

(агломерата) на 1% влечет повышение цены данного продукта на 0,025%, при производительности шахты 2000 тыс. тонн в год в условиях нынешних товарно-рыночных отношений, внедрение рассмотренной проектной технологической схемы имеет экономическую целесообразность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хильченко Н.В., Новиков Е.А. Анализ состояния и резервы повышения качества железорудной продукции на ГОКах // , Кривой Рог: КТУ, 200 .- С. 48-51.
2. Караманиц Ф.И., Ричко В.С., Плужник Ю.А., Григорьев А.П., Цариковский В.В., Яценко Е.И. Перспектива и технология обработки магнетитовых кварцитов в Кривбассе // Разработка рудных месторождений - Кривой Рог: КТУ, 2008.- Вып. 92. - С. 46-48.
3. Сухое магнитное обогащение гематит-мартитовых руд Криворожского бассейна. А.А. Ширяев, Э.В. Самоткал, С.А. Заболотный, Ю.В. Величко, В.В. Ботвинников, Ю.Л. Грицай, С.В. Василенко – Кривой Рог: «Видавничий дім». – 2009. – 248с.
4. Ленушкин И. И., Бочков П.П., Хамюк А.Л. Магнитная сепарация бедных кусковых руд Кривбасса // Обогащение полезных ископаемых, 1993.- № 26.

УДК 622.734:621.926.3-9

В.В. Сухарев, асп.
(ИГТМ)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВНУТРИВАЛКОВОЙ КОНУСНОЙ МЕЛЬНИЦЫ

У статті представлено методику розрахунку продуктивності млина в залежності від міцності гірської породи, обертів, зазору розвантажувальної щілини і крупності вихідного продукту від кожного фактору окремо або суми усіх факторів. Визначено зусилля, необхідне для руйнування частинки, і мінімальна відстань між точками защемлення частинки.

DEVELOPMENT OF THE METHODS OF THE DETERMINATION PARAMETER CONICAL GRINDING MILL

Methods of the mill capacity calculation is presented in article depending on toughness of the mountain rocks, turn, clearance to discharge slot and size source product from each factor separately or amounts all factor. The certain effort necessities for destruction of the particle and minimum distance between point of fastened particle.

В процессе обогащения руда черных и цветных металлов подвергается измельчению, которое осуществляется преимущественно в барабанных шаровых мельницах различной конструкции, имеющих низкую удельную производительность, большую энергоемкость, недостаточно полно раскрывающих рудные материалы, не позволяя оперативно регулировать грансостав получаемого продукта. Поэтому возникла необходимость повышения эффективности процессов измельчения, использование новых процессов разрушения, получение продуктов с узкой гранулометрической характеристикой и постоянным размером средних кусков. Среди таких тенденций можно отметить новые методы и технологии, заключающиеся в рациональном использовании сдвиговых, растягивающих и других усилий, создании энергонапряженных измельчительных аппаратов, позволяющих существенно увеличивать удель-

ные показатели по сравнению с традиционными мельницами.

В частности, при разработке технологии извлечения самородной меди из базальтового сырья в процессе рудоподготовки используются операции дробления, измельчения, классификации и сепарации на магнитных сепараторах магнитовосприимчивой части базальтового сырья, а на электрических сепараторах – включений самородной меди. При измельчении горной массы не допускается переизмельчение медных самородков, поскольку электрические сепараторы работают с мелковкрапленными частицами до 1 мм (но не менее 50-100 мкм). Однако применяемые шаровые, центробежные, вибрационные, струйные мельницы не могут в полной мере выполнить эти условия, и, как правило, измельченный материал имеет переизмельченные частицы меди. Вследствие этого возникла необходимость создания такой конструкции мельницы, которая не допускает пререизмельчения самородной меди и в то же время имеет четко регулируемую границу верхнего класса крупности готового продукта.

Разработанная в ИГТМ НАН Украины внутривалковая конусная мельница вибрационного типа [1], представленная на рис. 1, позволяет в значительной степени решить многие технические проблемы измельчения материалов, заменяя энергоемкий процесс измельчения с помощью раздавливания на разрушение горной массы с участием сдвиговых усилий, используя многократное силовое воздействие на измельчаемый материал и положительные стороны вибрационного воздействия. При этом становится возможным отделять вмещающую самородную породу за счет многократной деформации сдвига со сжатием, а самородок превращать в окатыши цилиндрической формы без дальнейшего их измельчения. Такая технология рудоподготовки обеспечивает отделение самородной меди на грохотах тонкой классификации и на электрических сепараторах.

