

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ РОТОРА В РОТОРНО-БАРАБАННОМ АППАРАТЕ

Ахунбаев Адил Алимович

Доцент Фарғона политехника институти a.axunboyev@ferpi.uz

(ORCID:0000-0001-6764-3690)

Абдусамад Муйдинов Абдуқаюм ўғли

Ассистент Фарғона политехника институти a.moydinov@ferpi.uz

(ORCID: 0000-0002-8643-8489)

<https://doi.org/10.5281/zenodo.6677375>

Аннотация

В статье дано уравнение для определения мощности ротора при движение дисперсного материала в роторно-барабанном аппарате с вращающимся ротором, а также рассмотрено движение частиц материала без учета воздействие на них псевдооживленного газового агента входящие в предложенное уравнение.

Ключевые слова: контактный аппарат, дисперсный материал, расход мощности, вращающийся ротор, разрыхленный слой, плотный слой.

Введение

Для определения мощности, затрачиваемой на преодоление сил трения, рассмотрим участок слоя с сечением ABCD и длиной $L_{ш}$ (рис. 1). Выделим в нем элемент толщиной ds на расстоянии от центра оси ротора S и шириной $l=sd\phi$.

При постоянной длине ротора $L_{ш}$, плотности материала ρ_M и порозности слоя ε_0 масса выделенного элемента

$$dm = L_{ш}(1 - \varepsilon_0)\rho_M sd\phi ds \quad (1)$$

Центробежная сила, действующая на элемент слоя

$$dF_u = \frac{dm\omega_p^2}{s} \quad (2)$$

где $\omega_p = 2\pi sn$ - окружная скорость ротора; (3)

n - число оборотов ротора.

Тогда

$$dF_u = 4\pi^2 n^2 (1 - \varepsilon_o) L_{\text{ш}} \rho_M s^2 d\varphi ds \tag{4}$$

Интегрирование (3.24) в пределах изменения **S** от **r** **R_p** додает:

$$dF_u = \frac{4}{3} \pi^2 n^2 (1 - \varepsilon_o) L_{\text{ш}} \rho_M (R_p^3 - r^3) d\varphi \tag{5}$$

Нормальная составляющая силы тяжести, действующая на элемент слоя:

$$dP_n = dm \sin \varphi g = L_{\text{ш}} (1 - \varepsilon_o) \rho_M s g \sin \varphi d\varphi ds \tag{6}$$

В результате аналогичного выражению (3.25) интегрирования получаем:

$$dP_n = 0,5 L_{\text{ш}} (1 - \varepsilon_o) \rho_M g (R_p^3 - r^3) \sin \varphi d\varphi \tag{7}$$

Сила трения на элементе дуги **I**, действующая на элемент слоя:

$$dF_{TP} = -(dF_u + dP_n) f \tag{8}$$

$$dF_{TP} = - \left[\frac{4}{3} \pi^2 n^2 (1 - \varepsilon_o) L_{\text{ш}} \rho_M (R_p^3 - r^3) + 0,5 L_{\text{ш}} (1 - \varepsilon_o) \rho_M g (R_p^3 - r^3) \sin \varphi \right] f df \tag{9}$$

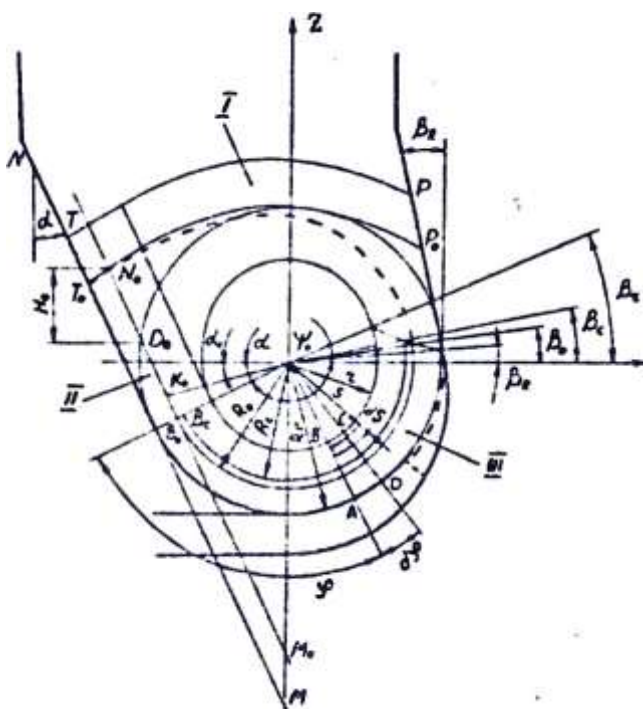




Рис. 1. Схема движения дисперсного материала в роторном щелевом аппарате.

