

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-11-125-131

Семикопенко И.А., Воронов В.П., Беляев Д.А., Бороздин Е.А.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

\*E-mail: semikopenko.i@yandex.ru

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛА В РАБОЧЕЙ КАМЕРЕ ДИСКОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

**Аннотация.** В данной статье дан анализ движения частиц материала в центральной и периферийной частях рабочей камеры дисковой мельницы. Представлены схема дисковой мельницы, а также схема движения частиц в ее рабочей камере. Измельчающие элементы представляют собой лопатки в форме параболы, расположенные на дисках, имеющих наклонную поверхность. Найдено выражение для определения времени  $t$  нахождения частицы внутри камеры помола мельницы. Определено, что данное время зависит от геометрических ( $x_1; y_1; x_2; y_2; \beta$ ) и технологических ( $\omega$ ) параметров. Зависимость времени  $t$  нахождения от изменения угла  $\beta$  отклонения направления поверхности криволинейной лопатки от радиального направления показана на рис. 3. В результате теоретических исследований получено аналитическое выражение, которое позволяет определить размер частиц на выходе из камеры помола. Согласно найденному выражению, конечный размер частиц на выходе из камеры помола зависит от таких параметров, как  $d_0$ ,  $\sigma$ ,  $\omega$ ,  $\beta$  и  $t$ . Вследствие этого была построена зависимость (рис. 4) отношения начального размера частиц к конечному ( $\frac{d_0}{d_k}$ ) от изменения времени  $t$ . Согласно полученным графикам, при увеличении угла  $\beta$  уменьшается время  $t$  пребывания частицы в камере помола, вследствие чего увеличивается конечный размер частицы на выходе.

**Ключевые слова:** теоретическое исследование, дисковая мельница, измельчение, камера помола, парабола.

**Введение.** Дисковые мельницы являются одним из видов малотоннажного оборудования для помола, смешения и активации различных материалов [1]. Преимущественными факторами использования данного оборудования являются его относительно малая установленная мощность, малые габариты, возможность автоматизации процесса [2].

Тем не менее с целью повышения эффективности работы дисковых мельниц продолжают поиски новых конструктивно-технических решений, внедрение которых требует дополнений к теоретическим расчетам конструктивных и технологических параметров.

На рис. 1 представлена схема рабочей камеры дисковой мельницы с наклонной поверхностью и лопатками в форме параболы. Дисковая мельница работает следующим образом: исходный материал подается через загрузочную воронку 1 и проходя через вертикальный цилиндрический патрубок 2 в рабочую камеру попадает на разбрасывающие лопасти 3 нижнего диска 4, имеющего наклонную поверхность к горизонту под углом  $\alpha$ . Материал под действием центробежных сил направляется в зону действия лопаток 6,7 принадлежащим дискам 4 и 5 соответственно. Частицы материала взаимодействуют с рабочей поверхностью криволинейных

лопаток, продвигаясь из центральной части камеры к периферийной. [3].

При данном перемещении частиц во время встречного вращения дисков 4 и 5 периодически изменяется зазор между верхней поверхностью нижнего диска 4 и нижней поверхностью верхнего 5 диска по ходу движения измельчаемого материала. При противоположном направлении вращения верхнего 5 и нижнего 4 диска рабочее пространство между ними последовательно сужается и расширяется, причем данные изменения рабочего пространства имеют высокочастотный циклический характер. Вследствие этого интенсивность движения и взаимодействия частиц с лопатками 6,7 и между собой возрастает. Здесь возникают нагрузки на измельчаемый материал, связанные с раздавливающими силами, создаваемыми противоположно вращающимися верхним 5 и нижним 4 дисками. Готовый продукт вылетает из корпуса через разгрузочный патрубок 8 [4].

В данной статье поставлены задачи определения зависимости крупности частиц на выходе из камеры помола от времени их нахождения внутри нее, исходя из геометрических ( $x_1; y_1; x_2; y_2; \beta$ ) и технологических ( $\omega$ ) параметров. [5].

