

МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И МАШИНОСТРОЕНИЕ

Вялых С.В., аспирант,
Семикопенко И. А., канд. техн. наук, проф.,
Воронов В. П., канд. физ.-мат. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЯ ПРОХОЖДЕНИЯ ЧАСТИЦЕЙ МАТЕРИАЛА МЕЖДУРЯДНОГО ПРОСТРАНСТВА ДЕЗИНТЕГРАТОРА

olimp69@narod.ru

В данной работе рассматривается встречное движение воздушных потоков в междурядном пространстве дезинтегратора.

Ключевые слова: встречный воздушный поток, вихрь, условие прохождения, частица материала, дезинтегратор.

Величина u_0 в соотношениях (1) и (2) представляет собой скорость схода воздуха с радиально расположенных ударных элементов дезинтегратора:

$$u_x = u_0 \sin \left\{ 2 \arctg \left(\exp \left(\sqrt{\frac{\pi H}{R_0}} \cdot \frac{x}{R_0} \right) \right) \right\}, \quad (1)$$

$$u_y = u_0 \cos \left\{ 2 \arctg \left(\exp \left(\sqrt{\frac{\pi H}{R_0}} \cdot \frac{x}{R_0} \right) \right) \right\}. \quad (2)$$

Согласно результатам работы [1] u_0 определяется соотношением:

$$u_0 = \omega \sqrt{H(D_k - H)}, \quad (3)$$

где D_k – диаметр k -того ряда дезинтегратора; ω – частота вращения ротора дезинтегратора; H – высота ударных элементов.

Для описания встречного движения двухфазных потоков, исходящих из соседних “ k ” и “ $k+1$ ” рядов ударных элементов, вращающихся в противоположных направлениях, воспользуемся расчетной схемой, изображенной на рис.1.

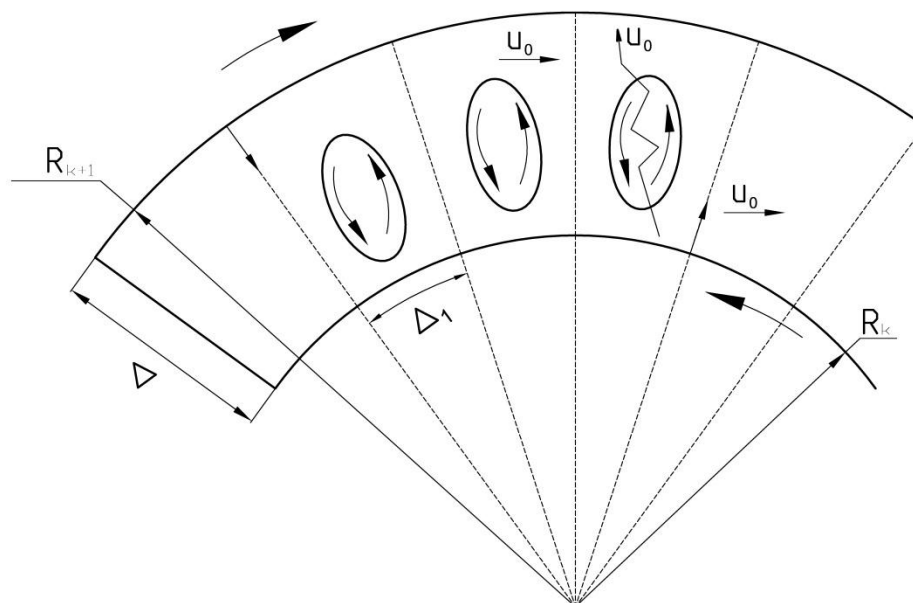


Рис. 1. Расчетная схема перехода частицы материала, движущейся со скоростью u_0 через вихревой воздушный поток междурядного пространства

Расчетная схема на рис. 1 построена в предположении, что встречные воздушные потоки в междурядном пространстве образуют цепочку цилиндрических воздушных вихрей, каждый из которых обладает энергией (4) и линейным размером в плоскости, перпендикулярной оси вращения (5):

$$E = \frac{\pi \rho_0 R_0^2 H}{2} u_0^2 \sqrt{\frac{R_0}{\pi H}} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \left(\frac{d\theta}{d\xi_1} \right)^2 + \sin^2 \theta(\xi_1) \right\} d\xi_1 \quad (4)$$

$$R_0 = \sqrt{\Delta \Delta_1} \quad (5)$$

где Δ_1 – расстояние между “ k ” и “ $k+1$ ” рядами ударных элементов, а величина Δ_1 задается следующим выражением:

$$\Delta_1 = \frac{2\pi R_k}{n} - b, \quad (6)$$

здесь b – ширина ударного элемента; n – число ударных элементов в “ k ”-ом ряду.

