

# МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И МАШИНОСТРОЕНИЕ

Романович А.А., канд. техн. наук, проф.  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДОПОЛНИТЕЛЬНО ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ МЕЛЬНИЦЫ, ОСНАЩЕННОЙ ЛЭУ

alexejrom@yandex.ru

В статье рассмотрены вопросы интенсификации процесса измельчения материалов в шаровой мельнице оснащенной ЛЭУ. Получены аналитические зависимости расчета дополнительно потребляемой мощности.

**Ключевые слова:** помольная линия, шаровая мельница, лопастные энергообменные устройства.

Результаты проведенных исследований показали, что измельчаемый в ПВИ материал после обработки давлением между коническими валками значительно отличается от исходного, он имеет форму в виде спрессованных пластин, а его частицы - микродефектную структуру, что требует особых условий для их доизмельчения в ТШМ.

Как показали исследования [1-3], предварительно измельчаемый в ПВИ материал целесообразно подвергать кратковременному ударному воздействию в первой камере мельницы для дезагломерации спрессованной ленты и раздавливающее-стирающему воздействию мелющей загрузки во второй камере для окончательного его помола. Такие условия измельчения материалов можно получить в шаровой мельнице (ШМ), оснащенной лопастными энергообменными устройствами (ЛЭУ): лопастью двухстороннего действия (ЛДД) и лопастным эллипсным сегментом (ЛЭС).

Установка лопастных энергообменных устройств (ЛЭУ) (рис. 1,2) в виде лопасти двухстороннего действия ЛДД и лопастного сегмента в барабане шаровой мельницы позволяет интенсифицировать движение мелющей загрузки [4,5].

В зависимости от угла поворота барабана мельницы периодически меняется уровень загрузки в первой камере, а в зоне активного влияния ЛЭУ – происходит "зачерпывание" части мелющих тел вместе с измельчаемым материалом, подъем их на высоту и придание им продольно-поперечного движения, отличающегося от, создаваемого в мельницах без ЛЭУ. При этом совершается дополнительная работа, на которую дополнительно расходуется мощность двигателя. Однако отсутствие научно-обоснованной методики расчета мощности дви-

гателя мельниц оснащенных ЛЭУ тормозит их внедрение в промышленность.

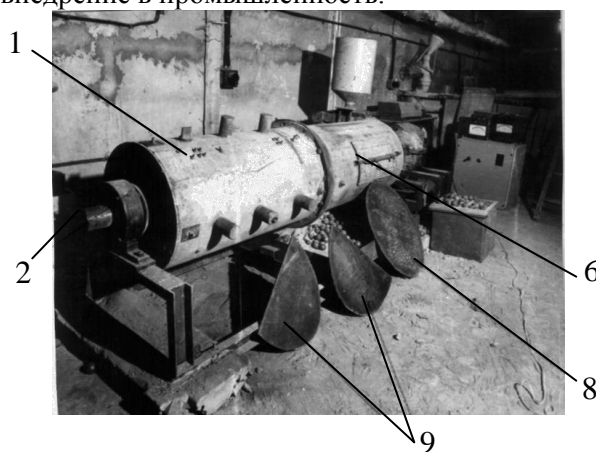


Рис. 1. Экспериментальная установка шаровой мельницы Привод шаровой мельницы 0,5x1,95м  
1 - разгрузочная часть барабана, 2- цапфа,  
3- приемное устройство загрузочной цапфы,  
4- электродвигатель постоянного тока, 5- редуктор,  
6- загрузочная часть барабана, 7- питающее устройство, 8 – лопасть двойного действия,  
9- лопастной эллипсный сегмент