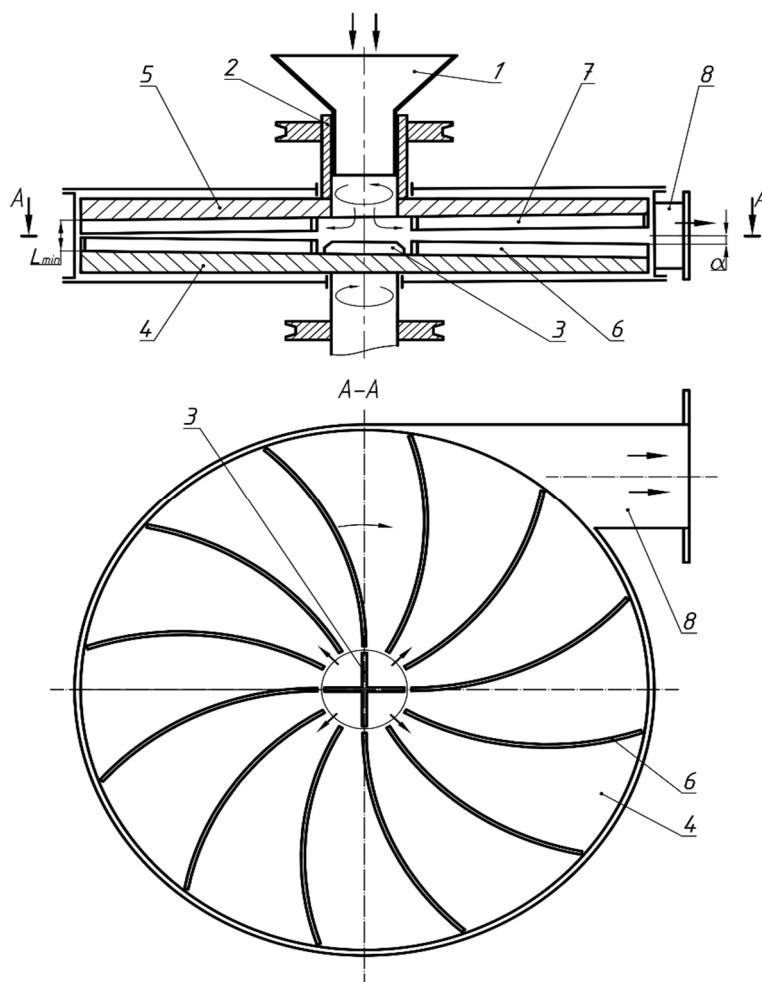


Рис. 1. Схема дисковой мельницы с наклонной рабочей поверхностью.  
 1 – загрузочная воронка; 2 – цилиндрический патрубок; 3 – разбрасывающие лопасти; 4 – нижний диск; 5 – верхний диск; 6, 7 – лопасти; 8 – разгрузочный патрубок.

**Основная часть.** Найдем время пребывания частицы материала в рабочей камере дисковой мельницы в зависимости от конструктивных и технологических параметров. Предположим, что криволинейные лопасти в корпусе дисковой мельницы имеют форму в виде участка параболы. [6]. Для определения длины криволинейного участка лопасти введём двумерную систему координат, представленную на рис. 2.

Согласно расчетной схеме на рис. 2, уравнение участка параболы имеет вид:

$$y = ax^2 + bx. \quad (1)$$

Для нахождения коэффициентов «a» и «b» необходимо воспользоваться координатами начала  $(x_1; y_1)$  и конца  $(x_2; y_2)$  участка параболы. На основании сказанного получаем следующую систему уравнений [7]:

$$\begin{cases} y_1 = ax_1^2 + bx_1; \\ y_2 = ax_2^2 + bx_2. \end{cases} \quad (2)$$

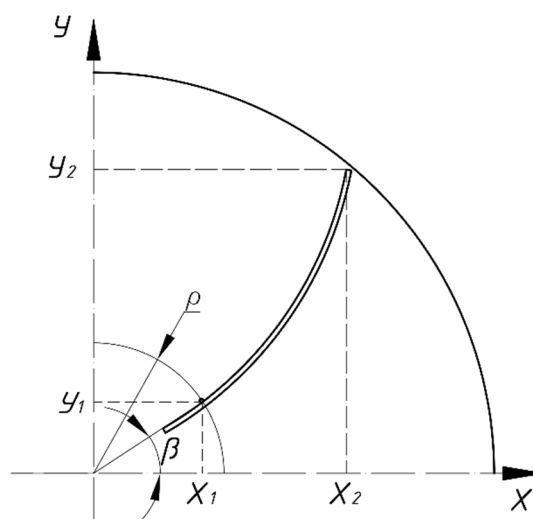


Рис. 2. Расчетная схема для определения длины криволинейной лопасти.

