

М.К. БАГДАСАРЯН, Д.Р. МЕЛИКЯН

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ПРОЦЕССЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РУДЫ

Рассматриваются вопросы эффективности проведения процессов измельчения руды. Полученные показатели позволяют выбрать целесообразные величины производственных мощностей для данного периода, оценить фактические изменения на различных стадиях процесса измельчения, наметить пути экономии удельного расхода электроэнергии.

Ключевые слова: измельчение руды, непроизводственные потери, расход электроэнергии, интервал времени.

Одним из направлений эффективного расхода электроэнергии в процессе измельчения руды является сокращение доли непроизводственных потерь парка технологических оборудований на основе выявления текущих и перспективных резервов производственных мощностей, а также факторов, оказывающих отрицательное влияние на полноту их использования. В работах [1,2], посвященных исследованиям непроизводственных расходов, эти потери в значительной мере определяются качеством электроэнергии, что не охватывает весь спектр вопросов экономии электроэнергии. Эффективное электропотребление нестационарных технологических процессов, каким является процесс измельчения руды, обусловлено эксплуатационными особенностями используемых мельниц.

Целью настоящей работы является объективная оценка состояния и уровня фактического использования возможности мельниц, являющихся более энергоемким аппаратом процесса измельчения. В рассмотренном технологическом процессе непроизводственные потери электроэнергии в основном зависят от переизмельчения перерабатываемой руды (мельче допускаемой) и неэффективного использования рабочего объема мельницы. Для анализа направлений оценки приведена характеристика удельного расхода электроэнергии [3]:

$$w = \frac{P_1 + P_2}{Q} = \frac{P_1}{Q} + \frac{6\tau k_1}{k_2 \delta_p \gamma R_0 (1 - \exp(-K\tau^n))}, \quad (1)$$

где P_1, P_2 - соответственно мощность холостого хода и полезная мощность мельницы, кВт; Q - производительность мельницы, т/ч; k_1, k_2 - коэффициенты, характеризующие соответственно скорость измельчения (1/мм·с) и скорость образования новой поверхности на единицу затраченной мощности ($m^2/с·кВт$); δ_p - плотность измельченного материала, т/м³; R_0 - содержание крупного класса в исходной руде; γ - весовой выход продукта; K, n - коэффициенты, характеризующие свойства измельченного материала, характер

процесса, режим измельчения и тип мельниц; τ - время обработки материала в мельнице, которое в относительных единицах (t) определяется по формуле

$$t = \tau Q_0 / VT\delta_n . \quad (2)$$

Здесь Q_0 - объемная производительность мельницы, $m^3/ч$; V - рабочий объем мельницы, m^3 ; δ_n, T - соответственно плотность пульпы и содержание в ней твердой фазы.

Из (1) следует, что неоправданное сокращение времени пребывания материала в мельнице увеличивает ее производительность, но уменьшает эффективность использования рабочего объема. При задержке материала в мельнице уменьшается удельный расход электроэнергии, но в некоторых случаях может снижаться качество выпускаемой продукции в связи с переизмельчением.

Игнорирование вышеприведенных факторов не позволяет обеспечить экономию электроэнергии с помощью выбора оптимального типа, количеств и режимов работы мельниц в разных стадиях измельчения руды, что приводит к неоправданным расходам электроэнергии при получении продукции требуемого качества. Поэтому в работе исследованы технологические показатели, позволяющие вскрыть внутренние резервы процесса измельчения по расходу электроэнергии:

1. Объем переизмельченной руды $A_d (A_d = F(d_{\min}))$.
2. Объем измельченной руды с диаметром требуемого интервала $(d_{\max} - d_{\min})$, $B_d (B_d = F(d_{\max}) - F(d_{\min}))$.
3. Объем недоизмельченной руды $C_d (C_d = 1 - F(d_{\max}))$.
4. Часть общего объема мельницы, занятая частицами, передержанными в ней меньше требуемого минимального времени $A_t (A_t = F(t_{\min}))$.
5. Часть общего объема мельницы, занятая частицами с продолжительностью пребывания в требуемом интервале времени $(t_{\max} - t_{\min})$, $B_t (B_t = F(t_{\max}) - F(t_{\min}))$.
6. Часть общего объема мельницы, занятая частицами, передержанными в ней дольше максимально требуемого времени, $C_t (C_t = 1 - F(t_{\max}))$.

