

Н. Б. РЫСПАНОВ

ОБОСНОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ КРУПНОСТИ КУСКОВ НАВАЛА РУДЫ ПРИ КУЧНОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ МЕТАЛЛОВ

(Представлена академиком НАН РК Е. И. Роговым)

Поставлена и решена задача по оптимизации размера куска руды при формировании кучи по критерию прибыль. Рассмотрена технологическая система кучного выщелачивания металлов с позиции процесса диффузионного растворения металлов. Решение данной задачи может быть использовано при проектировании кучи.

При кучном выщелачивании (КВ) металлов размеры кусков руды или окатышей хвостов обогащения являются решающими, т.к. от них напрямую зависит скорость выщелачивания, а, следовательно, и себестоимость и связанная с нею прибыль.

В известной нам литературе мы не встречали решение задачи об оптимальном размере куска. Здесь в качестве критерия оптимальности принимается время выщелачивания металлов из навала руды или отходов обогащения.

Эффективность выщелачивания металлов при КВ измеряется временем выщелачивания их до проектной величины ε_n – коэффициента извлечения.

Так как процесс выщелачивания состоит из двух фаз – диффузии металла из куска руды и фильтрации переноса его по поровым или иным каналам в виде продуктивных растворов через массу навала руды, то важно рассмотреть две составляющие времени.

Диффузия металла из куска руды описывается известным дифференциальным уравнением [1]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где $C(x,t)$ – концентрация металла по координате x в куске руды диаметром – ℓ_1 см за время t D константа диффузии, $\text{см}^2/\text{с}$. Для металлов можно принимать максимальное значение $D = 10^{-8} \text{ см}^2/\text{с}$.

Решение уравнения (1) приводит к следующему бесконечному ряду [1]:

$$C(x, t) = \frac{4C_o}{\pi} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{1}{j+1} \sin\left(\frac{2j+1}{x}\right) \cdot \exp - \left\{ \left[\left(2j+1\right) \frac{\pi}{x} \right]^2 D_n \cdot t \right\}, \text{ г/см}^3, \quad (2)$$

где C_o – исходная концентрация металла в куске руды, г/см^3 .

При этом имеем следующие граничные условия: $C(x,t) = C_o$ при $0 < x < 1$ для $t = 0$; $C(x, t) = 0$ при $x = \ell_1$, $x = 0$ и $t > 0$.

$C(x, t)$ – текущая концентрация металла, г/см^3 от x и t ;

D_n – эффективный коэффициент диффузии, $\text{см}^2/\text{сут}$.

$$D_n = \frac{D}{86400}, \text{ см}^2/\text{сут},$$

где 86 400 – количество секунд в сутках

$$D_n = \frac{10^{-8}}{86400} = \frac{1}{86400} \cdot 10^{-3} = 1,157 \cdot 10^{-3}, \text{ см}^2/\text{сут}, \quad (3)$$

Если принять коэффициент извлечения $\varepsilon_n = 0,75$ – это, видимо, его возможное максимальное значение, то из уравнения (2) после преобразований получим:

$$\frac{C_\phi}{C_o} = \frac{8}{\pi^2} \exp - \frac{\pi^2 D_n t}{\ell^2}, \quad (4)$$

где C_ϕ – среднее значение остаточной концентрации металла – золота в руде.

Решая уравнение (4) относительно времени выщелачивания куска до извлечения $\varepsilon_n = 0,75$, получим:

$$t_\phi = \frac{\ell^2 \ln \frac{8C_o}{C_\phi \pi^2}}{\pi^2 D_n}, \text{ сут.} \quad (5)$$

Для КВ можно применять скважинную систему выщелачивания металлов по аналогии с [2].

Представим теперь время выщелачивания для гексагональной ячейки ПСВ металлов по нашей формуле в виде [2]:

$$t_b = \frac{160 \cdot R_o^2 \cdot \rho_n \cdot f}{K_\phi \cdot \beta \cdot (n \cdot S_n + S_o) \cdot \ln\left(\ln\frac{R_o}{R_c}\right)}, \text{ сут. (6)}$$

Здесь, для примера, рассматривается процесс кучного выщелачивания золота из отходов обогащения. Причем отходы обогащения перед созданием штабеля КВ подвергаются агломерации с тем, чтобы увеличить коэффициент фильтрации навала до некоторой предельной величины. Ясно, что с увеличением диаметра частиц навала увеличивается линейно коэффициент фильтрации среды:

$$K\Phi = a \cdot y, \text{ м/сут.} \quad (7)$$

В то же время из (2) видно, что с увеличением диаметра частиц агломерированных отходов возрастает в параболической зависимости время диффузии золота из куска или частицы.

Следовательно, существует некоторое значение y_o диаметра частиц, которое обеспечивает минимальное суммарное время диффузии и выноса растворенного металла из элементарной ячейки в откачной фильтр.

