

Семикопенко И.А., канд. техн. наук, проф.,  
Воронов В.П., канд. физ.-мат. наук, проф.,  
Жуков А.А., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУХФАЗНЫХ ВСТРЕЧНЫХ ПОТОКОВ В АГРЕГАТАХ НА БАЗЕ МЕЛЬНИЦ ДЕЗИНТЕГРАТОРНОГО ТИПА

olimp69@narod.ru

В данной статье проведено теоретическое исследование взаимного влияния двухфазных встречных потоков в зоне активного взаимодействия роторов агрегата дезинтеграторного типа. Представлена расчетная схема взаимодействия встречных двухфазных потоков. В области диапазона рассматриваемых значений технологических и конструктивных параметров при встречном движении двухфазных потоков в области размером  $D_1$  происходит образование эффекта под названием «пробка».

**Ключевые слова:** двухфазный поток, мельница, взаимодействие.

Дезинтеграторы являются одним из основных видов помольного оборудования, обеспечивающего получение готового продукта с заданным гранулометрическим составом [1].

Рассмотрим встречное движение двухфазных потоков в камере помола агрегата дезинтеграторного типа.

На основании закона сохранения энергии для встречных дисперсных потоков можно записать следующее соотношение [2] (рис. 1):

$$\frac{k_0 \xi^2}{2} = \frac{m_0 w^2}{2}, \quad (1)$$

здесь  $k_0$  – коэффициент квазиупругой силы, порождающей потенциальную энергию взаимодействия встречных двухфазных потоков;  $m_0$  – масса смеси воздуха и частиц материала в зоне встречного взаимодействия;  $w$  – скорость несущей среды, изменение которой в зоне встречного взаимодействия описывается

соотношением [3]:

$$w = \frac{w_0 \xi}{x_0}, \quad (2)$$

$$\xi = x - x_0, \quad (3)$$

$$x_0 = \frac{L_x}{2}, \quad (4)$$

где  $\xi$  – отклонение частиц материала относительно координаты  $x_0$  (рис. 1);  $w_0$  – окружная скорость внешнего ряда ударных элементов, равная:

$$w_0 = \omega R_p, \quad (5)$$

На основании выражения (1) с учетом (2) и (4) находим, что

$$k_0 = \frac{4m_0 w_0^2}{L_x^2}. \quad (6)$$

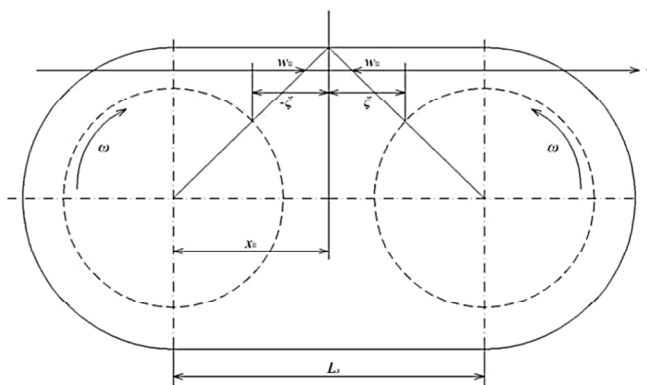


Рис. 1. Расчетная схема взаимодействия встречных двухфазных потоков

В рамках второго закона Ньютона уравнение, описывающее движение частицы материала массой « $m$ » в зоне взаимодействия встречных двухфазных потоков имеет вид:

$$\frac{m d^2 \xi}{dt^2} = - \frac{d}{d\xi} \left( \frac{k_0 \xi^2}{2} \right) - F_C, \quad (7)$$

Если исходить из предположения, что частица материала имеет сферическую форму с диаметром  $d_0$ , тогда в качестве силы сопротивления  $F_C$  можно выбрать силу Стокса, значение которой равно:

$$F_C = 3\pi\mu_0 d_0 \frac{d\xi}{dt}, \quad (8)$$

где  $\mu_0$  – коэффициент динамической вязкости запыленного воздуха.

При этом массу частицы материала представим в следующем виде:

$$m = \frac{\pi d_0^3}{6} \rho \quad (9)$$

Подстановка (8), (9) в (7) позволяет уравнение (7) привести к следующему виду:

$$\frac{d^2\xi}{dt^2} + \frac{1}{\tau} \frac{d\xi}{dt} + \omega_0^2 \xi = 0, \quad (10)$$

где величина  $\tau$  определяется формулой:

$$\tau = \frac{\rho d_0^2}{18\mu}, \quad (11)$$

где  $\rho$  – плотность материала,  $d_0$  – диаметр сферической частицы, а величина  $w_0$  определяется соотношением:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{24m_0 w_0^2}{\pi L_x^2 d_0^3 \rho}}, \quad (12)$$

Для нахождения решения дифференциального уравнения (10) запишем характеристическое уравнение:

$$\lambda^2 + \frac{\lambda}{\tau} + \omega_0^2 = 0, \quad (13)$$

В зависимости от знака дискриминанта квадратного уравнения (13)

$$D = \frac{1}{\tau^2} - 4\omega_0^2, \quad (14)$$

корни уравнения будут равны: если  $D > 0$ , тогда:

$$\lambda_1 = -\frac{1}{2\tau} + \frac{\sqrt{D}}{2\tau}, \quad (15)$$

$$\lambda_2 = -\frac{1}{2\tau} - \frac{\sqrt{D}}{2\tau}, \quad (16)$$

На основании (15) и (16) решение дифференциального уравнения (10) будет иметь вид:

$$\xi(t) = e^{-\frac{t}{2\tau}} \left( B_1 e^{\frac{\sqrt{D}}{2\tau} t} + B_2 e^{-\frac{\sqrt{D}}{2\tau} t} \right), \quad (17)$$

В случае, если  $D = 0$ , тогда

$$\lambda_1 = \lambda_2 = -\frac{1}{2\tau}, \quad (18)$$

а общее решение уравнения (10) примет вид:

$$\xi(t) = e^{-\frac{t}{2\tau}} (B_1 + B_2 t), \quad (19)$$

В случае, если  $D < 0$ , тогда

$$\lambda_1 = -\frac{1}{2\tau} + i \frac{\sqrt{|D|}}{2\tau}, \quad (20)$$

$$\lambda_2 = -\frac{1}{2\tau} - i \frac{\sqrt{|D|}}{2\tau}, \quad (21)$$

где  $i = \sqrt{-1}$ .

