

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА И РАЗДЕЛЕНИЯ ЭМУЛЬСИИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Теоретически исследуется влияние высокочастотного и низкочастотного электрических полей и их совместного воздействия на процессы тепломассопереноса и разделения эмульсии на нефть и воду. При моделировании учитываются пондеромоторные силы, действующие на среду со стороны электромагнитного поля, и перекрестные эффекты тепломассопереноса, возникающие при неизотермическом течении жидкости. Проведено сопоставление результатов расчетов с известными экспериментальными данными.

Ключевые слова: высокочастотное электромагнитное поле, водонефтяная эмульсия, тепломассоперенос, расщепление эмульсии.

Введение

Проблема разрушения водонефтяных эмульсий обусловлена необходимостью обезвоживания и обессоливания нефтей, 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 высокочастотного электрического поля критической напряженности практически не существует [2]. В высокочастотном поле может обрабатываться эмульсия с содержанием воды до 80–90 %. Кроме того, в высоком диапазоне частот эмульсия поглощает электромагнитную 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 электротермомодиффузия) [4]. Все это приводит к столкновению, слиянию и укрупнению капель, в результате чего капли воды как более тяжелые, чем нефть, под действием гравитации опускаются вниз, происходит разделение эмульсии на нефть и воду.

Высокочастотный 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 высокочастотного электрического поля обеспечивает эффективное

разрушение стойких эмульсий с объемным содержанием воды 20–50 % и массовым содержанием механических примесей 0,3–10 %; остаточное объемное 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 высокочастотного электрического поля, защищена авторским свидетельством [7].

Для понимания механизма разделения 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 высокочастотного и низкочастотного электрических полей. Пондеромоторные силы в этом случае включают две составляющие, обусловленные избирательным действием высокочастотного и низкочастотного электрических полей. Для сравнения исследуется динамика разделения эмульсии и в этих двух вариантах воздействия.

Постановка задачи и основные уравнения при совместном воздействии высокочастотного и низкочастотного полей

При формулировке математической модели полагается, 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; η_f – вязкость дисперсионной среды (нефти).

Система уравнений, описывающая движение глобул воды в эмульсии под действием сил электромагнитного происхождения, нагрев эмульсии под действием поля распре-

деленных источников тепла, а также пространственно-концентрационное распределение диспергированной фазы, имеет вид

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

$$\epsilon_{cRF} = \frac{\partial(\epsilon_0 \epsilon'_{sRF})}{\partial c},$$

$$\epsilon'_{sRF} = \epsilon'_{vRF} \cdot \epsilon'_{fRF}{}^{(1-c)},$$

$$\epsilon_{cLF} = \frac{\partial(\epsilon_0 \epsilon'_{sLF})}{\partial c},$$

$$\epsilon'_{sLF} = \epsilon'_{vLF} \cdot \epsilon'_{fLF}{}^{(1-c)},$$

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

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

$$q = \frac{\omega \epsilon_0 \epsilon'_{sRF} t g \delta_{sRF}}{2} \left| \dot{E}_{RF} \right|^2,$$

$$E = \frac{U}{r} \ln \frac{r_2}{r_1},$$

$$\rho_v = \rho_v^0 c, \quad \rho_v^0 = \text{const},$$

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

$$\rho_s = \rho_f + \rho_v,$$

$$c_s = c_f (1-c) + c \cdot c_v,$$

$$\lambda_s = \lambda_f (1-c) + c \lambda_v,$$

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

Здесь v, f, s, RF, LF – индексы, относящиеся к воде, нефти, их смеси, высокочастотному и низкочастотному воздействию на эмульсию; $\Delta T = T - T_0$; T – температура эмульсии; T_0 – первоначальная температура эмульсии; q – плотность распределенных источников тепла; ρ_v^0 и ρ_f^0 – истинные плотности несущей и диспергированной фаз; α_t, α_t^e – параметры термодиффузии и электротермодиффузии; E – напряженность электрического поля; ϵ_0 – электрическая постоянная; $\epsilon'_s, \text{tg } \delta_s$ – относительная ди-

электрическая 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; η_0 – первоначальная вязкость нефти; γ – коэффициент, учитывающий зависимость вязкости нефти от температуры; ρ_s, c_s, λ_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:

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

Крайевые условия. Для расчетных исследований принято, что обкладки конденсатора теплоизолированы и непроницаемы для капелек воды. Полагается, что обкладки конденсатора гидрофобны, потому концентрация частиц на них принята равной нулю:

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

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

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

где c_0 – исходная объемная концентрация капелек воды в эмульсии.

