

ЛИТЕРАТУРА

1. Гийо Роже. Проблема измельчения материалов и ее развитие. – М.: Стройиздат, 1964. – 225 с.
2. Доброхотов В.И., Левит Г.Т. Опыт эксплуатации и испытаний молотковых мельниц. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 104 с.
3. Данченков Ю.В. Тенденции развития молотковых мельниц с сепараторами и питателей сырого топлива. – М.: НИИинформэнергомаш, 1977. – 62 с.
4. Гутьяр Е.М. К объемной теории дробления // Изв. Московской с.-х. акад. им. Тимирязева. – 1981. – Вып. 4. – С. 163–166.
5. Современное помольное оборудование // Промышленность нерудных и неметаллорудных материалов. Сер. 7. Вып. 3: Обзор. информ. / Науч.-исслед. ин-т информ. и техн.-эконом. исслед. пром-ости нерудных материалов. – М., 1990. – 62 с.
6. Колобова В.В. Влияния вида и скорости диспергирования на технологические свойства порошков // Разработка теории и конструктивного оформления машин и аппаратов интенсивного действия с участием зернистых материалов: Межвуз. сб. науч. тр. / Ивановский хим.-технолог. ин-т. – Иваново, 1984. – С. 82–85.
7. Пугин К.Г. Определение параметров и производительности роторных мельниц интенсифицирующего действия: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.16 / МАДИ. – М., 1994. – 28 с.
8. Опыт применения центробежно-ударных измельчителей // Черная металлургия. Сер. 4. Вып. 1: Обзор. информ. / Центр. науч.-исслед. ин-т информ. и техн.-эконом. исслед. черной металлургии. – М., 1991. – 25 с.

УДК 621.926

В.Ю. Мурог, аспирант; П.Е. Вайтехович, доцент; Ю.М. Костюнин, доцент

РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ ДЕЗИНТЕГРАТОРНОГО ТИПА

The new technique of calculation of productivity dezintegrators and dismembrators is offered. The influence of such factors, as concentration of particles, shape and corner of the installation of a loading branch pipe, type of working bodies is taken into account.

Измельчители дезинтеграторного типа находят широкое применение в самых различных отраслях промышленности вследствие их компактности, относительно небольшой энергоемкости по сравнению с другими установками подобного назначения, простоты в обслуживании, но главным образом особенностей воздействия на обрабатываемые материалы, характеризующихся многократностью числа ударных воздействий на частицу материала при высоких скоростях ударов.

Однако, несмотря на широкое применение этих измельчителей, до сих пор возникают трудности с теоретическим определением их производительности при проектировании для конкретных промышленных условий.

На основании практических и теоретических исследований измельчителей данного класса рядом авторов [1–2] предложено несколько методик расчета их производительности.

При расчете пропускной способности измельчителей корзинчатого типа используется метод, предложенный И.А. Хинтом [1]. Расчет основан на том, что измельчитель может максимально принять столько материала, сколько может пропустить самый

внутренний ряд пальцев. При этом И.А. Хинт предполагал, что за один оборот корзины пространство между пальцами полностью опустошается. На основании этого была получена следующая расчетная зависимость для определения производительности:

$$Q = 10 \pi \cdot b \cdot a^2 \cdot n \cdot k \cdot \rho, \quad (1)$$

где b – внутренняя ширина корзины; a – расстояние между пальцами; n – число оборотов корзины; k – количество пальцев во внутреннем круге; ρ – плотность материала.

Однако значение производительности, подсчитанное по зависимости (1), значительно отличается от действительной. В частности, для лабораторного дисмембратора, сконструированного на кафедре МиАХиСП, значение теоретической производительности превышает реальную в 10 раз.

Данное обстоятельство объясняется главным образом тем, что сделанное А. И. Хинтом предположение о полном опустошении межпальцевого пространства за один оборот корзины не соответствует действительности, т. к. количество раз опустошений находится в зависимости от величины питающей струи материала (т. е. размеров, формы и угла установки загрузочного патрубка), скорости вращения корзины, создаваемого измельчителем вентиляторного эффекта и т. д. Помимо этого, И.А. Хинт не учел тот факт, что материал подается в мельницу в виде аэросмеси, а следовательно, при определении его количества, заполняющего межпальцевое пространство, необходимо учитывать его действительную концентрацию.