Для оценки показателей A_d, B_d, C_d используется функция распределения рудных частиц $Z(d)$, а для оценки A_t, B_t, C_t - функция кинетики измельчения $R(t)$ [4]:

$$Z(d) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{d}{d_0}\right)^m\right], \quad (3)$$

$$R(t) = 1 - R_0 \exp(-Kt^n), \quad (4)$$

где d_o - диаметр самой крупной в смеси частицы; m - постоянная, характеризующая соотношение крупных и мелких фракций.

Согласно (3), показатели A_d, B_d, C_d определяются в виде

$$\begin{aligned} A_d &= 1 - \exp\left(-\left(\frac{K_d d_{\max}}{d_o}\right)^m\right), \\ B_d &= \exp\left(-\left(\frac{K_d d_{\max}}{d_o}\right)^m\right) - \exp\left(-\left(\frac{d_{\max}}{d_o}\right)^m\right), \\ C_d &= \exp\left(-\left(\frac{d_{\max}}{d_o}\right)^m\right), K_d = \frac{d_{\min}}{d_{\max}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Для определения оптимальных диаметров d_{\max} и d_{\min} , отвечающих условиям достижения максимального значения B_d , величину первой производной B_d по dd_{\max} приравняем нулю:

$$\begin{aligned} \frac{dB_d}{dd_{\max}} &= \frac{dF(d_{\max})}{dd_{\max}} - \frac{dF(d_{\min})}{dd_{\max}} = 0, \\ \text{откуда } d_{\max} &= d_o \left(\frac{\ln K_d^m}{K_d^m - 1}\right)^{\frac{1}{m}}, \quad d_{\min} = K_d d_o \left(\frac{\ln K_d^m}{K_d^m - 1}\right)^{\frac{1}{m}}. \end{aligned} \quad (6)$$

В результате преобразований (5) и (6) получаем уравнения линий, проходящих через точки максимумов тройной диаграммы $A_d - B_d - C_d$:

$$\begin{aligned} A_{dm} &= 1 - \exp\left(-\frac{K_d^m \ln K_d^m}{K_d^m - 1}\right), \\ B_{dm} &= \exp\left(-\frac{K_d^m \ln K_d^m}{K_d^m - 1}\right) - \exp\left(-\frac{\ln K_d^m}{K_d^m - 1}\right), \\ C_{dm} &= \exp\left(-\frac{\ln K_d^m}{K_d^m - 1}\right). \end{aligned} \quad (7)$$

На основании расчетов по уравнениям (5)-(7) построены диаграммы $A_d - B_d - C_d$ (рис.1а) и $B_{dm} - K_d - P_d - d_{\min-\max}$ (рис. 1б), позволяющие определить интервал диаметров измельчаемых рудных частиц, оценить показатель эффективности B_d , степень переизмельчения P_d и зависимость коэффициента устойчивости K_d при разных гранулометрических составах измельченной руды.

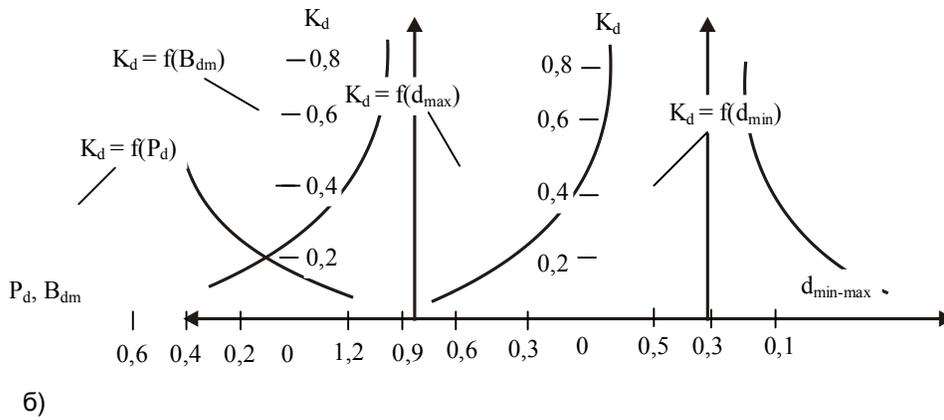
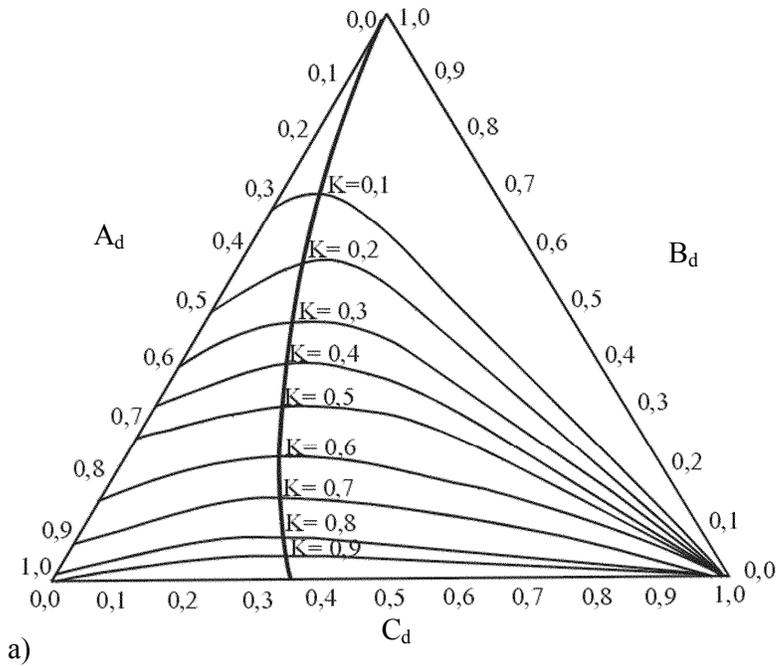