Интегрируем уравнение (9) в пределах изменения угла φ от $\pi+d$ до β_R , учитывая знак перед правой частью уравнения.

$$F_{TP} = L_{щ} \rho_m (1 - \varepsilon_0) f \int_{\beta_R}^{\pi+d} \left[\frac{4}{3} \pi^2 n^2 (R_p^3 - r^3) + 0,5g(R_p^2 - r^2) \sin \varphi \right] d\varphi \quad (10)$$

Интегральный момент сопротивления силы трения рассчитывается по формуле

$$M_{TP} = F_{TP} \cdot R_p \quad (11)$$

а мощность, затрачиваемая ротором, на преодоление сил трения - по выражению

$$N_{TP} = M_{TP} \cdot \omega = F_{TP} \cdot R_p \cdot \omega \quad (12)$$

где $\omega = 2\pi n$ - угловая частота вращения.

Подставляя значение (10) и (12), получаем окончательную формулу для расчета N_{TP} .

$$N_{TP} = 2\pi R_p n L_{щ} \rho_m (1 - \varepsilon_0) f \int_{\beta_R}^{\pi+d} \left[\frac{4}{3} \pi^2 n^2 (R_p^3 - r^3) + 0,5g(R_p^2 - r^2) \sin \varphi \right] d\varphi \quad (13)$$

Мощность ротора, затрачиваемая на взвешивание материала, равна доле от общей потребляемой ротором мощности, расходуемой на сообщение движущимся массам слоя кинетической энергии.

Массу материала, а третьей зоне аппарата на поверхности профильного козырька с достаточной степенью точности можно определить по формуле

$$m_3 = \frac{\pi(R_p^2 - r^2)L_{щ}(1 - \varepsilon_0)\rho_m}{2} \quad (14)$$

Массовая скорость циркуляции материала в отмеченной зоне будет

$$G_3 = m_3 / \tau_3 \quad (15)$$

Тогда мощность на взвешивание

$$N_{b3} = \frac{G_3^2 \omega}{2} \quad (16)$$

$\tau_3 = 1 / 2n$ - время движения частиц материала по поверхности козырька;



$$\bar{\omega} = 2\pi \left(\frac{R_p + r}{2} \right) n = \pi(R_p + r)n \text{ - средняя скорость движения массы слоя.}$$

В результате получаем:

$$N_{b3} = 0,5\pi^3 n^3 (R_p^2 - r^2) L_{\text{ш}} (1 - \varepsilon_0) \rho_m (R_p - r)^2 \quad (17)$$

Согласно физическим представлениям (раздел 2) одной из составляющих потребляемой ротором энергии является мощность, расходуемая на соударение лопастей ротора с частицами верхней части слоя $N_{\text{уд}}$. Ее величина существенным образом зависит от степени заполнения материалом рабочего объема аппарата K_h , в данном случае - от высоты неподвижного слоя материала h_0 , а также от конструктивных особенностей аппарата - углов наклона подщелевой стенки α и прямого участка подщелевой стенки β_R , радиуса ротора R_p и физико-механических свойств обрабатываемых материалов - плотности и коэффициента восстановления K . Последний теоретически может изменяться в диапазоне $0 \leq K \leq 1$.