Несколько иной подход при получении зависимости для расчета теоретической пропускной способности измельчителей дезинтеграторного типа реализован В.В. Лапшиным и А.З. Козловским [2]. Изучив сравнительные характеристики ряда ударно-центробежных мельниц, они вывели следующую зависимость для определения производительности дезинтеграторных мельниц:

$$Q = \varepsilon \cdot d_{cp} \cdot h \cdot k \cdot U_{cp} \cdot \rho, \quad (2)$$

где ε – коэффициент порозности; d_{cp} – средний диаметр частиц измельчаемого материала; h – высота ударных элементов; U_{cp} – средняя скорость движения материала по поверхности ударного элемента.

Сравнение значения теоретической производительности, подсчитанной по зависимости (2), с действительной показало превышение теоретической пропускной способности по сравнению с действительной в 2 раза.

Универсальная методика для определения производительности может быть получена лишь на основе математической модели движения частицы материала в измельчителе. Математическая модель получается на основе решения второй задачи динамики.

Для определения траектории и скорости движения частицы материала на входе в межпальцевое пространство внутреннего ряда необходимо рассмотреть ее движение по загрузочному патрубку и в предпальцевом пространстве измельчителя.

На частицу, движущуюся по загрузочному патрубку, действуют следующие силы: сила тяжести, сила трения частицы о патрубок, аэродинамическая сила всасывания, а также силы, обусловленные трением и подвижной деформацией частиц друг о друга: электростатические силы, силы молекулярного взаимодействия, термофореза и ряд других.

Сила тяжести

$$G = g \cdot \rho_m \cdot \frac{\pi \cdot d^3}{6}, \quad (3)$$

где g – ускорение свободного падения; ρ_m – плотность частицы; d – диаметр частицы.

Диаметр частицы определяется как

$$d = k_\phi \cdot d_u, \quad (4)$$

где k_ϕ – коэффициент формы частицы (для сферической частицы $k_\phi = 1$); d_u – диаметр частицы, поступающей на измельчение.

Сила трения частицы о патрубок

$$P_{mp} = f \cdot G \cdot \cos \alpha, \quad (5)$$

где f – коэффициент трения частицы о патрубок; α – угол установки патрубка.

В аэродинамическом отношении измельчитель корзинчатого типа подобен центробежному вентилятору. Отличительной особенностью является наличие внутренних сопротивлений в виде неподвижных (для дисмембраторов) или подвижных и вращающихся в противоположные стороны (для дезинтеграторов) пальцев. Вследствие этого при расчете вентилирующей способности применяются законы аэродинамики, а также методы исследований и приемы расчетов, известные в гидродинамике.

Аэродинамическая сила всасывания находится как

$$P_v = c \cdot \frac{\pi \cdot d^2 \cdot \rho_a \cdot U_{об}^2}{8}, \quad (6)$$

где c – коэффициент сопротивления среды (в данном случае воздуха); ρ_a – плотность воздуха; $U_{об}$ – скорость обтекания частицы воздушным потоком.

$$U_{об} = \frac{Q_a}{F_{nam}}, \quad (7)$$

где Q_a – расход воздуха через установку; F_{nam} – площадь сечения загрузочного патрубка.

По аналогии с практикой расчета воздуходувных машин и на основании уравнения Эйлера теоретический расход воздуха через внутренний ряд пальцев составляет

$$Q_a = \left[\pi \cdot l_p \cdot \delta \cdot (D_n - \delta) - l_p \cdot S_n \cdot \kappa_n \right] \cdot n, \quad (8)$$

где l_p – длина образующей (рабочая длина пальца); δ – рабочая высота пальца; D_n – наружный диаметр по внешней кромке пальца; S_n – площадь поперечного сечения пальца; κ_n – количество пальцев; n – число оборотов ротора.

Коэффициент сопротивления среды определяется характером движения аэросмеси по патрубку. Для ламинарного движения (а именно такое движение характерно для загрузочного патрубка, что наблюдается визуально и подтверждается работами авторов [1, 2, 4–6])

$$c = \frac{1,33}{Re}, \quad (9)$$

где Re – число Рейнольдса.

Для ламинарного течения аэросмеси число Рейнольдса определяется из формулы Блазиуса [3]:

$$Re = \frac{U_{об} \cdot d}{\nu}, \quad (10)$$

где ν – кинематическая вязкость воздуха.

