УДК 622.733

А.О.РОМАШЕВ, *студент, ассистент профессора, art3m@mail.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

A.O.ROMASHEV, *student, professor's assistant, art3m@mail.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

ПРОГНОЗНЫЕ РАСЧЕТЫ СХЕМ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

В теории и практике процессов измельчения чрезвычайно важны оптимизирующие и прогнозирующие компьютерные пакеты, позволяющие решать целый ряд задач, касающихся расчета схем, выбора оборудования, определения энергетических затрат, автоматизации и т.д.

***Ключевые слова*:** измельчение, моделирование, энергетические законы, компьютерные пакеты.

PREDICTIVE CALCULATIONS FOR GRINDING FLOWSHEETS

The optimizing and predicting computer packages are extremely important in the theory and practice of processes of crushing, allowing to solve variety of the problems, concerning calculation of schemes, a choice of the equipment, definition of power expenses, automation etc.

Key words: crushing, modeling, power laws, computer packages.

Для прогнозирующих и оптимизирующих расчетов технологических схем измельчения используются численные данные: о функциях отбора и разрушения, о параметрах энергии измельчения, об идентификации энергетических законов измельчения. Компьютеризация расчетов облегчает вычисления, позволяет прогнозно сравнивать конкурирующие варианты схем и выбирать оптимальные варианты схем и режимов эксплуатации измельчительного и классифицирующего оборудования*.

В данной работе рассмотрен модуль «Прогнозные расчеты схем измельчения» (Predictive calculations for grinding flowsheets – CGF) компьютерного пакета UNiCrGr фирмы «Earth Technology».

Краткая характеристика и основные задачи программы CGF заключаются в следующем. Модуль CGF служит для анализа, прогноза, оптимизации промышленных многостадиальных схем измельчения руд, включая гранулометрические и энергетические расчеты (общую энергию и распределение потоков энергии по классам крупности).

Вводимые входные данные включают:

1) конфигурацию схемы измельчения;

2) параметры характеристик стадий измельчения, параметры характеристик классификации;

3) гранулометрические характеристики исходной руды.

Вычисляемые выходные данные содержат:

1) производительность и гранулометрические характеристики для всех продуктов многостадиальной схемы;

2) общую потребляемую энергию, распределение ее по стадиям и классам крупности;

* *Андреев Е.Е.* Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению: Учебник / Е.Е.Андреев, О.Н.Тихонов. Санкт-Петербург. гос. горный ин-т. СПб, 2007. 439 с.

Andreev E.E. Crushing, grinding and preparation of raw materials for mineral processing: The Textbook / E.E.Andreev, O.N.Tikhonov. The Saint Petersburg mining institute. Saint Petersburg, 2007. 439 p.

3) функции отбора и разрушения для измельчения, сепарационные характеристики классификации.

В энергетических расчетах применяется новый подход: дополнительно к законам дробления вводится детальное распределение энергии по классам крупности питания и дробленой руды. Энергетические расчеты включают общую энергию, а также разбиение энергии на потоки по классам крупности. При нахождении дифференциальных и общих энергий измельчения используется расширение общепринятого подхода с приданием законам измельчения двойной интегральной формы.

Модуль позволяет выбрать закон, по которому будет рассчитана энергия разрушения (*Esigma*) для измельчения:

1) Бонда

$$Esigma = W_b \cdot 10\left(\frac{1}{\sqrt{L_2}} - \frac{1}{\sqrt{L_1}}\right);$$

2) Риттингера

$$Esigma = W_r \cdot 10\left(\frac{1}{L_2} - \frac{1}{L_1}\right);$$

3) Кика

$$Esigma = W_k \cdot \log\left(\frac{L_2}{L_1}\right),$$

где L_1, L_2 – размеры частиц питания и продукта, мкм; W_b, W_r, W_k – коэффициенты (индексы работы), кВт·ч/т.

Индексы работы W_i для разных законов имеют различный физический смысл. Если закон измельчения заранее не известен, предварительно используется (*Comminution Law Identification – CLI*) для идентификации закона.

Быстрые компьютерные прогнозирующие расчеты служат основой для оптимизации схем и процессов измельчения, в частности, путем сравнения выбираемых вариантов схемы и режимов ее работы.

Модуль позволяет считать как замкнутые, так и открытые циклы. Ниже приведены математические формулы для расчета гранулометрических характеристик.

