

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-98-106

*Семикопенко И.А., Воронов В.П., Латышев С.С., Севостьянов В.С., Рыбак Л.А.,
Севостьянов А.Э., Вавилов Д.В.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: semickopencko.i@yandex.ru

Аннотация. Приведён расчёт конструктивных параметров дисковой мельницы, оснащенной питателем, выполненным в виде конического бункера. Для измельчителей дезинтеграторного типа очень важно обеспечение равномерности загрузки измельчаемым материалом рабочей зоны активного воздействия на частицы. Также важнейшим фактором является пропускная способность всех участков помольной установки. Пропускная способность должна определяться конструктивно-технологическими параметрами рабочей камеры мельницы, перегрузка которой может привести к завалу рабочей камеры, а недостаточная пропускная способность негативно сказаться на интенсивности и эффективности воздействия на частицы материала. Например, недостаточная концентрация частиц в периферийной зоне помольной камеры приводит к снижению эффективности их взаимного истирания. В статье предпринята попытка определения конструктивно-технологических параметров в загрузочной и разгонной частях дисковой мельницы. При этом необходимо согласовать пропускную способность дискового разбрасывателя и объёмный расход частиц материала, «истекающего» из бункера. В данном случае целесообразно учитывать, что в результате довольно большой частоты вращения и размера исходных частиц при неверно выбранной высоте радиальной лопатки разбрасывателя частицы материала могут перекачиваться через радиальные лопатки, что приводит к задержке материала в зоне разбрасывающего диска. Поэтому необходимо определить расчетные формулы для нахождения необходимой высоты радиальной лопатки разбрасывающего диска в зависимости от крупности исходных частиц. Из формулы видно, что высота разделительной лопатки зависит от размера частицы, частоты вращения дисков и расстояния до точки встречи частицы с радиальной лопаткой.

Ключевые слова: материал, частица, дисковая мельница, измельчение, камера помола.

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

В результате исследований дисковых мельниц с целью повышения их эффективности появляются новые конструктивные решения, внедрение которых связано с расчетом некоторых параметров.

На рис. 1 представлена схема ступенчатой дисковой мельницы [3]. Например, дисковая мельница W-Max 10 СВ компании «Aimo Kortteen Копераја ОУ» (Финляндия), дисковая мельница RS 200 компании «Retsch» (Германия).

Данная конструкция ступенчатой дисковой мельницы позволяет увеличить количество взаимодействий частиц в рабочем пространстве камеры помола и обеспечить селективное воздействие на измельчаемый материал в зависимости от крупности частиц. Это должно повысить эффективность измельчения и, следовательно, производительность по готовому продукту [5].

Целью данной статьи является определение условия преодоления частицей материала барьера прямоугольной формы, расположенного на вращающемся диске. Поставлена задача исследовать движение частицы материала по поверхности вращающегося диска, что будет способствовать определению конструктивных параметров разбрасывателя б, обеспечивающего непрерывную подачу материала в камеру помола ступенчатой дисковой мельницы.

Основная часть. Для исследования используются методы, основанные на законах сохранения массы вещества и законах криволинейного движения. Проведем математическое описание движения частиц материала, выходящих из конического бункера и направляющихся на разбрасыватель б, который подает материал в зону измельчения и дальнейший выход готового продукта через тангенциальный разгрузочный патрубок 3 [6]. Для согласования пропускной способности бункера и разбрасывателя б воспользуемся схемой на рис. 2.

Согласно расчетной схеме, представленной на рисунке 1, величина объема V_0 , которая заполняется материалом, поступающим из конического бункера, определяется соотношением [7]:

$$V_g = \pi(D_0^2 - D_k^2)h_n. \quad (1)$$

Здесь D_k – диаметр распределяющего конуса, установленного на разбрасывателе, (м); h_r – высота радиальных лопастей разбрасывателя, (м).