Преобразуем выражение энергии вихря (4), для этого воспользуемся (7) и (8):

$$E_0 = \pi \rho_0 R_0^2 H \sqrt{\frac{R_0}{\pi H}} \cdot u_0^2. \quad (7)$$

$$\frac{d\theta}{d\xi_1} = \pm \sin \theta(\xi_1). \quad (8)$$

$$E = E_0 \int_{-\infty}^{+\infty} \sin^2 \theta(\xi_1) d\xi_1, \quad (9)$$

В выражении (9) перейдем от интегрирования по переменной ξ к переменной интегрирования θ :

$$E = E_0 \int_0^\pi \sin^2 \theta(\xi_1) \cdot \frac{d\xi_1}{d\theta} d\theta \quad (10)$$

Учет (8) позволяет (10) привести к следующему результату:

$$E = E_0 \int_0^\pi \sin \theta d\theta = 2E_0. \quad (11)$$

Подстановка в (11) (7) и (3) позволяет представить энергию цилиндрического вихря в виде:

$$E = 2\pi \omega^2 \rho_0 R_0^2 H^2 \cdot \sqrt{\frac{R_0}{\pi H}} (2R_k - H) \quad (12)$$

$$d_{\min} = \sqrt[3]{\frac{24\rho_0 \Delta \left(\frac{2\pi R_k}{n} - b \right) H^2 (2R_k - H) \sqrt{\frac{\Delta \sqrt{\frac{2\pi R_k}{n} - b}}{\pi H}}}{R_k^2 \rho \left(1 + \frac{1}{4f^2} \right)}} \quad (19)$$

Учет (5) и (6) окончательно приводит к результату:

$$E = 2\pi \rho_0 \omega^2 H^2 \sqrt{\frac{\Delta \left(\frac{2\pi R_k}{n} - b \right)}{\pi H}} \cdot \Delta \left(\frac{2\pi R_k}{n} - b \right) (2R_k - H) \quad (13)$$

Кинетическую энергию частицы материала в междурядном пространстве представим в следующем виде:

$$T = \frac{\pi d^3}{12} \rho V^2, \quad (14)$$

где d – диаметр частицы материала; V – скорость частицы материала, равная:

$$\begin{aligned} V &= \sqrt{\omega^2 R_k^2 + V_0^2} = \\ &= \sqrt{\omega^2 R_k^2 + \frac{\omega^2 R_k^2}{4f^2}} = \\ &= \omega R_k \sqrt{1 + \frac{1}{4f^2}} \end{aligned} \quad (15)$$

Для того, чтобы частица материала, движущаяся со скоростью (14), могла осуществить переход с “ k ”-го ряда ударных элементов на “ $k+1$ ” ряд, согласно расчетной схемы на рисунке 1 должно выполняться неравенство

$$T \geq E, \quad (16)$$

которое с учетом (13), (14) и (15) примет вид:

$$\rho d^3 \cdot R_k^2 \sqrt{1 + \frac{1}{4f^2}} \geq 24\rho_0 H^2 \Delta \left(\frac{2\pi R_k}{n} - b \right). \quad (17)$$

$$\cdot \sqrt{\frac{2\pi R_k - b}{n}} \cdot \frac{\Delta}{\pi H} \cdot (2R_k - H)$$

Полученное неравенство (17) удобно представить в следующем виде:

$$d \geq d_{\min} \quad (18),$$

где введено следующее обозначение:

Полученное соотношение (19) определяет оптимальный размер частицы материала, которая может преодолеть междурядное пространство в дезинтеграторе при сходе с “ k ”-го ряда ударных элементов. Графическая зависимость величины (19) от текущих значений радиусов рядов ударных элементов представлена на рис. 2.

Из графической зависимости, представленной на рис. 2, можно сделать вывод, что при увеличении граничного радиуса рядов ударных элементов R_k диаметр частицы материала d_{min} увеличивается тем быстрее, чем меньше число ударных элементов.

$$\begin{aligned} u_x &= u_0 \sin \left\{ 2 \arctg \left(\exp \left(\frac{x}{R} \right) \right) \right\}; \\ u_y &= u_0 \cos \left\{ 2 \arctg \left(\exp \left(\frac{x}{R} \right) \right) \right\}, \end{aligned} \quad (20)$$

здесь x – текущая координата границы столкновения встречных воздушных потоков: $(-\infty \leq x \leq \infty)$; u_0 – скорость схода воздуха, [1,2].

При этом, согласно расчетной схеме, представленной на рис. 3 (1), осуществим комфортное отображение области изменения x на окружность радиуса R_k в комплексной области z .

