

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА И ДИНАМИКИ РАССЛОЕНИЯ ЭМУЛЬСИИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Г.Т. Закирьянова, Л.А. Ковалева, Н.М. Насыров

**Численно исследуется влияние высокочастотного (ВЧ) и низкочастотного (НЧ) электрических полей и их совместное воздействие на процессы тепломассопереноса и расслоения эмульсии на нефть и воду. При моделировании учитываются пондеромоторные силы, действующие на среду со стороны электромагнитного (ЭМ) поля, и перекрёстные эффекты тепломассопереноса, возникающие при неизотермическом течении жидкости. Проведено сопоставление результатов расчетов с известными экспериментальными данными.**

*Ключевые слова: электрическое поле, тепломассоперенос, расслоение эмульсии.*

## Введение

Проблема разрушения водонефтяных эмульсий обусловлена необходимостью обезвоживания и обессоливания нефти, ликвидации нефтешламовых амбаров и утилизации их продукции. Первая задача связана с прогрессирующим ростом числа обводненных месторождений: на многих крупнейших месторождениях России доля воды в продукции составляет 90 %, а в целом по России превышает 83,5 % [1]. Вторая задача - экологическая - вызвана огромным количеством загрязненных водно-почвенных сред на территории объектов нефтегазодобывающего комплекса и их транспортировки. Для разрушения высокоустойчивых эмульсий широко используется способ разделения эмульсии на нефть и воду внешним электрическим полем промышленной частоты. Однако при повышении напряженности электрического поля больше некоторого критического значения возникает побочный процесс, ведущий к электрическому диспергированию капель на более мелкие капли. Явление электрического диспергирования весьма нежелательно, так как при этом затрудняется слияние капель и эмульсия становится еще более устойчивой. При повышенном содержании воды в эмульсии может произойти электрический пробой. Поэтому в промышленные электродегидраторы для обезвоживания принимается эмульсия с содержанием воды не более 30 %.

Для ВЧ электрического поля критической напряженности практически не существует [2]. В ВЧ поле может обрабатываться эмульсия с содержанием воды до 80-90 %. Кроме того, в высоком диапазоне частот эмульсия поглощает ЭМ энергию, в среде появляются распределенные источники тепла. Под действием неоднородного электрического поля происходит движение капель в сторону увеличения напряженности электрического поля (пондеромоторные силы) [3], а под действием неоднородного температурного поля происходит движение капель в сторону меньшей температуры (перекрестные явления - термо- и электротермодиффузия) [4]. Всё это приводит к столкновению, слиянию и укрупнению капель, в результате чего капли воды, как более тяжелые чем нефть, под действием гравитации опускаются вниз, происходит расслоение эмульсии на нефть и воду.

ВЧ способ разрушения стойких нефтяных эмульсий успешно опробован в лабораторных и промысловых условиях [5, 6]. Для этого были созданы два макетных образца электродегидратора трубного типа. Для питания электродегидратора использовался ламповый генератор ЛД-2-60М с водяным охлаждением и рабочей частотой 13,56 МГц. В результате установлено:

- применение ВЧ электрического поля обеспечивает эффективное разрушение стойких эмульсий с объёмным содержанием воды 20-50 % и массовым содержанием механических примесей 0,3-10 %. Остаточное объёмное содержание воды при этом на выходе составило 8-10 %, а из отстойника, установленного после электродегидратора, - 1,5-4 %;

- использование электродегидратора позволило снизить расход деэмульгатора и температуру термохимического обезвоживания нефти.

Разработанная установка для разрушения водонефтяной эмульсии воздействием ВЧ электрического поля защищена авторским свидетельством [7].

Для понимания механизма разложения водонефтяных эмульсий, обоснования режимов его проведения, прогнозирования результатов в зависимости от свойств среды и параметров внешнего воздействия в предлагаемой работе сформулирована математическая модель в диффузионном приближении к рассматриваемому процессу. Численно решается одномерная задача в радиальной системе координат в вертикальном цилиндрическом конденсаторе при одновременном действии ВЧ и НЧ электрических полей. Пондеромоторные силы в этом случае включают две составляющие, обусловленные избирательным действием ВЧ и НЧ электрических полей. Для сравнения исследуется динамика отстоя эмульсии и в этих двух вариантах воздействия.