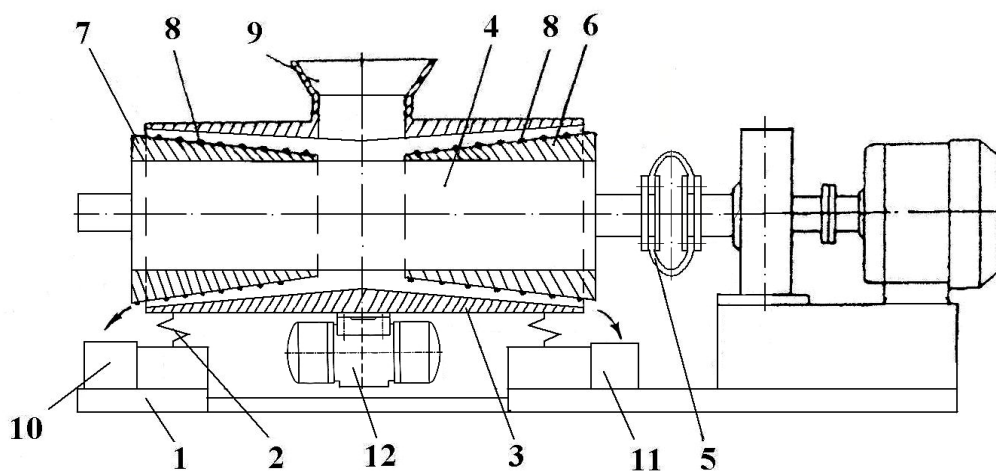
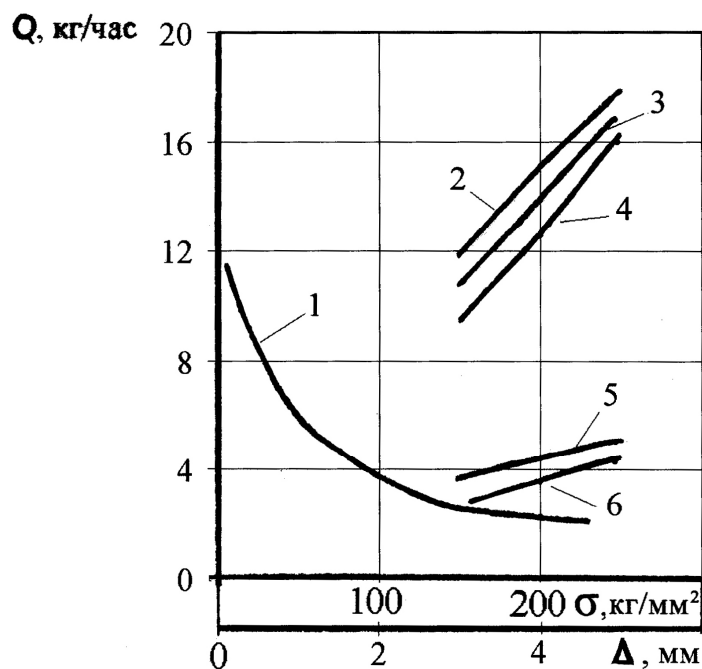


Рис. 1 – Конструктивная схема внутривалковой конусной мельницы

Внутривалковая конусная мельница состоит из рамы 1, на которой с помощью амортизаторов 2 установлена цилиндрическая оболочка 3 с внутрен-

ней конической поверхностью и расположенным в ней, соосно продольной оси, валом 4, связанным через лепестковую муфту с приводным валом 5 двигателя. На валу 4 установлены конические втулки 6 и 7, ориентированные меньшими основаниями друг к другу. Внешние конические поверхности втулок имеют многозаходную винтовую навивку 8. Втулки с навивкой образуют зазор с оболочкой и имеют уклон в сторону разгрузки измельченного материала. Между меньшими основаниями втулок 6 и 7 вдоль поперечной оси вала 4 в верхней части цилиндра расположена загрузочная камера 9. Разгрузочные щели расположены по торцам оболочки. Размер щели регулируется продольным перемещением конических втулок 6 и 7 относительно вала 4. Мельница имеет вибровозбудитель 12, который способствует сегрегации измельчаемого материала в камере 9, поворотные колебания корпуса увеличивают скорость движения материала, а возмущающая сила вносит динамическую составляющую при воздействии на измельчаемую горную массу.