Для замкнутого цикла измельчения используется уравнение

$$\begin{cases} \left[\int_l^{l_{ma}} q_{\text{отн}}(R,l)\gamma_{\text{м}}(R)dR - \int_0^l q_{\text{отн}}(l,R)\gamma_{\text{м}}(l)dr\right] \times \\ \times M = Q_{\text{м}}\gamma_{\text{м}}(l) - Q_{\text{исх}}\gamma_{\text{исх}}(l) - Q_{\text{п}}\gamma_{\text{п}}(l); \\ \\ Q_{\text{с}}\gamma_{\text{с}}(l) = \varepsilon_{\text{с}}(l)Q_{\text{м}}\gamma_{\text{м}}(l), \end{cases}$$

где M – масса руды в мельнице, т; $Q_{\text{исх}}$, $Q_{\text{м}}$, $Q_{\text{п}}$, $Q_{\text{с}}$ – производительность соответственно по исходному, в разгрузке мельницы, по пескам, по сливу классификации, т/ч; $\gamma_{\text{исх}}(l)$, $\gamma_{\text{м}}(l)$, $\gamma_{\text{п}}(l)$, $\gamma_{\text{с}}(l)$ – дифференциальные гранулометрические характеристики этих продуктов; $\varepsilon_{\text{с}}(l)$ – сепарационная характеристика эффективности классификации; $q_{\text{отн}}(R,r)$ – относительная скорость образования мелких классов r из крупных R, $1/(\text{ч}\cdot\text{мм})$.

Для прогноза кумулятивной характеристики крупности «на минус» $\Gamma_{\text{м}}(1)$ эти уравнения имеют точное математическое решение:

$$\Gamma_{\text{м}}(l) = \int_0^l \gamma_0(l)dl = \exp\left[-\int_0^l \frac{Mq_{\text{отн}}(l)dl}{MQ_{\text{отн}}(l) + Q_{\text{м}}\varepsilon_{\text{с}}(l)} \times\right.$$

$$\times \int_0^l \left\{\frac{Mq_{\text{отн}}(l) + Q_{\text{исх}}\gamma_{\text{исх}}(l)}{MQ_{\text{отн}}(l) + Q_{\text{м}}\varepsilon_{\text{с}}(l)} \times\right.$$

$$\left.\left.\times \exp\left[\int_0^l \frac{Mq_{\text{отн}}(l)dl}{MQ_{\text{отн}}(l) + Q_{\text{м}}\varepsilon_{\text{с}}(l)}\right]\right\}dl\right],$$

где $Q_{\text{отн}}(l) = \int_0^l q_{\text{отн}}(l)dl$ – относительная скорость образования мелких классов, 1/ч (часовая масса классов мельче l, образующихся из 1 т измельченного материала).

Гранулометрическая характеристика слива далее рассчитывается из известных параметров $\Gamma_{\text{м}}(1)$ или $\gamma_{\text{м}}(l)$, т.е. по сепарационной характеристике классификации.

В частном случае для готового продукта мельницы, работающей в открытом цикле, получается равенство

$$\Gamma_{\text{м}}(l) = 1 - \left[1 - \Gamma_{\text{пит}}(l)\right] / \left[1 + MQ_{\text{м}}^{-1} Q_{\text{отн}}(l)\right],$$

где $\Gamma_{\text{пит}}(l)$ – гранулометрическая характеристика питания мельницы.

Модуль, как и весь прогнозирующий пакет, имеет интуитивно понятный интерфейс. Полученные гранулометрические характеристики и другие спрогнозированные данные в наглядной форме отображаются в главном окне модуля.

В энергетических расчетах применяется новый подход: дополнительно к законам дробления вводится детальное распределение энергии по классам крупности питания и измельченной руды. Используется формула обобщения энергетических законов, которая включает двойное интегрирование:

$$E_{\gamma} = \int_0^{\infty} \gamma_{\text{др}}(l_2) \left[\int_0^{\infty} \gamma_{\text{исх}}(l_1) E(l_1, l_2) dl_1 \right] dl_2,$$

где $\gamma(l)$ – дифференциальные распределения по крупности питания и продукта, 1/мкм.

Научный руководитель канд. техн. наук, доцент *Е.Е.Андреев*