредненной ε полидисперсной системы с тремя сортами включений [3]:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{\text{экс}} &= \varepsilon_4(1 + f_1 m_1 + f_2 m_2 + f_3 m_3) = \\ &= \varepsilon_4[1 + (f_1 - f_3)m_1 + f_2 m_2 + f_3 m_3],\end{aligned}\quad (3)$$

где

$$m_1 = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_4}{\varepsilon_4 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_4)[1 - (f_1 - f_3)N_1]}, \quad m_2 = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_4}{\varepsilon_4 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_4)(1 - f_2)N_2},$$

$$m_3 = \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_4}{\varepsilon_4 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_4)(1 - f_3)N_1}.$$

Поскольку $\varepsilon_3 \Rightarrow \infty$, то

$$m_3 = 1/(1 - f_3)N_1. \quad (4)$$

На основе (3), (4) с учетом таблицы построено семейство кривых (рис.) зависимости f_3 ($\varepsilon_{\text{экс}}$, E_0 , f_1 , f_2 , N_1 , N_2). Как видно, наблюдается сильная зависимость f_3 от коэффициента деполяризации газового пузырька N_1 . Это объясняется тем, что с увеличением степени сплющивания напряженность поля в пузырьке E_1 [1] резко увеличивается. Увеличению E_1 способствует и рост f_2 .

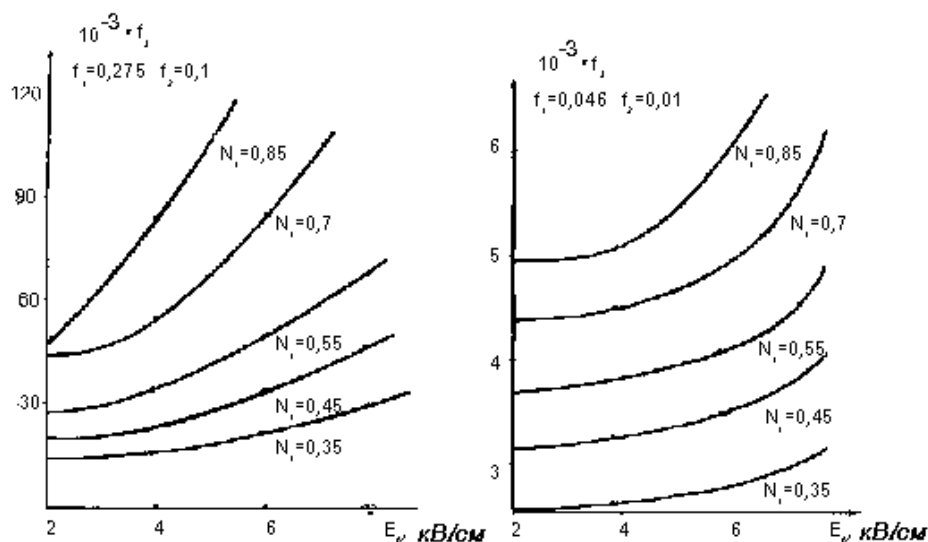


Рис.

Рост $\operatorname{tg} \delta$ с увеличением напряженности E_0 внешнего поля [2] также объясняется ионизацией некоторой части газовых пузырьков. С повышением объемной концентрации капелек воды начало подъема кривых $\operatorname{tg} \delta (E_0)$ сдвигается в область малых напряженностей E_0 , так как поляризующее включение поле $E_{\text{п}}$ [1] при этом усиливается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Карапетян М.А., Григорян В.А., Караханян Л.О., Варданян В.В.** Явления в масле, содержащем пузырьки газа и капельки воды, под действием электрического поля // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-1999.-Т. 52, ¹ 2. - С. 181-186.
2. **Григорян В.А.** Некоторые диэлектрические характеристики эмульсии воды в трансформаторном масле в однородном электрическом поле // Сб. науч. тр. МВ и ССО АрмССР. Сер. Электротехника.-1973.-Т.39, вып. 5. - С 44-49.
3. **Карапетян М.А.** Исследование электрического поля в неоднородной среде. – Ереван: Айастан, 1990. – 216 с.
4. **Карапетян М.А.** Диэлектрическая проницаемость дисперсной системы в переходном процессе установления электрического поля // Электричество. - 1973. - ¹ 7. – С.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 18.03.1999.

Վ.Ա.ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Մ.Ա.ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Լ.Հ.ԿԱՐԱԽԱՆՅԱՆ, Վ.Վ.ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

**ԱՐՏԱՔԻՆ ՀԱՄԱՍԵՌ ԴԱՇՏՈՒՄ ՅՈՒՂ - ՋՈՒՐ ԲԱԶՄԱԴԻՍՊԵՐՍ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ
ՓՈՐՁՆԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Օգտվելով դիսպերս համակարգի դիէլեկտրիկական թափանցելիության բանաձևից, որոշվել է օդային բշտիկների ծավալային կոնցենտրացիան՝ կախված ջրի կաթիլների ծավալային f_2 կոնցենտրացիայից: Կատարված են ներառումների դաշտի ազդեցությամբ դեֆորմացիայով պայմանավորված ապաբևեռացման N_2 գործակցի հաշվարկներ: Օգտվելով երեք տեսակի ներառումներով բազմադիսպերս համակարգի ϵ -ի պարզեցված բանաձևից, որոշվել է հաղորդիչ ներառումների f_3 կոնցենտրացիայի կախվածությունը ϵ_{av} -ից, E_0 -ից, f_1 -ից, f_2 -ից, N_1 -ից, N_2 -ից:

**V.A. GRIGORYAN, M.A. KARAPETYAN, L.H. KARAKHANYAN,
V.V. VARDANYAN**

**ANALYSIS OF EXPERIMENTAL INVESTIGATION RESULTS OF THE POLYDISPERSIVE
SYSTEM IN THE OUTER HOMOGENEOUS FIELD**

On the basis of system formula permittivity a sizable concentration of f_2 with water drops is specified. Depolarization factor calculation of N_2 connection is presented. Using the formula of the averaged dielectric permittivity factor for the dispersive system with three types of connections, the dependence of cluster f_3 establishing connections on ϵ_{av} , E_0 , f_1 , f_2 , N_1 and N_2 is determined.