На основании (20) и (21) решение уравнения (10) будет иметь следующий вид:

$$\xi(t) = e^{-\frac{t}{2\tau}} \left( B_1 \sin \frac{\sqrt{|D|}}{2\tau} t + B_2 \cos \frac{\sqrt{|D|}}{2\tau} t \right), \quad (22)$$

здесь  $B_1$  и  $B_2$  – постоянные интегрирования, значения которых можно найти из начальных условий.

Для нахождения величины « $m_0$ » воспользуемся результатом работы [3]:

$$m_0 = \frac{\pi}{2} \psi \rho_1 D_1 d_0^2, \quad (23)$$

где  $\psi$  – коэффициент, равный 0,4;  $\rho_1$  – плотность двухфазного потока;  $D_1$  – размер области эффективного взаимодействия встречных двухфазных потоков.

Вид поведения частицы материала в зоне встречного движения двухфазного потока определяется знаком выражения (14). На основании сказанного вычислим величину дискриминанта характеристического уравнения (13) для следующих значений технологических и конструктивных параметров мельницы дезинтеграторного типа:

$$\begin{aligned} \mu_0 &= 1,84 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}; \rho = 2000 \text{ кг/м}^3; \\ \rho_1 &= 2,664 \text{ кг/м}^3; L_x = 0,302 \text{ м}; f = 0,3; \\ D_1 &= 0,01 \text{ м}; \omega = 50 \end{aligned}$$

Графическая зависимость дискриминанта характеристического уравнения (14) при варьировании диаметра частицы представлена на рис. 2.

Анализ графической зависимости, представленной на рис. 2, позволяет сделать вывод о том, что для частиц материала, размер которых

превышает значение  $d_{гр} = 0,00001$  м, дискриминант характеристического уравнения (13) принимает отрицательное значение и следовательно, движение частицы материала во встречном

двухфазном потоке описывается соотношением (22), которое соответствует затухающим колебаниям.

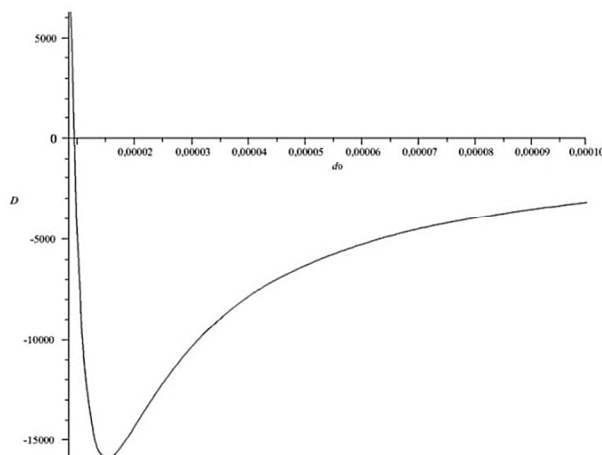


Рис. 2. Графическая зависимость поведения дискриминанта характеристического уравнения от диаметра  $d_0$  частиц материала, находящихся в области встречного движения двухфазных потоков

Согласно (22) время затухания равно  $2\tau$ . Величине  $\tau$  в выражении (22) можно придать смысл характерного времени затухания.

Таким образом, в области диапазона рассматриваемых значений технологических и конструктивных параметров при встречном движении двухфазных потоков в области размером  $D_1$  происходит образование эффекта под названием «пробка».

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хинт И.А. Основы производства

силикальцитных изделий. М.: Госстройиздат, 1962. 602 с.

2. Семикопенко И.А., Воронов В.П., Вялых С.В., Жуков А.А. Теоретическое исследование процесса смешивания компонентов в помольно-смесительном агрегате на базе мельницы дезинтеграторного типа // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. №2. С. 78–79.

3. Карпачев Д.В. Противоточная струйная мельница с изменяемыми параметрами помольной камеры: дис. ... канд. техн. наук. Белгород, БелГТАСМ, 2002. 211 с.

**Semikopenko I.A., Voronov V.P., Zhukov A.A.**

## THEORETICAL RESEARCH OF INTERACTION TWO-PHASE COUNTER FLOWS IN AGGREGATES ON THE BASE MILLS OF DISINTEGRATOR TYPES

*In this paper theoretical study of interference two-phase counter flows in the zone of active interaction rotors of aggregates disintegrator type is carried out. Calculation diagram interaction of two-phase counter flows was been presented. In the area of diapason considering meanings of technological and constructional elements by counter movement of two-phase flows in the area of size  $D_1$  are coming formation effect under name «plug».*

**Key words:** two-phase flow, mill, interaction.

**Семикопенко Игорь Александрович**, кандидат технических наук, профессор кафедры механического оборудования.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46.

E-mail: v.s\_bogdanov@mail.ru

**Воронов Виталий Павлович**, кандидат физико-математических наук, профессор кафедры механического оборудования.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46.

E-mail: v.s\_bogdanov@mail.ru

**Жуков Александр Александрович**, аспирант кафедры механического оборудования.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46.