

бавлении в упруговязкую жидкость дисперсной фазы известен и используется на практике.

При $\mu_2 = 0$ полученные уравнения состояния (21)—(23) дают классические результаты механики разбавленных суспензий сферических частиц с дисперсионной средой, являющейся ньютоновской жидкостью.

Из полученных уравнений состояния следует, что добавление в жидкость Рейнера — Ривлина дисперсной фазы при малой концентрации последней приводит к уменьшению коэффициента поперечной вязкости, т. е. к уменьшению ее неньютоновских свойств. Действительно, $\mu_{3\text{эф}}$ можно записать в виде

$$\mu_{3\text{эф}} = \mu_3 [1 - \nu(\sigma)\Phi],$$

при этом $\nu(\sigma)$ меняется в пределах $0,6 \leq \nu(\sigma) \leq 15$. Максимальное ν отвечает случаю твердых частиц, минимальное — случаю газовых пузырьков.

Поступила 8 VI 1977

ЛИТЕРАТУРА

1. Rathna S. L. Slow motion of non-newtonian liquid past a sphere. — «Quart. J. Mech. and Applied Math.», 1962, vol. 15, p. 427.
2. Foster R. D., Slattery J. C. Creeping flow past a sphere of a Reiner-Rivling fluid. — «Appl. Scient. Res.», 1963, vol. A—12, p. 213.
3. Kato M., Tachibana M., Oikawa K. On the drag of a sphere in polymer solutions. — «Bull. JSME», 1972, vol. 12, p. 1556.

УДК 532.517.4 : 532.695

ТУРБУЛЕНТНОЕ ТЕЧЕНИЕ ПЛОТНЫХ НЕУСТОЙЧИВЫХ ЭМУЛЬСИЙ В ТРУБАХ

В. Ф. Медведев

(Грозный)

Неустойчивые эмульсии имеют место в ряде важных технологических процессов, например: жидкостная экстракция при нефтепереработке, внутритрубная деэмульсация при нефтедобыче и др. Отличие гидродинамического поведения неустойчивых эмульсий от однофазных жидкостей проявляется в эффекте гашения турбулентных пульсаций дисперсионной среды каплями дисперсной фазы, размер которых превышает внутренний масштаб турбулентных пульсаций [1]. Турбулентное течение разбавленных неустойчивых эмульсий описано в [2].

В области содержания дисперсной фазы $0,524 \leq \beta \leq 0,741$ (при $\beta = 0,741$ происходит инверсия фаз неустойчивой эмульсии) эмульсия имеет плотную упаковку капель и при ее сдвиге требуется дополнительное напряжение на деформацию капель [3]:

$$\tau_0 = (0,195\beta - 0,102)\sigma/d, \quad 0,524 \leq \beta \leq 0,741,$$

где σ — межфазное натяжение; d — диаметр капель эмульсии. Таким образом, плотная неустойчивая эмульсия подчиняется модели Бингама [4] и уравнение движения плотных эмульсий в трубе может быть записано в виде

$$(1) \quad (\mu_a + \mu_{та}) du/dy = \tau - \tau_0, \quad \tau_0 < \tau < \tau_w \\ du/dy = 0, \quad \tau \leq \tau_0,$$

где u и τ — скорость и касательное напряжение на расстоянии y от стенки; τ_w — касательное напряжение на стенке; μ_a и $\mu_{та}$ — динамическая и турбулентная вязкости эмульсии. Динамическая вязкость плотных неустойчивых эмульсий, как показано в [5], может определяться, согласно [6], как $\mu_a = \mu_1(i - \beta)^{-2,5}$, где μ_1 — динамическая вязкость дисперсионной среды.

Распространим гипотезу [7, 8] о масштабе для пульсационных скоростей при течении ньютоновских жидкостей на случай турбулентного течения плотных эмульсий, проявляющих неньютоновские свойства, т. е. будем считать, что масштабом для пульсационных скоростей в области развитой турбулентности является динамическая скорость, соответствующая касательному напряжению на данном радиусе r : $v_{*y} = v_{*a} \sqrt{1 - y/r}$ ($v_{*a} = \sqrt{\tau_w/\rho_a}$ — динамическая скорость). При этом плотность эмульсии определяется аддитивно: $\rho_a = \rho_1(1 - \beta) + \rho_2\beta$, где ρ_1 и ρ_2 — плотности дисперсионной среды и дисперсной фазы. Тогда турбулентная вязкость определится так же, как в [2], с учетом гашения турбулентных пульсаций дисперсионной среды каплями дисперсной фазы.

