

Особенности диэлектрического отклика гетерогенных систем с полярной матрицей, содержащей электрически активные включения

© В.С. Борисов, Ю.В. Аграфонов, Л.А. Щербаченко, Я.В. Ежова,
С.С. Барышников, О.Б. Рубцова

Иркутский государственный университет,
Иркутск, Россия

E-mail: borisov.v.s@yandex.ru

(Поступила в Редакцию в окончательном виде 15 июня 2010 г.)

Предложена теоретическая модель, позволяющая ввести поправку в величину комплексной диэлектрической проницаемости электрически активных конденсированных систем, содержащих полярную жидкую матрицу и твердые низкоразмерные частицы с развитой электрически активной поверхностью. Установлен факт межфазного электрического взаимодействия поверхностных зарядов твердой компоненты с полярными молекулами жидкой матрицы. Процессы такого взаимодействия приводят к появлению в изучаемой системе собственного внутреннего электрического поля. В рамках предлагаемой модели исследован вклад поверхностных эффектов в формирование поляризованного состояния жидкой полярной среды. Рассмотрена возможность регулирования процессов локального изменения структуры полярной жидкой компоненты под действием внутреннего электрического поля изучаемых систем посредством варьирования величины удельной электрически активной поверхности твердой фазы, а также собственного дипольного момента молекул данной жидкой матрицы и определены условия возникновения управляемого градиента потенциала внутреннего электрического поля в рассматриваемых дисперсных системах. Впервые введен параметр, позволяющий оценить вклад межфазного электроконтактного взаимодействия в диэлектрический отклик как жидкой компоненты, так и всей системы в целом.

Работа частично поддержана грантом РНП 2.2.1.1/3297.

1. Введение

При теоретическом исследовании диэлектрического отклика конденсированных систем в ряде случаев используется известное соотношение Винера–Вагнера [1–4], позволяющее определить комплексную диэлектрическую проницаемость ε простой матричной системы твердых электрически нейтральных сфероидов, распределенных в непрерывной однородной среде,

$$\frac{\varepsilon - \varepsilon_m}{\varepsilon + 2\varepsilon_m} = c_p \frac{\varepsilon_p - \varepsilon_m}{\varepsilon_p + 2\varepsilon_m}, \quad (1)$$

где ε_m и ε_p — диэлектрическая постоянная матрицы и дисперсных частиц с концентрацией c_p соответственно.

Для анализа электрофизических свойств гетерогенных систем в более общем случае, когда включения, внедряемые в матрицу, имеют произвольную форму, любую концентрацию и содержат внутренние неоднородности, неплохо зарекомендовал себя метод компактных групп [1,2]. Для малых концентраций включений подходы Винера–Вагнера и метод компактных групп приводят к одинаковому выражению для диэлектрической проницаемости системы.

В рамках метода компактных групп комплексная диэлектрическая проницаемость гетерогенной системы ε , содержащей однородную матрицу с любой концентрацией включений произвольной формы, записывается

ся в виде

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_m + \varepsilon_m \sum_{n=1}^{\infty} \left(-\frac{1}{3\varepsilon_m}\right)^n \overline{[\delta\varepsilon(\mathbf{r})]^n} + \sum_{n=0}^{\infty} \left(-\frac{1}{3\varepsilon_m}\right)^n \overline{[\delta\varepsilon(\mathbf{r})]^{n+1}}}{1 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(-\frac{1}{3\varepsilon_m}\right)^n \overline{[\delta\varepsilon(\mathbf{r})]^n}}, \quad (2)$$

где $\varepsilon(\mathbf{r})$ — локальное значение макропараметра включений, внедренных в матрицу, а ε_m — диэлектрическая константа однородной сплошной матрицы без учета включений, находящихся в ней. В выражении (2) дисперсия диэлектрической проницаемости системы, обусловленная введением определенной концентрации включений, характеризуется величиной

$$\delta\varepsilon(\mathbf{r}) = \varepsilon(\mathbf{r}) - \varepsilon_m. \quad (3)$$

Выражение $\overline{[\delta\varepsilon(\mathbf{r})]^n}$ в соотношении (2) представляет собой отклонение макропараметра $\delta\varepsilon(\mathbf{r})$, усредненное по всему объему исследуемой системы.

