

Братута Э.Г., Павленко А.М., Кошлак А.В.

РАЗДЕЛЕНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ЖИДКИХ СРЕД В ВИХРЕВОМ ПОЛЕ

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»
Днепродзержинский государственный технический университет*

Установлено [1], что эффективное разделение эмульсий возможно при факторе разделения $\Phi \geq 7200$, что исключает возможность использования для этой цели промышленных центрифуг, поскольку они обеспечивают показатель $\Phi \leq 5000$. На лабораторном оборудовании (рис. 1) доказано, что фактор разделения в вихревых устройствах может быть более низким в случае термической инициации процесса разделения. Эта закономерность дает возможность реализовать процесс деэмульгирования в промышленных центрифугах и создавать эффективные вихревые аппараты для разрушения устойчивых дисперсных сред. Перспективность данного направления очевидна, так как в вихревых камерах можно получить высокий фактор разделения при небольших энергозатратах.

На лабораторном вихревом аппарате отбирались пробы на различных радиусах вихря (при $T \in [20, 90]$, °C; $\Phi \in [500, 7000]$), по которым можно было судить об объемном содержании компонентов в жидкости. Эти данные использованы для анализа аналитического решения, приведенного ниже.

Уравнения записаны для общего случая разделения эмульсий и могут быть конкретизированы для стабилизированных сред. При этом структурные силы (F^*) включены в уравнения движения условного кластера эмульсии. Для смеси жидкостей и суспензии $F^*=0$.

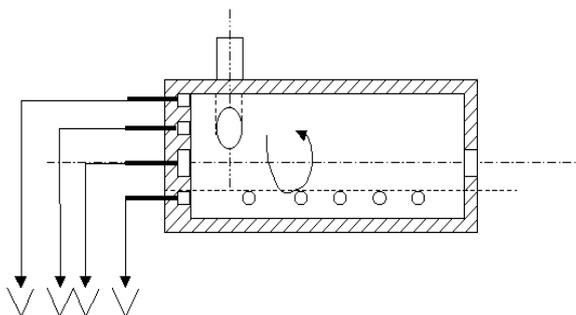


Рисунок 1 – Схема лабораторного вихревого деэмульгатора

Уравнение равновесия сил запишем в следующем виде

$$\rho_i \frac{dV_i}{dt} = \rho_i F_c (\vec{V} - \vec{V}_i) - \text{grad}P + \rho_i g,$$

где V_m – скорость движения дисперсной фазы; V – скорость движения среды; ρ_m – плотность дисперсной фазы; F_c – сила сопротивления

$$F_c = F_{ac} + F_s = \frac{3}{8} C^* \frac{\rho}{\rho_i a} |\vec{V} - \vec{V}_i| + F_s,$$

где $F_{a.c}$ – аэродинамическая сила сопротивления; F_s – структурная сила устойчивости, характеризующая свободную энергию системы, а, следовательно, и устойчивость эмульсии к расслоению.

Теоретически движение масляной глобулы в центробежном поле можно представить системой уравнений:

$$\begin{aligned}\frac{dV_i}{d\tau} &= F_c(V - V_i) - \frac{1}{\rho_i} \frac{\partial P}{\partial r} + \frac{W_i^2}{r}; \\ \frac{dW_i}{d\tau} &= F_c(W - W_i) - \frac{U_i W_i}{r}; \\ \frac{dU_i}{d\tau} &= F_c(U - U_i) - \frac{1}{\rho_i} \frac{\partial P}{\partial h} + g.\end{aligned}$$

Здесь V_m, W_m, U_m – радиальная, окружная и осевая составляющие скорости движения масляной глобулы, V, W, U – то же для потока; W^2/r – центробежное ускорение; $V_i W_i / r$ – кориолисово ускорение; h – высота вихревой камеры.

Используем систему безразмерных составляющих:

$$\bar{\tau} = \tau \frac{|V_k|}{R_k}; \quad \bar{\rho}_i = \frac{\rho_i}{\rho}; \quad F_r = \frac{g Re}{V_k^2}; \quad \bar{P} = \frac{P}{\rho V_k^2}; \quad \chi = g \frac{\mu}{a^2} \frac{1}{\rho_i} \frac{R_k}{|V_k|}.$$

