

# МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI:10.12737/article\_5b115a6ba8ea20.49260757

Семикопенко И.А., канд. техн. наук, доц.,  
Латышев С.С., канд. техн. наук, доц.,  
Воронов В.П., канд. физ.-мат. наук, проф.,  
Беляев Д.А., аспирант,  
Юрченко А.С., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО КАЛИБРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА В ПЕРИФЕРИЙНОЙ ЧАСТИ ДЕЗИНТЕГРАТОРА

semikopenko.ia@bstu.ru

В последние годы дезинтеграторы находят широкое применение при измельчении, активации и смешении для производства ряда строительных материалов. Одним из недостатков работы дезинтеграторов является незначительное количество соударений частиц в периферийной зоне камеры помола. В данной статье разработано математическое выражение для определения изменения концентрации частиц материала в периферийной зоне камеры помола в связи с установкой цилиндрического калибрующего устройства, а также уравнение, определяющее радиус установки данного устройства. Представлена схема камеры помола дезинтегратора с цилиндрическим калибрующим устройством. Рассмотрено условие прохождения частицы материала через отверстие перфорированной секции калибрующего устройства. Установлено, что частица материала покинет зону между внешним рядом ударных элементов и перфорированной секцией цилиндрического калибрующего устройства в случае, если за время  $t_n$  движения в радиальном направлении в отверстии диаметром  $\Delta$  частица пройдет расстояние, равное половине её диаметра.

**Ключевые слова:** дезинтегратор, бронеплита, устройство, секция, частица.

Одним из недостатков работы дезинтеграторов является незначительное количество соударений частиц материала и незначительные истирающие нагрузки в периферийной зоне камеры помола [1].

В связи с этим нами была разработана конструкция дезинтегратора с вращающимся цилиндрическим калибрующим устройством в периферийной части (рис. 1). Цилиндрическое калибрующее устройство 4 включает последовательно расположенные секции с отбойными бронеплитами 5 и перфорированные секции 6 с отверстиями. Данное устройство жестко крепится к торцу диска, который вращает предпоследний ряд ударных элементов. Таким образом, отбойные бронеплиты 5 и перфорированные секции 6 вращаются навстречу внешнему ряду ударных элементов. Частицы материала, находящиеся в зазоре между внутренней поверхностью калибрующего устройства и внешним рядом ударных элементов соударяются с бронеплитами и ударными элементами до тех пор, пока не пройдут через отверстия перфорированных секций.

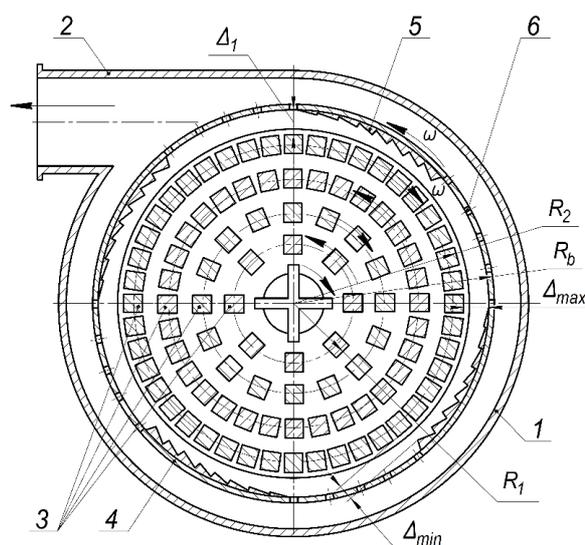


Рис. 1. Схема камеры помола дезинтегратора с цилиндрическим калибрующим устройством:

1 – корпус; 2 – разгрузочный патрубок;

3 – ударные элементы;

4 – цилиндрическое калибрующее устройство;

5 – бронеплиты; 6 – перфорированная секция

Полученное ранее выражение [2], определяющее общую площадь  $S_0$  перфорированной поверхности калибрующего устройства в периферийной части дезинтегратора в зависимости от оптимального диаметра шнекового питателя  $D_{оп}$  и параметров первого ряда ударных элементов дезинтегратора имеет вид:

$$S_0 = \frac{\pi^2 \psi}{2} \cdot \frac{D_{оп}^2 h}{R_b - R_2}, \quad (1)$$

где  $\psi$  – коэффициент, учитывающий степень заполнения площади поперечного сечения шнекового питателя;  $h$  – шаг шнека шнекового питателя;  $R_2$  – радиус внешнего ряда ударных элементов;  $R_b$  – внешний радиус перфорированной поверхности.

