DOI: 10.12737/22070

Семикопенко И.А., канд. техн. наук, проф.,
Воронов В.П., канд. физ.-мат. наук, проф.,
Трофимов И.О., магистрант
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ МАТЕРИАЛА В МЕЖДУРЯДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ДЕЗИНТЕГРАТОРА С ПЕРЕМЕННЫМ МЕЖДУРЯДНЫМ РАССТОЯНИЕМ

chentsov.1995@mail.ru

В данной статье получено аналитическое выражение, позволяющее определить радиальный размер области междурядного пространства дезинтегратора с периодически изменяющимся расстоянием, в котором возможно разрушение частиц материала под действием возникающего напряжения. Представлена расчетная схема для определения радиального размера рассматриваемой области камеры помола.

***Ключевые слова**: дезинтегратор, междурядное пространство, частица.*

Дезинтеграторы являются наиболее эффективным оборудованием для помола малоабразивных материалов [1].

Математическое описание процесса движения частицы материала в междурядном пространстве дезинтегратора [2] с переменным междурядным расстоянием S, которое периодически изменяется от значения $S_{\min}$ до $S_{\max}$ будем описывать следующим уравнением:

$$F = m\frac{d\vartheta}{dt}, \tag{1}$$

где m – масса частицы материала; ϑ – скорость движения частицы материала в междурядном пространстве; F – сила, действующая на частицу материала; t – текущее время.

В междурядном пространстве из-за неравенства скоростей движения возникают касательные σ напряжения, действующие на частицу материала, которые с силой F связаны соотношением:

$$F = \sigma A, \tag{2}$$

здесь A – площадь поперечного сечения частицы, в случае её сферической формы:

$$A = \frac{\pi d^2}{4}, \tag{3}$$

где d – диаметр частицы материала.

Согласно результату работы [3] величина касательных напряжений в междурядном пространстве определяется следующим соотношением:

$$\text{б} = \frac{\mu\vartheta}{S}, \tag{4}$$

где μ – коэффициент псевдовязкого измельчения потока, величина которого согласно работы [3] равна 2618 Па·с; S – величина междурядного расстояния; ϑ – скорость движения частицы в междурядном потоке.

В силу периодического изменения междурядного расстояния можно записать следующее соотношение:

$$S = S_0 \cdot \cos(\upsilon t), \tag{5}$$

здесь S_0 – амплитуда изменения междурядного расстояния; υ – частота изменения междурядного расстояния.

Значения параметров S_0 и υ можно найти, если задаться следующими начальными условиями (см. рис.1)

при $t = 0$,

$$S = S_{\max}; \tag{6}$$

при $t = \frac{\pi}{2\omega}$,

$$S = S_{\min}, \tag{7}$$

где ω – частота вращения роторов дезинтегратора.

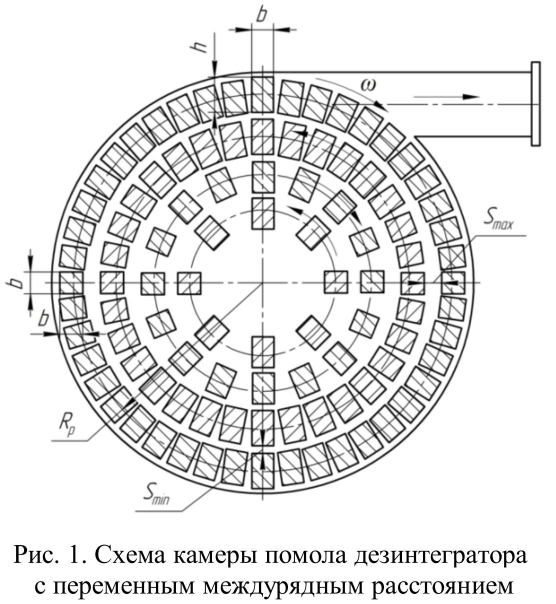

Рис. 1. Схема камеры помола дезинтегратора с переменным междурядным расстоянием

На основании соотношений (6) и (7) находим:

$$S_0 = S_{\max}; \qquad (8)$$

$$\cos(\frac{S_{\min}}{S_{\max}}). \qquad (9)$$

Подстановка (8) и (9) в (5) позволяет получить следующий результат:

$$S = S_{\max} \cdot \cos(\frac{2\omega t}{\pi} \cdot \alpha), \qquad (10)$$

где введено следующее обозначение:

$$\alpha = \arccos(\frac{S\min}{S\max}). \qquad (11)$$

В случае сферической формы частицы массу последней представим в следующем виде:

$$m = \rho\frac{\pi d^3}{6}, \qquad (12)$$

здесь ρ – плотность частицы материала.