**1. Постановка задачи и основные уравнения при совместном воздействии ВЧ и НЧ полей.** При формулировке математической модели предполагается, что ось координат совпадает с осью цилиндрического конденсатора. На капли воды, движущиеся в покоящейся жидкости со скоростью  $\vec{v}$ , действует сила сопротивления Стокса [3]:

$$\vec{F} = 6\pi\eta_f r_0 \vec{v},$$

где  $r_0$  - радиус капли;  $\eta_f$  - вязкость дисперсионной среды (нефти).

Система уравнений, описывающая движение глобул воды в эмульсии под действием сил ЭМ происхождения, нагрев эмульсии под действием поля распределенных источников тепла, а также пространственно-концентрационное распределение диспергированной фазы, имеет вид:

$$\rho_v \frac{\partial v}{\partial t} + \rho_v v \frac{dv}{dr} = -\frac{3kcv}{4\pi r_0^3} + \frac{c}{2} \frac{\partial(\varepsilon_{cRF} E_{RF}^2)}{\partial r} + \frac{c}{2} \frac{\partial(\varepsilon_{cLF} E_{LF}^2)}{\partial r}, \quad (1)$$

$$\varepsilon_{cRF} = \frac{\partial(\varepsilon_0 \varepsilon'_{sRF})}{\partial c}, \quad \varepsilon'_{sRF} = \varepsilon_{vRF}{}^{ic} \cdot \varepsilon_{fRF}{}^{(1-c)},$$

$$\varepsilon_{cLF} = \frac{\partial(\varepsilon_0 \varepsilon'_{sLF})}{\partial c}, \quad \varepsilon'_{sLF} = \varepsilon_{vLF}{}^{ic} \cdot \varepsilon_{fLF}{}^{(1-c)},$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{D}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial c}{\partial r} \right) - v \frac{\partial c}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r (\alpha_T + \alpha_T^e) D \frac{\partial T}{\partial r} \right), \quad (2)$$

$$\rho_s c_s \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \lambda_s \frac{\partial T}{\partial r} \right) + q, \quad (3)$$

$$q = \frac{\omega \varepsilon_0 \varepsilon'_{sRF} \operatorname{tg} \delta_{sRF}}{2} |\dot{E}_{RF}|^2, \quad E = \frac{U}{r} \ln \frac{r_2}{r_1},$$

$$\rho_v = \rho_v^0 c, \quad \rho_v^0 = \text{const}, \quad \rho_f = \rho_f^0 (1-c), \quad \rho_f^0 = \text{const},$$

$$\rho_s = \rho_f + \rho_v, \quad c_s = c_f (1-c) + c \cdot c_v, \quad \lambda_s = \lambda_f (1-c) + c \lambda_v,$$

$$\eta_f = \eta_0 \exp(-\gamma \Delta T).$$

Здесь  $v, f, s, RF, LF$  - индексы, относящиеся к воде, нефти, их смеси, ВЧ и НЧ воздействию на эмульсию;  $\Delta T = T - T_0$ ;  $T$  - температура эмульсии;  $T_0$  - первоначальная температура эмульсии;  $q$  - плотность распределённых источников тепла;  $\rho_f^0$  и  $\rho_v^0$  - истинные плотности несущей и диспергированной фаз;  $\alpha_t, \alpha_t^e$  - параметры термодиффузии и электротермодиффузии;  $E$  - напряженность электрического поля;  $\varepsilon_0$  - электрическая постоянная;  $\varepsilon'_s, \operatorname{tg} \delta_s$  - относительная диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь смеси нефти и воды;  $U$  - разность потенциалов между обкладками конденсатора;  $r_1, r_2$  - радиусы внутреннего и внешнего обкладок конденсатора;  $\eta_0$  - первоначальная вязкость нефти;  $\gamma$  - коэффициент, учитывающий зависимость вязкости нефти от температуры;  $\rho_s, c_s, \lambda_s$  - плотность, удельная теплоемкость и теплопроводность смеси нефти и воды;  $c$  - объемная концентрация глобул воды;  $D$  - коэффициент диффузионного перемешивания.

