

УДК 622.775

Н.Б. РЫСПАНОВ

ОБОСНОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РАСХОДА РЕАГЕНТОВ ПРИ КУЧНОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ МЕТАЛЛОВ

(Представлена академиком НАН РК Е.И. Роговым)

В данной работе рассмотрен вопрос оптимизации расхода реагентов при кучном выщелачивании растворов. Сформирована оптимизационная математическая модель по критерию прибыль для определения оптимального значения концентрации реагента в выщелачивающем растворе. Решение данной задачи может быть использовано при проектировании кучи.

При кучном выщелачивании металлов применяются различные реагенты – растворы кислот, цианистого натрия и другие [1, 2]. Чаще всего, например, для выщелачивания золота применяют цианирование – слабый раствор $NaCN$. В известной нам литературе вопросу оптимизации реагентов уделено недостаточное внимание. Только в монографии [3] предпринята попытка оптимизировать расход серной кислоты для подземного скважинного выщелачивания урана.

Многими исследователями доказана зависимость времени выщелачивания металлов способом КВ от содержания реагентов в растворе. Так, по данным [4] при концентрации $NaCN$ в растворе 0,5 г/л процесс диффузионного выщелачивания длится 36 суток, а при 1,0 г/л $NaCN$ – 12 суток.

При подземном скважинном выщелачивании урана также, как правило, с увеличением концентрации H_2SO_4 в растворе сокращаются сроки выщелачивания урана в блоках [5].

Основываясь на лабораторных исследованиях, можно для процесса КВ, например, для золота, записать для времени диффузионного выщелачивания:

$$t_\theta = \alpha \cdot e^{-\beta K}, \text{ сут}, \quad (1)$$

где α и β – статистические постоянные, определяемые из опыта.

Так, например, для руды месторождения Тохтазан (Киргизия) при извлечении золота было лабораторным путем получено:

$$\left. \begin{array}{l} t_{\theta,1} = 36 \text{ сут. при } K_1 = 0,5 \text{ г/л}; \\ t_{\theta,2} = 12 \text{ сут. при } K_2 = 1 \text{ г/л } NaCN. \end{array} \right\} \quad (2)$$

Подставляя эти данные (2) в (1), получим систему уравнений:

$$\left. \begin{array}{l} 36 = \alpha \cdot e^{-0,5 \cdot \beta}, \\ 12 = \alpha \cdot e^{-1 \cdot \beta}. \end{array} \right\} \quad (3)$$

Решая систему уравнений по α и β , получим:

$$\alpha = 108,2 \text{ и } \beta = 2,2.$$

Следовательно, для этой руды уравнение (1) будет:

$$t_\theta = 108,2 \cdot e^{-2,2 \cdot \beta}, \text{ сут.} \quad (4)$$

Сформируем оптимизационную математическую модель по критерию прибыль для определения оптимального значения концентрации $NaCN$ в ВР. Ясно, что при достижении минимума эксплуатационных затрат и затрат на реагенты достигается максимум прибыли при добыче металлов. При этом имеем:

$$J = J_1 + J_2 \rightarrow \min, \quad (5)$$

где J_1 – эксплуатационные общие затраты без учета реагентов, \$/сут.

$$J_1 = C_s \cdot \alpha \cdot e^{-\beta K}, \text{ $,} \quad (6)$$

где C_s – суточные эксплуатационные затраты, \$/сут; J_2 – затраты на реагенты за весь период t_θ :

$$J_2 = K \cdot Q_o \cdot C_k \cdot \theta \cdot \alpha \cdot e^{-\beta K}, \quad (7)$$

где C_k – стоимость 1 кг реагентов, \$/кг; Q_o – суточный расход ВР, $m^3/\text{сут}$; θ – коэффициент доукрепления маточного раствора реагентами, доли ед.

Подставляя (6) и (7) в функцию цели (5), получим модель:

$$J = C_s \cdot \alpha \cdot e^{-\beta K} + K \cdot Q_o \cdot C_k \cdot \theta \cdot \alpha \cdot e^{-\beta K} \rightarrow \min \quad (8)$$

при ограничении:

$$K \leq \hat{K} \leq \hat{\hat{K}}. \quad (9)$$

Функция (8) имеет один минимум:

$$\frac{\partial J}{\partial K} = 0$$

или в развернутом виде:

$$\frac{\partial J}{\partial K} = -\beta \cdot C_s \cdot \alpha \cdot e^{-\beta K} + \\ + Q_o \cdot C_k \cdot \theta \cdot \alpha \cdot e^{-\beta K} - K \cdot Q_o \cdot C_k \cdot \theta \cdot \alpha \cdot e^{-\beta K} = 0. \quad (10)$$

Поскольку $e^{\beta \cdot K} \neq 0$ и $\alpha \neq 0$, то из уравнения (10) получим:

$$-\beta \cdot C_s + Q_o \cdot C_k \cdot \theta - K \cdot Q_o \cdot C_k \cdot \theta \cdot \beta = 0, \quad (11)$$

откуда получим оптимальное решение для K :

$$K_o = \frac{Q_o \cdot C_k \cdot \theta - \beta \cdot C_s}{Q_o \cdot C_k \cdot \theta \cdot \beta} \quad (12)$$

или

$$K_o = \frac{1}{\beta} - \frac{C_s}{Q_o \cdot C_k \cdot \theta \cdot \beta}, \text{ г/л.} \quad (13)$$

Если $K_o < \hat{K}$, то принимается:

$$K_o = \hat{K} \quad (14)$$

и, наоборот, при $K_o > \hat{K}$:

$$K_o = \hat{K}. \quad (15)$$

Произведем анализ формулы (13). Второй член этой формулы может оказаться величиной весьма малой. Пусть, например, для уже приведенных выше условий месторождения Тохтазан имеем: $\beta = 2,2$; $Q_o = 3600 \text{ м}^3/\text{сутки}$; $C_x = 1 \text{ $/кг}$; $C_s = 621 \text{ $/сутки}$ без стоимости $NaCN$; $\beta = 1$. При этом:

$$K_o = \frac{1}{2,2} - \frac{621}{3600 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,2} \approx 0,40 \text{ г/л.}$$

Здесь второй член уравнения практически мал или равен 0,078 г/л.

