

СЕЛЕКТИВНАЯ ФУНКЦИЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯХ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ МЕЛЮЩЕЙ СРЕДОЙ

ЖУКОВ В.П., д-р техн. наук, СМИРНОВ С.Ф., канд. техн. наук, КРАСИЛЬНИКОВ А.Г., асп.

Предложен подход к определению селективной функции измельчения для вибрационных и шаровых барабанных мельниц с распределенной мелющей средой.

Ключевые слова: барабанная мельница, функция измельчения, математическая модель.

DISCRIMINATING FINING FUNCTION IN MILLS WITH DISTRIBUTED MILLING MEDIUM

V.P.ZHUKOV, Ph.D., S.F.SMIRNOV, Ph.D., A.G.KRASILNIKOV, postgraduate

The work represents the approach to discriminating fining function determining for jar and ball tumbling mills with distributed milling medium.

Key words: tumbling mill, fining function, mathematical model.

Популяционно-балансовая модель [1] описывает эволюцию гранулометрического состава продуктов измельчения с помощью функций разрушения: селективной и распределительной. Определение селективной функции для шаровых барабанных мельниц выполнено нами ранее [2]. Ниже предлагается метод расчета селективной функции и его экспериментальная проверка для шаровых и вибрационных мельниц с полифракционной мелющей загрузкой.

Селективная функция измельчения $S(\delta)$, или скорость измельчения [1], показывает убыль доли фракции за единицу времени и представляется в виде произведения вероятности нагружения частицы $\psi_1(\delta)$ и вероятности разрушения нагруженной частицы $\psi_2(\delta)$:

$$\sigma = 0,25 \cdot V_0(\delta) \left(\sigma_{02}^2 (2E_{01})^{-1} - \sigma_{01}^2 (2E_{02})^{-1} \right), \quad (1)$$

где δ – размер частиц.

Считается, что энергообмен между мелющей загрузкой и измельчаемым материалом происходит через некоторую поверхность F ,

$$F = k_2 V_2 \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} \rho_2(d) \cdot S_2(d) \cdot dd, \quad (2)$$

где k_2 – доля поверхности мелющего тела, участвующая в измельчении; V_2 – объем мелющей среды; $\rho_2(d)$ – фракционный состав; $S_2(d)$ – удельная поверхность мелющих тел; d_{\min} и d_{\max} – минимальный и максимальный размеры мелющих тел, соответственно.

Площадь энергообмена, приходящаяся на фракцию, пропорциональна массовой доле этой фракции в загрузке. Число нагруженных частиц $dn_1(\delta)$ определяется согласно выражению

$$dn_1(\delta) = F \cdot \rho_1(\delta) \cdot d\delta / k_1(\delta) \cdot S_0(\delta), \quad (3)$$

где $S_0(\delta)$ – поверхность частицы измельчаемого материала; k_1 – доля поверхности измельчаемых частиц, участвующая в измельчении.

Число всех частиц фракции размером δ находится по формуле

$$dn(\delta) = V_1 \cdot \rho_1(\delta) \cdot S_1(\delta) \cdot d\delta / S_0(\delta), \quad (4)$$

где V_1 – объем; $\rho_1(d)$ – фракционный состав; $S_1(d)$ – удельная поверхность измельчаемого материала.

Вероятность нагружения частицы вычисляется через отношение числа нагруженных частиц к общему числу частиц данной фракции в загрузке:

$$\psi_1(\delta) = \frac{dn_1(\delta)}{dn(\delta)} = \frac{k_2 V_2 \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} \rho_2(d) S_2(d) dd}{k_1 V_1 S_1(\delta)}. \quad (5)$$

Полная энергия мелющей среды находится из выражения

$$E = V_2 \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} \frac{e_2(d) \cdot \rho_2(d) \cdot dd}{V_0(d)}, \quad (6)$$

где $e_2(d)$ – энергия мелющего тела размером d ; $V_0(d)$ – объем мелющего тела.

Энергия, подводимая к измельчаемой частице, определяется следующим образом:

$$e_1(\delta) = \frac{E}{F} \cdot \frac{dF}{dn_1} = \frac{E}{F} \cdot k_1 \cdot S_0(\delta), \quad (7)$$

Если измельчаемые частицы и мелющие тела имеют форму шара $\left(S_2(d) = \frac{6}{d}, \quad V_0 = \frac{\pi d^3}{6} \right)$, то

$$e_1(\delta) = \left(\frac{\delta^2}{k} \right) \cdot \frac{\int_{d_{\min}}^{d_{\max}} e_2(d) \cdot \rho_2(d) \cdot d^{-3} \cdot dd}{\int_{d_{\min}}^{d_{\max}} \rho_2(d) \cdot d^{-1} \cdot dd}, \quad (8)$$

где $k = k_2/k_1$.