Решение системы (2) найдем на основании правила Крамера. [8]. Для этого находим следующие определители системы (2):

$$\Delta = \begin{vmatrix} x_1^2 x_1 \\ x_2^2 x_2 \end{vmatrix} = x_1^2 \cdot x_2 - x_2^2 \cdot x_1 = x_1 \cdot x_2 (x_1 - x_2); \quad (3)$$

$$\Delta_a = \begin{vmatrix} y_1 x_1 \\ y_2 x_2 \end{vmatrix} = y_1 \cdot x_2 - y_2 x_1; \quad (4)$$

$$\Delta_b = \begin{vmatrix} x_1^2 y_1 \\ x_2^2 y_2 \end{vmatrix} = x_1^2 \cdot y_2 - x_2^2 \cdot y_1. \quad (5)$$

На основании полученных соотношений (3) – (5) находим

$$a = \frac{\Delta a}{\Delta} = \frac{y_1 \cdot x_2 - y_2 \cdot x_1}{x_1 \cdot x_2 (x_1 - x_2)}; \quad (6)$$

$$b = \frac{\Delta b}{\Delta} = \frac{x_1^2 \cdot y_2 - x_2^2 \cdot y_1}{x_1 \cdot x_2 (x_1 - x_2)}. \quad (7)$$

Длину криволинейного участка «L» найдем на основании соотношения [9]:

$$L = \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2} = \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx. \quad (8)$$

На основании (1) находим:

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 = (2ax + b)^2. \quad (9)$$

Подстановка (9) в (8) приводит к следующему результату:

$$L = \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{1 + (2ax + b)^2} dx. \quad (10)$$

Для вычисления интеграла (10) произведем следующую замену переменной интегрирования согласно:

$$\xi = 2ax + b; \quad (11)$$

$$dx = \frac{d\xi}{2a}. \quad (12)$$

С учетом (11) и (12) интеграл (10) принимает вид:

$$L = \frac{1}{2a} \int_{\xi_1}^{\xi_2} \sqrt{1 + \xi^2} d\xi, \quad (13)$$

здесь

$$\xi_1 = 2ax_1 + b; \quad (14)$$

$$\xi_2 = 2ax_2 + b. \quad (15)$$

Вычисление интеграла (13) приводит к следующему результату:

$$L = \frac{1}{4a} \left( \xi_2 \sqrt{1 + \xi_2^2} - \xi_1 \sqrt{1 + \xi_1^2} + \ln \frac{\xi_2 + \sqrt{1 + \xi_2^2}}{\xi_1 + \sqrt{1 + \xi_1^2}} \right). \quad (16)$$

При попадании частиц материала на поверхность криволинейной лопатки частицы материала начинают двигаться вдоль её поверхности со скоростью, равной [10]:

$$g = \frac{\omega \cdot \rho}{2 \cdot f} (\cos \beta - f \sin \beta), \quad (17)$$

где  $\omega$  – частота вращения диска;

$\rho$  – расстояние от оси вращения диска до начала установленных криволинейных лопаток;

$\beta$  – угол отклонения направления поверхности лопатки от радиального направления;

$f$  – коэффициент трения частицы материала о поверхность лопатки.

На основании полученных соотношений определяем  $\tau$  – время нахождения частицы материала в рабочей камере [11].:

$$\tau = \frac{L}{g}, \quad (18)$$

которое с учетом формул (16) и (17) принимает вид:

$$\tau = \frac{f \left( \xi_2 \sqrt{1 + \xi_2^2} - \xi_1 \sqrt{1 + \xi_1^2} + \ln \left( \frac{\xi_2 + \sqrt{1 + \xi_2^2}}{\xi_1 + \sqrt{1 + \xi_1^2}} \right) \right)}{2 \cdot a \cdot \omega \cdot \rho (\cos \beta - f \sin \beta)}. \quad (19)$$

Таким образом, полученное выражение (19) определяет время пребывания частицы материала в рабочей камере в зависимости от конструктивных и технологических параметров.

На рис.3 показана зависимость времени  $\tau$  движения частицы вдоль рабочей поверхности лопатки от угла  $\beta$  отклонения поверхности лопатки от радиального направления. Из графика следует что, в зависимости от угла  $\beta$ , координата начала взаимодействия частицы с лопаткой будет изменяться, вследствие чего время  $\tau$  пребывания материала в рабочей камере так же будет различным.