Рис.1. Диаграммы $A_d - B_d - C_d$ (а) и $B_{dm} - K_d - P_d - d_{\min-\max}$ (б) для оценки эффективности измельчения

С учетом (4) показатели A_t, B_t, C_t имеют вид

$$\begin{aligned}
 A_t &= 1 - R_o \exp(-KK_t^n t_{\max}^n), \\
 B_t &= R_o [\exp(-KK_t^n t_{\max}^n) - \exp(-Kt_{\max}^n)], \\
 C_t &= R_o \exp(-Kt_{\max}^n).
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

С учетом (8) по максимальному значению показателя эффективного использования общего объема мельниц построены диаграммы $V_{tm} - K_t - t_{\min-max}$ (рис.2).

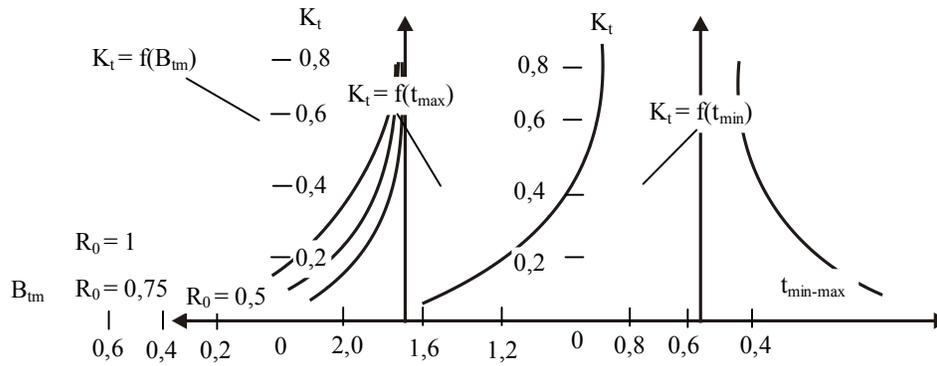


Рис.2. Диаграмма $V_{tm} - K_t - t_{\min-max}$ при различных значениях содержания крупного класса в исходной руде

Система уравнений (8) позволяет исследовать показатели A_t, V_t, C_t при осуществлении процесса измельчения руды одной мельницей. Между тем, как известно, в зависимости от типа мельниц, требуемой производительности и технологической особенности в процессе измельчения руды можно использовать различные количества мельниц. При N числе мельниц одинакового объема функция кинетики процесса измельчения имеет вид

$$R(t) = 1 - \exp(-K_t^n N t^n) \sum_{i=2}^N \frac{(N t^n)^{i-1}}{(i-1)!}. \quad (9)$$