Определим массу частиц в верхней части слоя следующим образом. Площадь вертикального сечения неподвижного слоя высотой h_0 составляет S_0 . С учетом геометрических размеров воронкообразного днища аппарата S_0 определяется выражением

$$S_0 = 0,5h_0^2 \operatorname{tg} d + R_p (h_0 - R_p) \operatorname{tg} (0,785 - 0,5d) + R_p^2 (0,571 - 0,5d) + h_0 R_p - 0,5(h_0 - R_p)^2 \operatorname{tg} \beta_R \quad (18)$$

График зависимости отмечен на рис. П1.1. При малой частоте вращения механического побудителя (ротора), когда центробежные силы невелики и устойчивого организованного псевдооживления материала не наблюдается, лопасти ротора ударяют по части материала, находящейся за обметаемой ротором окружностью радиусом R_p . Эта доля материала m_1 в общем случае оценивается следующим образом:

$$m_1 = (S_0 - \pi R_p^2 + S'_0) L_{\text{ш}} \rho_m (1 - \varepsilon_0) \quad (19)$$

$$\text{где } S'_0 = 0,5R_p^2 \left\{ 2 \arcsin \left(\frac{\sqrt{2R_p h_0 - h_0^2}}{R_p} \right) - \sin \left[2 \arcsin \left(\frac{\sqrt{2R_p h_0 - h_0^2}}{R_p} \right) \right] \right\} \quad (20)$$

$$\text{При } h_0 \geq 2R_p, m_1 = (S_0 - \pi R_p^2 + S'_0) L_{\text{ш}} \rho_m (1 - \varepsilon_0) \quad (21)$$

Тогда энергия ротора, отданная массе W_j при вращении [92] будет представлена



уравнением:

$$E_1 = \frac{m_1 \omega_p^2 (1+K)^2}{2} = 2(S_0 - \pi R_p^2 + S_0') L_{ц} \rho_m (1 - \varepsilon_0) \pi^2 n^2 R_p^2 (1+K)^2 \quad (22)$$

Масса частиц слоя m_2 при устойчивом псевдооживлении, находящаяся за областью, ограниченной окружностью с радиусом R_p , будет больше m_1 за счет эффекта отжатия частиц материала от вала ротора вследствие увеличения центробежных инерционных сил. В этих условиях энергия ротора, отданная массе m_2 будет:

$$E_2 = \frac{m_2 \omega_p^2 (1+K)^2}{2} = 2\pi^2 n^2 R_p^2 L_{ц} \rho_m (1 - \varepsilon_0) (S_0 - \pi R_p^2 + S_0' + \pi r^2) (1+K)^2 \quad (23)$$

и энергия ротора, отданная в единицу времени, т.е. мощность N_{yd} определяется соответственно уравнением

$$N_{yd} = 4\pi^3 n^3 R_p^2 L_{ц} \rho_m (1 - \varepsilon_0) (S_0 - \pi R_p^2 + S_0' + \pi r^2) (1+K)^2 \quad (24)$$

Общая потребляемая ротором мощность:

$$N_p = N_{TP} + N_{\varepsilon_3} + N_{yd} \quad (25)$$

отдельные составляющие которой рассчитываются по выведенным выше **формулам (23, 27, 24)**.

Расчет мощности по этим формулам затруднен без знания функциональной зависимости $r = \psi(n_0, h_0)$, которая исключила бы неизвестный параметр r из уравнений.

Используем введенное ранее понятие коэффициента заполнения рабочего объема ротора $K_h = h_0 / 2R_p$. Тогда зависимость $r = \psi(n_0, h_0)$ преобразуется в вид

$$r = \varphi(n, K_h) \quad (26).$$

При выводе зависимости (26) будем руководствоваться общими методическими указаниями, изложенными в [93].

Предварительно определим время пребывания частиц в характерных для аппарата зонах (I, II, III).

Допустим, что вся масса частиц при движении в третьей зоне (на круговой траектории) сосредоточена в цилиндрическом слое с радиусом R_0 (см. рис. 1). Тогда при движении от $(.)B_0$ до $(.)A_0$ частицы повернутся на угол

$$\psi_0 = \pi - d + \beta_0 \quad (27)$$

где β_0 - угол перехода частиц с кругового участка траектории на параболический (первую зону).