Расчет диэлектрической проницаемости смеси нефти и воды в зависимости от их объемного соотношения производился по формуле Лихтенеккера:

$$\varepsilon'_s = \varepsilon_v{}^{ic} \cdot \varepsilon_f{}^{(1-c)}.$$

Для расчетных исследований принято, что обкладки конденсатора теплоизолированы и непроницаемы для капелек воды, гидрофобны, поэтому концентрация частиц на них принята равной нулю:

$$v(r,0) = 0, \quad v(r_2,t) = 0; \quad (4)$$

$$c(r,0) = c_0, \quad c(r_1,t) = 0, \quad c(r_2,t) = 0, \quad (5)$$

$$T(r,0) = T_0, \quad \frac{\partial T(r_1,t)}{\partial r} = 0, \quad \frac{\partial T(r_2,t)}{\partial r} = 0, \quad (6)$$

где  $c_0$  - исходная объемная концентрация капель воды в эмульсии.

**2. Экспериментальные исследования.** Данные по воздействию ВЧ электрического поля, НЧ электрического поля промышленной частоты и их совместного действия на эмульсию приведены в [8]. В этой работе модель вертикального цилиндрического электродегидратора представляла собой коаксиальную систему двух латунных труб диаметрами 40 и 12 мм. В качестве источника ВЧ напряжения использовали генератор ВЧД 2,5/13-СД-Л01 с выходной мощностью около 1 кВт и частотой генерации 13,56 МГц. Искусственную водонефтяную эмульсию готовили циркуляцией в шестеренчатом насосе (2000 об/мин) из нефти Ромашкинского месторождения. Время обработки эмульсии полем составляло 30 с. Для сравнения эффективности действия НЧ и ВЧ полей на степень разрушения эмульсий напряжение питания в обоих случаях было одинаковым - около 1,3 кВ. Обработывали эмульсии полем при комнатной температуре. Затем в стеклянных отстойниках исследовали кинетику расслоения эмульсий с 5-, 10-, 15-, 20 %-ным содержанием воды при 50 °С (до такой же температуры нагревалась эмульсия при ВЧ воздействии).

**3. Решение задачи и анализ результатов.** Система уравнений (1)-(3) с краевыми условиями (4)-(6) решалась методом конечных разностей по неявной схеме.

Принятые для расчётов параметры среды:  $\rho_f^0 = 848 \text{ кг/м}^3$ ;  $\rho_v^0 = 1000 \text{ кг/м}^3$ ;  $c_f = 1885 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ ;  $c_v = 4190 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ ;  $\lambda_f = 0,125 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ ;  $\lambda_v = 0,582 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ ;  $T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\eta_0 = 0,01561 \text{ Па}\cdot\text{с}$ ;  $\gamma = 0,02902 \text{ К}^{-1}$ ;  $\varepsilon'_v = 81$ ;  $\text{tg } \delta_v = 0,0025$ ;  $\varepsilon'_{jRF} = 2,5$ ;  $\text{tg } \delta_f = 0,1$ ;  $c_0 = 0,2$ ;  $\varepsilon'_{jPF} = 2,9$ . В расчетах использованы значения термодиффузионных коэффициентов, полученные в работе [9] путем сравнения экспериментального и математического моделирования:  $\alpha_T = 0,0025 \text{ К}^{-1}$ ;  $\alpha_T^e = 0,115 \text{ К}^{-1}$ . Коэффициент диффузионного перемешивания определен путём сравнения расчетных и опубликованных в [8] экспериментальных данных:  $D = 4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ . Ориентирами при сравнении служили температура эмульсии в результате ВЧ воздействия и количественные характеристики кинетики ее расслоения.

При моделировании избирательного ВЧ и НЧ воздействий на эмульсию учитывается, что на капли воды действует только соответствующая составляющая пондеромоторной силы. Таким образом, в первом случае в уравнении движения (1) отсутствует третье слагаемое в правой части, во втором - исключается второе слагаемое и не решается уравнение теплопроводности.