Полученная в рамках метода компактных групп формула (2) содержит бесконечные ряды вида $\sum_{n=1}^{\infty} (-1/3\varepsilon_m)^n \overline{[\delta\varepsilon(\mathbf{r})]^n}$, наличие которых обусловлено одновременным учетом вкладов неоднородностей любых порядков $n = 1, 2, \dots, \infty$. В то же время остальные известные методы (метод Максвелла–Гарнета, метод эффективной среды и др.) позволяют вычислить вклады только первых нескольких порядков [5].

Особый интерес представляет исследование диэлектрического отклика электрически активных систем, характерной особенностью которых является наличие на межфазных границах электроконтактного взаимодействия между заряженными дефектами на поверхности твердых частиц и молекулами жидкости. Целью работы является оценка вклада межфазного электрического взаимодействия в электрофизические свойства рассматриваемых систем и в связи с этим уточнение выражений (1) и (2). До настоящего времени данный вопрос оставался нерешенным.

2. Теоретическая модель

В работе предложена расчетно-теоретическая модель, позволяющая ввести поправку в величину диэлектрической поляризации рассматриваемых электрически активных гетерогенных систем и расширить область применения метода компактных групп с учетом межфазного электрического взаимодействия их компонентов. Результатом такого взаимодействия является возникновение собственного внутреннего электрического поля поляризованного состояния данной системы. Под действием этого поля происходит термополевая ионизация молекул жидкости, изменение ее структуры и образование в ней молекулярных кластеров. Особо отметим, что внутреннее электрическое поле способно оказывать влияние на ориентацию молекулярных диполей жидкости и приводить к значительному вырождению их дипольно-ориентационной поляризации. При этом в локальных микрообластях полярной жидкой матрицы образуется новая структура, для которой характерна дисперсия диэлектрической проницаемости по сравнению с объемной частью рассматриваемой жидкости.

В работе исследованы особенности электрофизических процессов, происходящих вблизи межфазных границ раздела компонентов под действием собственного внутреннего поля. Результирующая напряженность этого поля в изучаемой гетерогенной системе образована зарядами на поверхности частиц твердой фазы, свободными ионами жидкой среды, а также полярными молекулами жидкости. Под действием внутреннего электрического поля в зоне контакта твердой и жидкой компонент происходит накопление противоположных, обуславливающих проявление электретоного эффекта в изучаемой системе. Градиенты потенциала внутреннего электрического поля взаимосвязаны с дебаевским экранированием заряженных дефектов поверхности частиц свободными ионами жидкой среды [6], в результате чего напряженность этого поля $E(x)$ экспериментально уменьшается при удалении от поверхности твердой фазы

$$E(x) = E_0 \exp(-x/h_0), \quad (4)$$

где E_0 — напряженность внутреннего электрического поля вблизи поверхности частиц, h_0 — дебаевский радиус экранирования этого поля.

В работе дана теоретическая оценка вклада полярной жидкой матрицы в диэлектрический отклик рассматриваемой системы в целом. В качестве исходного уравнения использовалось выражение Кирквуда [7,8], позволяющее вычислить диэлектрическую проницаемость ε_f однородной полярной жидкости

$$\varepsilon_f - 1 = \frac{9\varepsilon_f}{2\varepsilon_f + 1} \frac{4\pi n}{3} \left[\alpha_e + g \frac{\mu_0^2}{3kT} \right], \quad (5)$$

где n , α_e и μ_0 — объемная концентрация, электронная поляризуемость и дипольный момент полярных молекул жидкости, g — структурная постоянная жидкости [7,8]. Ранее в работе [9] произведено обобщение теории Кирквуда на анизотропные полярные жидкости, находящиеся под действием электрического поля заряженной подложки, в результате чего получено выражение для расчета локального значения макропараметра этой жидкости $\varepsilon_f(x)$ в точке, находящейся на расстоянии x от поверхности твердой фазы,

$$\varepsilon_l(x) - 1 = \frac{9\varepsilon_l(x)}{2\varepsilon_l(x) + 1} \frac{4\pi n}{3} \left[\alpha_e + g \frac{\mu_0^2}{3kT} R \left(\frac{\mu_0 E}{kT} \right) \right], \quad (6)$$

где E — напряженность внутреннего электрического поля в системе.