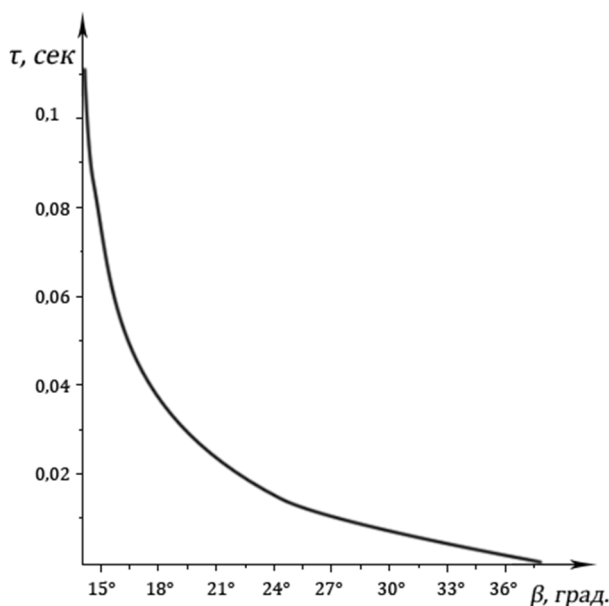


Рис. 3. График зависимости времени  $\tau$  движения частицы вдоль внутренней поверхности криволинейной лопатки от угла  $\beta$  отклонения направления ее поверхности

Таким образом, на графике видно, как нелинейно меняется время  $\tau$  нахождения частицы в рабочей камере в зависимости от угла  $\beta$  отклонения поверхности криволинейной лопатки от радиального направления.

Теперь определим конечный размер частиц при их разрушении в рабочей камере дисковой мельницы. Рассмотрим разрушение частиц материала в рабочей камере дисковой мельницы за счет раздавливающих и истирающих усилий, создаваемых криволинейными лопатками. Описание разрушения частиц материала под действием раздавливающего и истирающего воздействия можно привести в рамках неоднородного Марковского процесса. Согласно результату работы [12], математическое описание изменения среднего размера частиц материала в рабочей камере дисковой мельницы можно провести на основании следующего уравнения:

$$\frac{dz}{dz} = -\alpha \cdot \gamma \cdot \omega \left(1 - \frac{t}{\tau}\right) \cdot z, \quad (20)$$

где  $z$  – среднее значение размера частиц материала;  $\alpha$  – коэффициент истирания;  $\gamma$  – доля частиц материала, подвергающегося раздавливающему воздействию [13].

Величину коэффициента  $\alpha$  можно найти на основании следующего выражения:

$$\alpha = \frac{d_0 - d_k}{L}, \quad (21)$$

здесь  $d_k$  – среднее значение конечного размера частицы материала после схода с поверхности

лопатки;  $d_0$  – начальное значение размера частицы материала при входе на поверхность лопатки.

Согласно схемы, представленной на рис. 1, величина размера  $d_0$  должна удовлетворять следующему соотношению:

$$d_0 = \leq l_{min}, \quad (22)$$

где  $l_{min}$  – минимальный зазор между нижним и верхним дисками.

Согласно закону Гука можно записать следующее соотношение:

$$\frac{d_0 - d_k}{d_0} = \frac{\sigma}{E}, \quad (23)$$

где  $E$  – модуль Юнга;  $\sigma$  – величина напряжений, возникающих на поверхности частицы материала.

Подстановка (23) в соотношение (21) приводит к следующему результату:

$$\alpha = \frac{d_0}{L} \cdot \frac{\sigma}{E}. \quad (24)$$

В дальнейшем предполагаем, что все частицы, поступающие на лопатки, подвергаются разрушению ( $\gamma = 1$ ). Поэтому на основании сказанного и с учетом (24) уравнение (20) принимает вид:

$$\frac{dz}{dt} = \frac{-d_0 \cdot \sigma \cdot \omega}{L \cdot E} \left(1 - \frac{t}{\tau}\right) \cdot z. \quad (25)$$

Дифференциальное уравнение (25) с разделяющимися переменными  $z$  и  $t$  можно привести к следующему виду:

$$\frac{dz}{z} = -\frac{d_0 \cdot \sigma \cdot \omega}{L \cdot E} \left(1 - \frac{t}{\tau}\right) dt. \quad (26)$$