Результаты численных расчетов показывают, что характер распределения температуры имеет вид спадающей экспоненты от внутренней обкладки конденсатора к внешней, а пространственное распределение скоростей движения глобул воды существенно различается по величине и направлению. В малой области (до 8 мм) вблизи внутренней обкладки конденсатора скорости положительны и достаточно велики по сравнению со скоростями во всей остальной части (от 8 до 20 мм) конденсатора, где они имеют отрицательные значения. Причем при совместном воздействии на эмульсию ВЧ и НЧ полей значения скоростей заметно больше, чем в случае избирательного действия на эмульсию ВЧ поля (рис. 1). При избирательном действии НЧ поля значения скоростей на 1-2 порядка меньше. В результате при всех вариантах воздействия движение глобул воды направлено от обкладок конденсатора в его центральную область. Поэтому концентрация воды со временем увеличивается и достигает некоторого максимального значения: при ВЧ и совместном воздействии ближе к внутренней обкладке конденсатора, а при НЧ воздействии - в центральной его части (рис. 2).

Полученные распределения скоростей и концентрации капель воды объясняются противодействием различных действующих на эмульсию сил: пондеромоторных, электротермодиффузии и Стокса. Пондеромоторные состоят из двух слагаемых:

$$F_1 = \frac{c\varepsilon_c}{2} \frac{\partial(E^2)}{\partial r} \quad \text{и} \quad F_2 = \frac{cE^2}{2} \frac{\partial(\varepsilon_c)}{\partial r}.$$

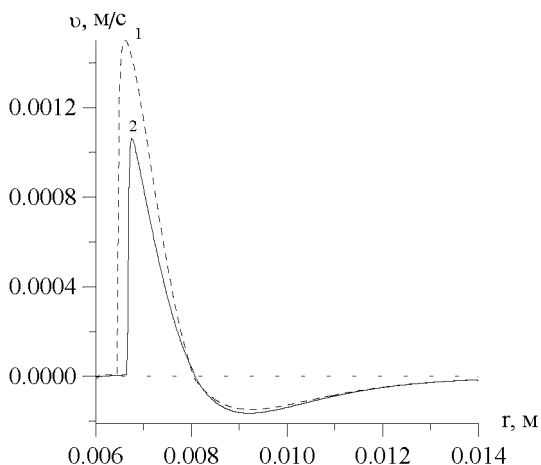


Рис. 1. Распределение скорости движения глобул воды в момент времени  $t = 30$  с:  
1 – совместное ВЧ и НЧ воздействие; 2 – Воздействие избирательно ВЧ поля на эмульсию

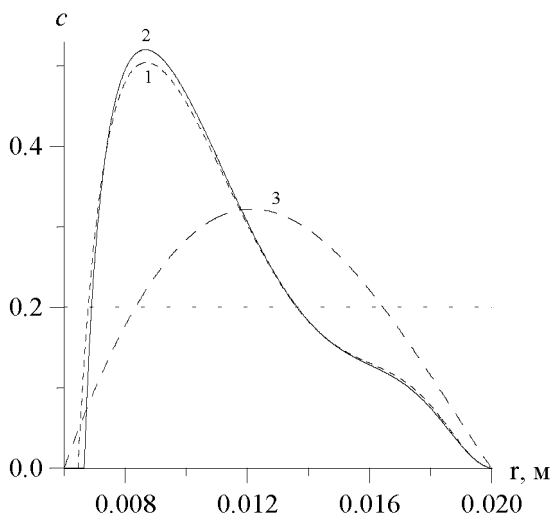


Рис. 2. Распределение концентрации глобул воды в момент времени  $t = 30$  с:  
1 – совместное ВЧ и НЧ воздействие; 2, 3 – избирательное действие ВЧ и НЧ полей

Первое слагаемое возникает в любой дисперсионной системе в сильно неоднородном электрическом поле [10]. Кроме того, имеет место относительное перемещение фаз эмульсии благодаря различной диэлектрической проницаемости дисперсной фазы и дисперсионной среды. Эта сила двигает капли в сторону увеличения напряжённости поля, в рассматриваемом случае - к внутренней обкладке конденсатора. Это явление называется диэлектрофорезом. Второе слагаемое проявляется всюду, где диэлектрическая проницаемость среды меняется от точки к точке. Пример полученного в результате расчётов пространственного распределения этих сил в фиксированный момент времени при ВЧ воздействии на эмульсию приведён на рис. 3. Как видно из рисунка, первое слагаемое всюду отрицательно, а второе может быть как положительным, так и отрицательным и больше по абсолютной величине. Результирующая этих двух сил, а также накладываемая на них неоднородность теплового поля, вызывающая электротермодиффузионный перенос частиц, и определяет характер распределения скоростей и концентраций, приведенных на рис. 1 и 2. При избирательном же действии НЧ поля нагрева среды не происходит, поэтому распределение концентраций имеет более равномерный характер.