В результате экспериментальных исследований данной конструкции [2-5] были получены различные зависимости производительности мельницы от следующих параметров: прочности горной массы, оборотов вала мельницы и зазора. Графическое отображение зависимости производительности мельницы от прочности горной массы представлено на рис. 2 (поз. 1).



1 - $Q = f(\sigma)$, 2 - уголь, 3 - туф, 4 - песчаник, 5 - гранит, 6 - базальт

Рис. 2 – Зависимость производительности от прочности материала и ширины разгрузочной щели мельницы

Зависимость имеет нелинейный характер. Ее количественная оценка показывает, что прочность измельчаемых пород возросла от 3 кг/мм² до 230 кг/мм², т.е. практически в 70 раз, а производительность мельницы изменилась

всего в 4 раза.

При аппроксимации экспериментальные результаты с высоким уровнем достоверности идентифицируются параболической моделью:

$$Q = a + b_1\sigma + b_2\sigma^2$$

где Q – производительность мельницы, кг/ч; σ – прочность материала горной массы, кг/мм².

Графическое отображение зависимости производительности мельницы от зазора разгрузочной щели представлено на рис. 2 (позиции 2-6). Зависимость имеет линейный характер. На основании этих зависимостей получены формулы, представленные в табл. 1, позволяющие выполнить расчет производительности мельницы от зазора разгрузочной щели Δ в зависимости от вида материала при постоянных оборотах вала мельницы и крупности исходного материала.

Таблица 1 – Формулы расчета производительности мельницы в зависимости от зазора разгрузочной щели

| Вид породы | Производительности мельницы в зависимости от зазора разгрузочной щели | Коэффициент детерминации |
|------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Уголь | $Q = 3,066 + 2,978D$ | $R^2 = 0,997$ |
| Туф | $Q = 1,173 + 3,174D$ | $R^2 = 0,999$ |
| Песчаник | $Q = - 0,942 + 3,407D$ | $R^2 = 0,998$ |
| Гранит | $Q = 1,402 + 0,744D$ | $R^2 = 0,999$ |
| Базальт | $Q = 0,027 + 0,888D$ | $R^2 = 0,999$ |

В дальнейшем исследовалась зависимость производительности мельницы от оборотов вала привода. Характер зависимости слабонелинейный. На основании аппроксимации экспериментальных результатов получены формулы, представленные в табл. 2, позволяющие выполнить расчет производительности мельницы от оборотов привода в зависимости от вида материала при постоянном зазоре и крупности исходного материала.

Далее определялась производительность мельницы для каждого класса крупности исходного материала при вариации оборотов вала привода. Характер зависимости линейный. При аппроксимации экспериментальных результатов исследований получены зависимости производительности мельницы от оборотов привода при разной крупности исходного материала, представленные в табл. 3, при постоянном зазоре и виде измельчаемого материала (в дан-

ном случае – гранита).

Зависимости производительности мельницы от зазора разгрузки при разной крупности исходного материала также были линейными. При анализе этих зависимостей были получены формулы для расчета производительности мельницы в зависимости от зазора разгрузки при разной крупности исходного материала (табл. 4) и постоянных оборотах вала мельницы.

С целью общей оптимизации параметров работы мельницы необходимо использовать вариации различных факторов. Для этого была получена формула расчета производительности мельницы в зависимости от оборотов привода и прочности горной породы

$$Q = 6,04 - 0,105s + 0,0003s^2 + 0,088w, \quad R^2 = 0,978$$

Таблица 2 – Формулы расчета производительности мельницы в зависимости от оборотов привода

| Вид породы | Производительности мельницы в зависимости от оборотов привода | Коэффициент детерминации |
|------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Уголь | $Q = 5,14 + 0,107w$ | $R^2 = 0,987$ |
| Туф | $Q = 3,06 + 0,113w$ | $R^2 = 0,993$ |
| Песчаник | $Q = 2,2 + 0,144w$ | $R^2 = 0,989$ |
| Гранит | $Q = - 0,16 + 0,059w$ | $R^2 = 0,985$ |
| Базальт | $Q = - 0,362 + 0,048w$ | $R^2 = 0,992$ |