Проанализируем выражение (6) для рассматриваемых гетерогенных систем, где жидкая матрица является полярной, а твердая фаза представлена электрически активными частицами с развитой поверхностью. В связи с этим в настоящей работе введен эффективный дипольный момент μ (в отличие от собственного дипольного момента μ_0), характеризующий изменение упорядоченности диполей жидкой фазы в изучаемой системе под действием внутреннего электрического поля,

$$\mu = \mu_0 \sqrt{R(f)}, \quad (7)$$

где $f = \mu_0 E/kT = E/E_s$ — параметр, характеризующий соотношение структурирующего действия внутреннего поля и теплового движения молекул жидкой среды. Величина $E_s = kT/\mu_0$ соответствует напряженности внутреннего поля, при которой степень упорядоченности полярных молекул жидкости сравнима с их тепловым разупорядочением при данной температуре T .

Функция $R(f)$, входящая в уравнение (6), позволяет учитывать вырождение дипольно-ориентационной поляризации молекул при наличии в изучаемой системе внутреннего поля [9]

$$R(f) = 3 \left(\frac{1}{f^2} - \frac{1}{\text{sh}^2 f} \right). \quad (8)$$

Из выражений (7) и (8) следует, что при увеличении напряженности внутреннего поля E эффективный дипольный момент молекул структурированной области жидкости уменьшается по сравнению с собственным дипольным моментом молекул объемного слоя данной

жидкости в связи с возрастанием степени упорядоченности молекул и, как следствие, с уменьшением числа степеней свободы их теплового движения [10,11]. Начиная с некоторого критического расстояния от поверхности твердой фазы ($x > x_{cr}$), это поле неспособно структурировать молекулы жидкой компоненты, которые соответственно переходят в объемное изотропное состояние с эффективным дипольным моментом $\mu \approx \mu_0$. При этом слой жидкости $x < x_{cr}$, контактирующий с электрически активной твердой фазой, является частично структурированным и характеризуется кластеризованной структурой.

В слое жидкости $0 < x < x_{cr}$ локальное значение диэлектрической проницаемости $\epsilon_l(x)$ монотонно возрастает в связи с уменьшением напряженности внутреннего электрического поля и превалированием теплового движения молекул жидкости. При удалении от поверхности твердой фазы на расстояния, превышающие x_{cr} , величина $\epsilon_l(x)$ стремится к своему объемному значению. Полагаем, что диэлектрическая проницаемость в точке $x = x_{cr}$ отличается от своего объемного значения не более чем на 5%. Для оценки величины x_{cr} в работе предложен критерий, определяющий границы структурированного слоя жидкости и соответствующий выполнению условия $(\mu_0^2 - \mu^2)/\mu_0^2 = 0.05$. Соответственно в области пространства $x > x_{cr}$ молекулярная организация близка к структуре свободной жидкости, а влиянием внутреннего электрического поля на поляризуемость молекул этой жидкости можно пренебречь. Это обстоятельство указывает на то, что напряженность внутреннего поля E мала по сравнению с величиной E_s , а параметр $f = E/E_s$ в соотношении (7) много меньше единицы. Данное обстоятельство позволяет разложить функцию $R(f)$, представленную выражением (8), в ряд Маклорена по переменной f и получить первые два ненулевых члена

$$R(f) = 1 - 0.2f^2 + \dots \quad (9)$$

Из приведенного выше условия $(\mu_0^2 - \mu^2)/\mu_0^2 = 0.05$ следует, что фактор вырождения равен $R(f) = 0.95$, а соответствующий параметр $f = 0.5$. В результате сопоставления закона распределения внутреннего электрического поля в пространстве (4) и полученного соотношения $f(x_{cr}) = 0.5$

$$f(x_{cr}) = \frac{\mu_0 E(x_{cr})}{kT} = \frac{\mu_0 E_0}{kT} \exp\left(-\frac{x_{cr}}{h_0}\right) = 0.5 \quad (10)$$

вычислено расстояние, на которое распространяется возмущение структуры жидкости под действием этого поля

$$x_{cr} = h_0 \ln\left(2 \frac{\mu_0 E_0}{kT}\right) = h_0 \ln(2f_0), \quad (11)$$

где введен следующий безразмерный параметр:

$$f_0 = \frac{\mu_0 E_0}{kT}. \quad (12)$$

Анализируя выражение (11) и (12), можно заключить, что толщина x_{cr} слоя жидкой матрицы со структурой,

измененной под действием внутреннего электрического поля, зависит как от напряженности этого поля E_0 , так и от собственного дипольного момента молекул жидкой фазы μ_0 . Варьирование указанных параметров E_0 и μ_0 позволяет управлять процессами структурообразования в полярной жидкой матрице изучаемой системы.

