

УСТАНОВКА КОМПЛЕКСНОЙ ПОДГОТОВКИ НЕФТИ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЕЗВОЖИВАНИЯ НЕФТИ В ДЕЭМУЛЬГАТОРАХ

Д. В. Радченко, А. В. Сидельников

Научный руководитель профессор С.Н. Харламов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Освоение новых месторождений в районах Дальнего Востока, континентального шельфа, полуострова Ямал влечет за собой потребность в развитии химической промышленности, энергетики, транспорта. Особого внимания требует сепарация углеводородов, так как подготовка добываемой нефти осложняется присутствием попутно добываемой воды. Именно от этого зависит успешная доставка сырья от мест добычи до потребителей.

Сепарация нефти и воды производится различными способами с различной степенью успеха. Проблема удаления эмульгированной воды становится все более распространенной и во много раз более трудной для решения по мере возрастания обводненности продукции месторождений, работающих на естественном или искусственно созданном водонапорном режиме, или отдельных скважин после термического или химического воздействия[2].

Исследование принципов работы установки комплексной подготовки нефти, в частности аппаратов для обезвоживания нефти, и изучение математического моделирования обезвоживания нефти в деэмульгаторах – цель работы[1].

Необходимо решить следующие задачи, для достижения поставленных целей[2]:

- дать определения основным понятиям;
- исследовать оборудования для обезвоживания нефти;
- построить математическую модель обезвоживания нефти.

Если рассматривать определение Кена Арнольда, то:

- Эмульсия – устойчивая смесь нефти и воды, которая не может быть разрушена под действием одной только силы тяжести.
- Эмульгаторы – вещества, концентрирующиеся на поверхности раздела жидких фаз, снижающие поверхностное натяжение на поверхности капли воды, и которые формируют вязкий слой на поверхности капель.
- Деэмульгаторы – устойчивая смесь, которая обеспечивает коалесценцию с последующим быстрым разделением нефти и воды.

Вода, остающаяся в нефти после осаждения свободной воды, считается находящейся в эмульгированном состоянии. Эмульгированная вода удаляется одной или несколькими обработками. Обработкой в данном контексте называют любой процесс, предназначенный для разделения нефти и воды и посторонних примесей, вынесенных из пласта. Обработка эмульсии с целью ее разложения включает в себя сочетание следующих действий: ввод деэмульгатора, оседание воды в течение определенного времени, нагревание и коалесценция в электрическом поле[5].

Деэмульгаторы должны обеспечить четыре важных эффекта:

- сильное взаимное притяжение молекул на поверхности раздела нефть-вода;
- флокуляция;
- коалесценция;
- смачивание твердых частиц.

Эти эффекты способствуют разделению нефти и воды. Деэмульгаторы должны быть способны быстро мигрировать в нефтяной фазе к поверхности раздела и конкурировать там с эмульгатором, концентрация которого выше. Деэмульгатор должен вызвать сильное притяжение между каплями воды. В результате собираются большие скопления капель, которые выглядят под микроскопом как комочки икры.

Зная, что капли воды это сферические частицы, которые двигаются в покоящейся нефти имеют скорость v , на них действует сила Стокса $F = k \cdot v$. Коэффициент k определяется по формуле[6]:

$$k = 6 \cdot \pi \cdot \eta_n \cdot r_0 \quad (1)$$

где r_0 – радиус капли; η_n – вязкость нефти (дисперсионной среды).

При расчете используется прямоугольная система координат, направление оси вдоль конденсатора. Дисперсная фаза движется в радиальном направлении. Используем диффузионное приближение при постановке задачи, т.к. эффект инерции несущественен относительно движения фаз. Действуют электромагнитное поле и тепловое поле, в следствии чего учитываем пандеромоторные силы и явление перекрестного переноса. Записываем уравнения движения глобул воды, теплопроводности и диффузии в одномерном приближении (процесс высокочастотного воздействия на эмульсию) [3]:

$$\rho_b \frac{\partial \vartheta}{\partial t} + \rho_b \vartheta \frac{\partial \vartheta}{\partial r} = \frac{3kc\vartheta}{4\pi r_0^3} + \frac{c}{2} \cdot \frac{\partial(\varepsilon_c E^2)}{\partial r}; \quad (2)$$

$$\varepsilon_c = \frac{\partial(\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_s)}{\partial c}; \quad (3)$$

$$\rho_s c_s \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (\lambda_s \cdot r \cdot \frac{\partial T}{\partial r}) + q; \quad (4)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{D}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot \frac{\partial c}{\partial r} \right) - v \frac{\partial c}{\partial r} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r (\alpha_t + \alpha_t^c) \frac{\partial T}{\partial r} \right); \quad (5)$$

$$q = \frac{\omega \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_s' \cdot tg \delta_s |E|^2}{2}; \quad (6)$$