Теоретически рассчитать силы, обусловленные трением и подвижной деформацией частиц между собой, такие, как силы молекулярного взаимодействия, термо- и фотофореза, электростатические силы и т. п., практически невозможно вследствие сложности определения направления и величины их действия (постоянно меняющихся). Поэтому их целесообразнее всего учитывать по аналогии с пневмотранспортом [7–9] – коэффициентом сопротивления движению:

$$k_c = (1 - k_1 \cdot \mu_1), \quad (11)$$

где k_1 – коэффициент местных аэродинамических сопротивлений; μ_1 – концентрация аэросмеси в загрузочном патрубке.

Расчетная схема сил, действующих на частицу в загрузочном патрубке, представлена на рис. 1.

Уравнение движения одиночной частицы материала по загрузочному патрубку может быть представлено в следующем виде:

$$m \frac{d\vec{U}}{dt} = \sum_{i=1}^n \vec{P}_i \quad (12)$$

где m – масса частицы; U – скорость движения частицы по патрубку; t – время движения частицы по загрузочному патрубку; P_i – i -я внешняя сила, действующая на частицу.

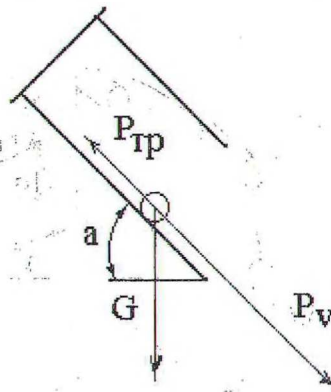


Рис. 1. Схема сил, действующих на частицу в загрузочном патрубке

Равнодействующая сила в загрузочном патрубке равна

$$P_1 = (1 - k_1 \cdot \mu_1) \cdot \frac{\pi \cdot d}{2} \cdot \left[\frac{1,33}{4} \cdot \rho_s \cdot \nu_s \cdot U_{об} + \frac{1}{3} \cdot d^2 \cdot \rho_m \cdot g \cdot (\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha) \right] \quad (13)$$

Следовательно, уравнение движения одиночной частицы материала по загрузочному патрубку можно записать в виде

$$m \frac{dU_1}{dt} = P_1. \quad (14)$$

Проинтегрировав уравнение (14), мы получаем скорость и траекторию вхождения частицы в предпальцевое пространство измельчителя. При этом постоянные интегрирования определяются из начальных условий (т. е. при $t=0$ скорость и координаты частицы на входе в загрузочный патрубок принимаются равными нулю), а время нахождения частицы в патрубке определяется из его конструктивных параметров (главным образом длины и угла установки).

В предпальцевом пространстве (рис. 2) на частицу действуют: сила тяжести, сила инерции на выходе из загрузочного патрубка, аэродинамическая сила, а также ряд сил, обусловленных трением и подвижной деформацией частиц друг о друга.

Сила тяжести G рассчитывается по зависимости (1), влияние сил, обусловленных пластической деформацией и трением частиц друг о друга, учитывается аналогично как и для загрузочного патрубка с поправкой на изменение концентрации частиц.

Аэродинамическая сила P_{v2} рассчитывается по зависимости (6). Но т. к. движение частиц аэросмеси в предпальцевом пространстве носит сложный пространственный характер и в большей мере соответствует турбулентному режиму движения [2, 5, 6, 11], то коэффициент аэродинамического сопротивления c , входящий в формулу (4), определяется по формуле Клячко [12]:

$$c = \frac{24}{Re} + \frac{4}{\sqrt[3]{Re}}. \quad (15)$$

Поскольку движение частиц в данной зоне носит сложный пространственный характер, причем аэросмесь не контактирует с рабочими органами измельчителя, то для его описания целесообразнее всего использовать пространственную систему декартовых координат (рис. 2).