Для решения задачи установления оптимального размера куска y_o имеет функцию цели:

$$\left. \begin{aligned} J(y) &= \frac{y^2 \ln \frac{8C_o}{C_\phi \cdot \pi^2}}{\pi^2 \cdot D_n} + \\ &+ \frac{160 \cdot R_o^2 \cdot \rho_n \cdot f_n}{ay \cdot \beta_n \cdot (n \cdot S_n + S_o) \cdot \ln\left(\ln\frac{R_o}{R_c}\right)} \rightarrow \min \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

при ограничении $0 < y \leq \hat{y}$,

где R_o – радиус ячейки, м; ρ_n – плотность пород навала, т/м³; f_n – проектное значение параметра Ж:Т отношения жидкого к твердому для достижения ε_n ; a – статистический параметр, м²;

β_n – параметр, $\beta_n = \frac{0,675}{f_n}$ [2]; n – отношение числа закачных фильтров к откачным в навале,

$$n = \frac{N_{sc}}{N_{oc}}; S_n – \text{напор на закачных фильтрах, м;}$$

S_o – депрессия на откачных фильтрах, м; R_c – радиус фильтровой колонны, м.

Введем обозначения:

$$C_1 = \frac{\ln \frac{8C_o}{C_\phi \pi^2}}{\pi^2 D_n}, \quad (9)$$

$$C_2 = \frac{160 \cdot R_o^2 \cdot \rho_n \cdot f_n}{a \cdot \beta_n \cdot (n \cdot S_n + S_o) \cdot \ln\left(\ln\frac{R_o}{R_c}\right)}, \quad (10)$$

тогда функцию цели (8) запишем в простейшем виде:

$$\left. \begin{aligned} J &= C_1 \cdot y^2 + \frac{C_2}{y} \rightarrow \min \\ \text{при } 0 < y &\leq \hat{y}. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Функция цели достигает минимума в точке

$$\frac{\partial J}{\partial y} = 0 \quad (12)$$

или в явном виде:

$$\frac{\partial J}{\partial y} = 2C_1 y - \frac{C_2}{y^2} = 0. \quad (13)$$

Откуда имеем:

$$y_o = \sqrt[3]{\frac{C_2}{2C_1}}. \quad (14)$$

Подставляя в (14) значения C_2 и C_1 из (9) и (10), получим оптимальный диаметр куска агломерированных отходов обогащения в виде:

$$y_o = \sqrt[3]{\frac{160 \cdot R_o^2 \cdot \rho_n \cdot f_n \cdot \pi^2 \cdot D_n}{2a \cdot \beta_n \cdot (n \cdot S_n + S_o) \cdot \ln\left(\ln\frac{R_o}{R_c}\right) \ln \frac{8C_o}{C_\phi \cdot \pi^2}}},$$

см. (15)

Для любой другой схемы расположения фильтровых колонн число 160 будет другим и равным, например, для квадратной схемы – 174; для прямоугольной – 144 [2].

Величина среднего диаметра частиц или агломерированных хвостов обогащения y_o , определяемая по формуле (6), обеспечит максимальную скорость выщелачивания золота из начала – штабеля, сформированного по принципу ячеек для ПСВ металлов [2].

Таким образом, мы говорим, что при кучном выщелачивании металла из руд первостепенное

значение имеет ее крупность, измеряемая средним диаметром куска руды – d . При значительных размерах d время диффузионных процессов по растворению металлов всегда пропорционально квадрату диаметра куска руды. Но возможен путь измельчения кусков руды до некоторого среднего диаметра d_o , который обеспечит максимальную прибыль от добывного способом КВ металла. В такой постановке в известной литературе [3, 4] не встречаются задачи и ее решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шьюман П. Диффузия в твердых телах. М.: Наука, 1968. 320 с.
2. Рогов Е.И., Язиков В.Г., Рогов А.Е. Математическое моделирование в горном деле. Алматы: Lem, 2002. 204 с.
3. Аренс В.Ж. Физико-химическая геотехнология. М.: МГТУ, 2001. 656 с.

4. Справочник по геотехнологии урана. М.: Энерготомиздат, 1997. 672 с.

Резюме

Технологиялық табыс өлшемі жөнін шоғырладап шаймалау кезінде бір кесек руданың ұтымды маңызын анықтау бойынша жаңа да қатаң шешім беріліп отыр. Мәселенің бүл шешімі шоғырлауды жобалау кезінде қолданылуы мүмкін.

Summary

In a given work, the problem of optimization of the amount of piece of ore when shaping the heap on profit criterion delivered and solved. The technological system of heap leaching of metals from the view of diffusion dissolution of metals process is considered. The decision of the given problem can be used in heap design.

УДК 622.775

Институт горного дела
им. Д. А. Кунаева, г. Алматы

Поступила 01.09.10г.