**4. Расчёт динамики отстоя эмульсии и сравнение с экспериментом.** Для проведения оценочных расчетов эффективности расслоения эмульсии необходимо учитывать, что реальные эмульсии являются полидисперсными системами, в которых большие капли опускаются быстрее и попутно захватывают маленькие благодаря наличию диполь-дипольного взаимодействия [10]. При наложении на эмульсию внешнего электрического поля вводится константа коагуляции, характеризующая процесс укрупнения частиц:

$$K(V, w) = (v_V - v_w) E \sqrt{\frac{g_1 \varepsilon_0 \varepsilon'_s 18 \lambda V_g}{1 - g_1 \rho_p g}}, \quad \text{м}^3/\text{с},$$

где  $V_g$  - объём большой капли;  $v_V, v_w$  - скорость оседания большой и маленькой капель соответственно, определяемая по формуле Стокса:

$$v_{V,w}(r, t) = \sqrt[3]{\frac{4\pi}{3}} \frac{g \rho_p}{6\pi \eta_n(r, t)} V_{g,l}^{2/3}, \quad (7)$$

где  $\rho_p$  – разность плотностей воды и нефти;  $g_l = (d/D)^2$ ;  $D, d$  – диаметры большой и маленькой капле;  $g$  – ускорение свободного падения;  $V_{g,l}$  – объём капле; индекс  $l$  относится к маленькой капле;  $\lambda$  – коэффициент, компенсирующий завышенное значение силы диполь-дипольного взаимодействия ( $\lambda < 1$ ). Параметр  $\lambda$  и соотношение  $d/D$  подбирались из условия максимальной близости экспериментальных и расчетных кривых кинетики отстоя эмульсии. Наилучшее совпадение результатов соответствует следующим значениям:  $d/D = 0,26$ ;  $\lambda = 0,999$  – при совместном воздействии ВЧ и НЧ электрических полей;  $\lambda = 0,9$  – при воздействии ВЧ поля;  $\lambda = 0,006$  – при воздействии НЧ поля.

Вследствие слияния капле воды число их в эмульсии уменьшается. Время, в течение которого число капле уменьшается в 2 раза, называется

$$\text{временем коагуляции: } t_k(r, t) = \frac{2}{K(V, w)N(r, t)},$$

где  $N(r, t)$  – число капле в единице объёма. Число капле в единице объёма конденсатора в предположении, что эмульсия состоит преимущественно из больших капле, так как при рассматриваемых полях диспергирование незначительно, можно определить по формуле  $N(r, t) = c(r, t)/V_g$ , где  $c(r, t)$  – объёмная концентрация капле воды в эмульсии. Далее, определив число периодов  $n(r, t) = \log_2 N(r, t)$ , за время которых число капле уменьшается вдвое, можно вычислить время, за которое число капле в эмульсии уменьшится до нуля:

$$t_{sed}(r, t) = t_k(r, t) n(r, t).$$

Для расчёта динамики расслоения эмульсии вычисляются интегральные значения количества капле воды в эмульсии в начальный  $N_0$  и текущий  $N_k$  моменты времени. Результаты подставляются в выражение  $V(t) = (1 - N_k/N_0) \cdot 100\%$ .

Временная зависимость  $V(t)$  определяет динамику расслоения эмульсии.

Необходимые для расчетов зависимости  $c(r, t)$  и  $\eta_n(r, t)$  в (7) находятся из численного решения задачи (1–6). На рис. 4 и 5 приведены кривые пространственного распределения концентра-

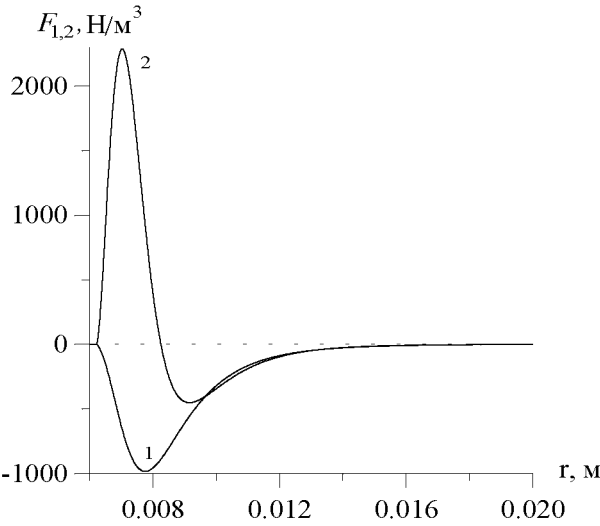


Рис. 3. Распределение 1- (кривая 1) и 2-го (кривая 2) слагаемых ponderomotive силы при ВЧ воздействии на эмульсию в момент времени  $t = 10$  с