Таблица 3 – Формулы расчета производительности мельницы в зависимости от оборотов привода при разной крупности исходного материала

| Исходная крупность, мм | Производительности мельницы в зависимости от оборотов привода | Коэффициент детерминации |
|------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------|
| -13+10 | $Q = - 0,875 + 0,052w$ | $R^2 = 0,991$ |
| -10+7 | $Q = - 0,981 + 0,06w$ | $R^2 = 0,990$ |
| -7+5 | $Q = - 1,053 + 0,075w$ | $R^2 = 0,992$ |
| -5+2,5 | $Q = 0,341 + 0,089w$ | $R^2 = 0,998$ |

Таблица 4 – Формулы расчета производительности мельницы в зависимости от зазора разгрузки при разной крупности исходного материала

| Исходная крупность, мм | Производительности мельницы в зависимости от оборотов привода | Коэффициент детерминации |
|------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------|
| -13+10 | $Q = 0,319 + 0,606D$ | $R^2 = 0,984$ |
| -10+7 | $Q = 0,673 + 0,632D$ | $R^2 = 0,995$ |
| -7+5 | $Q = 1,044 + 0,826D$ | $R^2 = 0,991$ |
| -5+2,5 | $Q = 2,082 + 1,275D$ | $R^2 = 0,994$ |

В результате расчета остальных параметров методом наименьших квадратов с помощью MS Excel была получена обобщенная модель расчета производительности мельницы в зависимости от прочности горной породы, оборотов и зазора разгрузочной щели мельницы

$$Q = 0,363 - 0,138s + 0,0004s^2 + 0,111w + 1,885D, \quad R^2 = 0,943$$

Для определения конструктивных параметров мельницы была проведена оценка распределения сил при измельчении частицы горной массы в рабочей камере конусной валковой мельницы. Оценке подвергались частицы различной формы: прямоугольной, эллиптической и произвольной [6-8].

Величину действующего усилия P в случае, когда винтовая наплавка конуса толкает частицу, можно приближенно определить из формулы

$$P(t) = ES \frac{x(t)}{l \cos \alpha} = ES \frac{ns}{l \cos \alpha} (t - t_0)$$

где n – число оборотов конуса в единицу времени; s – шаг навивки; t_0 – момент начала защемления частицы; E – модуль Юнга материала частицы; S – площадь поперечного сечения частицы в плоскости, перпендикулярной направлению действия силы.

Также получено аналитическое выражение для определения минимального расстояния между точками защемления частицы в валках внутривалковой конусной мельницы. Минимальное расстояние между точками защемления частицы АВ определяет место приложения разрушающих усилий, размер зазора между конусом валка и корпусом мельницы и дает возможность рассчитать важный конструкционный параметр мельницы – угол конусности измельчаемой камеры. Для определения расстояния между точками защемления для частицы произвольной геометрической формы, находящейся в конусе камеры между наружной ее обоймой и вращающимся конусным валком мельницы, составлена схема, представленная на рис. 3.

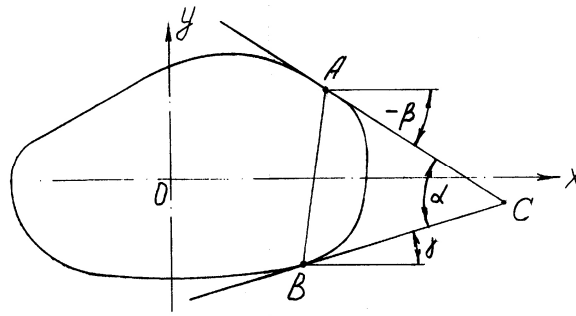


Рис. 3 – Расчетная схема определения параметров контакта частицы с корпусом камеры

Точки А и В – единственные точки касательных АС и ВС, соответственно, принадлежащие частице, поэтому для этих точек справедливы равенства

$$f(X_A, Y_A) = 0; \quad g(X_B, Y_B) = 0.$$

Из этой пары уравнений могут быть определены координаты X_A, Y_A, X_B и Y_B , а следовательно и расстояние АВ, путем подстановки их значений в выражение для квадрата расстояния между точками А и В.

$$r^2 = (X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2.$$

В качестве примера рассмотрим особенности использования изложенного метода для следующего случая. Пусть в окрестностях точек А и В (рис. 4) контуры частицы описываются квадратичной параболой и параболой четвертой степени

$$f(x, y) = y - b - c(x - a)^2 = 0,$$

$$g(x, y) = Y - B - C(X - A)^4 = 0$$

при $b > 0; B > 0; c < 0; C < 0; a > 0; A > 0$. Графики этих парабол представлены на рис. 4.