Проведем интегрирование в очевидных пределах по переменной  $z$  от начального значения  $d_0$  до конечного  $d_k$  и переменной  $t$  от начального значения «0» до конечного  $\tau$  [14].:

$$\int_{d_0}^{d_k} \frac{dz}{z} = -\frac{d_0 \cdot \sigma \cdot \omega}{L \cdot E} \int_0^\tau \left(1 - \frac{t}{\tau}\right) dt. \quad (27)$$

Нахождение определенных интегралов в соотношении (27) приводит к следующему результату:

$$\ln \left(\frac{d_k}{d_0}\right) = -\frac{d_0 \cdot \sigma \cdot \omega \cdot \tau}{2 \cdot L \cdot E}. \quad (28)$$

На основании (28) находим:

$$d_k = d_0 \cdot \exp \left(-\frac{d_0 \cdot \sigma \cdot \omega \cdot \tau}{2 \cdot L \cdot E}\right). \quad (29)$$

На основании схемы, представленной на рис. 1 для значения  $d_k$  должно выполняться соотношение:

$$d_k \leq l_{min}. \quad (30)$$

Полученное соотношение (29) позволяет оценить конечное значение размера частиц материала при их сходе с поверхности криволинейной лопатки в зависимости от конструктивных и

технологических параметров. Ниже показана (рис. 4) зависимость отношения начального размера частицы к конечному размеру  $\frac{d_0}{d_k}$  от времени  $\tau$  взаимодействия частиц с лопатками. [15].

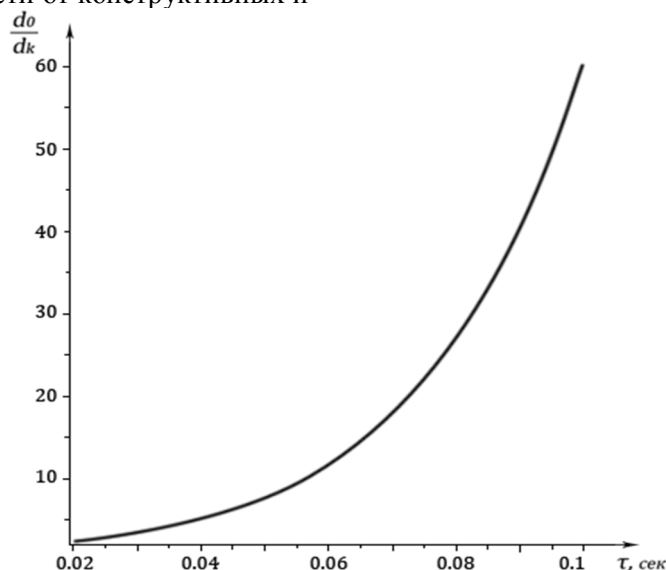


Рис. 4. График зависимости степени измельчения от времени взаимодействия частиц с криволинейными лопатками диска.

Из графика видно, что при увеличении времени  $\tau$  взаимодействие частиц с рабочей поверхностью лопаток соотношение начального и конечного размеров частиц нелинейно увеличивается.

**Выводы.** Результаты проведенного исследования позволяют определить наиболее рациональные конструктивные параметры при проектировании подобного рода машин, использующие в своей конструкции в качестве измельчающих элементов криволинейные лопатки.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семикопенко И.А., Воронов В.П., Пензев П.П. Теоретические исследования скорости движения частиц материала вдоль поверхности ударного элемента мельницы дезинтеграторного типа // Известия ВУЗов. Строительство. 2008. № 11-12. С. 93–96
2. Кухлинг Х. Справочник по физике. М., Мир. 1985. 196 с.
3. Сиваченко Л.А. Современное технологическое машиностроение. Основные положения // Инженер-механик. 2010. № 4. С. 10–20.
4. Клочков Н.В., Блиничев В.Н., Бобков С.П., Пискунов А.В. Методика расчета расхода воздуха в центробежно-ударной мельнице // Известия ВУЗов. Химия и хим. технология. 1982. №2. С. 230–232.

5. 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.

6. Пат. 2687193, Российская Федерация, МПК В02С 13/20. Центробежный дисковый измельчитель / И.А. Семикопенко, Е.А. Бороздин, Д.В. Вавилов; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. №2018126272; заявл. 16.07.2018; опубл. 07.05.2019. Бюл. №3. 6 с.