Подставляя (9) в (8), для показателей, характеризующих работу N мельниц, получим

$$A_t = 1 - \exp(-K_t^n N t_{\min}^n) \sum_{i=2}^N \frac{(K_t^n N t_{\min}^n)^{i-1}}{(i-1)!}, \quad (10)$$

$$V_t = \exp(-K_t^n N t_{\min}^n) \sum_{i=2}^N \frac{(K_t^n N t_{\min}^n)^{i-1}}{(i-1)!} - \exp(-K_t^n N t_{\max}^n) \sum_{i=2}^N \frac{(K_t^n N t_{\max}^n)^{i-1}}{(i-1)!}, \quad (11)$$

$$C_t = \exp(-K_t^n N t_{\max}^n) \sum_{i=2}^N \frac{(K_t^n N t_{\max}^n)^{i-1}}{(i-1)!}. \quad (12)$$

По результатам расчета выражений (10)-(12) построены тройная диаграмма $A_t - V_t - C_t$ при разном числе мельниц и объемная диаграмма $A_t - V_t - C_t - N$. Уравнения линий, проходящих через точки

максимумов кривых на рис.3, получены в результате подстановки результатов исследования функции (11) на максимум в (10) - (12):

$$A_{im} = R_o \exp\left(-\frac{NK_t^n \ln K_t^n}{K(K_t^n - 1)}\right) \sum_{i=2}^N \frac{1}{(i-1)!} \left(\frac{NK_t^n \ln K_t^n}{K(K_t^n - 1)}\right)^{i-1}, \quad (13)$$

$$B_{im} = R_o \exp\left(-\frac{NK_t^n \ln K_t^n}{K(K_t^n - 1)}\right) \sum_{i=2}^N \frac{1}{(i-1)!} \left(\frac{NK_t^n \ln K_t^n}{K(K_t^n - 1)}\right)^{i-1} - R_o \exp\left(-\frac{N \ln K_t^n}{K(K_t^n - 1)}\right) \sum_{i=2}^N \frac{1}{(i-1)!} \left(\frac{N \ln K_t^n}{K(K_t^n - 1)}\right)^{i-1}, \quad (14)$$

$$C_{im} = 1 - R_o \exp\left(-\frac{N \ln K_t^n}{K(K_t^n - 1)}\right) \sum_{i=2}^N \frac{1}{(i-1)!} \left(\frac{N \ln K_t^n}{K(K_t^n - 1)}\right)^{i-1}. \quad (15)$$

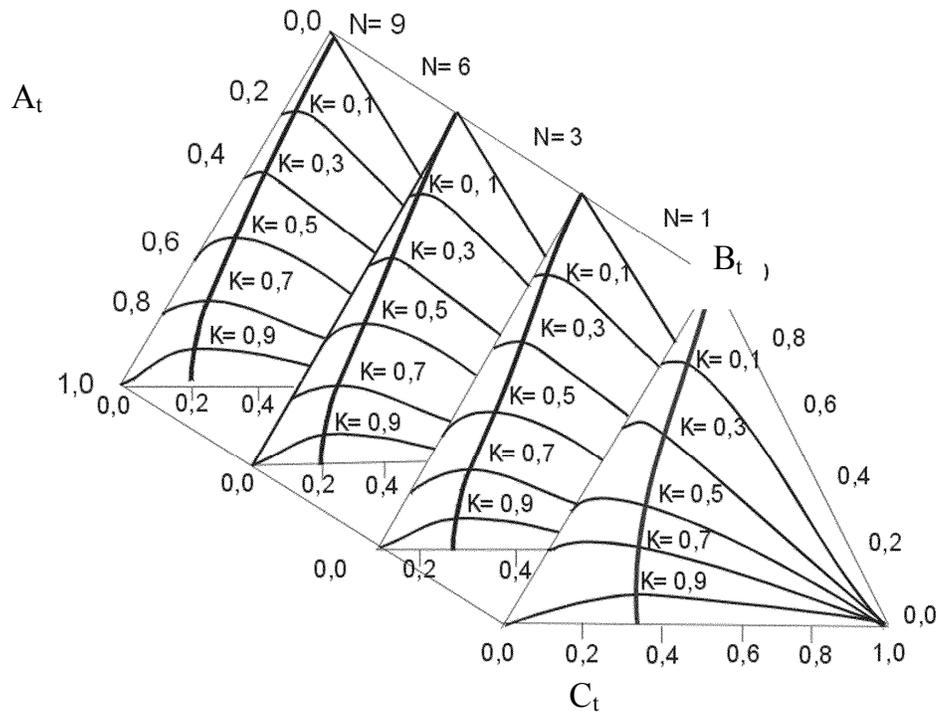


Рис. 3. Объемная диаграмма $A_t - B_t - C_t - N$ для мельниц

Как видно (рис.3), увеличение числа мельниц приводит к повышению эффективности использования рабочего объема, снижению неравномерности распределения времени пребывания частиц в мельницах, в результате чего сокращается интервал времени измельчения

руды. С другой стороны, анализ полученных результатов показывает, что при $N > 4$ изменение величины Δ ($\Delta = V_{t(N+1)} / V_{t(N)}$) становится незначительным (рис.4), что позволяет выбрать оптимальное число мельниц по заданной производительности, типу мельниц и режимным параметрам.