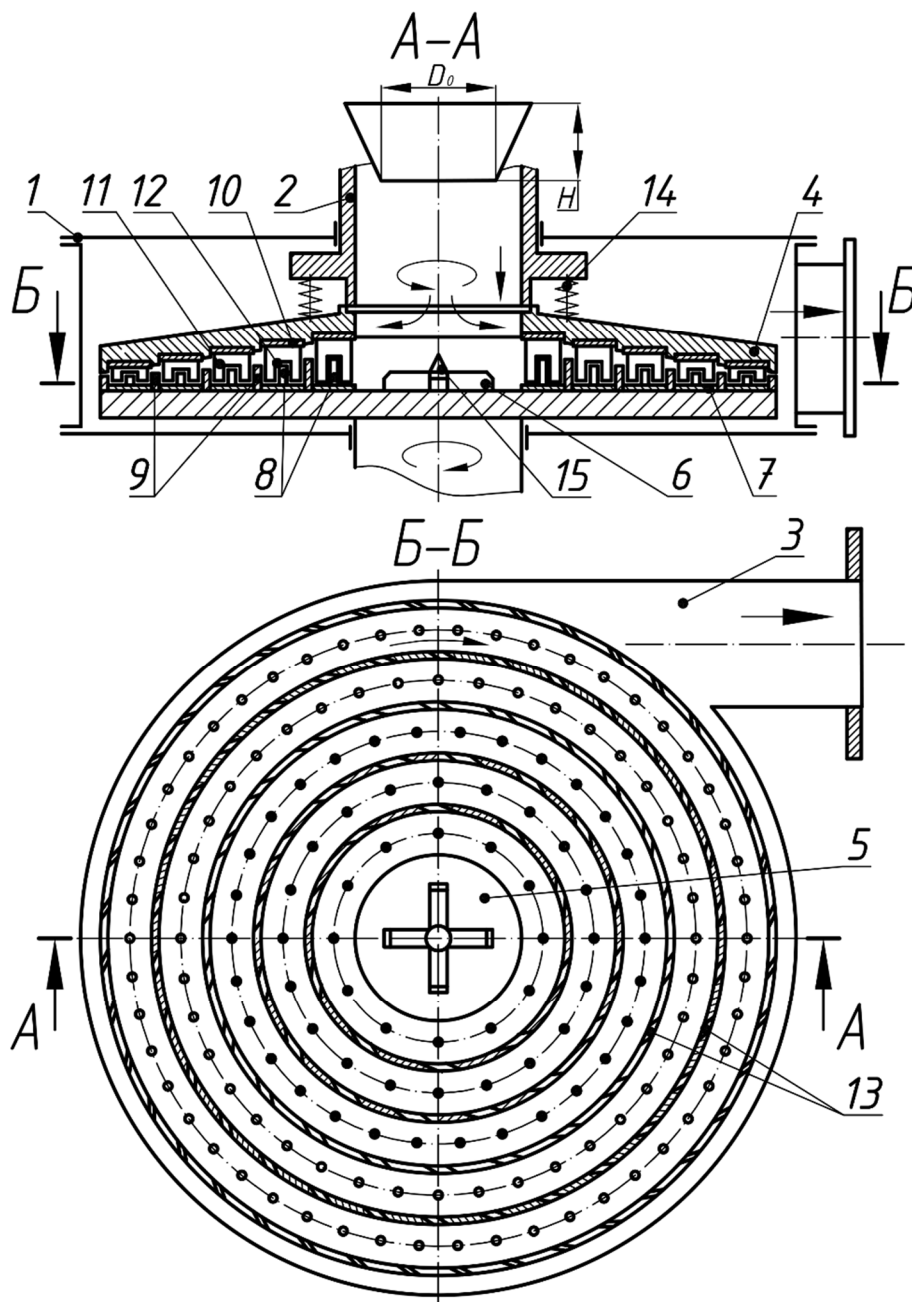


Рис. 1. Схема ступенчатой дисковой мельницы: 1 – корпус; 2 – загрузочный патрубок; 3 – разгрузочный патрубок; 4 – верхний диск; 5 – нижний диск; 6 – разбрасыватель; 7 – горизонтальные кольца; 8 – вертикальные штыри; 9 – вертикальные цилиндрические перегородки; 10 – горизонтальные кольца; 11 – радиальные лопасти; 12 – вертикальные вырезы; 13 – тангенциальные вырезы; 14 – пружинная опора; 15 – распределяющий конус

В единицу времени в объем (1) может поступить масса материала, равная:

$$M_g = \frac{V_g \gamma_0}{T}, \quad (2)$$

где T – время полного оборота разбрасывателя, (с) равное:

$$T = \frac{2\pi}{\omega}, \quad (3)$$

ω – частота вращения разбрасывателя, (c^{-1}).

Массовый расход M_0 материала, поступающего на разбрасыватель в единицу времени из конического бункера, определяется соотношением [8]:

$$M_0 = \gamma_0 Q_0, \quad (4)$$

где γ_0 – насыпная плотность материала, ($кг/м^3$); Q_0 – изменение объемного расхода в единицу времени, величина которого согласно работы [8] определяется соотношением:

$$Q_0 = \frac{\pi D_0^2}{4} \sqrt{\frac{gHD_0}{2(D_1 - D_0)}}, \quad (5)$$

где g – ускорение свободного падения, (м/с²); H – высота конического бункера, (м); D_1 – диаметр верхнего основания распределяющего конуса, (м); D_0 – диаметр выходного отверстия бункера, (м).