Следовательно, в предварительных оценках можно пользоваться простой формулой:

$$K_o = \frac{1}{\beta}, \text{ г/л} \quad (16)$$

в пределах $\hat{K} \leq K_o \leq \hat{K}$.

В нашем случае: $\hat{K} = 0,25 \text{ г/л}$; $\hat{K} = 1,25 \text{ г/л}$.

Интересно заметить, что из формулы диффузионного выщелачивания

$$t_o = \frac{\ell^2 \cdot \ln \frac{8C_o}{C_{np} \cdot \pi^2}}{D_n \cdot \pi^2}, \text{ сут.} \quad (17)$$

следует, что при различной концентрации $-K NaCN$ можно получить различные сроки выщелачивания только после определения зависимости коэффициента диффузии D_n от K .

Можно эту зависимость описать уравнением вида:

$$D_n = a + bK, \quad (18)$$

где a и b – некоторые постоянные для данного конкретного типа руды.

Так, для условий рудника Тохтазан имеем: $\ell = 2 \text{ см}$; $C_{np} = 0,76$; $D_n = 0,76 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2/\text{сут}$; $K = 0,5 \text{ г/л}$.

При $K = 1 \text{ г/л}$; $t_o = 12 \text{ суток}$, тогда: при $K = 0,5 \text{ г/л}$:

$$t_o = \frac{4 \cdot \ln \frac{8 \cdot 1}{0,76 \cdot \pi^2}}{\pi^2 \cdot 0,76 \cdot 10^{-3}} = 35 \text{ сут.}$$

при $K = 1 \text{ г/л}$; $t_o = 12 \text{ суток}$, тогда имеем:

$$D_n = \frac{\ell^2 \cdot \ln \frac{8C_o}{\pi^2 \cdot C_{np}}}{t_o \cdot \pi^2} = \frac{4 \cdot 0,065}{12 \cdot \pi^2} = 0,002 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2/\text{сут.}$$

Для определения параметров a и b в уравнении (18) имеем две точки:

$$\left. \begin{array}{l} K_1; D_{n,1} = (0,5; 0,76 \cdot 10^{-3}) \\ K_2; D_{n,2} = (1; 2,0 \cdot 10^{-3}) \end{array} \right\} \quad (19)$$

Уравнение прямой по двум точкам:

$$\frac{K - 0,5}{1,0 - 0,5} = \frac{D_n - 0,76 \cdot 10^{-3}}{(2 - 0,76) \cdot 10^{-3}} \quad (20)$$

или иначе:

$$D_n = (2,48K - 0,48) \cdot 10^{-3} \text{ см}^2/\text{сут.} \quad (21)$$

в пределах:

$$0,25 \leq K \leq 1,25 \text{ г/л.} \quad (22)$$

Подставляя значение D_n из (21) в формулу (17), получим новое уравнение:

$$t_o = \frac{\ell^2 \cdot \ln \frac{8C_o}{C_{np} \cdot \pi^2}}{\pi^2 (2,48K - 0,48) \cdot 10^{-3}}, \text{ сут.} \quad (23)$$

Уравнение (23) более полно описывает кинетику диффузионного выщелачивания металла в функции от размера куска ℓ и концентрации $NaCN - K$. Это уравнение рекомендуется к использованию при проектировании рудников КВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аренс В.Ж. Физико-химическая геотехнология. М.: МГТУ, 2001. 656с.
2. Лузин Б.С. Применение передвижной установки сорбционного выщелачивания золота // Промышленность Казахстана. 2003. № 12. С. 42-43.
3. Рогов Е.И., Язиков В.Г., Рогов А.Е. Математическое моделирование в горном деле. Алматы: Lem, 2002. 204с.
4. Отчет «Исследования по цианидному выщелачиванию проб Т-4 и Т-6 руды месторождения Тохтазан», г. Карабалта, 2003. 48с.
5. Грабовников В.А. Геотехнологические исследования при разведке металлов. М.: Недра, 1995. 155с.

Резюме

Аталмыш еңбекте шығын реагентін онтайландырудың маңызды міндеті шептілген. Табыс өлшемі жөнінен

шоғырлап шаймалау кезінде математикалық үлгінің ұтымды маңызын анықтау бойынша жаңа да қатаң шешім беріліп отыр. Мәселенің бұл шешімі шоғырлауды жобалау кезінде қолданылуы мүмкін.

Summary

In the given work a problem of optimization of extraction metal expenses at heap leaching of solutions is discussed. A mathematical model of optimization according to profit criterion was formed to determine an optimal value for extraction metal concentration in leaching solution. The decision of the given problem can be used in designing the heap.

*Институт горного
дела имени Д.А. Кунаева
г. Алматы*

Поступила 01.09.2010 г.