$$A_d = 2A - \Delta A \ ,$$

где A_d - перемещение рабочего органа, расходуемое на сжатие частицы.

Но эта разность содержится в (31):

$$2A - \Delta A = \frac{l_i}{\cos\beta}\left[tg\left(2\alpha\right) - \frac{\varepsilon_R \cdot d_1}{l_i} \right]$$

Таким образом, вибрационное перемещение, расходуемое на сжатие частицы, зависит от конструктивных параметров рабочего канала дробилки и от параметров вибрации ее рабочего органа:

$$A_d = \frac{l_i}{\cos\beta}\left[tg\left(2\alpha\right) - \frac{\varepsilon_R \cdot d_1}{l_i} \right] \tag{33}$$

Разрушение произойдет, если вибрационное перемещение, расходуемое на сжатие частицы, будет совпадать, или несколько больше, чем требуемая для ее разрушения деформация. Это условие имеет вид $A_d \geq \Delta d$. Или иначе:

$$\frac{l_i}{\cos\beta}\left[tg\left(2\alpha\right) - \frac{\varepsilon_R \cdot d_1}{l_i} \right] \geq \varepsilon_R \cdot d_1 \tag{34}$$

Это условие позволяет сформулировать требование к цикловому перемещению частицы, а значит, к конструктивным особенностям рабочего канала дробилки и характеру вибрационного движения ее рабочего органа, для осуществления процесса дробления за каждый период его колебаний:

$$l_i \geq \frac{\left(\cos\beta + 1\right)}{tg\left(2\alpha\right)} d_1 \varepsilon_R \tag{35}$$

При выполнении условия (35) процесс прямого разрушения частиц их сдавливанием между стенками рабочего канала будет осуществляться наиболее интенсивно.

Этап сжатия частиц в рабочем канале завершается переходом в новый цикл движений: расширение канала, сопровождающееся транспортированием материала, затем его сужение до заклинивания частиц между стенками канала и, наконец, этап сжатия частиц, с доведением их до разрушения. Последовательность этапов повторяется на каждом последующем цикле, вплоть до выхода частиц из калибровочного зазора дробилки.

Выводы: рассмотрена кинематика рабочего органа вибрационной конусной дробилки с учетом его взаимодействия с дробимым материалом.

УДК 621.926.3(2)

Н.А.ДАЦ, аспирант, С.В.ШВЕД, канд. техн. наук, доцент, Д.В.ПОПОЛОВ, канд. техн. наук, доцент
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ЭНЕРГОПОКАЗАТЕЛЕЙ ВИБРАЦИОННЫХ КОНУСНЫХ ДРОБИЛОК

Проведено концептуальний аналіз роботи вібраційної дробарки. Отримана фізико-механічна модель дозволяє провести розрахунок такого обладнання при його проектуванні для заданих умов, з метою зменшення енерговитрат при забезпеченні високої якості кінцевого продукту.

Произведен концептуальный анализ работы вибрационной дробилки. Полученная физико-механическая модель позволяет произвести расчет такого оборудования при его проектировании для заданных условий, с целью уменьшения энергозатрат при обеспечении высокого качества конечного продукта.

Produced conceptual analysis of the vibration of the crusher. Received physico-mechanical model allows the calculation of such equipment during its design for the given conditions, with the aim of reducing energy consumption while maintaining high quality of the final product.

Исследование кинематики рабочего органа вибрационной конусной дробилки, позволяет определить основной её технологический показатель – производительность и энергопотребление.

В процессе расчета используя полученные ранее выражения для периода колебаний Т и циклового перемещения l_i , l_0 определяется средняя скорость стесненного движения и движения свободной частицы в рабочем канале.

$$v_{\text{ср}} = \frac{l_i}{T} \tag{1}$$

$$v_{\text{ср}0} = \frac{l_0}{T} \tag{2}$$

Часовую предельную объемную производительность дробилки (м^3/ч) можно определить, зная площадь кольцевой щели S_0 (м^2):

$$Q_{V0} = 3600 \cdot v_{\text{ср}0} S_0 \tag{3}$$

Практическую объемную производительность можно определить, зная среднюю крупность частиц материала на выходе из кольцевой щели (рис. 1). Общее количество частиц можно считать по длине окружности со средним диаметром щели:

$$S = 0.25\pi \cdot \left(d_{k\max}\right)^2 \cdot \left(\pi \frac{d_m}{d_{k\max}} - 1\right)$$