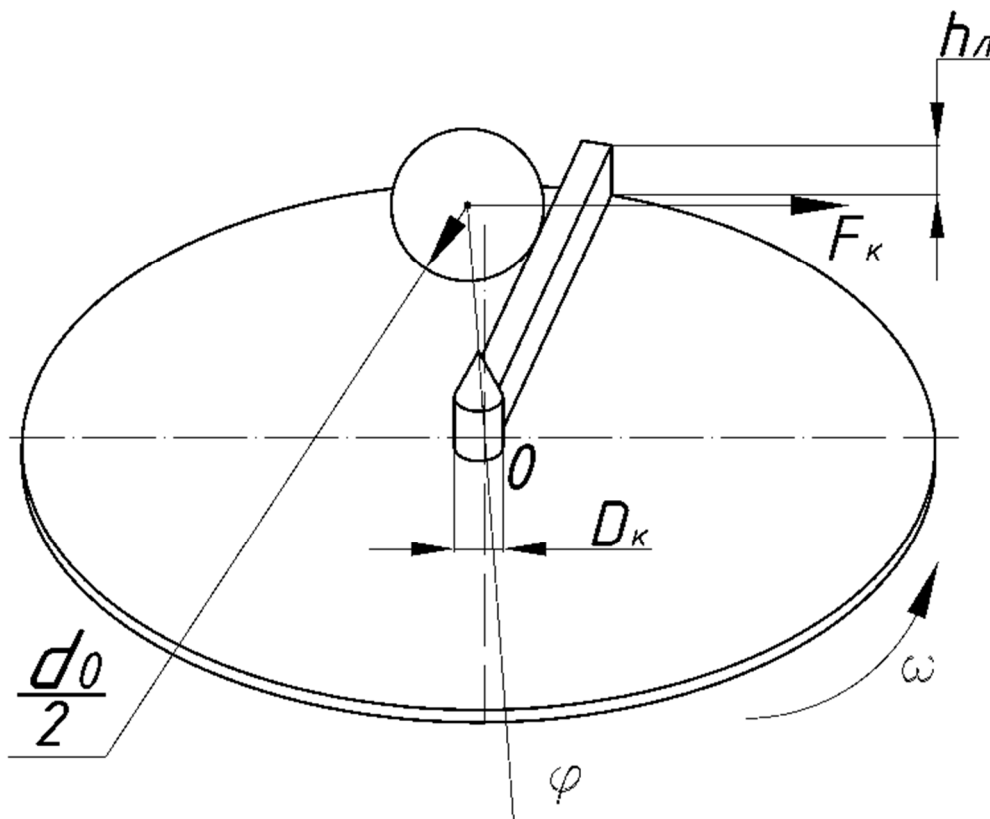


Рис. 2. Расчетная схема для определения массы материала, поступающего на разбрасыватель за один полный оборот

Подстановка (1) и (3) в (2) приведет к следующему результату [10]:

$$M_g = \frac{\omega}{2} \gamma_0 h_l (D_0^2 - D_k^2). \quad (6)$$

Для согласованной работы конического бункера и подачи материала разбрасывателем в камеру помола необходимо равенство выражений (4) и (6) [11]:

$$\gamma_0 Q_0 = \frac{\omega}{2} \gamma_0 h_l (D_0^2 - D_k^2). \quad (7)$$

Основываясь на выражении (7), с учетом (5) можно получить соотношение вида:

$$h_l = \frac{\pi \sqrt{\frac{gHD_0}{2(D_1 - D_0)}}}{2\omega(1 - \frac{D_k^2}{D_0^2})}. \quad (8)$$

Для того чтобы разбрасыватель осуществлял подачу материала в камеру помола, необходимо, чтобы действие центробежной силы было больше силы трения [12] о поверхность радиальных лопастей разбрасывателя:

$$F_{ц} > F_{тр}; \quad (9)$$

$$F_{ц} = \frac{m \vartheta_{\omega}^2}{2}, \quad (10)$$

$$F_{тр} = fmg, \quad (11)$$

где m – масса частицы материала, (кг); f – коэффициент трения частицы материала о поверхность радиальной лопасти.