Таким образом, в результате теоретического анализа процессов межфазного взаимодействия в рассматриваемых гетерогенных системах в работе впервые предложен параметр f_0 , позволяющий оценить эффективность электрического взаимодействия твердой и жидкой фаз и установить зависимость толщины структурированного слоя жидкой фазы x_{cr} от электрической активности компонентов этих схем. Данный коэффициент f_0 является по существу универсальным параметром, применимым для количественного описания процессов кластерообразования в электрически активных конденсированных системах.

Для изучения закономерности изменения структуры полярной жидкой фазы под действием внутреннего электрического поля в настоящей работе с использованием выражений (5)–(8) произведен теоретический расчет распределения локальной диэлектрической проницаемости $\epsilon_l(x)$ в объеме тонких пленок различных полярных жидкостей. Результаты расчетов для различных произвольных значений собственных дипольных моментов молекул μ_0 представлены на рис. 1.

Анализ рис. 1 позволяет выделить в жидкости протяженный слой, расположенный в интервале $0 < x < x_{cr}$, в пределах которого локальное значение диэлектрической проницаемости $\epsilon_l(x)$ значительно отличается от своего объемного значения в связи с изменением структуры жидкой компоненты в указанном интервале под дей-

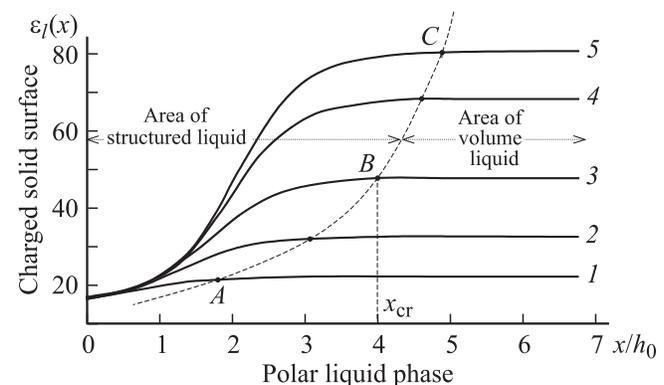


Рис. 1. Распределение локальной диэлектрической проницаемости $\epsilon_l(x)$ по толщине тонких слоев полярных жидкостей, находящихся на заряженной твердой поверхности (напряженность внутреннего поля $E_0 = 1.8 \cdot 10^{10}$ В/м постоянна). Графики 1–5 соответствуют возрастающим собственным дипольным моментам μ_0 молекул этих жидкостей (в единицах дипольного момента молекул воды μ_0^w): 1 — 0.3, 2 — 0.5, 3 — 0.7, 4 — 0.9, 5 — 1.0. x — расстояние от подложки до заданной точки жидкости; дебаевский радиус экранирования h_0 фиксирован; температура комнатная.

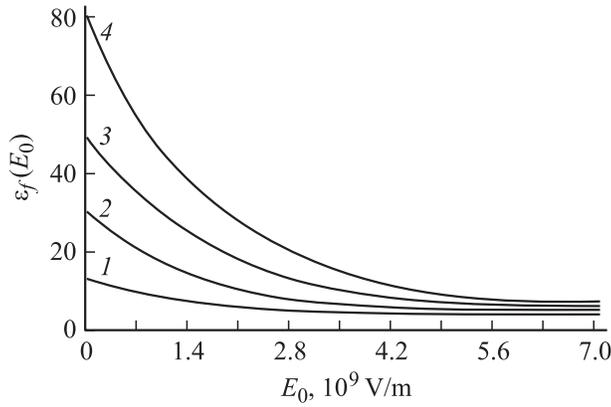


Рис. 2. Зависимость диэлектрической проницаемости ϵ_f жидкой компоненты с различными собственными дипольными моментами молекул μ_0 от величины максимальной напряженности внутреннего электрического поля E_0 в электрически активных гетерогенных системах. $\mu_0, \text{Дб}$: 1 — 0.6, 2 — 1.0, 3 — 1.4, 4 — 1.8. Концентрация жидкой компоненты фиксирована.

