

ABOUT REGULARITIES OF THE GROUPED LIXIVIATING OF METALS

N. B. Ryspanov

JSC Volkovgeologia, Almaty, Kazakhstan

Key words: diffusion coefficients, transfer filtration, the concentration of the metal, heap leaching.

Abstract. The analysis of heap leaching of metals from ores and wastes enrichment plants through the process of diffusion of dissolved metal species in the reagent and process filtration of metal transfer in porous media material stack is conducted. It is concluded that these processes are essential for the heap leaching process.

It was established that the heap leaching process is ideal, where the conditions of equality of the diffusion time of leaching of metal ores and the filtration time transfer of leach able metal ore through the stack.

The equation of the ideal state of the heap leaching process parameters called the Law of heap leaching.

Starting from the equation of the ideal state defined the main geotechnical parameters of heap leaching. These parameters are essential for the design of piles of heap leaching of metals.

УДК 622.775

О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МЕТАЛЛОВ

Н. Б. Рыспанов

АО «Волковгеология», Алматы, Казахстан

Ключевые слова: коэффициенты диффузии, фильтрационный перенос, концентрация металла, кучное выщелачивание.

Аннотация. Проведен анализ кучного выщелачивания металлов из руд и отходов обогатительных фабрик посредством процесса диффузионного растворения металла в реагенте и процесса фильтрационного переноса металла в пористой среде материала штабеля. Сделан вывод о том, что данные процессы являются основополагающими для процесса кучного выщелачивания.

Установлено, что процесс кучного выщелачивания является идеальным, когда соблюдается условие равенства времени диффузионного выщелачивания металла из руды и времени фильтрационного переноса выщелачиваемого металла через рудный штабель.

Выведено уравнение идеального состояния параметров процесса кучного выщелачивания названное Законом кучного выщелачивания.

Исходя из уравнения идеального состояния, определены главные геотехнологические параметры кучного выщелачивания. Данные параметры являются основополагающими для проектирования штабелей кучного выщелачивания металлов.

При кучном выщелачивании металлов из руд или отходов обогатительных фабрик процесс складывается из двух составляющих:

- диффузионное растворение металла в реагенте;
- фильтрационный перенос его в пористой среде материала штабеля.

Рассмотрим время диффузионного растворения – t_d .

В соответствии с [1] второй закон диффузии Фика запишем в виде дифференциального уравнения:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D_x \frac{\partial c}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial c}{\partial z} \right), \quad (1)$$

где $C(x, y, z, t)$ – искомая функция распределения вещества в пространстве по времени t ; D_x ; D_y ; D_z – коэффициенты диффузии по координатам x, y, z .

Для таких исследований наибольший интерес представляет одномерный (линейный) закон диффузии, который описывается уравнением:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}. \quad (2)$$

Следует искать решения (2) в виде функции $C(x, t)$ при следующих граничных условиях:

$$C(x, t) = C_0 \text{ при } 0 < x < \ell \text{ и } t = 0;$$

$$C(x, t) = 0 \text{ при } x = \ell, x = 0, t > 0,$$

где C_0 – исходная концентрация металла, $г/см^3$; $C(x, t)$ – текущая концентрация металла по осм x за время t ; ℓ – размер куска руды, см; t – время диффузии, сут,

Имеется решение такого уравнения [1] в виде бесконечного ряда:

$$C(x, t) = \frac{4C_0}{\pi} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{1}{2j+1} Csch \frac{2j+1}{x} \times \exp \left\{ - \left[(2j+1) \frac{\pi}{x} \right]^2 D_n \cdot t \right\}. \quad (3)$$

Если положить, что в относительных единицах $C_0 = 1$, а $C_{np} = 0,75$, т.е. конечное значение диффундирующего металла (растворения) до 75%, то можно получить простейшее решение, ограничившись первым членом быстро убывающего ряда (3):

$$\frac{C_{np}}{C_0} = \frac{8}{\pi^2} \exp \left(- \frac{\pi^2 D_n t}{\ell^2} \right). \quad (4)$$

При заданном $D_n \cong 0,864 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2/\text{сут.}$ и (4) находим время диффузионного выщелачивания металла:

$$t_{\partial} = \frac{\ell^2 \cdot \ln \frac{8C_0}{C_{np} \cdot \pi^2}}{\pi^2 \cdot D_n}, \text{ сут}, \quad (5)$$

где ℓ – средний диаметр куска руды, см; $C_0 = 1$ и $C_{np} \cong 0,7 \div 0,75$ – относительные единицы содержания металла в руде и извлечения его из руды; D_n – эффективный коэффициент диффузии, $м^2/\text{сут}$ для металлов

$$D_n \cong 0,864 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2/\text{сут.}$$

Анализ формулы (5) показывает, что она обладает некоторыми недостатками. Первое – $C_{np} \cong 0,7 \div 0,75$, т.е. весьма узкий, хотя и практически правильный диапазон изменения коэффициента извлечения металла. Второе – при увеличении C_{np} от 0,7 до 0,75 время t_{∂} будет уменьшаться, что является противоречием.

Исходя из этих замечаний, запишем формулу (5) в виде:

$$t_{\partial} = \frac{\ell^2 \cdot \ln \alpha \frac{8C_0}{C_{np} \cdot \pi^2}}{\pi^2 \cdot D_n}, \text{ сут}, \quad (6)$$

где α – некоторый параметр, $\ell > 0$, который определяется статистическим путем или экспериментально по схеме.