Зависимость вероятности разрушения частицы от энергоподвода к этой частице подчиняется нормальному закону [2]

$$\Psi_2(\delta) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^U \exp(-t^2/2) dt + 0,5, \quad (9)$$

где $U = (e_1 - \langle e \rangle) / \sigma$, $\langle e \rangle$ – среднее значение энергии, необходимой для разрушения частиц размером δ ; σ – параметр, характеризующий разброс прочностных свойств материала, величина которого определяется соотношением

$$\sigma = 0,25 \cdot V_0(\delta) \left(\sigma_{02}^2 (2E_{01})^{-1} - \sigma_{01}^2 (2E_{02})^{-1} \right), \quad (10)$$

где σ_{01} , σ_{02} – наименьшее и наибольшее значения разрушающего напряжения вследствие разброса прочностных свойств материала; E_{01} , E_{02} – наименьшее и наибольшее значения модуля упругости материала.

Математическая модель селективной функции (1)–(10) позволяет в рамках популяционно-балансовой модели [1] описывать эволюцию гранулометрического состава продуктов разрушения материала шарами разного диаметра. Сравнение расчетных и экспериментальных данных было выполнено на примере измельчения антрацита (рис. 1, 2). Измельчению подвергалась фракция антрацита 4–5 мм шарами крупностью 10, 15, 20, 25, 30 мм. При этом масса шаровой и материальной загрузки мельницы оставалась постоянной и составляла 10 и 1 кг соответственно. Крупность материала оценивалась по остатку на сите 0,04 мм.

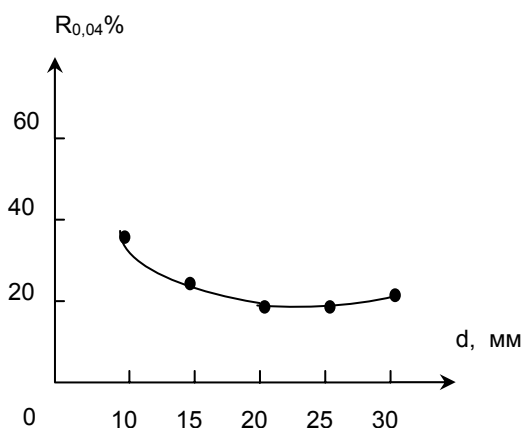


Рис. 1. Сопоставление расчетной (линия) и экспериментальной (точки) зависимостей крупности измельчаемого материала от размера мелющих тел

Жуков Владимир Павлович,

ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
доктор технических наук, профессор кафедры прикладной математики,
телефон (4932) 26-97-45,
e-mail: mizonov@home.ivanovo.ru

Смирнов Станислав Федорович,

Ивановский государственный архитектурно-строительный университет,
кандидат технических наук,
телефон 8-961-248-43-49.

Красильников Александр Геннадьевич,

ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
аспирант,
телефон (4932) 26-97-45,
e-mail: mizonov@home.ivanovo.ru

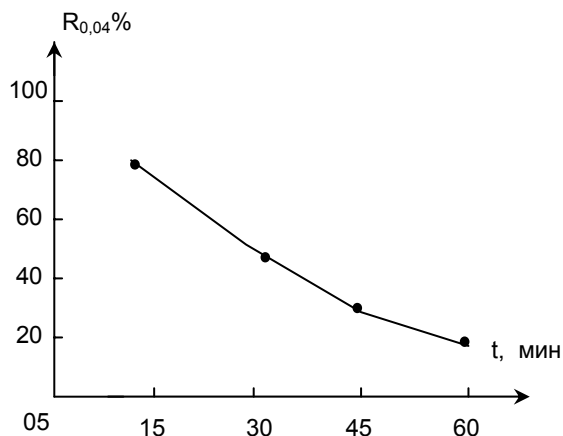


Рис. 2. Сопоставление расчетной (линия) и экспериментальной (точки) зависимостей крупности измельчаемого материала от времени измельчения

Полученные результаты (рис. 1) показывают, что скорость измельчения зависит от размера мелющих тел и достигает наибольшего значения при диаметре шара $d = 20$ мм.

Сопоставление расчетных и экспериментальных результатов показало удовлетворительное качество описания моделью реального процесса.

Список литературы

1. **Mizonov V., Zhukov V., Bernotat S.** Simulation of Grinding: new approaches. – Ivanovo, 1997.
2. **Жуков В.П.** – Измельчение – классификация как процесс с распределенными параметрами: моделирование, расчет и оптимизация: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.17.08 – Иваново, 1993.