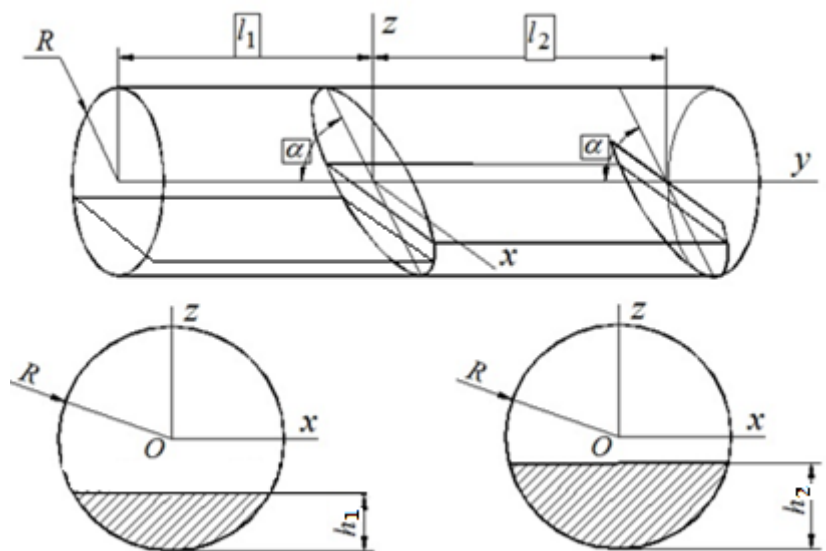


Рис. 2. Схема установки ЛЭУ в барабане шаровой мельницы

Дополнительно потребляемая мельницей мощность связана с дополнительным (по сравнению с мельницами с вертикальными перегородками) перемещением центра масс мелющей загрузки вдоль оси барабана мельницы за счет влияния на мелющую загрузку в продольном направлении ЛДД и ЛЭС.

Мощность  $N$  за некоторый промежуток времени  $T$  вычисляется по формуле

$$N = \frac{A}{T}, \tag{1}$$

где  $A$  – работа, выполненная за тот же промежуток времени  $T$ .

За промежуток времени  $T$ , возьмем время одного оборота барабана мельницы, если мельница совершает  $n$  оборотов в минуту, то один оборот происходит за время

$$T = \frac{1}{n} \text{ мин} \tag{2}$$

или

$$T = \frac{60}{n} \text{ сек.} \tag{3}$$

Поскольку

$$\begin{aligned} \tilde{y}_c \tilde{V}_1 &= -\frac{\lambda_1^2}{2} \left( \chi_1 \sqrt{1 - \chi_1^2} + \arcsin \chi_1 - \frac{\pi}{2} \right) - \frac{2\lambda_1 \text{ctg} \alpha}{3} (1 - \chi_1^2)^{\frac{3}{2}} + \\ &+ \frac{\text{ctg}^2 \alpha}{8} \left( \chi_1 (1 - 2\chi_1^2) \sqrt{1 - \chi_1^2} - \arcsin \chi_1 + \frac{\pi}{2} \right). \\ \tilde{y}'_c \tilde{V}_1'' &= -\frac{\lambda_1^2}{2} \left( \chi'_1 \sqrt{1 - \chi_1'^2} + \arcsin \chi'_1 - \frac{\pi}{2} \right) + \frac{2\lambda_1 \text{ctg} \alpha}{3} (1 - \chi_1'^2)^{\frac{3}{2}} + \\ &+ \frac{\text{ctg}^2 \alpha}{8} \left( \chi'_1 (1 - 2\chi_1'^2) \sqrt{1 - \chi_1'^2} - \arcsin \chi'_1 + \frac{\pi}{2} \right). \end{aligned}$$

$$n = \psi n_{\text{кр}}, \tag{4}$$

где  $\psi$  – относительная частота вращения,  $n_{\text{кр}}$  – критическая частота вращения.

Так как

$$n_{\text{кр}} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{R}}, \tag{5}$$

где  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения,  $R$  – радиус барабана мельницы, то формулу (3) можно записать в следующем виде

$$T = \frac{2\pi\sqrt{R}}{\psi\sqrt{g}} \text{ сек.} \tag{6}$$

За один оборот барабана мельницы центр масс мелющей загрузки в каждой камере переместится из одного крайнего положения в другое и обратно. Для первой камеры перемещение центра масс загрузки за один оборот барабана мельницы определяется по формуле:

$$S_1 = 2|y_c - y'_c|, \tag{7}$$

Согласно [4]  $y_c$  и  $y'_c$  вычисляются, соответственно, по формулам:

Перемещение центра масс загрузки за один оборот барабана мельницы во второй камере определяется по формуле:

$$S_2 = 2|y_{c2} - y'_{c2}|, \quad (8)$$

$$\tilde{y}_{c2} \tilde{V}'_2 = \frac{\text{ctg}^2 \alpha}{8} \left( \chi_2 (2\chi_2^2 - 1) \sqrt{1 - \chi_2^2} + \arcsin \chi_2 - \frac{\pi}{2} \right) - \frac{\lambda_2^2}{2} \left( \chi_2 \sqrt{1 - \chi_2^2} + \arcsin \chi_2 - \frac{\pi}{2} \right).$$

$$\tilde{y}'_{c2} \tilde{V}''_2 = \frac{\lambda_2^2}{2} \left( \frac{\pi}{2} - \arcsin \chi'_2 - \chi'_2 \sqrt{1 - \chi'^2_2} \right) + \frac{2l_2 \text{ctg} \alpha}{3} \sqrt{(1 - \chi'^2_2)^3}.$$

Поскольку работу совершает сила трения, то:

где  $f$  – коэффициент трения скольжения мелющей загрузки по корпусу барабана мельницы;  $G_1$  – вес мелющей загрузки в первой камере;  $M_1$  – масса мелющей загрузки в первой камере;  $\gamma$  – объемная масса мелющей загрузки;  $V_{\text{загр}}$  –

$$F_{\text{тр}2} = f G_2 = f M_2 g = f g \gamma V_{\text{загр}} = f g \gamma \phi_2 V_2. \quad (11)$$

Проведя сравнительные результаты, полученные экспериментальным путем и вычислениями для следующих значений входных параметров: радиус барабана мельницы  $R = 0,5$  м; длина первой камеры  $l_1 = 0,65$  м; коэффициент загрузки первой камеры  $\phi_1 = 0,18$ ; длина второй камеры  $l_2 = 1,3$  м; коэффициент загрузки второй камеры  $\phi_2 = 0,3$ ; коэффициент трения скольжения  $f = 0,4$ ; объемная масса мелющей загрузки  $\gamma = 4\,550$  кг/м<sup>3</sup>; угол наклона ЛДД и ЛЭС к оси барабана мельницы  $\alpha = 60^\circ$ ; относительная частота вращения барабана мельницы  $\psi = 0,76$  (соответствует 45,5 мин<sup>-1</sup>). Показали, что разница между экспериментально получен-

Вычисление  $y_{c2}$  и  $y'_{c2}$  согласно (4) производим по формулам:

$$A = |F_{\text{тр}} S| = F_{\text{тр}1} S_1 + F_{\text{тр}2} S_2. \quad (9)$$

В свою очередь,

$$F_{\text{тр}1} = f G_1 = f M_1 g = f g \gamma V_{\text{загр}} = f g \gamma \phi_1 V_1, \quad (10)$$

объем мелющей загрузки в первой камере;  $\phi_1$  – коэффициент загрузки мелющими телами первой камеры;  $V_1$  – объем первой камеры.

Аналогичная формула имеет место и для второй камеры:

ными и расчетными данными как видно из графических зависимостей (рис.4-6) не превышает 10%. При указанных значения входных параметров дополнительно потребляемая мощность расчетная составила: для первой камеры – 62,2 Вт; для второй камеры – 441,0 Вт; в целом для мельницы – 503,2 Вт, экспериментально полученная – 545 Вт.

Анализ полученных графических зависимостей (рис. 3-6), позволил изучить влияние на дополнительно потребляемую мощность длины первой камеры (длина второй камеры при этом была такой, чтобы сумма длин камер равнялась длине мельницы – 1,95 м), угла наклона ЛЭУ и коэффициентов загрузки камер мелющими телами.

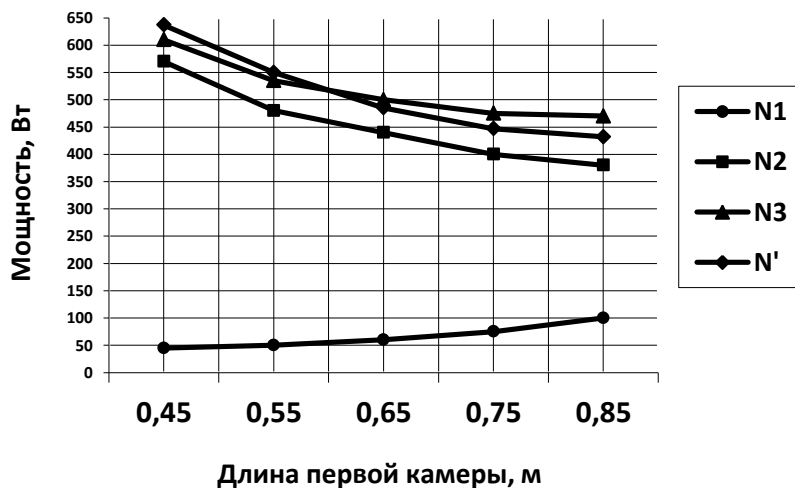


Рис. 3. Зависимость дополнительно потребляемой мощности от длины первой камеры

На графиках приняты следующие обозначения:  $N1$  и  $N2$  – дополнительно потребляемая мощность за счет перемещения мелушей загрузки в первой и второй камерах, соответственно,  $N$  – суммарная дополнительно по-

требляемая мощность расчетная и  $N_{экс}$  – суммарная мощность, измеренная экспериментальным путем.