Подстановка (2) и (12) в (1) с учетом (3) и (4) позволяет получить следующее уравнение:

$$\frac{d\vartheta}{dt} = \frac{3}{2} \cdot \frac{\mu\vartheta}{\rho s d}. \qquad (13)$$

Запишем соотношение, связывающее частоту вращения ротора дезинтегратора с углом поворота φ и временем t:

$$\varphi = \omega t. \qquad (14)$$

На основании (14) с учетом (10) уравнение (13) принимает следующий вид:

$$\omega\frac{d\vartheta}{d\varphi} = \frac{3}{2} \cdot \frac{\mu\vartheta}{\rho d \cdot S_{\max} \cdot \cos(\frac{2\alpha}{\pi} \cdot \varphi)}. \qquad (15)$$

С математической точки зрения уравнение (15) представляет собой дифференциальное уравнение первого порядка с разделяющимися переменными.

Разделение переменных в (15) приводит к следующему результату:

$$\frac{d\vartheta}{\vartheta} = \gamma \cdot \frac{d\varphi}{\cos(\frac{2\alpha}{\pi} \cdot \varphi)}, \qquad (16)$$

где введем следующее обозначение:

$$\gamma = \frac{3\mu}{2\omega S_{max}\rho d}. \qquad (17)$$

Интегрирование уравнения (16) в определенных пределах позволяет получить следующее соотношение:

$$\int_{\vartheta_0}^{\vartheta_k} \frac{d\vartheta}{\vartheta} = \gamma\int_0^{\pi/4} \frac{d\varphi}{\cos(\frac{2\alpha}{\pi} \cdot \varphi)}, \qquad (18)$$

где ϑ_0 и ϑ_k – начальное и конечное значение скорости в области переменного сечения.

Вычислим:

$$\int_0^{\frac{\pi}{4}} \frac{d\varphi}{\cos(\frac{2\alpha}{\pi} \cdot \varphi)} = \int_0^{\frac{\pi}{4}} \frac{d\varphi}{\sin(\frac{\pi}{2} - \frac{2\alpha}{\pi} \cdot \varphi)} = \begin{bmatrix} x = & \frac{2\alpha}{\pi} \cdot \varphi \\ d\varphi = & \frac{\pi}{2\alpha} dx \end{bmatrix} = \frac{\pi}{2\alpha} \int_0^{\alpha/2} \frac{dx}{\sin(\frac{\pi}{2} - x)} = \frac{\pi}{2\alpha} \int_0^{\alpha/2} \frac{dx}{2\sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{x}{2}\right)\cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{x}{2}\right)} =$$

$$= \frac{\pi}{2\alpha} \int_0^{\alpha/2} \frac{d(tg\left(\frac{\pi}{4} - \frac{x}{2}\right))}{tg\left(\frac{\pi}{4} - \frac{x}{2}\right)} = -\frac{\pi}{2\alpha}\ln\left| tg\left(\frac{\pi-\alpha}{4}\right)\right|. \qquad (19)$$

Подстановка (19) в (18) позволяет получить следующее соотношение:

$$\ln\frac{\vartheta_k}{\vartheta_0} = -\gamma_1 \cdot \ln\left|tg\left(\frac{\pi-\alpha}{4}\right)\right|, \qquad (20)$$

где введено следующее обозначение:

$$\gamma_1 = \frac{\pi}{2\alpha} \cdot \gamma. \qquad (21)$$

Применив операцию потенцирования к соотношению (20) находим, что:

$$\vartheta_k = \frac{\vartheta_0}{tg^{\gamma_1}((\pi-\alpha)/4)}. \qquad (22)$$

Разрушение частицы материала в области с переменным междурядным расстоянием (10) будет осуществляться в случае выполнения следующего неравенства [4]:

$$\Delta E \geq \frac{\pi 6_p^2 d^3}{12E}, \qquad (23)$$

где E – модуль Юнга для материала измельчаемой частицы; σ_p – значение растягивающего напряжения, которое приводит к разрушению частицы материала; ΔE – изменение кинетической энергии частицы материала при движении последней в области междурядного пространства дезинтегратора с переменным расстоянием. Величина данного изменения равна:

$$\Delta E = \frac{m}{2}(\vartheta_k^2 - \vartheta_0^2). \qquad (24)$$

Подстановка (24) в (23) с учетом (12) и (21) позволяет получить следующий результат:

$$\vartheta_0^2 \geq \frac{6_p^2 \cdot tg^{2\gamma_1}(\frac{\pi-\alpha}{4})}{E \cdot \rho[1 - tg^{2\gamma_1}((\pi-\alpha)/4)]}. \qquad (25)$$