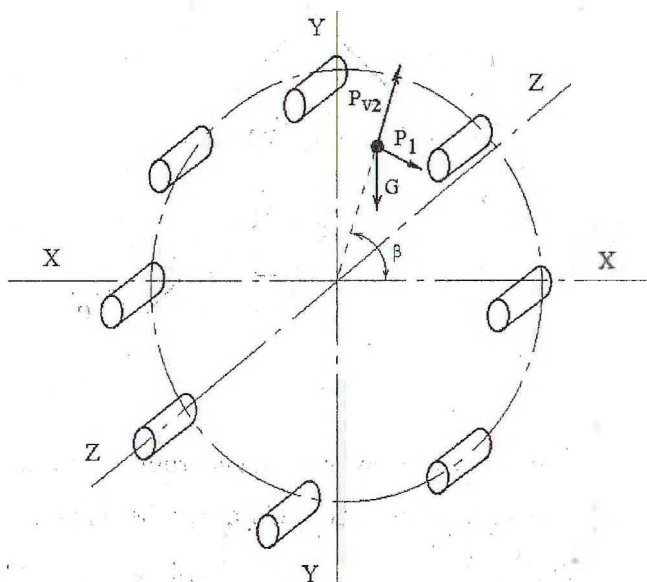


Рис. 2. Расчетная схема сил, действующих на частицу в предпальцевом пространстве

Равнодействующая сила (P_2) в предпальцевом пространстве находится из следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} P_{2x} = (1 - k_2 \cdot \mu_2) \cdot P_{v2} \cdot \cos \beta \\ P_{2y} = (1 - k_2 \cdot \mu_2) \cdot (P_{v2} \cdot \sin \beta - P_1 \cdot \sin \alpha - G) \\ P_{2z} = (1 - k_2 \cdot \mu_2) \cdot P_1 \cdot \cos \alpha \end{cases} \quad (16)$$

$$P_2 = \sqrt{P_{2x}^2 + P_{2y}^2 + P_{2z}^2},$$

где k_2 – коэффициент местных аэродинамических сопротивлений; μ_2 – концентрация аэросмеси в предпальцевом пространстве; β – угол между осью XX и направлением действия силы P_{v2} .

В данном случае по аналогии с теорией движения потоков в центробежных вентиляторах и лопастных насосах для абразивных смесей [6–11] делаем допущение, что аэродинамическая сила P_{v2} действует в плоскости XY (рис. 2).

Система дифференциальных уравнений, описывающих движение частицы в предпальцевом пространстве, в общем виде записывается как

$$\begin{cases} m\ddot{x} = F_x(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z}, t_2) \\ m\ddot{y} = F_y(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z}, t_2) \\ m\ddot{z} = F_z(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z}, t_2) \end{cases} \quad (17)$$

где x, y, z – проекции пути, пройденного частицей по предпальцевому пространству на соответствующие оси координат; t_2 – время нахождения частицы в данной зоне измельчителя.

Проинтегрировав систему уравнений (17), получим ее решение в общем виде:

$$\begin{cases} x = x(t_2, C_1, \dots, C_6) \\ y = y(t_2, C_1, \dots, C_6) \\ z = z(t_2, C_1, \dots, C_6) \end{cases} \quad (18)$$

где C_1, \dots, C_6 – постоянные интегрирования, определяемые из начальных условий входа частицы в предпальцевое пространство из загрузочного патрубка (в качестве начальных условий в данном случае принимается решение уравнения (14)).

Время нахождения частицы материала в данной зоне ограничивается конструктивными параметрами измельчителя:

$$\begin{cases} x_{\max} = R_1 \\ y_{\max} = R_1 \\ z_{\max} = l_p \end{cases} \quad (19)$$

где R_1 – радиус установки внутреннего ряда пальцев; l_p – рабочая длина пальца.

Решая систему уравнений (18) при помощи ЭВМ, задаем матрицу значений координат входа потока аэросмеси в измельчитель и получаем ее решение, данное в графическом виде на рис. 3.

Рис. 3 представляет собой график изменения координат входа частицы в межпальцевое пространство k в зависимости от конструктивных особенностей (главным образом формы и угла установки загрузочного патрубка) и частоты вращения измельчителя. Для большей наглядности зависимость показана в цилиндрической системе координат в проекции на оси XU . Заштрихованная область на графике соответствует области заполнения предпальцевого пространства материалом. Θ – угол, определяющий область пальцев измельчителя, до которой частицы материала не долетают. Значение координат k определяется по известной зависимости