После приведения подобных, получим

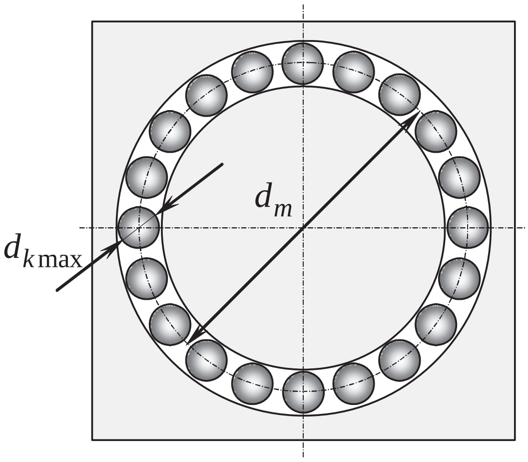

Рис. 1. К определению максимально количества проходных частиц

$$S = 0.25\pi d_{k\max} \cdot \left(\pi d_m - d_{k\max}\right) \tag{4}$$

Таким образом, если перемещение дробимого материала на этапе расширения рабочего канала будет определять собой все движение за рабочий цикл, то практическую максимальную объемную производительность дробилки можно рассчитать по соотношению:

$$Q_V\,(\mathrm{d}_m, \mathrm{d}_{k\max}, \mathrm{A}, \omega) = 3600 \cdot v_{\text{ср}} \cdot S \tag{5}$$

При этом появляется возможность представить (5), как функцию конструктивных параметров конкретной вибрационной дробилки, таких как частота и амплитуда вибрации рабочего органа, средний диаметр разгрузочной кольцевой щели и ее калибр в просвете.

Формула (5) позволяет вычислить часовую объемную производительность дробилки с верхним расположением вибрирующей рабочей поверхности.

Рассмотрим энергетические показатели дробилки. На разрушение каждой частицы подводится работа, затрачиваемая на единицу площади поверхности ее разлома:

$$w = \frac{W_i}{S_i}, \tag{6}$$

где w - удельная работа разрушения материала, Дж/м^2 (это справочная величина для минеральных материалов);

W_i - работа разрушения, затрачиваемая на разрушение *i*-той частицы материала, Дж;

S_i - площадь поверхности разлома для *i*-той частицы материала, м^2.

Если заданы две частицы с разными характерными размерами, то площади их разломов относятся как квадраты соответствующих характерных размеров:

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{d_1^{\,2}}{d_2^{\,2}},$$

Подставляя в полученную пропорцию отношение соответствующих площадей, выраженных посредством (6), и сокращая одну и ту же удельную работу разрушения, получим:

$$\frac{W_1}{W_2} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2, \tag{7}$$

Таким образом, работа, затрачиваемая на разрушение частиц материала в рабочем канале, пропорциональна квадрату отношения размеров частиц.

Определим предельное количество частиц характерных размеров, подвергаемых процессу разрушения за одно сжатие между стенками (рис. 10).