Экспериментальные исследования

Данные по воздействию высокочастотного электрического поля, низкочастотного электрического поля промышленной частоты и их совместного действия на эмульсию приведены в работе [8]. В этой работе модель вертикального цилиндрического электродегидратора представляла собой коаксиальную систему двух латунных труб диаметрами 40 и 12 мм. В качестве источника высокочастотного 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 (2 000 об/мин) из нефти Ромашкинского месторождения.

Время обработки эмульсии полем составляло 30 с. Для сравнения эффективности действия низкочастотного и высокочастотного 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 %-м содержанием воды при 50 °С (до такой же температуры нагревалась эмульсия при высокочастотном воздействии).

Решение задачи и анализ результатов

Система уравнений (1)–(3) с крайевыми условиями (4)–(6) решались методом конечных разностей по неявной схеме.

Принятые для расчетов параметры среды:

$$\rho_f^0 = 848 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_v^0 = 1 \text{ 000 кг/м}^3;$$

$$c_f = 1 \text{ 885 Дж/кг} \cdot \text{К};$$

$$c_v = 4 \text{ 190 Дж/кг} \cdot \text{К};$$

$$\lambda_f = 0,125 \text{ Вт/м} \cdot \text{К};$$

$$\lambda_v = 0,582 \text{ Вт/м} \cdot \text{К};$$

$$T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\eta_0 = 0,01561 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\gamma = 0,02902 \text{ К}^{-1};$$

$$\varepsilon'_v = 81;$$

$$\text{tg}\delta_v = 0,0025;$$

$$\varepsilon'_{fRF} = 2,5;$$

$$\text{tg}\delta_f = 0,1;$$

$$c_0 = 0,2;$$

$$\varepsilon'_{fPF} = 2,9.$$

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 путем 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 высокочастотного воздействия и количественные характеристики кинетики ее расслоения.

При моделировании избирательного высокочастотного и низкочастотного воздействий на эмульсию учитывается, что на кап-

ли 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 внеш-

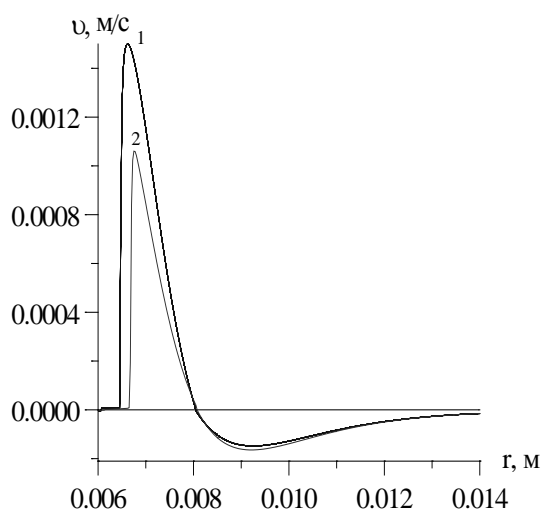


Рис. 1. Распределение скорости движения глобул воды в момент времени $t = 30$ с: 1 – совместное высокочастотное и низкочастотное воздействие; 2 – воздействие избирательно высокочастотного поля на эмульсию

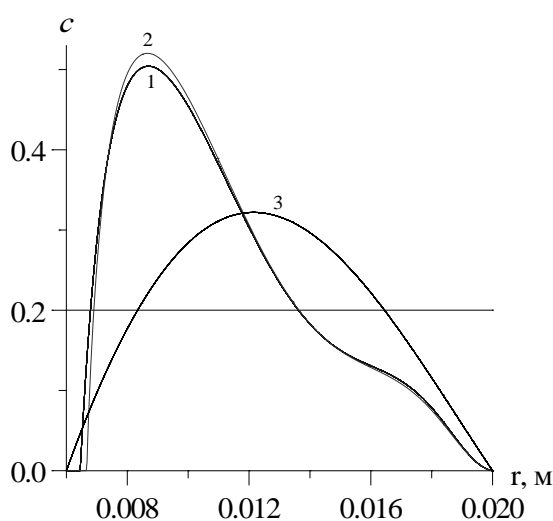


Рис. 2. Распределение концентрации глобул воды в момент времени $t = 30$ с: 1 – совместное высокочастотное и низкочастотное воздействие; 2, 3 – избирательное действие высокочастотного и низкочастотного полей

ней, 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 в остальной части (от 8 до 20 мм) конденсатора, где они имеют отрицательные значения. Причем при совместном воздействии на эмульсию высокочастотного и низкочастотного полей значения скоростей заметно больше, чем в случае избирательного действия на эмульсию высокочастотного поля (рис. 1). При избирательном действии низкочастотного 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 высокочастотном и совместном воздействии ближе к внутренней обкладке конденсатора, а при низкочастотном 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:

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

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 напряженности поля, в рассматриваемом случае – к внутренней обкладке конденсатора. Это явление называется диэлектрфорезом. Второе слагаемое проявляется всюду, где диэлектрическая проницаемость среды меняется от точки к точке. Пример полученного в результате расчетов пространственного распределения этих сил в фиксированный момент времени при высокочастотном воздействии на эмульсию приведен 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, приведенные на рис. 1 и 2. При избирательном же действии низкочастотного поля нагрева среды не происходит, поэтому распределение концентраций имеет более равномерный характер.

Расчет 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:

$$K(V, w) = (v_V - v_w) E \sqrt{\frac{g_1 \epsilon_0 \epsilon'_s}{1 - g_1} \frac{18 \lambda V_g}{\rho_p g}}, \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

где V_g – объем большой капли; v_V, v_w – скорость оседания большой и маленькой капель соответственно, определяемые по формуле Стокса

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

где $V_{g,l}$ – объем капель; индекс l относится к маленькой капле; g – ускорение свободно-го падения; ρ_p – разность плотностей воды

и нефти; $g_1 = \left(\frac{d}{D}\right)^2$; D, d – диаметры большой и маленькой капель λ – коэффициент, компенсирующий завышенное значение силы диполь-дипольного взаимодействия ($\lambda < 1$). Параметр λ и соотношение $\frac{d}{D}$ под-

бирались из условия максимальной близости экспериментальных и расчетных кривых кинетики отстоя эмульсии. Наилучшее совпадение результатов соответствует следую-

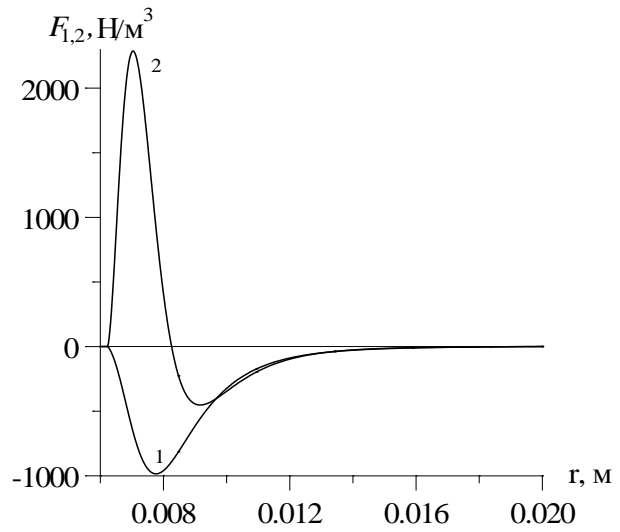


Рис. 3. Распределение 1-го (кривая 1) и 2-го слагаемых (кривая 2) пондеромоторной силы при высокочастотном воздействии на эмульсию в момент времени $t = 10$ с

щим значениям: $\frac{d}{D} = 0,26$; $\lambda = 0,999$ при

совместном воздействии высокочастотного и низкочастотного электрических полей; $\lambda = 0,9$ при воздействии высокочастотного поля; $\lambda = 0,006$ при воздействии низкочастотного поля.

Вследствие слияния капель воды число их в эмульсии уменьшается. Время, в течение которого число капель уменьшается в 2 раза, называется временем коагуляции:

$$t_k(r, t) = \frac{2}{K(V, w) N(r, t)}, \text{ где } N(r, t) \text{ – число}$$

капель в единице объема. Число капель в единице объема конденсатора в предположении, что эмульсия состоит преимущественно из больших капель, так как при рассматриваемых полях диспергирование незначительно, можно определить по формуле

$$N(r, t) = \frac{c(r, t)}{V_g}, \text{ где } c(r, t) \text{ – объемная}$$

концентрация капель воды в эмульсии. Далее, определив число периодов

$$n(r, t) = \log_2 N(r, t),$$

за время которых число капель уменьшается вдвое, можно вычислить время, за которое число капель в эмульсии уменьшится до нуля: $t_{sed}(r, t) = t_k(r, t) \cdot n(r, t)$.