ствием внутреннего электрического поля. Штриховая кривая *ABC* (рис. 1) разделяет области структурированной и объемной жидкости. Анализ графиков 1–5, представленных на рис. 1, свидетельствует о том, что толщина слоя жидкости с измененной структурой x_{cr} возрастает при увеличении собственного дипольного момента молекул этой жидкости μ_0 .

На рис. 2 представлена зависимость диэлектрической проницаемости $\epsilon_f(E_0)$, усредненной по всему объему жидкой фазы электрически активных конденсированных систем, от напряженности внутреннего электрического поля E_0 вблизи поверхности твердой фазы.

Серия графиков 1–4 демонстрирует монотонное уменьшение макроструктурного параметра полярной жидкой компоненты ϵ_f при увеличении электрической активности твердой компоненты E_0 , что обусловлено возрастанием доли структурированной части жидкой среды, характеризующейся меньшим значением локальной диэлектрической проницаемости, чем объемная часть жидкой полярной матрицы. При достаточно высоких значениях напряженности внутреннего электрического поля (более $5.6 \cdot 10^9 \text{ V/m}$ согласно рис. 2) вся жидкость в системе является структурированной и характеризуется постоянной диэлектрической проницаемостью. Для электрически нейтральных систем (внутреннее поле отсутствует, $E_0 = 0$) величина ϵ_f определяется из уравнения Кирквуда (5) и зависит от собственного дипольного момента молекул жидкой фазы.

Локальное изменение структуры полярной жидкой компоненты под действием внутреннего собственного поля электрически активной системы приводит к анизотропии физических свойств жидкой фазы. В связи с этим в данном случае можно считать, что приповерхностные слои жидкости являются дефектами, расположенными в структуре однородной жидкой матрицы, как и части-

цы твердой фазы. Поскольку закон пространственной дисперсии макропараметра жидкости $\epsilon_l(x)$ известен и определяется выражением (6), для расчета диэлектрической проницаемости изучаемой системы в целом можно использовать метод компактных групп.

Здесь и далее будем полагать, что однородные включения, представленные твердыми электрически активными частицами, характеризуются концентрацией c_e и диэлектрической проницаемостью ϵ_e . Соответственно нейтральные включения имеют диэлектрическую проницаемость ϵ_n и концентрацию c_n . Таким образом, во введенной теоретической модели изучаемой электрически активной дисперсной системы заданы концентрации основных структурообразующих элементов, а также распределение диэлектрической проницаемости $\epsilon_i(\mathbf{r})$ ($i = 1, 2, 3$) по пространственным областям, занимаемым этими элементами. В работе [2] было показано, что в этом случае выражение (2) преобразуется к следующему виду:

$$\frac{\epsilon - \epsilon_m}{\epsilon + 2\epsilon_m} = \sum_{i=1}^3 c_i \int_{\Omega_i} \frac{\epsilon_i(\mathbf{r}) - \epsilon_m}{\epsilon_i(\mathbf{r}) + 2\epsilon_m} d\mathbf{r}, \quad (13)$$

где суммирование производится по различным видам включений.

В связи с тем, что, согласно используемой нами модели, частицы твердой фазы являются однородными включениями, а жидкая матрица содержит локальные микрообласти с измененной структурой, выражение (13) для диэлектрической проницаемости исследуемой гетерогенной системы записывается в виде

$$\begin{aligned} \frac{\epsilon - \epsilon_m}{\epsilon + 2\epsilon_m} = c_e \frac{\epsilon_e - \epsilon_m}{\epsilon_e + 2\epsilon_m} + nS_0 \int_0^{x_{cr}} \frac{\epsilon_l(x) - \epsilon_m}{\epsilon_l(x) + 2\epsilon_m} dx \\ + c_n \frac{\epsilon_n - \epsilon_m}{\epsilon_n + 2\epsilon_m}, \end{aligned} \quad (14)$$

где n — число частиц с заряженной поверхностью в единице объема системы, S_0 — площадь поверхности частицы, $nS_0 dx$ — объемная доля тонких слоев жидкости толщиной dx , находящихся на расстоянии x от поверхности рассматриваемых частиц.