Результаты подставляются в выражение  $V(t) = (1 - N_k/N_0) \cdot 100\%$ . Временная зависимость  $V(t)$  определяет динамику расслоения эмульсии.

Необходимые для расчетов зависимости  $c(r, t)$  и  $\eta_n(r, t)$  в (7) находятся из численного решения задачи (1–6). На рис. 4 и 5 приведены кривые пространственного распределения концентра-

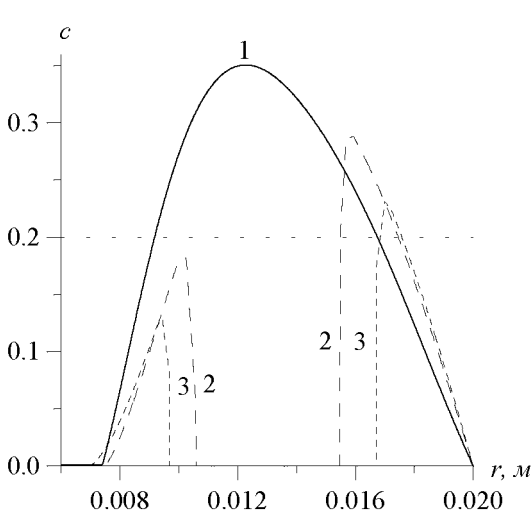


Рис. 4. Распределение концентрации эмульсии, обработанной ВЧ полем: 1 –  $t = 1$  мин; 2 –  $t = 2$  мин; 3 –  $t = 3$  мин

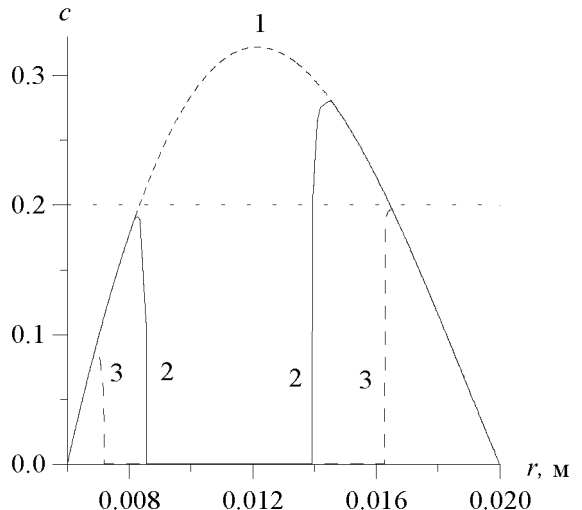


Рис. 5. Распределение концентрации эмульсии, обработанной НЧ полем: 1 –  $t = 5$  мин; 2 –  $t = 10$  мин; 3 –  $t = 20$  мин

ции эмульсии в различные моменты времени после 30-секундного воздействия ВЧ и НЧ полями и начала расслоения.

Как видно из рис. 4 и 5, к моменту интенсивного расслоения максимумы в распределении концентрации воды в обоих случаях расположены в центральной части электродегидратора, однако при ВЧ обработке эмульсии время начала ее расслоения равно приблизительно 1 минуте, а при НЧ воздействии - около 7 минут.

Характер расслоения эмульсии при избирательном действии ВЧ и НЧ полей, а также при их совместном действии иллюстрируется рис. 6, на котором показано время начала расслоения эмульсии в различных точках пространства.

На рис. 7 и 8 приведены расчетные и полученные в [8] экспериментальные кривые динамики расслоения эмульсии при воздействии на неё одновременно ВЧ и НЧ полей, а также их избирательного действия.

Как видно из рисунков, можно говорить о хорошем качественном совпадении результатов расчетов с экспериментальными данными.