Если ротор и совместно с ним частица делают n с⁻¹ то время пребывания частицы в зоне III определяется выражением

$$\tau'_0 = \frac{\psi_0}{2\pi n} \quad \text{или} \quad \tau'_0 = \frac{\pi - d + \beta_0}{2\pi n} \quad (28)$$

Значение угла β_0 определяем, исходя из следующих представлений. Текущие координаты частиц в первой зоне определяются выведенными в разделе 1 уравнениями (9) и зависят в общем случае от угла β , под которым они отрываются от лопасти ротора на данном ее радиусе. Причем, траектория каждой частицы представляет собой параболу. Кривая, огибающая семейство этих парабол также является параболой, ветви которой направлены вниз [94]. На рис. 1 показаны огибающие кривые R_T и R_0T_0 соответственно для радиусов R_p и R_0 . Так уравнение кривой для радиуса R_0 будет иметь вид:

$$Z = -\frac{g}{2\omega_0^2} y^2 + \frac{gR_0^2}{2\omega_0^2} + \frac{\omega_0^2}{2g} \quad (29)$$

$$\text{где } \omega_0 = 2\pi R_0 n \quad (30)$$

Пересечение параболы (3.49) с уравнением прямой линии M_0N_0 :

$$\frac{Z_{N_0}}{\cos \alpha} + \frac{Y_{N_0}}{\sin \alpha} + \frac{R_0}{\cos \alpha \cdot \sin \alpha} = 0 \quad (31)$$

параллельной надщелевой стенке днища MN , определяет при режиме вращения ротора координаты Y_{N_0} и Z_{N_0} , означает при подстановке уравнения (30) в формулу следующей системы уравнений при заданных R_0 , n , α :

$$\begin{cases} Z_{N_0} = -\frac{0,1244Y_{N_0}^2}{R_0^2 n^2} + \frac{0,1244}{n^2} + 2,0101R_0^2 n^2 \\ \frac{Z_{N_0}}{\cos \alpha} + \frac{Y_{N_0}}{\sin \alpha} + \frac{R_0}{\cos \alpha \cdot \sin \alpha} = 0 \end{cases} \quad (32)$$

Подстановкой полученных значений - Y_{N_0} и $\pm Z_{N_0}$ в систему уравнений (9) определяются угол $+\beta$, и время движения час- + τ''_0 из $(.)A_0$ в $(.)N_0$, т.е. время пребывания в I зоне:



$$\begin{cases} Y_{No} = R_0 \cos \beta_0 - 6,28R_0 n \sin \beta_0 \tau_0'' \\ Z_{No} = R_0 \sin \beta_0 + 6,28R_0 n \cos \beta_0 \tau_0'' - 4,905(\tau_0'')^2 \end{cases} \quad (33)$$

Следует отметить, что парабола (3.53) в (.) N_o является касательной к кривой (3.49). Решение системы выполняется итерационным методом по программе (Приложение 4), составленной на ЭВМ "Электроника БЗ-20", поскольку неизвестные параметры β_0 и τ_0'' в неявном виде.

Время пребывания частиц во II зоне представим в виде отдельных составляющих. Так время движения частицы (τ_0''') по наклонной стенке дна до момента касания с окружностью, отличаемой ротором с радиусом R_p находим из выражения, полученного преобразованием системы уравнений (10):

$$\omega_{02} = \tau_0''' \sqrt{(g \sin \alpha \cos \alpha - fg \sin^2 \alpha)^2 + (fg \sin \alpha \cos \alpha + g \sin^2 \alpha - g)^2} \quad (34)$$

где ω_{02} - скорость частицы, движущейся по наклонной надщелевой стенке.

В свою очередь, скорость частицы в момент касания окружности ротора можно рассчитать по формуле:

$$\omega_{02} = \sqrt{2gH_0(1 - ftg\alpha)} \quad (35)$$

где $H_0 = Z_{No} - Z_{Do}$ - высота падения частицы по вертикали

(оси Oz); Z_{No} - известно из выше представленных рассуждений; Z_{Do} - определяем решением системы уравнений, описывающих линию N_oM_o и окружность с радиусом R_p :

$$\begin{cases} \frac{Z_{Do}}{\cos \alpha} + \frac{Y_{Do}}{\sin \alpha} + \frac{R_0}{\cos \alpha \cdot \sin \alpha} = 0 \\ Z_{Do}^2 + Y_{Do}^2 = R_p^2 \end{cases} \quad (36)$$