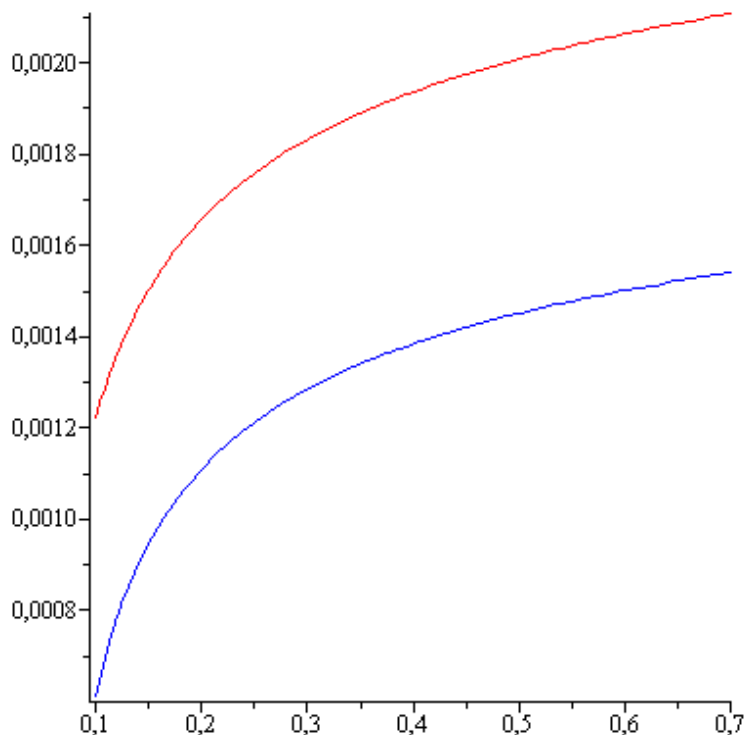


Рис. 2. График изменения значений d_{min} от расстояния до рядов ударных элементов: верхняя кривая соответствует количеству ударных элементов - 24, нижняя кривая - 48

(1)

(2)

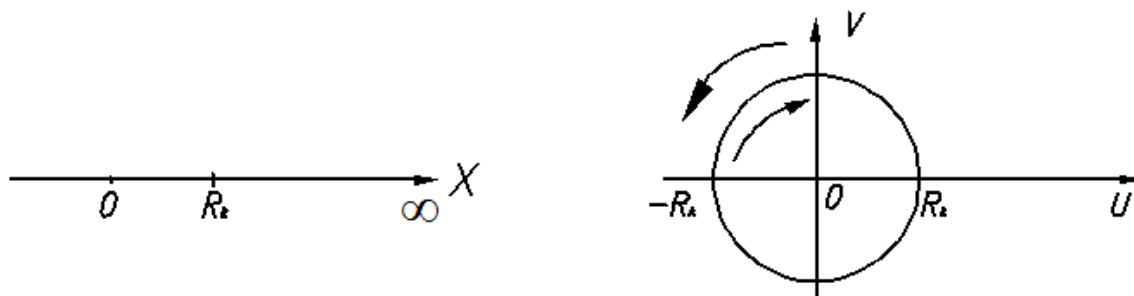


Рис. 3. Расчетная схема для комфортного отображения точек прямой на окружность радиуса R_k .

Данное комфортное отображение согласно [3] можно осуществить с помощью следующей дробно-рациональной функции:

$$x = -iR_k \frac{z - R_k}{z + R_k}, \quad (21)$$

где R_k – граничный радиус, разделяющий встречные воздушные потоки, исходящие из “ k ” и “ $k+1$ ” рядов ударных элементов; z – комплексное число в тригонометрической форме, принадлежащее окружности $z = R_k$.

Согласно данным работы [4], энергия воздушного вихря (22) задается следующим соотношением:

$$W = \frac{\pi D_k^2 u_0^2}{2} \gamma \int_{-\infty}^{+\infty} \left\{ R_k^2 \left(\frac{d\theta}{dx} \right) + \sin^2 \theta \right\} dx =$$

$$\pi R_k^2 u_0^2 \gamma \int_0^\pi \sin \theta d\theta = 2\pi R_k^2 \gamma \cdot u_0^2 \quad (22)$$

Далее, если предположить, что согласно расчетной схемы, представленной на рисунке 3(2), исходный воздушный вихрь, задаваемый выражениями (20), (21), (22) распадается на «2n» не взаимодействующих вихрей, как представлено на рисунке 3(2). Тогда если через E_1 обозначить энергию единичного вихря, то на основании закона сохранения энергии можно записать следующее соотношение:

$$2\pi R_k^2 \gamma h u_0^2 = 2n E_1, \quad (23)$$

где n - количество ударных элементов в “ k -том” ряду камеры помола дезинтегратора и согласно данным работы [4] задаются соотношением:

$$n = 1,41^{k-1} \frac{\pi D_1}{2d_{max} + b}, \quad (24)$$

где: D_1 – диаметр первого внутреннего ряда ударных элементов; d_{max} – максимальный размер исходных кусков материала; b – толщина ударных элементов.