7. Богородский А.В., Блиничев В.Н., Лапшин В.Б. Интенсификация процесса измельчения в мельнице дезинтеграторного типа // Журн. Известия ВУЗов СССР. Химия и хим. технология. 1980. Т.23. №5. С. 643–645.

8. Зельдович Я.Б., Мышкис А.Д. Элементы прикладной математики // Наука. 3-е изд. 1972. 410 с.

9. Киркач Н. Ф., Баласанян Р. А. Расчёт и проектирование деталей машин // Учебное пособие для техн. вузов. 3-е изд. Изд-во «Основа». 1991. 276 с.

10. Арзамасов Б.Н., Сидорин И.И., Косолапов Г.Ф. Материаловедение: учебник для высших учебных-технических заведений // 2-е изд. Машиностроение. 1986. 384 с.

11. Бауман В.А. Клушанцев Б.В., Мартынов В.Д. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций // 2-е изд. Машиностроение. 1981. 320 с.

12. Блиничев В.Н., Ключков Н.В. Современные конструкции машин и аппаратов химических производств (мешалки, смесители, диспергаторы, мельницы) // Учеб. пособие по лекционному курсу МАХП. ИХТИ. 1980. 83 с.

13. Ходаков Г.С. Тонкое измельчение строительных материалов // Строительство. 1972. 230 с.

14. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. // Т.1. 5-е изд. Машиностроение. 1978. 736 с.

15. Еремин Н.Ф. Процессы и аппараты в технологии строительных материалов // Высш. шк. 1986. 280 с.

#### Информация об авторах

**Семикопенко Игорь Александрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры механического оборудования. E-mail: semikopenko.i@yandex.ru. 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. Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Беляев Денис Александрович**, аспирант кафедры механического оборудования. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Бороздин Егор Алексеевич**, магистрант кафедры механического оборудования. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 09.11.2019 г.

© Семикопенко И.А., Воронов В.П., Беляев Д.А., Бороздин Е.А., 2020

**Semikopenko I.A., Voronov V.P., Belyaev D.A., Borozdin E.A.**

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

*\*E-mail: semikopenko.i@yandex.ru*

## THEORETICAL STUDY OF THE MATERIAL GRINDING PROCESS IN THE WORKING CHAMBER OF A DISK MILL

**Abstract.** This article analyzes the movement of material particles in the central and peripheral parts of the working chamber of a disk mill. A diagram of a disk mill and a diagram of the movement of particles in its working chamber are presented. The cutting elements are blades in the shape of a parabola located on the disks having an inclined surface. An expression is found for determining the time when a particle is located inside the grinding chamber of a mill. It is determined that this time depends on the geometric ( $x_1$ ;  $y_1$ ;  $x_2$ ;  $y_2$ ) and technological ( $\omega$ ) parameters. The dependence of the time spent on the change in the angle of deviation of the surface of the curved blade from the radial direction is shown in figure 3. As a result of theoretical research, an analytical expression is obtained that allows to determine the particle size at the output of the grinding chamber. According to the found expression, the final particle size at the output of the grinding chamber depends on such parameters as  $d_0$ ,  $\sigma$ ,  $\omega$ ,  $\beta$  and  $\tau$ . As a result, the dependence (figure 4) of the ratio of the initial particle size to the final one ( $d_0/d_k$ ) on the time change  $\tau$  is constructed. According to the obtained graphs, as the angle  $\beta$  increases, the particle time  $\tau$  in the grinding chamber decreases, in result of which the final size of the particle at the output increases.

**Keywords:** theoretical research, disk mill, grinding, grinding chamber, parabola.

### REFERENCES

1. Semikopenko I.A., Voronov V.P., Penzev P.P., Theoretical studies of the speed of movement of material particles along the surface of the impact element of a mill of a disintegrator type [Teoreticheskiye issledovaniya skorosti dvizheniya chastits materiala vdol' poverkhnosti udarnogo elementa mel'nitsy dezintegratornogo tipa]. Proceedings Of

The Universities. Construction. 2008. No. 11–12. Pp. 93–96. (rus)

2. Kuhlning X. Handbook of physics [Spravochnik po fizike]. M.: Mir, 1985. 196 p. (rus)

3. Sivachenko L. A. Modern technological machine-building. Basic principles. [Sovremennoye tekhnologicheskoye mashinostroyeniye. Osnovnyye polozheniya]. Mechanical engineer. 2010. No. 4. Pp. 10–20. (rus)