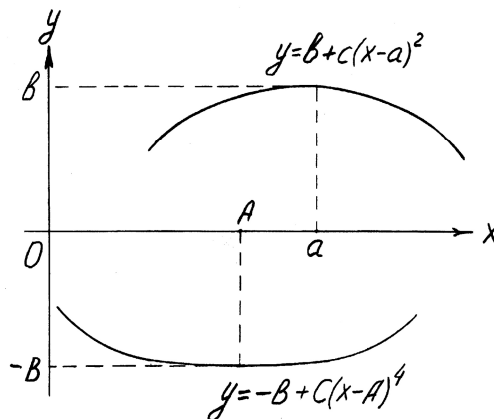


Рис. 4 – Расчетная схема для частицы произвольной формы

Исходя из этой схемы, квадрат расстояния между точками А и В равен

$$r^2 = (X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2 = \frac{a^2 \operatorname{tg} b}{2c} + a \sqrt[3]{\frac{B \operatorname{tg} g}{4C}} - A \frac{\ddot{\sigma}}{\dot{\sigma}} + \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\sigma}} \frac{a}{c} + \frac{\operatorname{tg} b \ddot{\sigma}}{2 \dot{\sigma}} + B - C \frac{a}{c} \frac{B \operatorname{tg} g \ddot{\sigma}^{4/3}}{4C \dot{\sigma}} \frac{\dot{\sigma}}{\dot{\sigma}}.$$

Таким образом, представленная методика позволяет определять производительность мельницы в зависимости от прочности горной породы, оборотов, зазора разгрузочной щели и крупности исходного продукта от каждого фактора в отдельности или суммы всех факторов. Также становится возможным определять усилие необходимое для разрушения частицы, минимальное расстояние между точками защемления частицы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. UA № 42114, МКИ⁷ В 02 С 2/00, В 02 С 15/00. Внутривалковый конусный млин / Надутый В.П., Сухарев В.В. – № 200900094; Заявл. 05.01.2009, Опубл. 25.06.2009. Бюл. № 12.
2. Надутый В.П., Сухарев В.В. Определение зависимости производительности внутривалковой мельницы тонкого помола от ее параметров и прочности горной массы / Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2008. – Вып. № 74. – С. 62-66.
3. Надутый В.П., Сухарев В.В. Влияние режимных, конструктивных параметров и прочности измельчаемой горной массы на технические показатели внутривалковой конусной мельницы // Науч.-техн. сб. НТУ “ХПИ”. – 2008. – Вып. № 38. – С.18-22.
4. Надутый В.П., Эрперт А.М., Сухарев В.В. Идентификация результатов экспериментальных исследований зависимости производительности внутривалковой конусной мельницы от прочности горной массы и оборотов привода // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ. – 2008. – № 10. – С. 61-63.
5. Надутый В.П., Эрперт А.М., Сухарев В.В. Определение зависимости производительности внутривалковой конусной мельницы от крупности исходной горной массы и размера разгрузочного отверстия // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ. – 2008. – № 11. – С. 61-63.
6. Надутый В.П., Остапенко В.А., Сухарев В.В. Определение влияния формы частицы на распределение сил при измельчении в конусной валковой мельнице / Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ. – 2009. – № 4. – С. 66–68.
7. Надутый В.П., Остапенко В.А., Сухарев В.В. Распределение сил при измельчении частицы горной массы в конусной валковой мельнице с учетом сил трения / Сб. Полтавского НТУ. – 2009. – Вып. № 39. – С. 44–53.
8. Надутый В.П., Остапенко В.А., Сухарев В.В. Расчет расстояния между точками защемления частицы произвольной формы в конусной внутривалковой мельнице / Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2010. – Вып. № 85. – С. 52-56.