$$\vartheta_{\omega} = \frac{\omega D_0}{2}. \quad (12)$$

Подстановка (10) – (12) в (9) позволяет получить следующее соотношение:

$$\omega > \omega_{min}. \quad (13)$$

Здесь введено следующее обозначение:

$$\omega_{min} = \sqrt{\frac{2fg}{D_0}}. \quad (14)$$

При выполнении условия (13) частицы материала, двигаясь вдоль поверхности радиальной лопасти разбрасывателя, одновременно подвергаются воздействию силы Кориолиса F_k , модуль силы которой равен:

$$F_k = 2m\omega \vartheta_r, \quad (15)$$

где ϑ_r – величина линейной скорости частиц материала, движущихся вдоль радиальной лопасти разбрасывателя, значение которой согласно [6] равно:

$$\vartheta_r = \frac{\omega \rho_1}{2f}, \quad (16)$$

где ρ_1 – расстояние от оси вращения нижнего диска до точки, в которой находится частица материала на радиальной лопасти разбрасывателя.

Согласно расчетной схеме на рисунке 2, частицы материала не смогут преодолеть барьер в виде радиальной лопасти прямоугольного поперечного сечения при выполнении неравенства [14]:

$$M \leq U, \quad (17)$$

где M – абсолютная величина момента силы.

$$M = F_k \frac{d_0}{2} \sin\varphi, \quad (18)$$

здесь d_0 – диаметр частиц, движущихся по радиальной лопасти; U – значение потенциальной энергии частицы материала при ее подъеме на величину, равную высоте радиальной лопасти разбрасывателя:

$$U = mgh_{л}. \quad (19)$$

Подстановка (18), (19), (15) с учетом (16) приводит к следующему результату:

$$\frac{\omega^2 \rho_1 d_0}{2f} \sin\varphi \leq gh_{л}. \quad (20)$$

Согласно расчетной схемы, представленной на рисунке 2, находим, что [15]:

$$\sin\varphi = \frac{\frac{d_0}{2} - h_{л}}{\frac{d_0}{2}}. \quad (21)$$

Для согласования пропускной способности разбрасывающего диска и «кистечения» из бункера частиц материала необходимо, чтобы объём

материала V_0 , поступающий из бункера за время полного оборота диска разбрасывателя, равнялся объёму материала V_p , сосредоточенного в районе оси вращения диска разбрасывателя:

$$V_0 = V_p, \quad (23)$$

$$V_0 = Q_0 T_0, \quad (24)$$

здесь Q_0 – изменение объемного расхода в единицу времени; T_0 – время полного оборота; g – ускорение свободного падения; H – высота конического бункера; D_0 – диаметр выпускного отверстия бункера.

Согласно расчётной схеме, представленной на рисунке 1 и рисунке 2:

$$V_p = \pi h_{л} (D_0 - D_k). \quad (25)$$

На основании (23) с учётом (24)-(25), находим необходимую высоту лопатки $h_{л}$:

$$h_{л} = \frac{\pi \sqrt{\frac{gHD_0}{2(D_1 - D_0)}}}{2\omega \left(1 - \frac{D_k^2}{D_0^2}\right)}, \quad (26)$$

где ω – частота вращения диска разбрасывателя, значение которой определяется из условия, что действие центробежной силы на частицу материала было больше силы трения. Это условие можно привести к следующему виду:

$$\omega = \sqrt{\frac{2fg}{D_0}}, \quad (27)$$

здесь f – коэффициент трения частицы материала о рабочую поверхность.