Если предположить, что в междурядном пространстве значение скорости частицы материала ϑ_0 совпадает со значением окружной скорости потока, тогда:

$$\vartheta_0 = \omega \cdot R_p, \qquad (26)$$

где R_p – расстояние от оси вращения роторов до рассматриваемого ряда ударных элементов.

На основании (26) получаем следующий результат:

$$R_p \geq \frac{\vartheta_{\mathrm{p}}}{\omega}, \tag{27}$$

где величина ϑ_{p} определяется соотношением:

$$\vartheta_p = \frac{6_p \cdot tg^{\gamma 1}\left((\pi-\alpha)/4\right)}{\sqrt{E\rho(1-tg^{2\gamma 1}(\pi-\alpha)/4)}}\ . \tag{28}$$

Таким образом, полученные соотношения (27) и (28) определяют радиальный размер области междурядного пространства дезинтегратора с переменным расстоянием (10), в которой возможно разрушение частиц материала под действием возникающего напряжения (4). На рис. 2 представлена зависимость радиального размера переменной области от отношения минимального междурядного расстояния к максимальному.

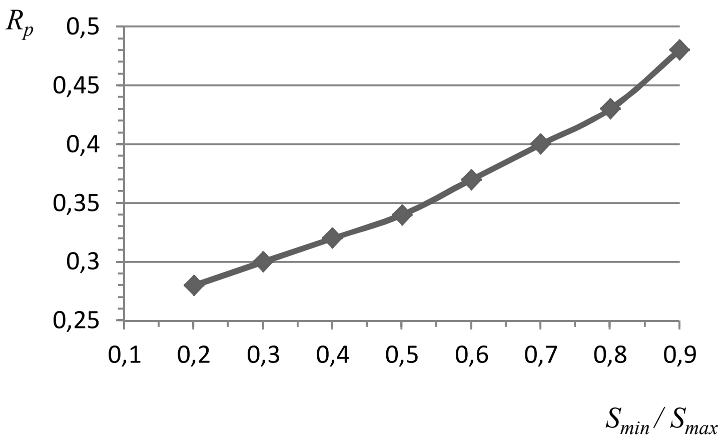

Рис. 2. Графическая зависимость R_p от $\frac{S_{min}}{S_{max}}$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хинт И.А. Основы производства силикальцитных изделий. М.: Стройиздат, 1962. 636 с.

2. Богданов В.С., Семикопенко И.А., Масловская А.Н., Александрова Е.Б. Дезинтегратор с повышенными нагрузками на измельчаемый материал. Строительные и дорожные машины. 2009. №5. С. 51–54.

3. Данилов Р.Г. Гипотеза механизма тонкого измельчения в роторных мельницах с зубчатоподобным зацеплением// Промышленность стройматериалов и стройиндустрия. Энерго - и ресурсосбережение в условиях рыночных отношений: Сб. докл. Междунар. конф. Ч.4. Белгород, 1997 . С. 164–168.

4. Кухлинг Х. Справочник по физике. М., Мир, 1985. 196 с.

Semikopenko I.A., Voronov V.P., Trofimov I.O.

A MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE MOTION OF PARTICLES MATERIAL IN SPACE INTERCROPPING DISINTEGRATOR WITH VARIABLE ROW SPACING

In this paper, an analytical expression that indicates the radial size of the inter-row space disintegrator with a periodically varying length, which can be destroyed by the action of the particles of the material occurring voltage. It presents the design scheme for determining the radial dimension of the area under consideration grinding chamber.

Key words: *disintegrator, intercropping space particle.*

Семикопенко Игорь Александрович, кандидат технических наук, профессор кафедры механического оборудования
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 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, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Трофимов Илья Олегович, магистрант кафедры механического оборудования
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: chentsov.1995@mail.ru