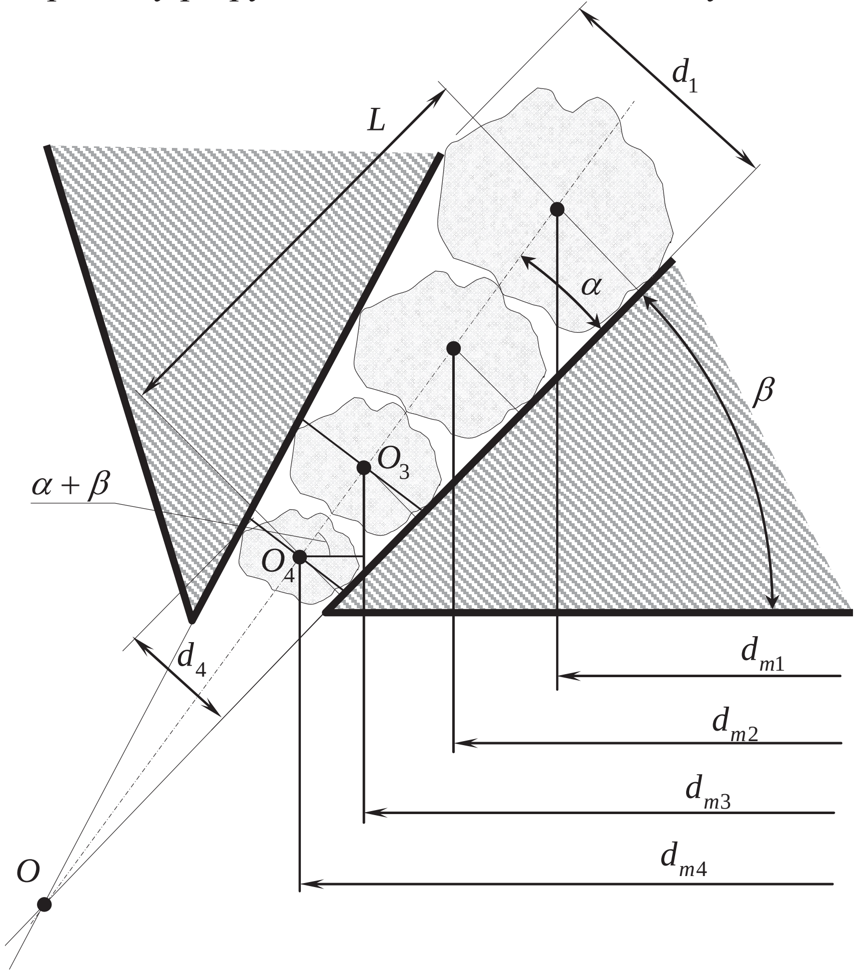

Рис. 2. К расчету максимального количества частиц, разрушаемых за цикл дробления

Принимаем, что частицы укладываются в рабочий канал так, что образуется несколько их кольцевых рядов, в котором частицы расположены в порядке возрастания размеров. Для того чтобы определить количество таких рядов, составим пропорцию для двух смежных меньших рядов (рис. 2):

$$\frac{d_3}{d_4} = \frac{OO_3}{OO_4}$$

Используя свойства пропорции, вычитаем из числителя знаменатель пропорции

$$\frac{d_3 - d_4}{d_4} = \frac{O_3O_4}{OO_4}$$

Учитывая, что $OO_4 = \frac{d_4}{2tg\alpha}$ и $O_3O_4 = \frac{d_4 + d_3}{2}$, имеем:

$$d_3 = d_4 \frac{1 + tg\alpha}{1 - tg\alpha} \tag{8}$$

Применяя (8), можно вычислить крупность частиц любого уровня:

$$d_2 = d_3 \frac{1 + tg\alpha}{1 - tg\alpha} = d_4 \left(\frac{1 + tg\alpha}{1 - tg\alpha} \right)^2 \tag{9}$$

Рабочая длина нижней поверхности рабочего органа может быть вычислена через размеры частиц всех уровней:

$$L = \cos\alpha \left(\frac{d_4}{2} + d_3 + d_2 + \frac{d_1}{2} \right)$$

Или после преобразований и подстановки (43) и (44), имеем:

$$\left(\frac{1 + tg\alpha}{1 - tg\alpha} \right) + \left(\frac{1 + tg\alpha}{1 - tg\alpha} \right)^2 = \frac{L}{d_4 \cos\alpha} - \frac{d_{\text{ср}}}{d_4}, \tag{10}$$

где $d_{\text{ср}} = \frac{d_1 + d_4}{2}$ - средний размер частицы в рабочем канале.

Если количество рядов частиц больше, чем показано на рисунке, то в левой части равенства (10) образуется сумма членов геометрической прогрессии со знаменателем $\left(\frac{1 + tg\alpha}{1 - tg\alpha} \right)$ и первым членом $\left(\frac{1 + tg\alpha}{1 - tg\alpha} \right)$. Количество членов прогрессии равно количеству уровней без двух крайних. Таким образом, при $(n_x + 2)$ рядах частиц, сумма членов прогрессии примет вид:

$$\frac{1 + tg\alpha}{2tg\alpha} \left[\left(\frac{1 + tg\alpha}{1 - tg\alpha} \right)^{n_x} - 1 \right] \tag{11}$$

Подставляя (11) в (10), получаем уравнение относительно количества рядов (без двух крайних):

$$n_x = \log_{\left(\frac{1+tg\alpha}{1-tg\alpha}\right)} \left\{ \frac{1+tg\alpha\left[2\left(\frac{L}{d_4\cos\alpha}-\frac{d_{\text{ср}}}{d_4}\right)+1\right]}{1+tg\alpha} \right\} \qquad (12)$$

Средний диаметр ряда частиц вычисляется последовательно от нижнего ряда к смежному верхнему ряду:

$$d_{m3} = d_{m4} - 2\frac{(d_3+d_4)}{2}\cos(\alpha+\beta) \qquad (13)$$

В общем виде при i-том и (i+1)-том номерах рядов, получаем соотношение:

$$d_{mi} = d_{m(i+1)} - \left(d_{mi} + d_{m(i+1)}\right)\cos(\alpha+\beta) \qquad (14)$$

Количество частиц в ряду n_r определяется по среднему радиусу ряда и размерам частиц в ряду:

$$n_{ri} = \pi\frac{d_{mi}}{d_i} - 1 \qquad (15)$$

Таким образом, на основании (12) и (15) и с учетом (7) можно рассчитать величину работы, затрачиваемой на разрушение материала в рабочем канале за один цикл.