С другой стороны, опираясь на геометрические размеры отверстий в перфорированной секции цилиндрического калибрующего устройства, можно получить следующие соотношения:

$$S_0 = b \cdot l_r, \quad (2)$$

$$l_r = R_b \cdot \varphi_0, \quad (3)$$

$$\varphi_0 = \frac{\pi}{2}, \quad (4)$$

где  $l_r$  – общая дуга перфорированной цилиндрической части калибрующего устройства;  $b$  – ширина цилиндрической части калибрующего устройства;  $\varphi_0$  – угловой размер общей части перфорированной секции.

Формула (2) получена в предположении, что геометрический размер перфорированной секции в направлении, параллельном оси вращения роторов, совпадает с высотой ударных элементов внешнего ряда.

Приравнявая выражения (1) и (2) с учетом (3) и (4) получаем соотношение следующего вида:

$$\pi \psi \cdot \frac{D_{оп}^2 h}{R_b - R_2} = b R_b. \quad (5)$$

Полученное соотношение (5) приводим к следующему виду:

$$R_b^2 - R_b \cdot R_2 - \frac{\pi \psi h D_{оп}^2}{b} = 0. \quad (6)$$

Полученное выражение (6) можно рассматривать как квадратное уравнение относительно неизвестной величины  $R_b$ .

Разрешая уравнение относительно  $R_b$ , находим:

$$R_b = \frac{R_2}{2} + \frac{R_2}{2} \sqrt{1 + \frac{4\pi \psi h D_{оп}^2}{b R_2^2}}. \quad (7)$$

Подстановка значения  $D_{оп}^2$  из работы [3] в (7) позволяет последнее привести к виду:

$$R_b = \frac{R_2}{2} + \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{16\pi \mu_0 \Delta l^2 R_1}{3R_2^2(\Delta l + a)}} \right], \quad (8)$$

где  $\mu_0$  – коэффициент разрыхления,  $\mu_0 = 0,1 - 0,5$ ;  $\Delta l$  – расстояние между смежными ударными элементами внутреннего ряда камеры помола;  $a$  – сторона квадрата поперечного сечения ударного элемента;  $R_1$  – радиус внутреннего ряда ударных элементов.

Определим изменение концентрации частиц в периферийной зоне камеры помола в результате установки цилиндрического калибрующего устройства. Концентрация частиц, находящихся в зоне между внешним рядом ударных элементов и внутренней поверхностью цилиндрического калибрующего устройства определяется следующим образом:

$$C_1 = \frac{n_0}{V_1}, \quad (9)$$

где  $n_0$  – количество частиц в рассматриваемой зоне;  $V_1$  – объем рассматриваемой зоны, равный,  $m^3$ :

$$\begin{aligned} V_1 &= \pi R_b^2 \cdot H - \pi R_2^2 \cdot H = \pi \cdot H (R_b^2 - R_2^2) = \\ &= \pi \cdot H (R_b - R_2)(R_b + R_2) = \\ &= \pi \cdot H \cdot \Delta_1 (R_b + R_2), \end{aligned} \quad (10)$$

где  $H$  – высота камеры помола, м;  $\Delta_1$  – величина зазора между радиусом внешнего ряда ударных элементов и бронеплитами цилиндрического калибрующего устройства.

Следовательно, концентрация частиц равна

$$C_1 = \frac{n_0}{\pi \cdot H \cdot \Delta_1 (R_b + R_2)}. \quad (11)$$

Аналогично определим концентрацию частиц в периферийной зоне при условии отсутствия цилиндрического калибрующего устройства:

$$C_0 = \frac{n_0}{V_0}, \quad (12)$$

где  $V_0$  – объем зоны между внешним рядом ударных элементов и внутренней поверхностью цилиндрического корпуса камеры помола, который равен,  $m^3$ :

$$\begin{aligned} V_0 &= \pi R_k^2 \cdot H - \pi R_2^2 \cdot H = \pi \cdot H (R_k^2 - R_2^2) = \\ &= \pi \cdot H (R_k - R_2)(R_k + R_2) = \\ &= \pi \cdot H \cdot \Delta_0 (R_k + R_2), \end{aligned} \quad (13)$$

где  $\Delta_0$  – величина зазора между внутренним радиусом цилиндрического корпуса и радиусом внешнего ряда ударных элементов;  $R_k$  – внутренний радиус цилиндрического корпуса.