На основании соотношения (23) находим, что:

$$E_1 = \frac{\pi R_k^2 \gamma h u_0^2}{n}. \quad (25)$$

С другой стороны, кинетическая энергия T частицы материала, сходящей с “ k ”-того ряда ударных элементов, определяется следующим соотношением:

$$T = \frac{\pi d^3}{12} \rho v^2, \quad (26)$$

здесь d – диаметр частицы, сходящей с ударного элемента “ k ”-того ряда; ρ - плотность частицы; v – скорость схода частицы материала, которая, согласно результату работы [5] для радиального расположения ударных элементов, задается следующим соотношением:

$$v = \omega \rho_0 \frac{\cos \beta_0 - \mu \sin \beta_0}{2\mu}. \quad (27)$$

Для того, чтобы частица материала могла осуществить переход с ударных элементов “ k ”-того ряда на ударные элементы “ $k+1$ ” ряда, должно выполняться следующее равенство:

$$\frac{\pi d^3}{12} \rho v^2 \geq \frac{\pi R_k^2 \gamma h u_0^2}{n}. \quad (28)$$

На основании полученного соотношения (28) следует, что частица материала осуществляет переход с “ k ”-того ряда ударных элементов на ударные элементы “ $k+1$ ” ряда при выполнении следующего условия $d > d_{min}$, где

$$d_{min} = \sqrt[3]{\frac{12 R_k^2 \gamma h u_0^2}{n \rho v^2}}. \quad (29)$$

Графическая зависимость величины (29) от граничного радиуса R_k , разделяющего встречные воздушные потоки, представлена на рисунке 4.

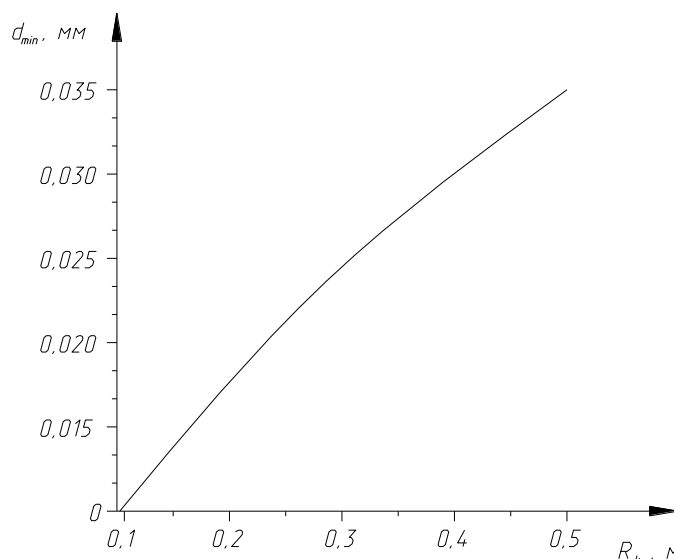


Рис. 4. Зависимость диаметра частицы d_{min} от граничного радиуса R_k , разделяющего встречные воздушные потоки

Из графической зависимости можно сделать вывод, что при увеличении граничного радиуса R_k , разделяющего встречные воздушные потоки, диаметр частицы d_{min} , которая осуществляет переход с “ k ”-того ряда ударных элементов на ударные элементы “ $k+1$ ” увеличивается.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воронов В.П., Семикопенко И.А., Вялых С.В., Дятлова Е.И. Расчет поля скорости воздушного потока в плоскости, перпендикулярной оси вихря // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. №4. С.65-67.
2. Клочков Н.В., Блиничев В.Н., Бобков С.П., Пискунов А.В. Методика расчета воздуха в центробежно-ударной мельнице // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. 1982. №2. С. 230-232.
3. Свешников А.Г., Тихонов А.Н. Теория функций комплексного переменного. М.: Наука. 1970. 304 с.
4. Рязанцева А.В. Использование дезинтеграторной технологии для интенсификации процессов в гетерогенных системах / Дис. канд. техн. наук. Иваново. 2003. – 56 с.
5. Воронов В.П., Семикопенко И.А., Пензев П.П. Теоретические исследования скорости движения частиц материала вдоль поверхности ударного элемента мельницы дезинтеграторного типа // Известия ВУЗов. Строительство. №11-12. 2008. С. 93-96.