Исследования показали, что применение на практике рассмотренных выше показателей обеспечивает экономию электроэнергии от 3,5 до 5% .

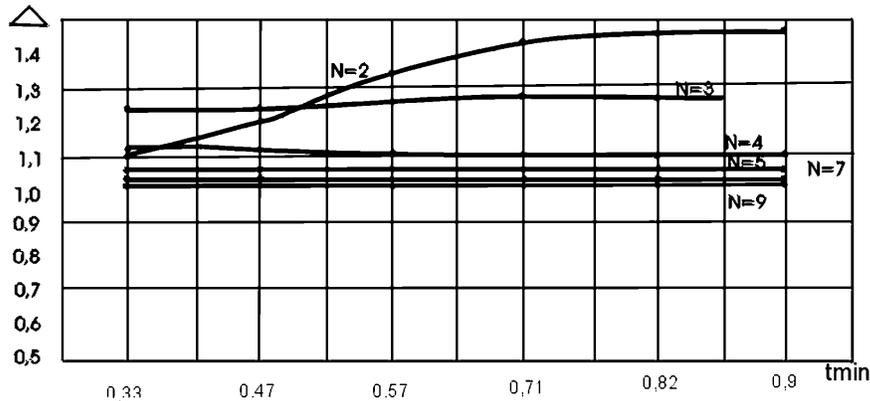


Рис. 4. График зависимости для оценки числа мельниц

Разработанные системы показателей на практике позволяют оценить эффективное использование основных фондов и выявить различные временные резервы при разных режимных параметрах мельниц. В целом система показателей обеспечивает правильность установления величины производственной мощности на данный период времени, фактическую оценку производственных мощностей, исследование фактических и плановых величин и выявление параметров отклонений, которые позволяют наметить пути экономии электроэнергии в процессе измельчения руды. Полученные показатели могут служить основой для получения требуемого результата с минимальным расходом электроэнергии на базе внутренних производственных резервов при разных ситуациях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Декопов Б.И., Загриновский Р.И., Купербург А.Д.** Проектирование электроснабжения объектов горно-обогатительных предприятий.- М.:Недра, 1989. -176 с.
2. **Поляков Н.Г.** К оценке эффективности энергопотребления в электро-установках // Горная электромеханика и автоматика.- 1989. - Вып 50.- С 7-11.

3. **Олейников В.К.** Анализ и планирование электропотребления на горных предприятиях. - М.: Недра, 1983.- 192 с.
4. **Шупов Л.П.** Моделирование и расчет на ЭВМ схем обогащения.- М.: Недра, 1980. - 288 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 28. 03. 2000.

Մ. Բ. ԲԱԴԴԱՍԱՐՅԱՆ, Դ.Ռ. ՄԵԼԻՔՅԱՆ

ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ԾԱԽՍԵՐԻ

ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ

ՄԱՆՐԱՑՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՈՒՄ

Դիտարկված են հանքաքարի մանրացման գործընթացի արդյունավետության հարցերը: Ստացված հատկորոշիչները հնարավորություն են տալիս գնահատել արտադրական հզորությունների փաստացի փոփոխությունները գործընթացի տարբեր փուլերում, ինչը թույլ է տալիս ուրվանշել էլեկտրաէներգիայի տեսակարար ծախսերի տնտեսման ուղղությունները:

M.K. BAGDASARYAN, D.R. MELIKYAN

**ESTIMATION OF EFFECTIVE ELECTRIC POWER
CONSUMPTION FACTORS FOR ORE GRINDING
PROCESSES**

The problems of ore grinding process effectiveness for increasing economical electric power consumption factors are considered. The factors obtained allow to choose the expedient values of production capacities for the given period, to estimate the real changes of capacities on different stages of the grinding process, to outline the ways of specific electric power consumption economy.