В этом случае уравнения примут вид

$$\begin{aligned}\frac{d\bar{V}_i}{d\bar{\tau}} &= \frac{\bar{W}_i^2}{\bar{r}} + \chi(\bar{V} - \bar{V}_i) - \frac{1}{\bar{\rho}_i} \frac{\partial \bar{P}}{\partial \bar{r}}, \\ \frac{d\bar{W}_i}{d\bar{\tau}} &= \frac{\bar{U}_i \bar{W}_i}{\bar{r}} + \chi(\bar{W} - \bar{W}_i), \\ \frac{d\bar{U}_i}{d\bar{\tau}} &= \chi(\bar{U} - \bar{U}_i) - \frac{1}{\bar{\rho}_i} \frac{\partial \bar{P}}{\partial h} + F_r, \\ \frac{d\bar{r}}{d\bar{\tau}} &= \bar{V}_i, \quad \bar{W}_i = \frac{\bar{r} d\varphi}{d\bar{\tau}}, \quad \bar{U}_i = \frac{dh}{d\bar{\tau}}.\end{aligned}$$

Начальные условия для решения задачи:

$$\{\tau = 0; \quad r = 1, \quad \varphi = 0; \quad h = 0; \quad \bar{V}_i = 1\} \quad \bar{W}_i = 1; \bar{U}_i = 0.$$

Таким образом, сформулирована математическая постановка задачи отделения дисперсной фазы ЭТС в центробежном поле вихревой камеры. В результате ее решения необходимо определить основные параметры потока, характеризующие процесс разделения эмульсионных сред.

Найдем решение для случая Стоксовского движения частицы.

Представим уравнение равновесия сил в виде:

$$\frac{d\bar{U}_i}{d\bar{\tau}} + \chi \bar{U}_i(\bar{\tau}) = \chi \bar{U} - \frac{1}{\bar{\rho}_i} \frac{\partial \bar{P}}{\partial h} + F_r = C_o,$$

учитывая начальные условия,

$$\bar{U}(\tau) = \frac{C_o}{\chi} (1 - e^{-\chi\tau}).$$

В функцию C_o включена зависимость $\partial E/\partial h$, значение которой можно определить из соотношений

$$\begin{aligned} V \frac{\partial V}{\partial r} - \frac{W^2}{r} &= -\frac{1}{\rho_c} \frac{\partial P}{\partial r}, \\ V \frac{d(rw)}{rdr} &= v_T \frac{d}{dr} \frac{d(rw)}{rdr}, \\ U \frac{\partial U}{\partial x} &= -\frac{1}{\rho_c} \frac{\partial P}{\partial x}, \\ \frac{\partial(rV)}{\partial r} + \frac{\partial(rU)}{\partial x} &= 0. \end{aligned}$$

$$\text{в } r=r_c: \quad V = -\frac{G}{\rho_c \Phi(r_c)}, \quad w = w_c$$

$$r \rightarrow 0 \quad rW \rightarrow 0 \quad x=0 \quad U=0; \quad x=l_c \quad U=U_c, \quad P=P_{\text{атм}}$$

При $\frac{\partial P}{\partial h} = 0$, имеем

$$C_o = \chi \bar{U} + Fr.$$

Если данное условие не выполняется, то необходимо учесть, что

$$V \frac{\partial V}{\partial r} - \frac{W^2}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial r}; \quad V = -|V_k| \frac{R}{r}; \quad W = W_k \left(\frac{R_k}{r} \right)^{k-1},$$

и

$$\frac{dP}{dr} = -\rho W_k^2 \left[\left(\frac{R_k}{B_k} \right)^2 \frac{1}{r^3} - \frac{R_k^{2(k-1)}}{r^{2(k-1)}} \right].$$

Учитывая, что

$$\frac{d\bar{W}_i}{d\tau} + \left(\chi - \frac{U_i}{r} \right) \bar{W}_i = \chi \bar{W} = C_1,$$

окончательно запишем

$$\begin{aligned} \bar{W}_i = \exp \left(\left(\frac{C_o}{\chi r} - \chi \right) \tau + \frac{C_o}{\chi^2 r} e^{-\chi\tau} \right) & \left\{ C_1 \left(\frac{1}{\chi} e^{\chi\tau} - \frac{\chi r}{C_o} e^{-\frac{C_o}{\chi r} \tau} + \int \exp \left(-\frac{C_o}{\chi^2 r} e^{-\chi\tau} \right) d\tau + \right. \right. \\ & \left. \left. + \alpha e^{-\frac{C_o}{\chi^2 r} \tau} - \left(\frac{1}{\chi} - \frac{\chi r}{C_o} \right) \right\}. \end{aligned}$$

После определения составляющих скорости движения масляной глобулы можно получить оценку изменения координат частицы относительно потока, а также времени ее пребывания в аппарате. Эта информация дает возможность рассчитать основные конструктивные параметры устройства.

На рис. 2–3 представлены графики зависимости составляющих скорости глобулы от радиуса аппарата.