Следовательно, концентрация частиц равна

$$C_0 = \frac{n_0}{\pi \cdot H \cdot \Delta_0 (R_K + R_2)} \quad (14)$$

и после несложных преобразований получим отношение концентраций частиц в периферийной зоне камеры помола до и после установки цилиндрического калибрующего устройства:

$$\alpha = \frac{C_0}{C_1} = \frac{\frac{n_0}{\pi \cdot H \cdot \Delta_0 (R_K + R_2)}}{\frac{n_0}{\pi \cdot H \cdot \Delta_1 (R_B + R_2)}} = \frac{\Delta_0 (R_K + R_2)}{\Delta_1 (R_B + R_2)} = \frac{\Delta_0 (1 + \frac{R_K}{R_2})}{\Delta_1 (1 + \frac{R_B}{R_2})} \quad (15)$$

Так как  $\Delta_1 < \Delta_0$ , а  $R_B < R_K$ , следовательно,  $\alpha > 1$  и можно утверждать, что установка цилиндрического калибрующего устройства обеспечивает повышение концентрации частиц в периферийной зоне камеры помола дезинтегратора. Таким образом, полученные соотношения (8) и (15) определяют величину радиального размера, отсчитываемого от оси вращения цилиндрического калибрующего устройства в зависимости от конструктивных параметров дезинтегратора, а также изменение концентрации частиц материала в связи с установкой цилиндрического калибрующего устройства в периферийной части камеры помола.

Рассмотрим условие прохождения частицы материала диаметром  $d_k$  через выходное отверстие размером  $\Delta$  (рис.2).

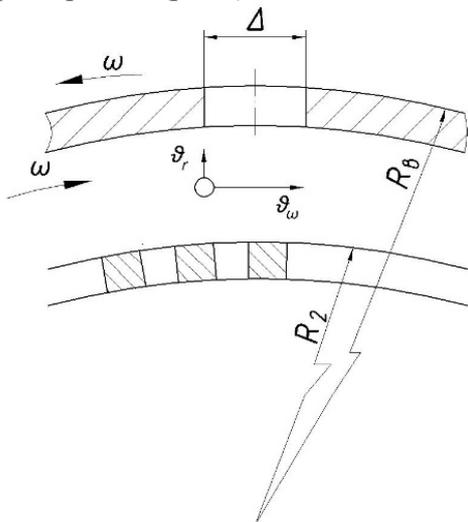


Рис. 2. Схема к определению условия прохождения частиц материала через отверстие перфорированной секции цилиндрического калибрующего устройства

После схода с внешнего ряда ударных элементов частица материала обладает составляющими скорости  $\vartheta_\omega$  и  $\vartheta_r$ , значения которых определяются следующими соотношениями [4, 5]:

$$\vartheta_\omega = \omega \cdot R_2, \quad (16)$$

$$\vartheta_r = \frac{\omega}{2f} \cdot (R_2 - \frac{l_r}{2}), \quad (17)$$

здесь  $\omega$  – частота вращения роторов дезинтегратора;  $l_r$  – длина ударных элементов соответствующего ряда;  $f$  – коэффициент трения.

Будем исходить из предположения, что частица материала покинет зону между внешним рядом ударных элементов и перфорированной секцией цилиндрического калибрующего устройства. Это произойдет в случае, если за время  $t_n$  движения в радиальном направлении в отверстии диаметром  $\Delta$  частица пройдет расстояние, равное половине её диаметра.

На основании изложенного можно получить следующие соотношения:

$$\vartheta_\omega \cdot t_m = \omega R_2 \cdot t_n, \quad (18)$$

$$\frac{d_k}{2} = \vartheta_r \cdot t_n = \frac{\omega}{2f} \left( R_2 - \frac{l_r}{2} \right) \cdot t_n. \quad (19)$$

С учетом (18) и (19), исключая величину  $t_n$ , находим:

$$\frac{\Delta}{\omega R_2} = \frac{d_k \cdot 2f}{2\omega \left( R_2 - \frac{l_r}{2} \right)}. \quad (20)$$

На основании выражения (20) можно получить следующее условие прохождения частицей материала через отверстие размером

$$\Delta \geq \Delta_{\min}, \quad (21)$$

$$\Delta_{\min} = \frac{d_k \cdot f}{1 - \frac{l_r}{2R_2}}. \quad (22)$$

Таким образом, частица материала покинет рассматриваемую зону между внешним рядом ударных элементов и перфорированной секцией цилиндрического калибрующего устройства при выполнении соотношений (21) и (22).