Коэффициент перед вторым слагаемым в правой части уравнения (14) связан с концентрацией c_e и величиной удельной поверхности s электрически активных частиц: $nS_0 = c_e s$. Для учета геометрии и формы частиц в выражении (14) необходимо произвести усреднение по данным величинам, используя функцию распределения площади поверхности и объема этих частиц $f(S_0, V)$. Для этого произведем следующую замену:

$$nS_0 \rightarrow \langle nS_0 \rangle = \iint nS_0 f(S_0, V) dS_0 dV = c_e \langle s \rangle, \quad (15)$$

где $\langle s \rangle$ — величина удельной поверхности, усредненная по электрически активным частицам различной формы и размера.

С учетом соотношения (15) уравнение (14) принимает окончательный вид

$$\frac{\varepsilon - \varepsilon_m}{\varepsilon + 2\varepsilon_m} = c_e \frac{\varepsilon_e - \varepsilon_m}{\varepsilon_e + 2\varepsilon_m} + c_e \langle s \rangle \int_0^{x_{cr}} \frac{\varepsilon_l(x) - \varepsilon_m}{\varepsilon_l(x) + 2\varepsilon_m} dx + c_n \frac{\varepsilon_n - \varepsilon_m}{\varepsilon_n + 2\varepsilon_m}. \quad (16)$$

Таким образом, в рамках предложенной расчетно-теоретической модели получено выражение для макропараметра ε электрически активных гетерогенных систем.

Из выражения (16) следует, что наличие в системе полярной жидкой компоненты, контактирующей с электрически активными твердыми ультрадисперсными включениями, приводит к изменению диэлектрической проницаемости данной системы в связи с образованием локальных микрообластей жидкой фазы с искаженной структурой. Первое и третье слагаемые в правой части уравнения (16) представляют собой вклады объемной части заряженных частиц и электрически нейтральных включений в диэлектрический отклик исследуемой матричной системы. Обращает на себя внимание, что эти слагаемые описываются известным соотношением Винера–Вагнера (1) и не зависят от дисперсности частиц, внедряемых в жидкую матрицу. В то же время второе слагаемое в правой части выражения (16) отражает влияние межфазного электрического взаимодействия твердой и жидкой компонент сложных гетерогенных систем на их электрофизические свойства

$$K_i = c_e \langle s \rangle \int_0^{x_{cr}} \frac{\varepsilon_l(x, f_0) - \varepsilon_m}{\varepsilon_l(x, f_0) + 2\varepsilon_m} dx, \quad (17)$$

где дисперсия диэлектрической проницаемости жидкости $\varepsilon_l(x, f_0)$ определяется в соответствии с выражением (6).

Появление слагаемого K_i в уравнении (16) обусловлено наличием электрической активности полярной жидкой матрицы и твердых дисперсных включений с заряженной поверхностью. Поскольку внутреннее электрическое поле значительно влияет на степень структурированной жидкой компоненты в исследуемой матричной системе, значимость вклада, характеризующего величину K_i , непосредственно зависит от электрической активности системы, которая в настоящей работе характеризуется безразмерным параметром $f_0 = \mu_0 E_0 / kT$. Величина K_i как функция параметра электрической активности f_0 стремится к нулю при предельном переходе $f_0 \rightarrow 0$. Это обстоятельство свидетельствует о том, что при отсутствии заряженных дефектов на поверхности внедряемых в матрицу частиц или в случае неполярной жидкой матрицы эффекты, обусловленные наличием локальных микрообластей жидкости с измененной структурой, полностью нивелируются.

Особо отметим, что благодаря наличию второго слагаемого в правой части выражения (16) диэлектрическая проницаемость изучаемой дисперсной системы ε зависит не только от электрической активности ее компонентов, но и от величины удельной поверхности $\langle s \rangle$ межфазных границ контакта полярной жидкости и твердых частиц, содержащих заряженные дефекты.