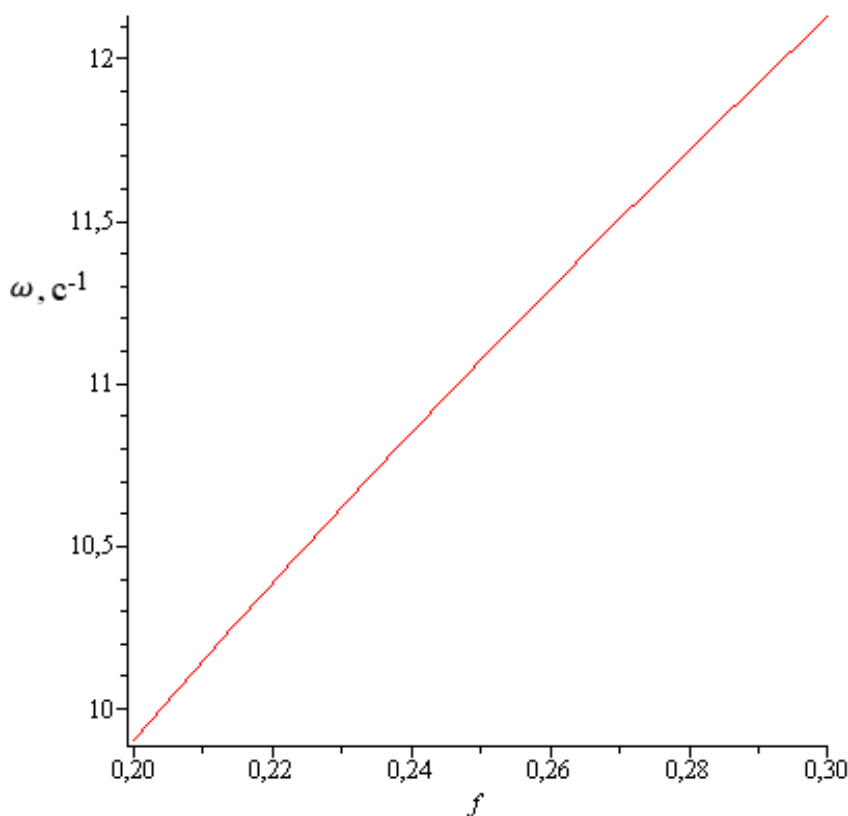


Рис 3. График взаимозависимости частоты вращения ω разбрасывающего диска и коэффициента трения f частицы материала о рабочую поверхность

Из графика видно, что при увеличении коэффициента трения частицы материала о рабочую поверхность требуются более высокие частоты вращения вращающегося диска, таким образом, можно определить оптимальную частоту вращения с учётом согласования пропускной способности дискового разбрасывателя и объёмного расхода материала, истекающего из бункера.

При выполнении условия (27) частица материала начнёт движение вдоль радиального направления плоскости разбрасывателя, одновременно подвергаясь воздействию силы Кориолиса, что приводит к встрече частицы материала с радиальной лопаткой разбрасывателя. В результате чего частица материала может начать движение вдоль лопатки или преодолеть высоту лопатки. Последнее событие определяется соотношением:

$$U \leq M, \quad (28)$$

где M – абсолютная величина момента силы Кориолиса; U – значение потенциальной энергии частицы, которая затрагивается при её подъёме на величину, равную высоте радиальной лопатки разбрасывателя.

Согласно расчётной схеме, представленной на рисунке 2, и, основываясь на результатах работ [4, 13, 15], неравенство (29) можно привести к следующему виду:

$$\frac{\omega^2 \rho_1}{2f} (d_0 - 2h_{\text{л}}) \leq h_{\text{л}} g, \quad (29)$$

где ρ_1 – расстояние от оси вращения разбрасывающего диска до места встречи частицы материала с радиальной лопаткой.

На основании (29) находим:

$$h_{\text{л}} = \frac{\frac{d_0}{2}}{1 + \frac{g}{\omega^2 \rho_1}}. \quad (30)$$