Из полученных значений Z_{Do} выбираем максимальное и сравниваем с величиной Z_{No}

при $Z_{Do} \geq Z_{No}$

принимаем $H_0 = 0$;

при $Z_{Do} < Z_{No}$

определяем H_0 и находим время τ_0''' ,

подставляя значение ω_{02} из (35) в (34):

$$\tau_0''' = 0,452 \sqrt{\frac{H_0(1 - ftg\alpha)}{(\sin \alpha \cos \alpha - f \sin^2 \alpha)^2 + (f \sin \alpha \cos \alpha - \cos^2 \alpha)^2}} \quad (37)$$

Среднее время движения частицы от (.)D_o до (.)K_o - τ_0'''' определяется частотой вращения ротора и числом его лопастей a , т.е. максимальная глубина проникновения



частицы в рабочую зону воздействия перемешивающего органа определяем τ_0 моментом встречи частицы с лопастью ротора

$$\tau_0''' = \frac{\alpha - \alpha_1}{2\pi n} \quad (38)$$

Время движения частицы от $(.)K_0$ до $(.)B_0$ определяется выражением

$$\tau_0'''' = \frac{\alpha - \alpha_1}{2\pi n} \quad (39)$$

Максимальное значение τ_0'''' при $\alpha - 20-30^\circ$ не превышает 4-6 % от времени полного оборота ротора. Поэтому его можно не учитывать в расчетах. Общее время движения частиц будет:

$$\tau_0 = \tau_0' + \tau_0'' + \tau_0''' + \tau_0'''' \quad (40)$$

Список литературы

- [1] Rasuljon, T., Akmaljon, A., & Ilkhomjon, M. (2021). SELECTION OF FILTER MATERIAL AND ANALYSIS OF CALCULATION EQUATIONS OF MASS EXCHANGE PROCESS IN ROTARY FILTER APPARATUS. *Universum: технические науки*, (5-6 (86)), 22-25.
- [2] Xursanov, B. J., Mamarizayev, I. M. O., & Akbarov, O. D. O. (2021). APPLICATION OF CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL RELATIONSHIPS IN MACHINES. *Scientific progress*, 2(8), 164-169.
- [3] Xursanov, B. J., Mamarizayev, I. M. O., & Akbarov, O. D. O. (2021). OPERATION OF MIXING ZONES OF BARBOTAGE EXTRACTOR IN STABLE HYDRODYNAMIC REGIME. *Scientific progress*, 2(8), 170-174.
- [4] Xoshimov, A. O., & Isomidinov, A. S. (2020). Study of hydraulic resistance and cleaning efficiency of dust gas scrubber. In *International online scientific-practical conference on "Innovative ideas, developments in practice: problems and solutions"*: Andijan.-2020.-51 p.
- [5] Xursanov, B. J., Mamarizayev, I. M. O., & Abdullayev, N. Q. O. (2021). APPLICATION OF INTERACTIVE METHODS IN IMPROVING THE QUALITY OF EDUCATION. *Scientific progress*, 2(8), 175-180.
- [6] Sadullaev, X., Muydinov, A., Xoshimov, A., & Mamarizaev, I. (2021). ECOLOGICAL ENVIRONMENT AND ITS IMPROVEMENTS IN THE FERGANA VALLEY. *Барқарорлик ва Етакчи Тадқиқотлар онлайн илмий журналы*, 1(5), 100-106.
- [7] Sadullaev, X., Tojiyev, R., & Mamarizaev, I. (2021). EXPERIENCE OF TRAINING BACHELOR-SPECIALIST MECHANICS. *Барқарорлик ва Етакчи Тадқиқотлар онлайн илмий журналы*, 1(5), 116-121.



[8] Sadullaev, X., Alimatov, B., & Mamarizaev, I. (2021). DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A HIGH-EFFICIENT EXTRACTION PLANT AND PROSPECTS FOR INDUSTRIAL APPLICATION OF EXTRACTORS WITH PNEUMATIC MIXING OF LIQUIDS. Барқарорлик ва Етакчи Тадқиқотлар онлайн илмий журнали, 1(5), 107-115.