Для расчета динамики расслоения эмульсии вычисляются интегральные значения

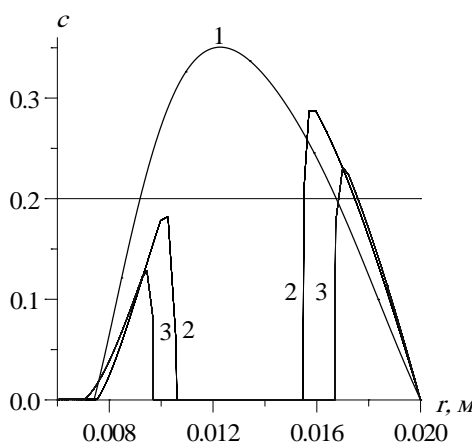


Рис. 4. Распределение концентрации эмульсии, обработанной высокочастотным полем: 1 – $t = 1$ мин; 2 – $t = 2$ мин; 3 – $t = 3$ мин

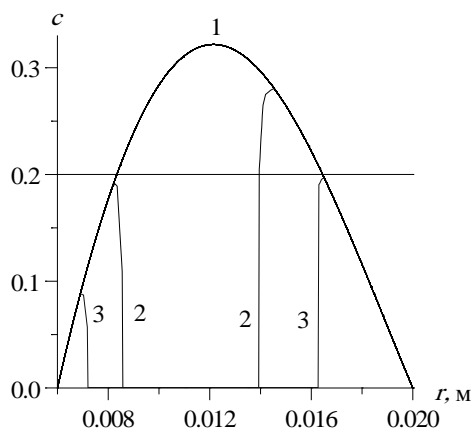


Рис. 5. Распределение концентрации эмульсии, обработанной низкочастотным полем: 1 – $t = 5$ мин; 2 – $t = 10$ мин; 3 – $t = 20$ мин

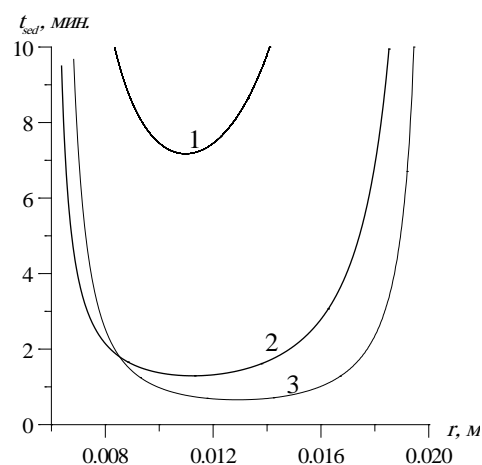


Рис. 6. Распределение времени разделения эмульсии на нефть и воду: 1 – обработанной низкочастотным полем; 2 – обработанной высокочастотным полем; 3 – обработанной совместно высокочастотным и низкочастотным полями

количества капель воды в эмульсии в начальный N_0 и текущий N_k моменты времени. Результаты подставляются в выражение $V(t) = \left(1 - \frac{N_k}{N_0}\right) \cdot 100\%$. Временная зависимость $V(t)$ определяет динамику расслоения эмульсии.

Необходимые для расчетов зависимости $c(r, t)$ и $\eta_n(r, t)$ в выражении (7) находятся из численного решения задачи (1)–(6). На рис. 4 и 5 приведены кривые пространственного распределения концентрации эмульсии в различные моменты времени после 30-секундного воздействия высокочастотным и низкочастотным полем и начала расслоения ее на нефть и воду.

Как видно из рис. 4 и 5, к моменту интенсивного разделения максимумы в распределении концентрации воды в обоих случаях расположены в центральной части электродегидратора, однако при высокочастотной обработке эмульсии время начала ее разделения равно приблизительно 1 мин, а при низкочастотном воздействии – около 7 мин.

Характер разделения эмульсии при избирательном действии высокочастотного и низкочастотного 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 разделения эмульсии при воздействии на нее одновременно высокочастотного и низкочастотного полей, а также их избирательного действия.

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

Заключение

Сформулированная математическая модель процесса теплопереноса и динамики разделения эмульсии при действии высокочастотного и низкочастотного 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 про-

гнозировании использования данного метода для обезвоживания эмульсии. Рассмотрены случаи разделения эмульсии при избирательном действии низкочастотного и высокочастотного полей, а также их совместного воздействия. Проведенное сравнение теоретических расчетов с известными экспериментальными исследованиями показало хорошее качественное совпадение расчетных и экспериментальных данных.

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

Список литературы

1. Хавкин А. Я. Нанотехнологии в добыче нефти и газа. М.: Нефть и газ. ПЦ «НТИС», 2008. 171 с.

2. Саяхов Ф. Л. Исследование термо- и гидродинамических процессов в многофазных средах в высокочастотном электромагнитном поле применительно к нефтедобыче: Дис. ... д-ра физ.-мат. наук. М., 1984. 449 с.