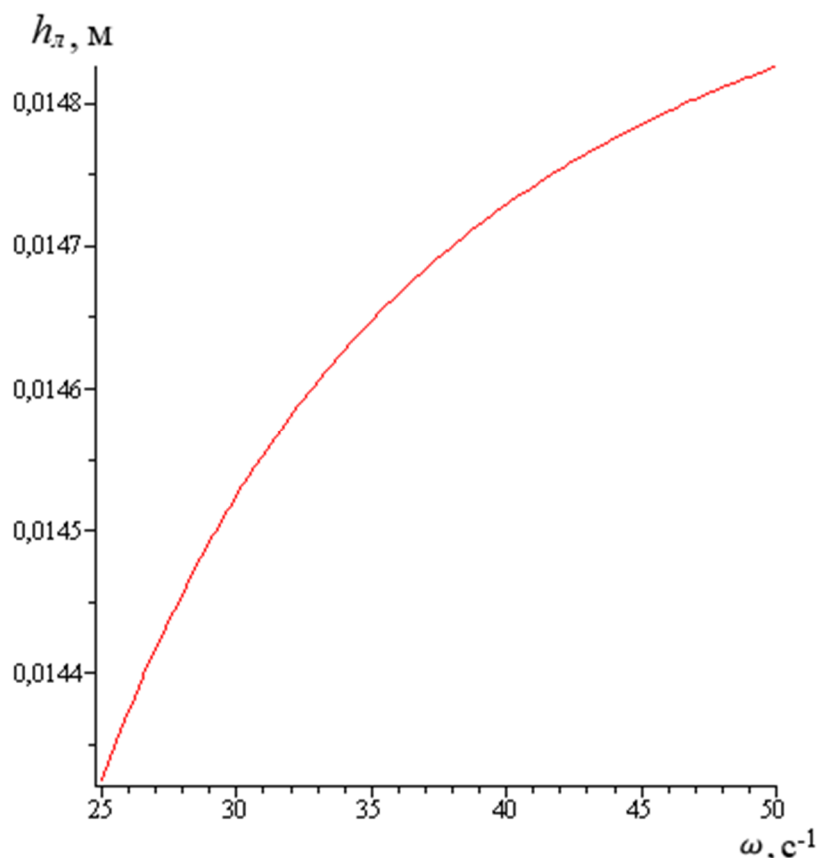


Рис. 4. График зависимости высоты лопатки $h_{\text{л}}$ от частоты вращения разбрасывателя ω .

Кривая описывает предельно допустимый размер лопатки в зависимости от частоты вращения и показывает максимально допустимый размер лопатки, предотвращающий преодоление барьера в виде прямоугольной лопатки разбрасывателя частицы материала в форме шара

Иллюстрация работы разгрузочного узла ступенчатой дисковой мельницы при заданных конструктивных параметрах:

ω – частота вращения разбрасывателя,
 $\omega = 25 \dots 50 \text{ с}^{-1}$;

ρ_1 – расстояние от оси вращения нижнего диска до точки, в которой находится частица материала на радиальной лопатке разбрасывателя,
 $\rho_1 = 0,1 \text{ м}$;

H – высота конического бункера, $H = 0,3 \text{ м}$;

D_1 – диаметр верхнего основания распределяющего конуса, $D_1 = 0,1 \text{ м}$;

D_k – диаметр распределяющего конуса, установленного на разбрасывателе, $D_k = 0.005$ м;

D_0 – диаметр выходного отверстия бункера, $D_0 = 0.05$ м;

d_0 – диаметр частиц, движущихся по радиальной лопасти, $d_0 = 0.03$ м.

График приведенный на рисунке 3, позволяет сделать вывод, что при $\omega = 50$ с⁻¹, максимально допустимая высота лопатки, позволяющая разгрузить дисковый разбрасыватель $h_n = 0,04$ м, при этом данная высота исключает преодоление барьера в виде прямоугольной лопатки разбрасывателя частицы материала.

Полученное соотношение (27) определяет пороговое значение частоты вращения диска, обеспечивающее движение частицы вдоль рабочей поверхности лопатки разбрасывателя.

Выводы. Таким образом, полученные соотношения (27) и (30) определяют оптимальные конструктивный h_n и технологический ω параметры разбрасывавшего диска ступенчатой дисковой мельницы.

Источник финансирования. Министерство науки и высшего образования РФ, Соглашение №075-11-2021-060 от 24.06.2021 г. «Создание высокотехнологичного производства роботизированных 6DOF платформ подвижности для тренажеров и симуляторов для авиационной и ракетно-космической отрасли» (уникальный номер 000000S407521QLB0002)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Севостьянов В.С. Энергосберегающие помольные агрегаты. Белгород. 2006. 435 с.
2. Левданский Э.И., Левданский А.Э., Гребенчук П. С. Влияние конструктивных и технологических параметров роторно центробежной мельницы на эффективность измельчения материалов // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорганических веществ. 2006. Вып. XIV. С. 129–132.
3. Пат. 2739620, Российская Федерация МПК В02С 7/00. Центробежный дисковый измельчитель / И.А. Семикопенко, Д.В. Вавилов, Е.А. Бороздин, А.Э. Севостьянов; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2020130519; заявл. 16.09.2020; опубл. 28.12.2020. Бюл. № 1. 6 с.
4. Кузнецов С.И., Рогозин К.И. Справочник по физике. Профобразование, 2017. 219 с.
5. Лапшин В.Б. Интенсификация механохимических процессов в гетерогенных средах на основе дезинтеграторов с плоскими рабочими

элементами. Дисс. д-ра техн. наук: 05.17.08. Иваново: ИХТУ, 2005. 387 с.

6. 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, № 11-12. 2008. С. 93–96.

7. Богданов В.С., Семикопенко И.А., Воронов В.П. Дезинтеграторы. Конструкции. Теория. Эксперимент. Белгород, БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. 235 с.

8. Сиваченко Л.А. Современное технологическое машиностроение. Основные положения // Инженер-механик. 2010. № 4. С. 10–20.

9. Баталин Б.С. Процессы и аппараты в технологии строительных материалов. Пермь: Изд-во Пермского гос. технического ун-та, 2008. 95 с.

10. Андросов А.А. Расчёт и проектирование деталей машин. Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ. 2002. 285 с.

