

# МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Семикопенко И.А., канд. техн. наук, проф.,  
Воронов В.П., канд. физ.-мат. наук, проф.,  
Горбань Т.Л., аспирант,  
Лунев А.С., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ, ЗАТРАЧИВАЕМОЙ НА ДВИЖЕНИЕ ЧАСТИЦ МАТЕРИАЛА В ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ПРОТИВОТОЧНОЙ МЕЛЬНИЦЕ С УЧЕТОМ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ВСТРЕЧНЫХ ПОТОКОВ

zhukovbeetle@mail.ru

В данной статье приводится расчет энергетических затрат в центробежной противоточной мельнице с учетом взаимного влияния встречных потоков в области измельчения. В расчете учтены энергозатраты на образование застойной зоны при взаимодействии встречных потоков. Получено соотношение, определяющее суммарные затраты мощности в центробежной противоточной мельнице.

**Ключевые слова:** мощность, мельница, поток.

Центробежные противоточные мельницы являются помольным оборудованием, обеспечивающим измельчение материалов с повышенной твердостью и абразивностью [1].

Мощность, потребляемая центробежной противоточной мельницей (рис. 1), расходуется на перемещение материала по поверхности раз-

гонных лопастей; на преодоление сопротивления трения в подшипниковых опорах роторов; на работу роторов мельницы как вентиляторов и на взаимодействие встречных потоков:

$$P = P_{тр} + 2P_{подш} + 2P_{вент} + P_{встр}$$

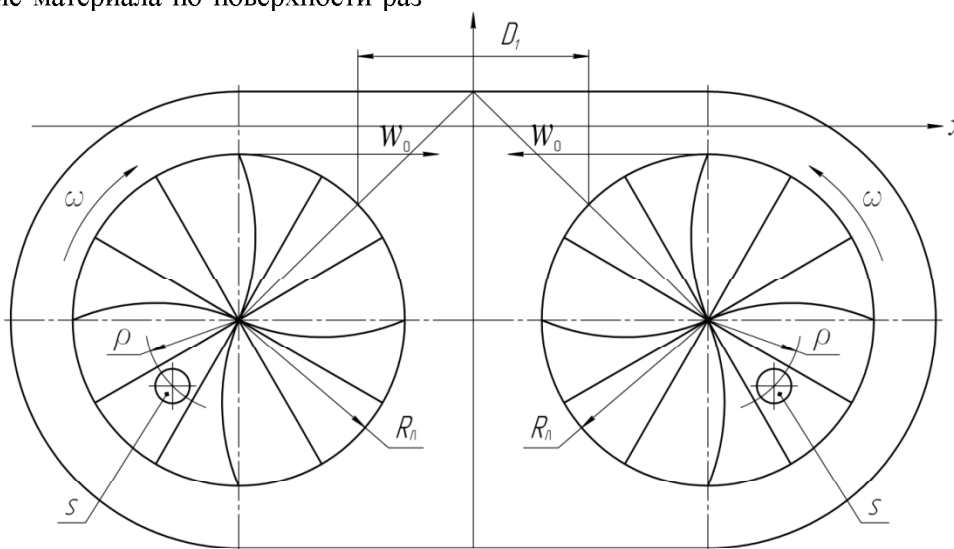


Рис. 1. Расчетная схема взаимодействия встречных потоков в центробежной противоточной мельнице

Элементарная величина мощности  $dP_M$ , затрачиваемая на перемещение материала лопастью под действием центробежной силы с постоянной скоростью [2]

$$\mathcal{G}_r = \frac{\omega \rho}{2f}, \quad (1)$$

где  $\omega$  – частота вращения ротора;  $\rho$  – радиальное расстояние от оси вращения ротора до точки соприкосновения частицы материала с лопастью;  $f$  – коэффициент трения; определяется соотношением:

$$dP_M = \mathcal{G}_r dF_{ц}, \quad (2)$$

где

$$F_{ц} = m\omega^2 r; \quad (3)$$

здесь

$$m = \gamma_0 Sh; \quad (4)$$

$\gamma_0$  – насыпная плотность материала;  $S$  – площадь отверстия загрузочного патрубка;  $h$  – высота лопасти;  $r$  – текущая радиальная координата;  $m$  – масса частицы.

Интегрирование выражения (2) с учетом (1), (3) и (4) позволяет получить следующее соотношение:

$$P_M = \frac{\omega^3 \rho}{2f} \gamma_0 Sh \int_{\rho}^{R_L} dr = \frac{\omega^3 \rho^2}{2f} \gamma_0 Sh \left( \frac{R_L}{\rho} - 1 \right), \quad (5)$$

где  $R_L$  – радиус лопасти.

Центробежная сила, действующая на частицу материала при ее движении вдоль поверхности лопасти:

$$F_{ц} = \frac{m g^2}{R_o}, \quad (6)$$

$R_o$  – путь, пройденный частицами материала от точки загрузки до точки отрыва от лопасти;

Если через  $M$  обозначить массу частиц материала, поступающего через загрузочные патрубки на левый и правый ротор, то

$$M = (Q_1 + Q_2)t, \quad (7)$$

где  $Q_1$  и  $Q_2$  – массовый расход материала через левый и правый загрузочные патрубки.

$$P_{mp} = 2\pi f (Q_1 + Q_2) g R_o \omega \cdot z_1 = 2\pi f (Q_1 + Q_2) g^2 \pi \cdot z_1 = 2f z_1 (Q_1 + Q_2) \omega^2 R_o^2 \quad (13)$$

Мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения в подшипниках валов роторов мельницы:

$$P_{подш} = G f_1 \pi d \omega, \quad (14)$$

где  $G$  – давление на подшипники от силы тяжести ротора, Н;  $f_1$  – приведенный коэффициент трения скольжения ( $f_1 = 0,004$ );  $d$  – диаметр вала, м;

Расход мощности (Вт) на работу ротора как вентилятора [3]

$$P_{вент} = \frac{q_1 H (1 + K_{ц} \mu)}{\eta}, \quad (15)$$

где  $q_1$  – количество воздуха, продуваемого через каждый ротор мельницы;  $H$  – напор, создаваемый ротором,  $H = 445$  мм. в. ст. (1 мм. в. ст. = 9,81 Н/м<sup>2</sup>);  $K_{ц}$  – кратность циркуляций,  $K_{ц} = 2$ ;  $\mu$  – концентрация пыли по готовому продукту, кг/кг;  $\eta$  – КПД ротора как вентилятора,  $\eta = 0,55$ .