Работа разрушения одной частицы соответствующего ряда при известной работе для самой крупной частицы первого ряда (на загрузке):

$$W_2' = W_1'\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$$

$$W_3' = W_2'\left(\frac{d_3}{d_2}\right)^2$$

$$W_{i+1}' = W_i'\left(\frac{d_{i+1}}{d_i}\right)^2 \qquad (16)$$

Тогда работа разрушения частиц всего соответствующего ряда составит:

$$W_i = n_{ri}W_i' \qquad (17)$$

Работа разрушения всех частиц рабочего канала в цикле достигнет величины

$$W = \sum_{i=1}^{n_x+2} W_i \qquad (18)$$

Холостой ход рабочего органа дробилки в вертикальном направлении происходит по закону $x = A\sin(\omega t)$. Тогда энергия колебательного процесса, без учета потерь в приводе, может быть определена по величине максимальной кинетической энергии:

$$K_0 = 0.5M \cdot A_0{}^2 \omega_0{}^2, \qquad (19)$$

где M – масса рабочего органа;

A_0 – амплитуда колебаний холостого хода;

ω_0 - круговая частота колебаний холостого хода.

На рабочем ходу энергия колебательного процесса в цикле уменьшится на величину работы разрушения всего материала в рабочем канале:

$$K = K_0 - W, \qquad (20)$$

На основании (20) определяется амплитуда колебаний рабочего органа под нагрузкой:

$$A_w = \sqrt{A_0{}^2 - \frac{2W}{M\omega_0{}^2}}, \qquad (21)$$

Используя выражение (21) можно выбрать массу рабочего органа для того, чтобы амплитуда колебаний под нагрузкой не уменьшилась меньше допустимой величины.

Потребляемая мощность N для рассматриваемой конструкции дробилки, определится по соотношению:

$$N = \frac{2\pi}{\omega_0} W \qquad (22)$$

В соответствии с представленными в настоящей работе теоретическими исследованиями расчет вибрационной дробилки указанной конструкции должен производиться по алгоритму, представленному на рис. 3.

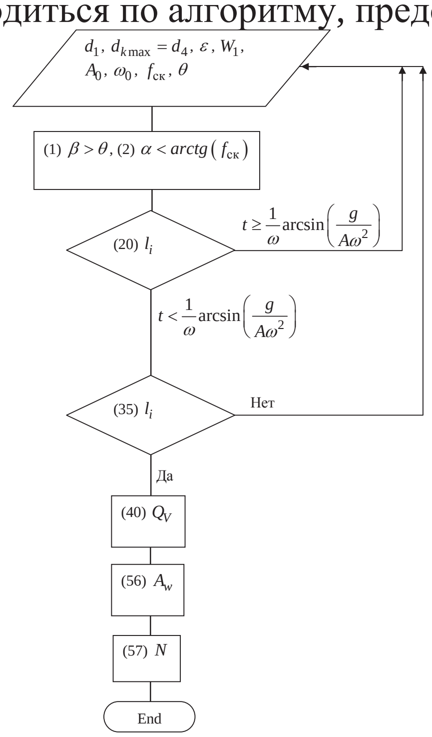

Рис. 3. Алгоритм расчета вибрационной дробилки

В процессе расчета рабочего органа по представленному алгоритму производится оптимизация конструктивных параметров устройства по показателям его энергетической эффективности и качества дробленного продукта.

Выводы: разработана методика расчета производительности и потребляемой мощности вибрационных конусных дробилок для подготовки шихтовых материалов к плавке.

УДК 622.73
ГОРОБЕЦ Л.Ж.**,** д.т.н., профессор
ГВУЗ «Национальный горный университет»

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПО РАЗМЕРАМ ЧАСТИЦ НАГРУЖАЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

Приведены результаты экспериментально-теоретических исследований роли дискретно-волнового критерия микроразрушения в процессе формирования распределений по размерам разрушенных частиц.

Наведено результати експериментально-теоретичних досліджень ролі дискретно-хвильового критерію мікроруйнування в процесі формування розподілів за розмірами зруйнованих частинок.

The results of experimental and theoretical investigation upon role microdestruction discrete-wave criterion in process of formation destroyed particles distributions accoding to sizes are given.

Проблема и ее связь с основными научными и практическими заданиями. Цена реализуемых тонкодисперсных минеральных порошков задается содержанием полезного компонента, показателями их гранулометрии и дисперсности, например, величиной удельной поверхности и распределением частиц по размерам. Существуют некоторые, пока нерешенные проблемы обработки полезных ископаемых, связанные с большими потерями энергии при измельчении. Неизученность природы формирования гранулометрии измельченных частиц в процессе разрушения нагружаемой геологической среды затрудняет решение задачи получения порошков требуемого гранулометрического состава.

Проблема обоснованного выбора параметров нагружения материалов в процессе их измельчения является актуальной, поскольку режим нагружения (скорость динамической деформации, температура среды, плотность энергии при разрушении, длительность нагружения) должен изменяться в зависимости от задаваемых распределений по размерам измельченных частиц. Варьируя режим нагружения, можно изменить поверхностную энергию, технологические свойства измельченного материала и