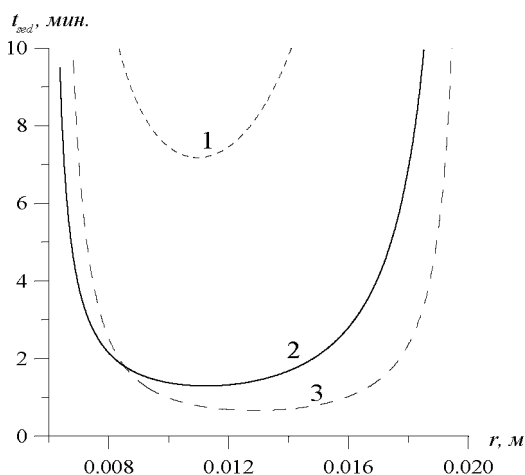


Рис. 6. Распределение времени расслоения эмульсии на нефть и воду:  
1 – обработанной НЧ полем; 2 – обработанной ВЧ полем; 3 – обработанной совместно ВЧ и НЧ полями

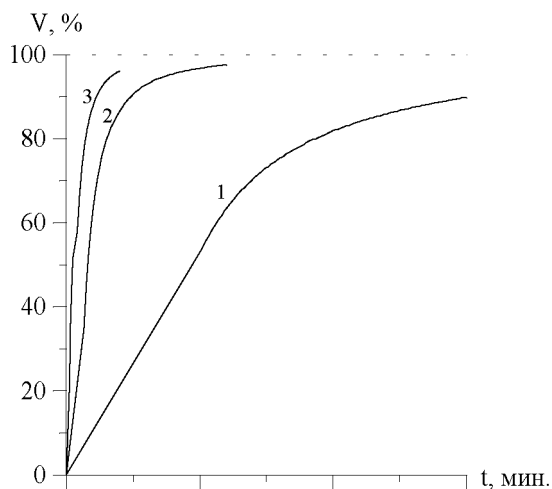


Рис. 7. Расчетная динамика расслоения эмульсии:  
1 – НЧ полем; 2 – ВЧ полем;  
3 – совместно НЧ и ВЧ полями

**Заключение.** Сформулированная математическая модель процесса теплопереноса и динамики расслоения эмульсии при действии ВЧ и НЧ электрических полей позволяет дать количественную оценку распределения концентрации капель в эмульсии, скорости их движения и скорости расслоения эмульсии на нефть и воду, что необходимо при прогнозировании использования данного метода для обезвоживания эмульсии. Рассмотрены случаи расслоения эмульсии при избирательном действии НЧ и ВЧ полей, а также их совместного воздействия. Проведенное сравнение теоретических расчетов с известными экспериментальными исследованиями показало хорошее качественное совпадение расчётных и экспериментальных данных.

Расчеты показали, что при наложении ВЧ поля практически полное разрушение эмульсии после 30-секундного воздействия происходит за 12 минут, при совместном действии ВЧ и НЧ полей - за 4 минуты, при избирательном НЧ воздействии - за 50 минут. Вклад в процесс расслоения эмульсии ВЧ поля связан не только с действием собственно пондеромоторных сил, но и неоднородностью возникающего теплового поля, что делает процесс расслоения наиболее эффективным.

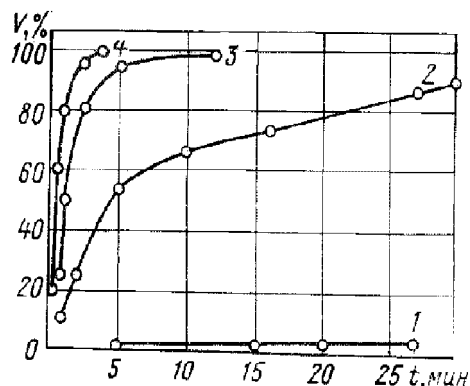


Рис. 8. Экспериментальная динамика расслоения эмульсии: 1 – не обработанная полем; 2, 3, 4 – обработанная НЧ и ВЧ полями соответственно и совместно ВЧ и НЧ полями