Задаем условия, что:

$$\begin{aligned} \rho_n &= \rho_n^0 \cdot (1-c); & \rho_n^0 &= const; & \rho_B &= \rho_n^0 \cdot c; & \rho_B^0 &= const; \\ \rho_s &= \rho_n + \rho_B; & c_s &= c_n(1-c) + c + c_B; & \lambda_s &= \lambda_n(1-c) + c \cdot \lambda; \\ \eta_n &= \eta_0 \exp(-\gamma \Delta T); & \Delta T &= T - T_0. \end{aligned}$$

Где, ε_s' и $tg \delta_s$ – относительная диэлектрическая проницаемость смеси нефти и воды;
D – коэффициент диффузионного перемешивания;
 α_t и α_t^c – параметры термодиффузии и электротермодиффузии;
 ρ_n^0 и ρ_B^0 – истинные плотности несущей фазы (нефти) и дисперсионной фазы (воды);
q – плотность распределённых источников тепла;
E – напряжённость электрического поля;
 T_0 – первоначальная температура среды;
T – температура;

γ – коэффициент, учитывающий зависимость вязкости нефти от температуры;
 $\omega = 2\pi f$ – круговая частота;
 ρ_s, c_s, λ_s – плотность, удельная теплоёмкость и теплопроводность смеси нефти и воды;
 ε_0 – электрическая постоянная. Индексы «Н» и «В» соответственно относятся к нефти и воде;
 $\omega = 2\pi f$ – круговая частота;
f – циклическая частота электрического поля;
c – концентрация воды в эмульсии;
 η_0 – первоначальная вязкость нефти [6].

Решая данные системы уравнений методом конечных разностей по неявной схеме мы получаем таблицу пространственного распределения концентрации и скорости движения капель воды между обкладками конденсатора в различные моменты времени (таблица 1)[4].

Таблица 1

Пространственное распределение концентрации и скорости движения капель воды между обкладками конденсатора в различные моменты времени

r, м	t, с	5	10	15
0,007	C	0,327	0,347	0,338
	$v(t,r)$, м/с	$1,61 \cdot 10^{-4}$	$2,94 \cdot 10^{-4}$	$3,64 \cdot 10^{-4}$
0,01	C	0,380	0,410	0,429
	$v(t,r)$, м/с	$-5,41 \cdot 10^{-5}$	$-7,96 \cdot 10^{-5}$	$-9,87 \cdot 10^{-5}$
0,014	C	0,221	0,202	0,193
	$v(t,r)$, м/с	$-1,25 \cdot 10^{-5}$	$-1,24 \cdot 10^{-5}$	$-1,26 \cdot 10^{-5}$

Проанализировав численное решение, можно сделать следующие выводы и следующие графические зависимости (рисунок 1, 2):

- в ближайшей точке к конденсатору капельки воды движутся к внешней обкладке конденсатора, а в точках более отдаленных – к внутренней обкладке конденсатора;
- с течением времени поперечные силы увеличиваются по абсолютной величине из-за неоднородности температуры, в связи с чем меняется концентрация, как и диэлектрическая проницаемость нефти и воды;
- концентрация капель воды в точке максимума в 2-2,5 раза больше первоначального значения.

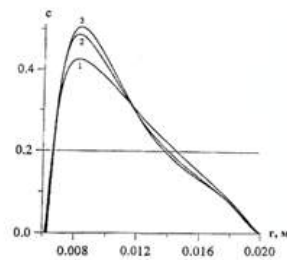


Рис. 1. Расположение концентрации во всём конденсаторе

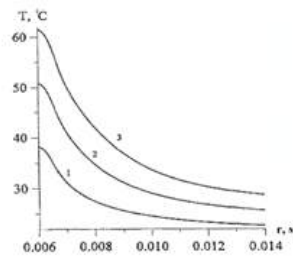


Рис. 2. Распределение температуры при высокочастотном воздействии на эмульсии

Литература

1. Абрамзон А. А. Эмульсии. – М.: Наука, 1972. – 321 с.
2. Арнольд К., Стюарт М., Палия А. О. Справочник по оборудованию для комплексной подготовки нефти. Промысловая подготовка углеводородов. – М.: ООО «Премиум Инжиниринг», 2011. – 776 с.
3. Закирьянова Г. Т. Математическое моделирование процессов тепло- и массопереноса при воздействии электрических полей на водонефтяную эмульсию : диссертация ... кандидата физико-математических наук : 01.04.14. – Башкирия., 2010. – 121 с.
4. Рябов В. Д. Химия нефти и газа. – М.: Техника, 2004. – 287 с.
5. Стародуб М. В., Ясьян Ю. П., Пуртов П. А. Технология нефти, подготовка нефти к переработке: Учебное пособие. – Краснодар: Юг, 2011. – 120 с.
6. Саяхов Ф. Л., Хакимов В. С., Арутюнов А. И., Димьянов А. А., Байков Н. М. Диэлектрические свойства и агрегативная устойчивость водонефтяных эмульсий // Нефтяное хозяйство. – 1979. – №1. – с. 36 – 35.