

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ВСПЛЫТИЯ ГЛОБУЛ В НЕФТЕСОДЕРЖАЩЕЙ СМЕСИ ВЫСОКОЙ СТЕПЕНИ ОБВОДНЁННОСТИ

В.А.Зеленский, А.И.Щодро, Д.А.Никитин

г. Самара, «Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва»

Поступающая из скважины нефтесодержащая смесь подвергается сепарации, обезвоживанию и обессоливанию. Процесс сепарации (расслоения нефтяной эмульсии) включает в себя следующие стадии [1]:

- соударения частиц дисперсной фазы;
- слипание частиц (коагуляция);
- слияние частиц в более крупные глобулы (коалесценция).

Одновременно с этими стадиями происходит всплытие или осаждение дисперсной фазы. В первой случае дисперсной фазой является нефть, во втором – вода. Заканчивается процесс сепарации формированием сплошных фазовых слоёв. Допустимое содержание воды в товарной нефти согласно ГОСТ Р 51858-2002 не должно превышать 1%.

На всплывающую частицу нефти действует разность силы тяжести и подъёмной силы Архимеда [2]:

$$\Delta F = \frac{\pi g}{6} d^3 \Delta \rho,$$

где $\Delta \rho$ - разность плотностей частицы дисперсной фазы и частиц дисперсной среды, g – ускорение свободного падения, d – диаметр частицы.

Сила сопротивления сплошной среды:

$$F_c = \xi_o \frac{\pi d^2}{4} \frac{\omega_o}{2} \rho_c,$$

где ξ_o - коэффициент гидравлического сопротивления сплошной среды движению в ней одиночной частицы, ω_o - скорость движения одиночной частицы относительно среды, ρ_c - плотность сплошной среды. Допустим, что температура во всех точках нефтегазосепаратора одинакова. Тогда тепловые конвекционные токи отсутствуют. При постоянной скорости движения частицы в среде $\Delta F = F_c$.

Исследования показали [1], что скорости осаждения частиц связаны соотношением:

$$\omega_{o\partial} = \omega_o (1 - \varphi)^n,$$

где $\omega_{o\partial}$ - скорость осаждения частицы относительно сплошной среды в условиях стеснённого потока, ω_o - скорость свободного осаждения частицы, φ - объёмная доля дисперсной фазы, а показатель n необходимо определить.

При критерии Рейнольдса $Re < 500$ коэффициент гидравлического сопротивления среды определяется из соотношения:

$$\xi_{\partial} = \frac{0,843 \lg\left(\frac{\phi}{0,065}\right)}{24 Re_o} (1 + 0,15 Re_o^{0,687}),$$

где ϕ - коэффициент формы частицы, равный отношению площадей поверхности сферической частицы и реальной частицы одинакового объёма. Предположим, что частицы нефти и воды имеют сферическую форму, что хорошо согласуется с практикой. Тогда справедливо равенство:

$$\begin{aligned} \xi_{\partial} Re_o^2 &= \xi_{o\partial} f(\varphi) Re_{\partial}^2, \\ Re_o (1 + 0,15 Re_o^{0,687}) &= f(\varphi) Re_{\partial} (1 + 0,15 Re_{\partial}^{0,687}). \end{aligned}$$

При малых значениях Re имеем следующий вид функции распределения дисперсной фазы:

$$f(\varphi) \approx (1 - \varphi)^{-n}.$$

При больших Re функция распределения выглядит, как:

$$f(\varphi) \approx (1 - \varphi)^{-2n}.$$

Однако, как в случае больших, так и в случае малых значений критерия Рейнольдса функция распределения изменяется в пределах от $(1 - \varphi)^{-4,65}$ до $(1 - \varphi)^{-4,75}$. В таком случае, для практических расчётов можно взять среднюю величину показателя степени и записать:

$$f(\varphi) = (1 - \varphi)^{-4,7}.$$

С учётом полученных выражений получаем, что отношение скорости осаждения частицы относительно сплошной среды в условиях стеснённого потока к скорости свободного осаждения частицы равно:

$$\omega_{o\partial} / \omega_o = (1 - \varphi)^{-4,7}.$$

Известны также эмпирические формулы для учёта влияния стеснённости [2]:

При $\varphi < 0,3$,

$$\omega_{од} / \omega_o = (1 - \varphi)^2 10^{-1,82\varphi}.$$

При $\varphi > 0,3$

$$\omega_{од} / \omega_o = \frac{0,123}{\varphi} (1 - \varphi)^3.$$

Сравнение полученных результатов с эмпирическими соотношениями представлены в таблице.

Таблица – Результаты расчёта относительной скорости всплытия глобул

Обводнё- ность нефте- содержащей смеси, %	Результаты расчёта по формулам		
	$\omega_{од} / \omega_o = (1 - \varphi)^4$	$\omega_{од} / \omega_o = (1 - \varphi)^2 10^{-1,82\varphi}$	$\omega_{од} / \omega_o = \frac{0,123}{\varphi} (1 - \varphi)^3$
5	0,7558	0,7319	
10	0,6095	0,5327	
20	0,3504	0,2768	
30	0,1871		0,1406
40	0,0906		0,0664
50	0,0385		0,0308
60	0,0135		0,0131
70	0,0035		0,0047

Из таблицы следует, что наибольшая корреляция теоретических и экспериментальных данных имеет место при высоких значениях процентного содержания воды в эмульсии. Таким образом, полученные результаты имеют практическую значимость и могут быть использованы в современных нефтегазосепараторах, работающих с нефтесодержащими смесями высокой степени обводнённости.

Список использованных источников

1. Виноградов В.М., Винокуров В.А.. Образование, свойства и методы разрушения нефтяных эмульсий. – М.: ФГУП «Нефть и газ», РГУ Нефти и газа имени И.М.Губкина, 2007. – 31 с.

2. Зориктуев В.Ц., Дребская Ю.М., Рошупкин В.В. Синтез математической модели процесса сепарации нефти в системе управления промысловой подготовки нефти. – Уфа: Вестник УГАТУ, Т.13, № 2 (35), с. 78 – 82.