### Литература

1. Хавкин, А.Я. Нанотехнологии в добыче нефти и газа / А.Я. Хавкин. - М.: Нефть и газ. ПЦ «НТИС», 2008. - 171с.
2. Саяхов, Ф.Л. Исследование термо- и гидродинамических процессов в многофазных средах в высокочастотном электромагнитном поле применительно к нефтедобыче: дис. ... докт. физ.-мат. наук / Ф.Л. Саяхов. - М., 1984. - 449 с.
3. Гогосов, В.В. Диффузионная и многоскоростная модели двухфазных сред в электрическом поле / В.В. Гогосов, В.А. Налетова, Г.А. Шапошникова // ПММ. - 1980. - Вып. 2. - С. 290 - 300.
4. Нигматулин, Р.И. Перекрестные явления переноса в дисперсных системах, взаимодействующих с высокочастотным электромагнитным полем / Р.И. Нигматулин, Ф.Л. Саяхов, Л.А. Ковалева // Докл. РАН. - 2001. - Т. 377, № 3. - С. 340-343.
5. Хакимов, В.С. Разрушение стойких нефтяных эмульсий на промыслах электромагнитными полями резонансных частот / В.С. Хакимов, Ф.Л. Саяхов, Н.Ш. Имашев // Научно-производственные достижения нефтяной промышленности в новых условиях хозяйствования: науч.-техн. информ. сб. - М.: 1989. - Вып. 6. - С. 12-16.
6. Sayakhov, F.L. Interaction of Highly Stable Water-Oil Emulsion With Radio Frequency Electromagnetic Field / F.L. Sayakhov, N.Sh. Imashev, M.A. Fatykhov // Heavy Crude and Tar Sands - Hydrocarbons For the 21-st Century. 5-th UNITAR International Conference on Heavy Crude and Tar Sands. - 1991. -V. 3. Recovery processes. - P. 507-513.
7. А.с. № 700163 СССР, кл. В 01 D 17/06, С 10 G 33/02. Установка для разрушения водонефтяной эмульсии / Ф.Л. Саяхов, В.С. Хакимов, А.И. Арутюнов и др. опубл. 05.12.1979, Бюл. № 44.
8. Диэлектрические свойства и агрегативная устойчивость водонефтяных эмульсий / Ф.Л. Саяхов, В.С. Хакимов, А.И. Арутюнов и др. // Нефтяное хозяйство. - 1979. - № 1. - С. 36-39.
9. Саяхов, Ф.Л. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на перекрестные эффекты переноса в многокомпонентных системах / Ф.Л. Саяхов, Л.А. Ковалева, Н.М. Насыров, А.Д. Галимбеков // Магнитная гидродинамика. - 1998. - Т. 34, № 2. - С. 148-157.
10. Панченков, Г.М. Поведение эмульсии во внешнем электрическом поле / Г.М. Панченков, Л.К. Цабек. - М.: Химия, 1969. - 190 с.

*Поступила в редакцию 31 марта 2009 г.*

### RESEARCH OF HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES AND DYNAMICS OF EMULSION STRATIFICATION UNDER THE INFLUENCE OF ELECTRIC FIELDS

The influence of the radio-frequency (RF) and low-frequency (LF) electric fields and their joint impact on processes of heat and mass transfer and emulsion stratification on oil and water are numerically investigated. At modeling the effect of ponderomotive forces on the medium from electromagnetic (ЭМ) field and also heat and mass transfer cross effects arising at nonisothermal current of liquid are considered. Comparison of calculation results with known experimental data is carried out.

*Keywords: electric field, heat and mass transfer, emulsion stratification.*

**Zakiryanova Galiya Timergazievna** - senior lecture of Ufa Branch of Russian State Trade and Economy University.

**Закирьянова Галия Тимергазиевна** - старший преподаватель Уфимского института (филиала) Российского государственного торгово-экономического университета.

**Kovaleva Liana Aronovna** - Doctor of Engineering Science, Professor, Head of the Applied Physics department of Bashkir State University, Ufa, Russia.

**Ковалева Лиана Ароновна** - доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой прикладной физики Башкирского государственного университета.

e-mail: [Liana@ic.bashedu.ru](mailto:Liana@ic.bashedu.ru)

**Nasyrov Nur Mutagarovich** - Candidate of Science (Physics and Mathematics), associate professor of the Applied Physics department of Bashkir State University, Ufa, Russia.

**Насыров Нур Мутагарович** - кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной физики Башкирского государственного университета.