11. Блиничев В.Н. Описание процесса тонкого измельчения в сепарационной мельнице ударно-отражательного действия // Сб. статей Междунар. научн.-практ. конференции. Краков, 2008. С. 43-48.

12. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. Т.1. 8-е изд. Машиностроение. 2001. 900 с.

13. Черепяхин А.А., Колтунов И.И., Кузнецов В. А. Материаловедение: учебник. 4-е изд., стер. Москва: КНОРУС, 2018. 236 с.

14. Прокопец В.С. Увеличение работоспособности мельниц ударного действия с помощью твердых безвольфрамовых сплавов // Журн. «Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века», 2005. №7. С. 50–51.

15. Несмеянов Н. П., Богданов В.С., Горшков П.С., Бражник Ю.В. Механическое оборудование общего назначения предприятий строительных материалов и изделий. Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова. 2012. 104 с.

16. Зельдович Я.Б., Мышкис А.Д. Элементы прикладной математики. М. Лань. 4. изд. 2002. 592 с.

17. Богданов В.С., Богданов Н.Э., Богданов Д.В., Самсонова П.С. Интенсификация процесса измельчения в вибрационных мельницах // Журнал физики: серия конференций. Международная конференция «Высокие Технологии и инновации в исследованиях и производстве». NIRM 2019. 2019. 012041.

Информация об авторах

Семикопенко Игорь Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры механического оборудования. E-mail: semickopenko.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. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Латышев Сергей Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры начертательной геометрии и графики. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Севостьянов Владимир Семёнович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологических комплексов, машин и механизмов. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Рыбак Лариса Александровна, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Севостьянов Александр Эдуардович, аспирант кафедры механического оборудования. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Вавилов Дмитрий Владимирович, аспирант кафедры механического оборудования. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 02.12.2020 г.

© Семикопенко И.А., Воронов В.П., Латышев С.С., Севостьянов В.С., Рыбак Л.А., Севостьянов А.Э., Вавилов Д.В., 2021

**Semikopenko I.A., Voronov V.P., Latyshev S.S., Sevostyanov A.E.*

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: semickopencko.i@yandex.ru*

DETERMINATION OF DESIGN PARAMETERS OF A STEP DISK MILL

Abstract. *The calculation of the design parameters of a disc mill equipped with a feeder made in the form of a conical hopper is given. For shredders of the disintegrator type, it is very important to ensure the uniformity of loading of the crushed material of the working zone of active impact on particles. In addition, the most important factor is the throughput capacity of all sections of the grinding plant. The throughput should be determined by the design and technological parameters of the working chamber of the mill. Its overload can lead to a blockage of the working chamber, and insufficient throughput will negatively affect the intensity and effectiveness of the impact on the particles of the material. For example, insufficient concentration of particles in the secondary zone of the grinding chamber leads to a decrease in the efficiency of mutual abrasion. The article attempts to determine the design and technological parameters in the loading and accelerating parts of the disk mill. At the same time, it is necessary to coordinate the throughput of the disk spreader and the volumetric flow rate of the material particles flowing from the hopper. In this case, it is advisable to take into account that as a result of a rather high rotational speed and the size of the initial particles, with the wrong height of the radial blade of the spreader, material particles can roll over the radial blades, which leads to a delay of the material in the zone of the spreading disc. Therefore, it is necessary to determine the calculation formulas for finding the required height of the radial blade of the spreading disc, depending on the size of the initial particles. The formula demonstrates that the height of the separating blade depends on the particle size, the speed of rotation of the disks and the distance to the point of meeting of the particle with the radial blade.*

Keywords: *material, particle, disk mill, grinding, grinding chamber.*

REFERENCES

1. Sevostyanov V.S. Energy-saving grinding units [Energosberegayushchie pomol'nye agregaty]. Belgorod. 2006. 435 p (rus)
2. Levdansky E.I., Levdansky A.E., Grebenchuk P.S. The influence of design and technological

parameters of a rotary centrifugal mill on the efficiency of grinding materials [Vliyaniye konstruktivnyh i tekhnologicheskikh parametrov rotorno-centrobezzhnoy melnicy na ehffektivnost izmelcheniya materialov] Transactions BSTU. Ser. III, Chemistry and technology neorgan. v-v. 2006. No XIV. Pp. 129–132. (rus)