Выполняя интегрирование уравнений (1) в той же последовательности, что и в [2], получаем формулы для определения коэффициента гидравлического сопротивления плотных неустойчивых эмульсий λ_a . Здесь приводится их аппроксимация с погрешностью, не превышающей $\pm 3\%$:

$$(2) \quad \lambda_a = 64/Re_{*a}, \quad Re_{*a} \leq 2320, \\ \lambda_a = \frac{0,3164}{(1 + 1,125\beta) Re_{*a}^{0,25}}, \quad 2800 < Re_{*a} < 10^5,$$

где $(1 + 1,125\beta)$ учитывает эффект гашения турбулентности; Re_{*a} — число Рейнольдса

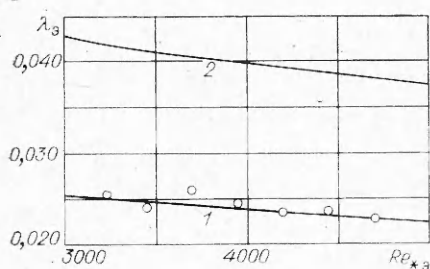
$$Re_{*a} = \frac{wD\rho_a}{\mu_a \left(1 + \frac{\gamma I}{6}\right)},$$

где

$$\gamma = \begin{cases} 0, & 0 < \beta < 0,524, \\ 1, & 0,524 \leq \beta \leq 0,741; \end{cases}$$

$I = \tau_0 D / \mu_a w$ — параметр пластичности; w — средняя скорость течения. Формулы (2) описывают течения в трубах неустойчивых эмульсий во всей области изменения содержания дисперсной фазы.

Экспериментальные исследования по определению коэффициента гидравлического сопротивления λ_a были проведены при турбулентном течении плотной неустойчивой эмульсии трансформаторного масла в воде в трубе диаметром 39,4 мм при температуре $16 \pm 1^\circ\text{C}$. Неустойчивые эмульсии получались в результате турбулентного перемешивания жидкостей



в трубопроводе, в который они подавались методом выдавливания сжатым воздухом из емкостей.

На фигуре дано сравнение результатов экспериментов с расчетами по (2) для эмульсии с содержанием дисперсной фазы $\beta = 0,6$ (линия 1), линия 2 показывает закон сопротивления для чистой жидкости; видно, что проявляющийся в потоке неустойчивых эмульсий эффект гашения турбулентных пульсаций дисперсионной среды капля-

ми дисперсной фазы приводит к существенному снижению коэффициента гидравлического сопротивления по сравнению с чистой жидкостью.

Поступила 1 XII 1977

ЛИТЕРАТУРА

1. Левич В. Г. Физико-химическая гидродинамика. М., Физматгиз, 1959.
2. Медведев В. Ф., Медведева Л. П. Турбулентное течение разбавленных эмульсий. — ПМТФ, 1975, № 3, с. 116—120.
3. Медведев В. Ф. Предельное напряжение сдвига эмульсий. — «Инж.-физ. журн.», 1972, т. 24, № 4, с. 715—718.
4. Bingham E. C., Bur U. S. An investigation of the laws of plastic flow. — «Bulletin of the Bureau of Standards», 1916, vol. 13, p. 309—353.
5. Медведев В. Ф. Ламинарное течение плотных эмульсий. — Реф. науч.-техн. сб. ВНИИОЭНГ, сер. Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов, 1975, № 3, с. 10—12.
6. Brinkman H. C. The viscosity of concentrated suspensions and solutions. — «J. Chem. Phys.», 1952, vol. 20, N 4, p. 571.
7. Миллионщиков М. Д. Турбулентные течения в пограничном слое и в трубах. М., «Наука», 1969.
8. Миллионщиков М. Д. Турбулентные течения в пристеночном слое и в трубах. — «Атомная энергия», 1970, т. 28, вып. 3, с. 207—220.

ЛДЖ 536.25

ЕСТЕСТВЕННАЯ КОНВЕКЦИЯ И ПЕРЕНОС ТЕПЛА В ПОРИСТЫХ ПРОСЛОЙКАХ МЕЖДУ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ КОАКСИАЛЬНЫМИ ЦИЛИНДРАМИ

В. А. Брайловская, Г. Б. Петражицкий, В. И. Полежаев
(Горький)

Известно, что в мелкодисперсных пористых материалах с сообщающимися порами, заполненными жидкостью или газом, при определенных условиях возникает крупномасштабная (по отношению к размерам пор) естественная конвекция, которая может существенно влиять на теплоизоляционные свойства этих материалов. Исследования средних характеристик переноса тепла через