[9] Askarov, X. A., Karimov, I. T., & Mo'Ydinov, A. (2022). REKTIFIKATSION JARAYONLARINING KOLONNALARDA MODDIY VA ISSIQLIK BALANSLARINI TADQIQ QILISH. Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences, 2(5-2), 246-250.

[10] Rasuljon, T., Azizbek, I., & Abdurakhmon, S. (2021). Research of the hydraulic resistance of the inertial scrubber. Universum: технические науки, (7-3 (88)), 44-51.

[11] Хусанбоев, А. М., Абдуллаева, Д. Т., & Рустамова, М. М. (2021). Деление Произвольного Тупого Угла На Три И На Шесть Равных Частей. CENTRAL ASIAN JOURNAL OF THEORETICAL & APPLIED SCIENCES, 2(12), 52-55.

[12] Мухаммадсадиқов, К. Д., & Давронбеков, А. А. (2021). Исследование влияния гидродинамических режимов сферической нижней трубы на процесс теплообмена. Universum: технические науки, (7-1 (88)), 38-41.

[13] Исомиддинов, А. С., & Давронбеков, А. А. (2021). Исследование гидродинамических режимов сферической углубленной трубы. Universum: технические науки, (7-1 (88)), 53-58.

[14] Алиматов, Б. А., & Садуллаев, Х. М. (2021). СРАВНЕНИЕ ЗАТРАТ ЭНЕРГИИ ПРИ ПНЕВМАТИЧЕСКОМ И МЕХАНИЧЕСКОМ ПЕРЕМЕШИВАНИИ НЕСМЕШИВАЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ. ЭНЕРГЕТИКА, 86(5).

[15] Хакимов, А. А., Салиханова, Д. С., Абдурахимов, А. Х., & Жумаева, Д. Ж. (2020). Использование местных отходов в производстве угольных брикетов. Universum: химия и биология, (4 (70)).

[16] Хакимов, А. (2020). ТЕХНОЛОГИЯ БРИКЕТИРОВАННОГО УГЛЯ. Материали конференцій МЦНД, 76-78.

[17] Хакимов, А. А., Вохидова, Н. Х., & Нажимов, Қ. КЎМИР БРИКЕТИ ИШЛАБ ЧИҚАРИШНИНГ ЯНГИ ТЕХНОЛОГИЯСИНИ ЯРАТИШ. ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ Заҳрирдин Муҳаммад Бобур номидаги Андижон давлат университети, 264.

[18] Tojiev, R. Z., Sadullaev, H. M., Soliev, O. K., & Muminov, H. N. (2019). NEW STRUCTURE OF CALCINER'S FIRE CHAMBER. In INTERNATIONAL SCIENTIFIC REVIEW OF THE PROBLEMS AND PROSPECTS OF MODERN SCIENCE AND EDUCATION (pp. 20-24).

[19] Тожиев, Р. Ж., Садуллаев, Х. М., Сулаймонов, А., & Герасимов, М. Д. (2019). НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВАЛА С ПОПЕРЕЧНЫМ ОТВЕРСТИЕМ ПРИ СОВМЕССТНОМ ДЕЙСТВИИ ИЗГИБА И КРУЧЕНИЯ. In Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях (pp. 273-281).

[20] Ахунбаев, А. А., Ражабова, Н. Р., & Вохидова, Н. Х. (2020). Исследование



гидродинамики роторной сушилки с быстровращающимся ротором. Экономика и социум, (12-1), 392-396.

[21] Тожиев, Р. Ж., Исомиддинов, А. С., Ахроров, А. А. У., & Сулаймонов, А. М. (2021). ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО АБСОРБЕНТА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДОРОДНО-ФТОРИСТОГО ГАЗА В РОТОРНО-ФИЛЬТРОВАЛЬНОМ АППАРАТЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АППАРАТА. *Universum: технические науки*, (3-4 (84)), 44-51.

[22] Mirsharipov, R. H., & Akhunbaev, A. A. (2020). Research of Hydrodynamic Parameters of Drum Dryer. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 7(11).