3. Гогосов В. В., Налетова В. А., Шапошникова Г. А. Диффузионная и многоскоростная модели двухфазных сред в электрическом поле // ПММ. 1980. Вып. 2. С. 290–300.

4. Нигматулин Р. И., Саяхов Ф. Л., Ковалева Л. А. Перекрестные явления переноса в дисперсных системах, взаимодействующих с высокочастотным электромагнитным полем // Докл. РАН. 2001. Т. 377, № 3. С. 340–343.

5. Хакимов В. С., Саяхов Ф. Л., Иماشев Н. Ш. Разрушение стойких нефтяных эмульсий на промыслах электромагнитными полями резонансных частот // Научно-производственные достижения нефтяной промышленности в новых условиях хозяйствования: Науч.-техн. информ. сб. М., 1989. Вып. 6. С. 12–16.

6. Sayakhov F. L., Imashev N. Sh., Fatykhov M. A. Interaction of Highly Stable Water-

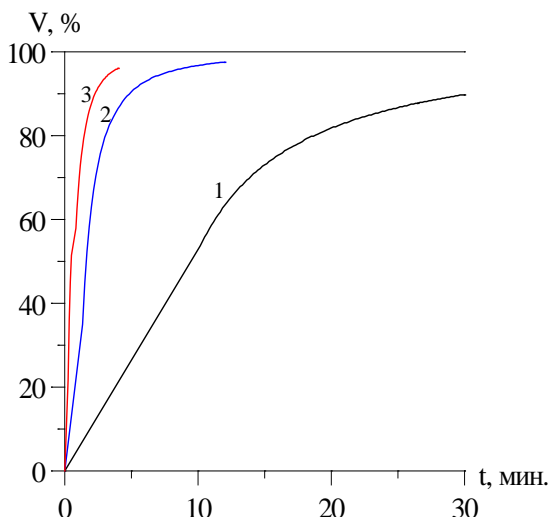


Рис. 7. Расчетная динамика разделения эмульсии: 1 – низкочастотным полем; 2 – высокочастотным полем; 3 – совместно низкочастотным и высокочастотным полями

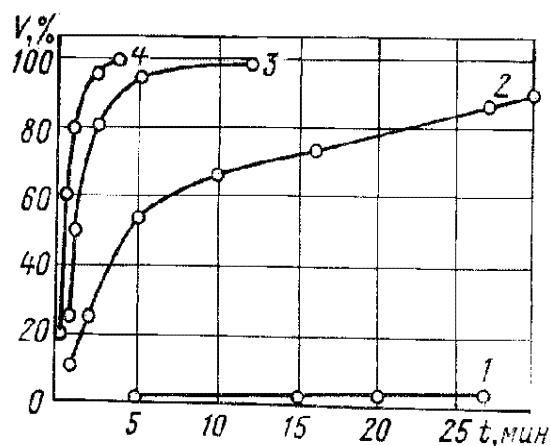


Рис. 8. Экспериментальная динамика разделения эмульсии: 1 – не обработанная полем; 2, 3, 4 – обработанная соответственно низкочастотным и высокочастотными полями и совместно высокочастотным и низкочастотными полями

Oil Emulsion With Radio Frequency Electromagnetic Field // Heavy Crude and Tar Sands – Hydrocarbons For the 21st Century. 5th UNITAR International Conference on Heavy Crude and Tar Sands. 1991. Vol. 3. Recovery processes. P. 507–513.

7. Авторское свидетельство СССР № 700163, 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, А. А. Демьянов, В. П. Дыбленко. Опубл. 05.12.1979. Бюл. № 44.

8. Саяхов Ф. Л., Хакимов В. С., Арутюнов А. И., Демьянов А. А., Байков Н. М. Диэлектрические свойства и агрегативная

устойчивость водонефтяных эмульсий // Нефтяное хозяйство. 1979. № 1. С. 36–39.

9. Саяхов Ф. Л., Ковалева Л. А., Насыров Н. М., Галимбеков А. Д. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на перекрестные эффекты переноса в многокомпонентных системах // Магнитная гидродинамика. 1998. Т. 34, № 2. С. 148–157.

10. Панченков Г. М., Цабек Л. К. Поведение эмульсии во внешнем электрическом поле. М.: Химия, 1969. 190 с.

Материал поступил в редколлегию 07.04.2009

G. T. Zakirjanova, L. A. Kovaleva, N. M. Nasyrov

MODELLING OF HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES AND 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 theoretically investigated. At modeling the effect of ponderomotive forces on the medium from electromagnetic (EM) 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: radio-frequency electromagnetic field, water-oil emulsion, heat and mass transfer, emulsion stratification.