Особый интерес представляют вопросы, связанные с изучением степени возмущения структуры полярной жидкой матрицы при внедрении в нее ультрадисперсных частиц с развитой заряженной поверхностью. С учетом выражения (11) для толщины слоя жидкой фазы со структурой, измененной под действием внутреннего электрического поля, в работе получена расчетная формула, позволяющая оценить объемную долю структурированной части жидкости c_f при наличии электрического взаимодействия компонентов исследуемой системы

$$c_f = nSx_{cr} = c_e \langle s \rangle h_0 \ln(2f_0) = c_e \langle s \rangle h_0 \ln\left(2 \frac{\mu_0 E_0}{kT}\right). \quad (18)$$

В результате анализа выражения (18) можно выявить возможные способы регулирования процессов структурообразования в полярной жидкой фазе: изменение величины удельной поверхности $\langle s \rangle$ электрически активной твердой компоненты и, как следствие, максимальной напряженности внутреннего электрического поля E_0 , а также варьирование собственного дипольного момента молекул жидкости μ_0 . Впервые полученные в работе общие соотношения (17) и (18) позволяют также заключить, что в случае электрически нейтральных компонентов диэлектрический отклик гетерогенной системы описывается уравнением Винера–Вагнера (1) и не зависит от величины удельной поверхности частиц, входящих в состав этой системы.

3. Заключение

Дана теоретическая оценка основополагающим факторам, позволяющим выяснить природу электроконтактного взаимодействия в сложных гетерогенных системах на межфазных границах электрически активной ультрадисперсной твердой фазы и полярной жидкости. Такое взаимодействие приводит к возникновению внутреннего электрического поля и, как следствие, к образованию в локальных микрообластях полярной жидкости новой структуры, для которой характерна значительная дисперсия диэлектрической проницаемости по сравнению с объемной частью жидкой полярной матрицы. Предложена теоретическая модель, в рамках которой получено выражение (17), позволяющее ввести поправку в величину диэлектрической поляризации сложных гетерогенных электрически активных матричных систем при наличии электроконтактного взаимодействия на межфазной границе раздела твердой компоненты с развитой электрически активной удельной поверхностью и полярной жидкой матрицы.

Для оценки вклада межфазного взаимодействия в электрофизические свойства электрически активных конденсированных систем впервые введен параметр $f_0 = \mu_0 E_0 / kT$ и определена доля структурированной части полярной жидкой матрицы $c_f = c_e \langle s \rangle h_0 \ln(2f_0)$. Параметры f_0 и c_f позволяют установить степень кластеризованности полярной жидкости под действием внутреннего электрического поля и определить толщину приповерхностного слоя жидкой матрицы с измененной структурой.

Варьирование концентрации и величины удельной поверхности ультрадисперсных частиц электрически активной твердой фазы, а также дипольного момента молекул полярной жидкости открывает возможность управления градиентами потенциала внутреннего электрического поля поляризованного состояния системы и регулирования процессов структурообразования в жидкости.

Список литературы

- [1] М.Я. Сушко. ЖЭТФ **132**, 478 (2007).
- [2] М.Я. Сушко, С.К. Криськив. ЖТФ **79**, 3, 97 (2009).
- [3] А.В. Турик, Г.С. Радченко, А.И. Чернобабов, С.А. Турик. Письма в ЖЭТФ **79**, 512 (2004).
- [4] A. Sihvola. Electromagnetic mixing formulas and applications. IEE Electromagnetic Wave Sec. IEE, London (1999). V. 47. 284 p.
- [5] P. Mallet, C.A. Guérin, A. Sentenac. Phys. Rev. B **72**, 014 205 (2005).
- [6] В.С. Борисов, Л.А. Щербаченко. ФТТ **51**, 2394 (2009).
- [7] Г.И. Сканава. Физика диэлектриков (область слабых полей). ГТТЛ, М. (1949). 500 с.
- [8] Г.П. Михайлов, Л.Л. Бурштейн. УФН **74**, 5, 3 (1961).
- [9] В.С. Борисов, В.А. Карнаков, Я.В. Ежова, О.Б. Рубцова, Л.А. Щербаченко. ФТТ **50**, 980 (2008).
- [10] В.А. Карнаков, Я.В. Ежова, С.Д. Марчук, В.И. Донской, Л.А. Щербаченко. ФТТ **48**, 1946 (2006).
- [11] В.А. Карнаков, В.С. Борисов, Я.В. Ежова, С.Д. Марчук, А.Л. Харлан, Л.А. Щербаченко. Изв. вузов. Физика **51**, 57 (2008).