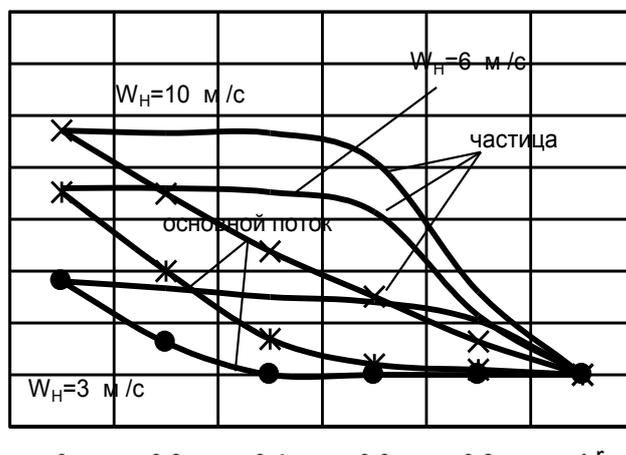


Рисунок 2 – Зависимость радиальной составляющей скоростей потока и частицы от радиуса

Из графиков следует, что увеличение относительной скорости частиц зависит как от плотности и размеров компонентов, так и от структурных сил эмульсии. Таким образом, расчетные гидродинамические параметры могут указывать на эффективность деэмульгирования, а, следовательно, на целесообразность использования данного метода для разделения устойчивых эмульсий. Ниже приведены результаты экспериментальных исследований комплексного влияния параметров вихревого деэмульгатора на степень отделения дисперсной фазы. Эта информация позволит определить условия применения данного метода.

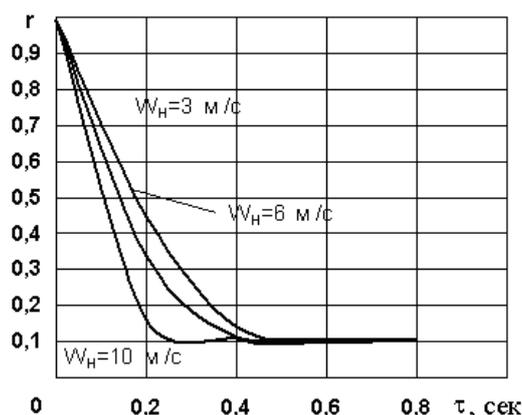


Рисунок 3 – Координаты частицы по радиусу при различных скоростях ввода

Рассмотрим движение глобул при числе $Re > 1$.

В данном случае необходимо учитывать степенную зависимость коэффициента сопротивления от критерия Рейнольдса, а, следовательно, и скорости движения частиц дисперсной фазы. Таким образом, получим нелинейную задачу, которая решена чис-

ленно. Результаты расчета представлены на рис. 4.

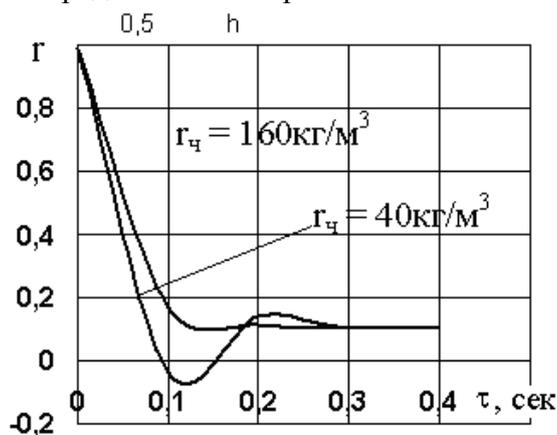


Рисунок 4 – Расчетные параметры нелинейной модели

При существенном различии в плотностях частицы и потока относительная скорость будет увеличиваться. Принимая во внимание расчетные данные, можно сделать вывод о том, что в вихревой камере отделятся частицы с соотношением плотностей $0,6 \leq \frac{\rho_p}{\rho_w} \leq 0,4$. Та дисперсная фаза, которая выносится с общим потоком среды формирует трудноразделимый взвешенный слой. Ранее установлено [2], что термическое воздействие на эмульсию повышает эффективность разделения. Очевидно, что количественную связь энергетических и конструктивных параметров вихревого деэмульгатора можно найти только экспериментально.

Литература

1. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием / Под ред. С.Г. Энтелеса, Э.М. Берлинера. – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.
2. Павленко А.М. Стійкість емульсій при технологічних впливах. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2001. – 140 с.

УДК 532

Братуга Е.Г., Павленко А.М., Кошлак А.В.

РОЗДІЛ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ РІДКИХ СЕРЕДОВИЩ У ВИХРОВОМУ ПОЛІ

У статті запропоновано використовувати термоініційовані вихрові апарати для поділу стійких емульсійних середовищ, приведена методика визначення основних конструктивних параметрів даних пристроїв, розрахункові залежності, що характеризують процес відділення вторинної фази.