Обычно принимают  $P_{вент} = 50$  % от мощности, потребляемой мельницей.

Если предположить, что материал находится на лопастях роторов с угловым размером участков не более  $\pi$ , тогда

$$t = \frac{\pi}{\omega}. \quad (8)$$

Сила трения, возникающая при движении частиц материала вдоль поверхности лопастей:

$$F_{mp} = 2M\omega g f, \quad (9)$$

где  $f$  – коэффициент трения, примем  $f = 0,35$ .

Следовательно, работа по преодолению сил трения будет определяться следующим образом:

$$A_{mp} = F_{mp} R_o = \frac{2(Q_1 + Q_2) f \pi \omega}{\omega} g R_o = 2\pi f (Q_1 + Q_2) g R_o \quad (10)$$

а мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения

$$P_{mp} = A_{mp} \omega \cdot z_1, \quad (11)$$

где  $z_1$  – количество лопастей.

Если исходить из предположения о постоянстве скорости движения частицы материала вдоль лопасти ротора, тогда можно записать:

$$g = \frac{R_o}{t}. \quad (12)$$

С учетом (12), (11), (7) и (8) находим

На образование застойной зоны при взаимодействии встречных потоков в центробежной противоточной мельнице расходуется энергия, равная:

$$E = \frac{M_0 w_0^2}{2}, \quad (16)$$

где  $M_0$  – масса частиц материала, кг;  $w_0$  – скорость потока, м/с

и расходуется мощность, определяемая соотношением:

$$P_{встр} = E \omega. \quad (17)$$

Подстановка (16) в (17) приводит к следующему результату:

$$P_{встр} = \frac{M_0 w_0^2}{2} \omega. \quad (18)$$

где  $m_0$  – масса смеси воздуха и частиц в зоне взаимодействия встречных потоков.

Массу частиц материала, находящегося во встречных потоках, можно определить, воспользовавшись следующим уравнением [4]:

$$M_0 = \frac{\pi}{2} \psi \rho_1 D_1 d_0^2. \quad (19)$$

С учетом  $w_0 = \omega R_p$  и (16) окончательно приходим к следующему результату

$$P_{\text{сстп}} = \frac{\pi}{4} \psi \rho_1 D_1 d_0^2 R_p \omega^3, \quad (20)$$

где  $\psi$  – коэффициент, равный 0,4;  $\rho_1$  – плотность потока;  $D_1$  – размер области активного взаимодействия потоков частиц;  $d_0$  – диаметр частицы;  $R_p$  – радиус ротора.

В случае образования застойной зоны («пробки») при лобовом взаимодействии потоков мощность центробежной противоточной мельницы возрастает на величину, определяемую соотношением (20) и приобретает следующий вид:

$$P = 2fz_1(Q_1 + Q_2)R_p^2\omega^2 + 2Gf_1\pi d\omega + \frac{2q_1H(1+K_{\mu}\mu)}{\eta} + \frac{\pi}{2}\psi\rho_1D_1d_0^2R_p\omega^3 + nP_m, \quad (21)$$

здесь  $n$  – число лопастей на роторе.

Таким образом, мощность, затрачиваемая на движение частиц материала в центробежной

противоточной мельнице зависит от конструктивно-технологических параметров, концентрации твердой фазы в воздушном потоке, а также от размеров частиц материала.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смирнов Н.М. Разработка конструкций центробежных противоточных мельниц и методика расчета их основных размеров // Сборник трудов Интенсивная механическая технология сыпучих материалов: Иваново, 1990. С. 61–69.
2. Воронов В.П., Семикопенко И.А., 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.
3. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры: Учебник для теплоэнергетических специальностей вузов. 2<sup>е</sup> изд. М.: Энергоатомиздат, 1984. 416 с.
4. Карпачев Д.В. Противоточная струйная мельница с изменяемыми параметрами помольной камеры. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. Белгород, БелГТАСМ, 2002.

**Semikopenko I.A., Voronov V.P., Gorban T.L., Lunev A.S.**

### THE DEFINITION OF POWER CONSUMED FOR GRINDING OF MATERIAL IN THE UNIT DISINTEGRATING TYPE CONSIDERING THE MUTUAL INFLUENCE OF TWO-PHASE COUNTER FLOWS

*In this article calculated the energy costs in the unit disintegrating type considering the effect of counter flow in the zone of active interaction of the rotors. The calculation took into account the energy consumption for the formation of stagnant zones in the interaction of colliding head-on two-phase flows. The resulting equation that determined the total cost of power in the unit disintegrating type.*

**Key words:** flow, aggregate, power.

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

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

Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 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, г. Белгород, ул. Костюкова, 46.

E-mail: v.s\_bogdanov@mail.ru

**Горбань Татьяна Леонидовна**, аспирант кафедры механического оборудования.

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

Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46.

E-mail: olimp69@narod.ru

**Лунев Артем Сергеевич**, аспирант кафедры механического оборудования.

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

Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46.

E-mail: olimp69@narod.ru