4. Klochkov N.V., Blinichev V.N., Bobkov S.P., Piskunov A.V. The method of calculating air flow in a centrifugal impact mill [Metodika rascheta raskhoda vozdukha v tsentrobezhno-udarnoy mel'nitse]. University News. Chemistry and Chem. technology. 1982. No. 2. Pp. 230–232. (rus)

5. Danilov R.G. The hypothesis of the mechanism of fine grinding in rotary mills with gear-like gearing [Gipoteza mekhanizma tonkogo izmel'cheniya v rotornykh mel'nitsakh s zubchatopodobnym zatsepleniym]. Energo - i resursosberezheniye v usloviyakh rynochnykh otnosheniy: Sb. dokl. Mezhdunar. konf. Ch.4. Belgorod, 1997. Pp. 164–168. (rus)

6. Semikopenko I.A., Borozdin E.A., Vavilov D.V. Centrifugal disc grinder. Patent RF, no 2687193, 2019.

7. Bogorodsky A.V., Blinichev V.N., Lapshin V.B. Intensification of the grinding process in a mill of a disintegrator type [Intensifikatsiya protsessa izmel'cheniya v mel'nitse dezintegratornogo tipa]. Proceedings of the universities of the USSR. Chemistry and Chem. technology. 1980. Vol. 23. No. 5. Pp. 643–645. (rus)

8. Zeldovich Ya.B., Myshkis A.D. Elements of Applied Mathematics. [Elementy prikladnoy matematiki]. Science 3rd ed. 1972. 410 p. (rus)

9. Kirkach N.F., Balasanyan R.A. Calculation and design of machine parts. [Raschot i proyektiro-

vaniye detaley mashin]. Textbook for tech. universities. 3rd ed. Publishing House "Basis". 1991. 276 p. (rus)

10. Arzamasov B.N., Sidorin I.I., Kosolapov G.F. Material science: a textbook for higher educational institutions. [Materialovedeniye: uchebnik dlya vysshikh uchebnykh-tehnicheskikh zavedeniy]. 2nd ed. Engineering. 1986. 384 p. (rus)

11. Bauman V.A., Klushantsev B.V., Martynov V.D. Mechanical equipment of enterprises of building materials, products and structures. 2nd ed. Engineering. 1981. 320 p. (rus)

12. Blinichev V.N., Klochkov N.V. Modern designs of machines and apparatuses of chemical industries (mixers, mixers, dispersants, mills) [Mekhanicheskoye oborudovaniye predpriyatiy stroitel'nykh materialov, izdeliy i konstruktsiy]. Textbook on the lecture course MAHP. IHTI. 1980. 83 p. (rus)

13. Khodakov G.S. Fine grinding of building materials. [Tonkoye izmel'cheniye stroitel'nykh materialov]. Construction. 197. 230 p. (rus)

14. Anuryev V.I. Handbook of a designer-machine builder: in 3 vols. [Spravochnik konstruktora-mashinostroitelya: v 3 t.]. Vol. 1. 5th ed. Engineering. 1978. 736 p. (rus)

15. Eremin N.F. Processes and devices in the technology of building materials. [Protsessy i apparaty v tekhnologii stroitel'nykh materialov]. Higher school. 1986. 280 p. (rus)

#### *Information about the authors*

**Semikopenko, Igor A.** PhD, Assistant professor. E-mail: semickopenko.i@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st.Kostyukova, 46.

**Voronov, Vitaly P.** DSc, Professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st.Kostyukova, 46.

**Belyaev, Denis A.** Research assistant. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st.Kostyukova, 46.

**Borozdin, Egor A.** Research assistant. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st.Kostyukova, 46.

*Received 09.11.2019*

#### **Для цитирования:**

Семикопенко И.А., Воронов В.П., Беляев Д.А., Бороздин Е.А. Теоретическое исследование процесса измельчения материала в рабочей камере дисковой мельницы // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 11. С. 125–131. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-11-125-131

#### **For citation:**

Semikopenko I.A., Voronov V.P., Belyaev D.A., Borozdin E.A. Theoretical study of the material grinding process in the working chamber of a disk mill. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 11. Pp. 125–131. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-11-125-131