$$k = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (20)$$

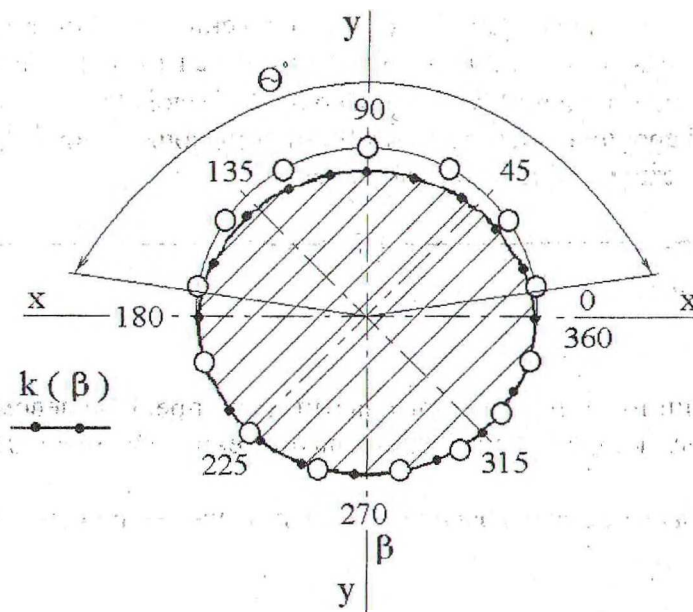


Рис. 3. Профиль распределения потока частиц в предпальцевом пространстве

Производительность измельчителя корзинчатого типа определяется пропускной способностью самого внутреннего ряда пальцев и может быть рассчитана по следующей зависимости, записанной в общем виде (т. е. для любого профиля пальца: круглого, в виде лопасти, треугольного и т. д.):

$$Q = k_3 \cdot \mu_2 \cdot \rho_m \cdot n \cdot [\pi \cdot l_p \cdot \delta \cdot (D_1 - \delta) - l_p \cdot S_n \cdot \kappa_n], \quad (21)$$

где k_3 – коэффициент загрузки установки, определяемый как

$$k_3 = \frac{360 - \Theta}{360} \quad (22)$$

Расчет производительности измельчителей дезинтеграторного типа по предложенной методике позволяет учесть такие факторы, как влияние действительной концентрации материала в рабочей зоне, влияние трения и пластической деформации частиц друг относительно друга, конструктивные особенности оборудования, для которого

производится расчет. Вследствие этого теоретическое значение производительности, полученное по данной методике, по сравнению с методиками, предложенными авторами [1–2], отличается значительно более высокой точностью, и отклонения значений по сравнению с практической производительностью составляли 5–10%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хинт И.А. Основы производства силикальцитных изделий. – М.: Госстройиздат, 1962. – 601 с.
2. Лапшин В.В., Козловский А.З. Расчет производительности дезинтегратора с плоскими ударными элементами // Разработка теории и конструктивного оформления машин и аппаратов интенсивных действий с участием зернистых материалов. – Иваново, 1984. – С. 31–32.
3. Калицун В.И., Дроздов Е.В. Основы гидравлики и аэродинамики. – М.: Стройиздат, 1980. – 247 с.
4. Хавкин Л.М. Технология силикатного кирпича. – М.: Стройиздат, 1982. – 384 с.
5. Животновский Л.С., Смойловская Л.А. Лопастные насосы для абразивных гидросмесей. – М.: Машиностроение, 1978. – 223 с.
6. Овсянников Б.В. Высокооборотные лопаточные насосы. – М.: Машиностроение, 1985. – 346 с.
7. Зенков Р.Л. Машины непрерывного транспорта. – М.: Машиностроение, 1987. – 432 с.
8. Клячко Л.С., Одельский Э.Х., Хрусталева Б.М. Пневматический транспорт сыпучих материалов. – Мн.: Наука и техника, 1983. – 216 с.
9. Малис А.Я. Пневматический транспорт сыпучих материалов при высоких концентрациях. – М.: Машиностроение, 1969. – 177 с.
10. Бусроид Р. Течение газа со взвешенными частицами. – М.: Мир, 1975. – 378 с.
11. Соломахова Т.С. и др. Центробежные вентиляторы. – М.: Машиностроение, 1975. – 416 с.
12. Медников Е.П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей. – М.: Наука, 1980. – 324 с.

УДК 621.926.3

В.С. Францкевич, аспирант

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ ГАЗА В СЕПАРАЦИОННОЙ ЗОНЕ ВАЛКОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

In the given article the results of researches by definition of distribution of speed of gas in separation zone of a bowl mill are described. As a result of researches the character of change of axial and tangential speed, both on radius, and on an altitude of a mill is established. For comparison the data are received for an axial and twisted flow. The equations describing motion of a flow in a ring backlash of a mill, necessary for calculation of a trajectory of motion of a material are received.

Среднеходные валковые мельницы являются одним из перспективных помольных агрегатов и могут найти широкое применение в химической промышленности и промышленности строительных материалов. Неоспоримыми их преимуществами по сравнению с шаровыми являются меньшая металлоемкость и значительно меньшие энергозатраты на помол [1, 2].