3. Semikopenko I.A., Vavilov D.V., Borozdin E.A., Sevostyanov A.E. Centrifugal disk grinder. Patent RF, no. 2739620, 2020.
4. Kuznetsov S.I., Rogozin K.I. Handbook of Physics [Spravochnik po fizike]. Vocational education. 2017. 219 p. (rus)
5. Lapshin V.B. Intensification of mechanochemical processes in heterogeneous media based on disintegrators with flat working elements. [Intensifikatsiya mekhanohimicheskikh processov v geterogennykh sredakh na osnove dezintegratorov s ploskimi rabochimi elementami]. Diss. Doctor of Technical Sciences: 05.17.08. Ivanovo: IHTU, 2005. 387 p. (rus)
6. 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)
7. Bogdanov V.S., Semikopenko I.A., Voronov V.P. Disintegrators. Designs. Theory. Experiment. Monograph. [Dezintegratory. Konstruktsii. Teoriya. Eksperiment.] Belgorod, BSTU named after V. G. Shukhov, 2016. 235 p. (rus)
8. Sivachenko L.A. Modern technological machine-building. Basic principles. [Sovremennoye tekhnologicheskoye mashinostroyeniye. Osnovnyye polozheniya]. Mechanical engineer. 2010. No. 4. Pp. 10–20. (rus)
9. Batalin B.S. Processes and apparatuses in the technology of building materials. [Process i apparaty v tekhnologii stroitelnykh materialov] Perm: Publishing house of the Perm State Technical University, 2008. 95 p. (rus)
10. Androsov A.A. Calculation and design of machine parts. [Raschyot i proektirovanie detalej mashin] Study guide. Rostov n/A: Publishing center of DSTU, 2002. 285 p. (rus)
11. Blinichev V.N. Description of the fine grinding process in a shock-reflective separation mill [Opisanie processa tonkogo izmel'cheniya v separatsionnoy mel'nice udarno-otrazhatel'nogo dejstviya]. Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference. Krakow, 2008. pp. 43-48.] (rus)
12. Anuryev V.I. Handbook of a designer-machine builder: in 3 vols. [Spravochnik konstruktora mashinostroitelya v 3 t] Vol. 1. 8th ed. Mechanical engineering. 2001. 900 p. (rus)
13. Cherepakhin A.A., Koltunov I.I., Kuznetsov V.A. Material Science [Materialovedenie] textbook. 4th ed., ster. - Moscow: KNORUS, 2018. 236 p. (rus)
14. Prokopets B.C. Increasing the efficiency of impact mills with the help of solid tungsten-free alloys. Zhurn. "Construction materials, equipment, technologies of the XXI century", 2005. No. 7. Pp. 50–51. [Uvelichenie rabotosposobnosti mel'nic udarnogo dejstviya s pomoshch'yu tverdykh bezvol'framovykh splavov] (rus)
15. Nesmeyanov N.P., Bogdanov V.S., Gorshkov P.S., Brazhnik Yu.V. Mechanical equipment of general purpose enterprises of construction materials and products [Mekhanicheskoe oborudovanie obshchego naznacheniya predpriyatij stroitelnykh materialov i izdelij] Belgorod: Publishing house of BSTU named after V.G. Shukhov. 2012. 104 p. (rus)
16. Zeldovich Ya.B., Myshkis A.D. Elements of applied mathematics [Ehlementy prikladnoy matematiki] M. Lan. 4. ed. 2002. 592 p. (rus)
17. Bogdanov V.S., Bogdanov N.E., Bogdanov D.V., Samsonova P.S. Intensification of the grinding process in vibration mills [Intensifikatsiya processa izmel'cheniya v vibratsionnykh mel'nitsah]. Journal of Physics: Conference Series. International Conference «High-Tech and Innovations in Research and Manufacturing». HIRM 2019. 2019. 012041. (rus)

Information about the authors

Semikopenko, Igor A. PhD, Assistant professor. E-mail: semikopenko.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.

Latyshev, Sergei S. PhD, Assistant professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Sevostyanov, Vladimir S. DSc, Professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Rybak, Larisa A. DSc, Professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Sevostyanov, Aleksandr E. Research assistant. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Vavilov, Dmitrii V. Research assistant. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 02.12.2020

Для цитирования:

Семикопенко И.А., Воронов В.П., Латышев С.С., Севостьянов В.С., Рыбак Л.А., Севостьянов А.Э., Вавилов Д.В. Определение конструктивных параметров ступенчатой дисковой мельницы // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 12. С. 98–106. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-98-106

For citation:

Semikopenko I.A., Voronov V.P., Latyshev S.S., Sevostyanov V.S., Rybak L.A., Sevostyanov A.E., Vavilov D.V. Determination of design parameters of a step disk mill. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 12. Pp. 98–106. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-98-106