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хинт И.А. Основы производства силикатных изделий. М.: Стройиздат, 1962. 636 с.
2. Волков Р.А., Гнутов А.Н., Дьячков В.К. Конвейеры: Справочник / Р. А. Волков, А. Н. Гнутов, В. К. Дьячков и др. Под общ. ред. Ю. А. Пертена. Л.; Машиностроение, 1984. 367 с.
3. Семикопенко И.А., Воронов В.П., Юрченко А.С. Расчет оптимального диаметра шнекового питателя для подачи материала в камеру помола дезинтегратора // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №3. С. 85–87.
4. Кухлинг К. Справочник по физике. 2 изд. М.: Мир, 1985. 520 с.
5. Воронов В.П., Семикопенко И.А., Пен-

зев П.П. Теоретические исследования скорости движения частиц материала вдоль поверхности ударного элемента мельницы дезинтеграторного

типа // Известия ВУЗов. Строительство. 2008. № 11–12. С. 93–96.

*Информация об авторах*

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

E-mail: semikopenko.ia@bstu.ru

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

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Латышев Сергей Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент, директор института технологического оборудования и машиностроения.

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

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

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

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

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Беляев Денис Александрович**, аспирант, кафедра механического оборудования.

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

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Юрченко Александр Сергеевич**, аспирант, кафедра механического оборудования.

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

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

*Поступила в марте 2018 г.*

© Семикопенко И.А., Латышев С.С., Воронов В.П., Беляев Д.А., Юрченко А.С., 2018

**I.A. Semikopenko, S.S. Latyshev, V.P. Voronov, D.A. Belyaev, A.S. Yurchenko  
CALCULATION OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF CYLINDRICAL BEARING  
DEVICE IN THE PERIPHERAL PORTION OF THE DISINTEGRATOR**

*In recent years, disintegrators are widely used in grinding, activation and mixing for the production of a number of building materials. One of the disadvantages of disintegrators is a small number of collisions of particles in the peripheral zone of the grinding chamber. In this article, a mathematical expression is developed to determine the change in the concentration of material particles in the peripheral zone of the grinding chamber in connection with the installation of a cylindrical calibrating device, as well as an equation that determines the radius of the installation of this device. The scheme of the disintegrator grinding chamber with a cylindrical calibrating device is presented. The condition of the material particle passing through the hole of the perforated section of the calibrating device is considered. It is established that a particle of the material will leave the area between the external side of the percussion elements and a perforated cylindrical section of the bearing device in the case that the time of the movement in the radial direction in the hole diameter the particle will pass the distance equal to half its diameter.*

**Keywords:** *disintegrator, armored plate, device, section, particle.*

**REFERENCES**

1. Hint I.A. Basics of production of silicalcitic products. Moscow: Stroiizdat, 1962. 636 p.
2. Volkov R.A., Gnutov A.N., Dyachkov V.K. Conveyors: Reference book / R.A. Volkov, A.N. Gnutov, VK Dyachkov et al., Under general. Ed. A. A. Perten. L. ; Mechanical Engineering, 1984. 367 p.
3. Semikopenko I.A., Voronov V.P., Yurchenko A.S. Calculation of the optimal diameter of the

screw feeder for feeding the material into the grinding chamber of the disintegrator. Bulletin of BSTU named after. V.G. Shukhov, 2017, no. 3, pp. 85–87.

4. Kuhlning K. Handbook of Physics. 2 ed. Moscow: Mir, 1985. 520 p.

5. Voronov V.P., Semikopenko I.A., Penzev P.P. Theoretical studies of the velocity of material particles along the surface of a shock element of a disintegrator type. Izvestiya VUZov. Building, 2008, no. 11–12, pp. 93–96.

*Information about the author*

**Igor A. Semikopenko**, PhD, Assistant professor.

E-mail: semikopenko.ia@bstu.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova st., 46.

**Sergey S. Latyshev**, PhD, Assistant professor.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova st., 46

**Vitaliy P. Voronov**, PhD, Professor.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova st., 46.

**Denis A. Belyaev**, Research assistant.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova st., 46.

**Aleksander S. Yurchenko**, Research assistant.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova st., 46.

---

*Received in March 2018*