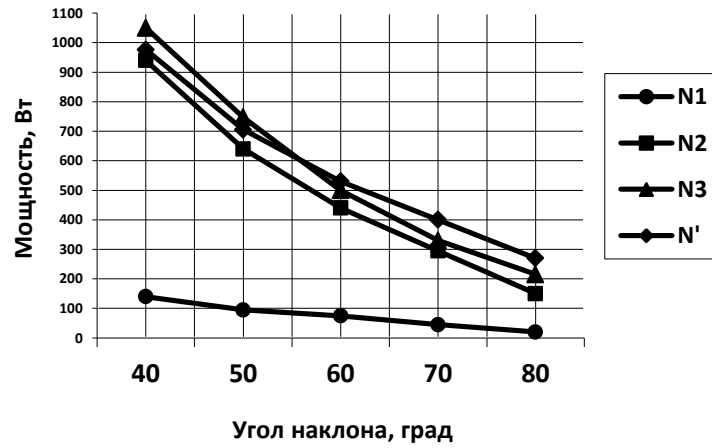


Рис. 4. Зависимость дополнительно потребляемой мощности от угла наклона ЛДД и ЛЭС к оси барабана мельницы

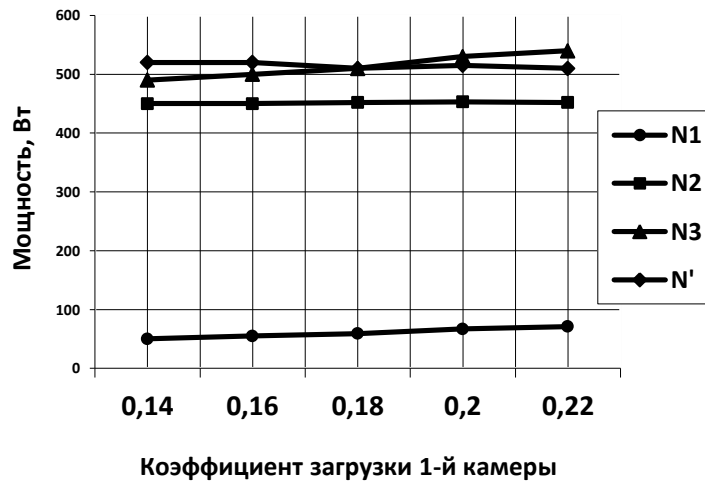


Рис. 5. Зависимость дополнительно потребляемой мощности от коэффициента загрузки первой камеры

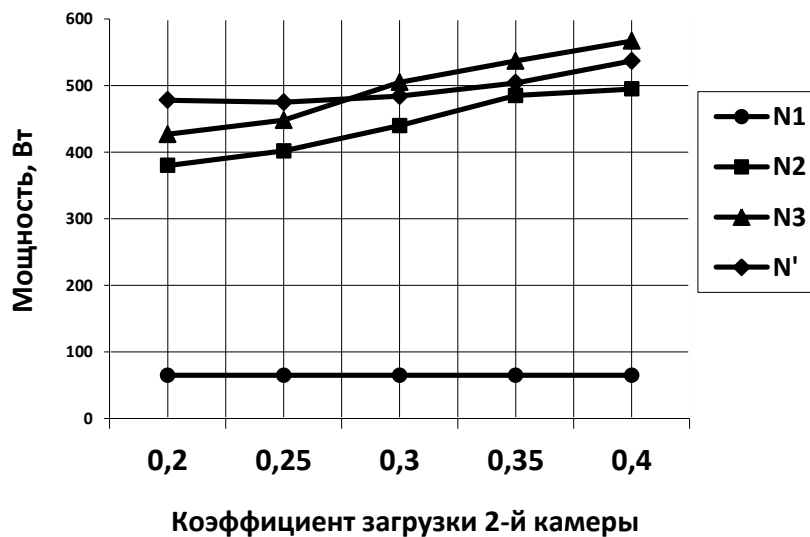


Рис. 6. Зависимость дополнительно потребляемой мощности от коэффициента загрузки второй камеры

Как видно из графических зависимостей (рис. 3-б) установка в барабане мельницы энергообменных устройств позволяет интенсифицировать работу мелющей загрузки, на что указывает величина дополнительно потребляемой мощности приводом. Изменение угла наклона лопастных энергообменных устройств к оси барабана мельницы от 40 до 80° приводит к уменьшению зоны действия устройства на мелющую загрузку, что приводит к уменьшению дополнительно потребляемой мощности. Полученные аналитическим путем уравнения с достаточной точностью отражают реальный процесс.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Романович А.А. Энергосбережение при производстве строительных изделий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №3. С. 69-7.
2. Богданов В.С., Воронов В.П., Потапов Ф.П. Расчет величины работы затрачиваемой на разрушение материала при каскадном режиме работы шаровой мельницы // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №1. С. 61-64.
3. Богданов В.С. Шаровые барабанные мельницы: учеб. пособие/ В.С. Богданов. – Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2002. 258 с.
4. Гридчин А. М. Повышение эффективности дорожного строительства путем использования анизотропного сырья / Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. 486 с.
5. Романович А.А. Энергосберегающий помольный комплекс для переработки природных и техногенных материалов: монография-Белгород: Изд-во БГТУ, 2006. 187 с.