Для определения α принимаем $C_{np} = 0,7$, тогда формулу (6) запишем:

$$t_{\partial} = \frac{\ell^2 \cdot \ln \alpha \cdot 1,159}{\pi^2 \cdot D_n}. \quad (7)$$

Из уравнения (7) имеем:

$$\ln 1,159 \cdot \alpha = \frac{t_{\partial} \cdot \pi^2 \cdot D_n}{\ell^2} \quad (8)$$

Из уравнения (8) легко определить искомый параметр α из уравнения:

$$\alpha = \frac{1}{1,159} e^{\frac{t_{\partial} \cdot \pi^2 \cdot D_n}{\ell^2}} \quad (9)$$

Следует отметить, что коэффициент диффузии – D_n – зависит от концентрации реагентов в растворе, т.е.

$$D_n = f(K),$$

где K – содержание реагента в растворе, г/л.

Например, при выщелачивании золота цианидом $NaCN$ экспериментально получено простое уравнение:

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

где K – содержание $NaCN$ в растворе, г/л
и $0,25 \leq K \leq 1,25$ г/л.

Подставляя (10) в (6) получим t_{∂} в виде общей формулы:

$$t_{\partial} = \frac{10^3 \cdot \ell^2 \cdot \ln \frac{8C_0}{C_{np} \cdot \pi^2}}{\pi^2 \cdot (bK - a)}, \text{ сут}. \quad (11)$$

С другой стороны диффундирующий на поверхность куска руды металл должен постоянно смываться выщелачивающим раствором (ВР) и переносится на основание штабеля фильтрационным потоком. При недостаточном количестве ВР градиент концентрации металла на границе сред твердое и жидкое падает и процесс замедляется или совсем прекращается при нулевом градиенте.

Время фильтрации раствора через навал руды высотой H , м под действием сил гравитации определим, исходя из действительной скорости фильтрации ВР

$$V_{\partial} = \frac{K_{\Phi}}{K_n}, \text{ м/сут}, \quad (12)$$

где K_n – коэффициент эффективной пористости руды в навале, доли ед.; K_{Φ} – коэффициент фильтрации руды в навале, м/сут.

При проектировании или эксплуатации штабеля важнейшим параметром процесса КВ является f – отношение жидкого к твердому.

Если производительность насосов для орошения поверхности штабеля обозначим через Q – $\text{м}^3/\text{час}$, то объем прокачиваемых ВР будет:

$$Q_0 = 24 \cdot Q \cdot t_{\partial}, \text{ м}^3. \quad (13)$$

Масса штабеля выразится:

$$M_{ш} = \rho_n \cdot V_k, \quad (14)$$

где ρ_n – плотность руды в навале, $\text{т}/\text{м}^3$; V_k – объем кучи, м^3 .

Параметр f запишется в виде:

$$f = \frac{24 \cdot Q \cdot t_{\partial} \cdot \rho_p}{\rho_n \cdot V_k} \quad (15)$$

где f – безразмерная величина; ρ_p – плотность раствора $\rho_p \cong 1 \text{ т}/\text{м}^3$.

В соответствии с работой [2] число прокачек ВР через штабель для достижения проектного коэффициента извлечения будет:

$$N_{np} = \frac{f \cdot \rho_n}{K_n} \quad (16)$$

Время фильтрационного переноса металла в ПР будет теперь определено по формуле [2]:

$$t_{\phi} = \frac{H}{V_{\partial}} \cdot N_{np}, \quad (17)$$

Подставляя в (17) значения V_{∂} и N_{np} из (12), (15), (16), получим:

$$t_{\phi} = \frac{H \cdot f \cdot \rho_n}{K_{\phi} \cdot \rho_p}, \text{сут.} \quad (18)$$

Анализируя процесс кучного выщелачивания через эти два, описанных выше процесса, приходим к важному выводу, являющимся основополагающим для процесса кучного выщелачивания. Процесс кучного выщелачивания является идеальным, когда соблюдается условие равенства времени диффузионного выщелачивания металла из руды и времени фильтрационного переноса выщелачиванного металла через рудный штабель.

$$t_{\partial} = t_{\phi} \quad (19)$$

или в развернутом виде:

$$\frac{10^3 \cdot \ell^2 \cdot \ln \frac{8C_0}{C_{np} \cdot \pi^2}}{\pi^2 \cdot (bK - a)} = \frac{H \cdot f \cdot \rho_n}{K_{\phi} \cdot \rho_p} \quad (20)$$

Функцию (20) назовем уравнением идеального состояния параметров процесса КВ или **Законом кучного выщелачивания**.

Исходя из уравнения (20), определим главные геотехнологические параметры КВ.

Оптимальная высота штабеля при остальных известных или заданных параметрах:

$$H_0 = \frac{\ell^2 \cdot K_{\phi} \cdot \rho_p \cdot \ln \frac{8C_0}{C_{np} \cdot \pi^2}}{\pi^2 \cdot (bK - a) \cdot f \cdot \rho_n \cdot 10^3}, \text{ м.} \quad (21)$$

Оптимальный диаметр куска руды при остальных заданных параметрах:

$$\ell_0 = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot (bK - a) \cdot f \cdot \rho_n \cdot H}{10^3 \cdot \rho_p \cdot K_{\phi} \cdot \ln \frac{8C_0}{C_{np} \cdot \pi^2}}}, \text{ см.} \quad (22)$$

Оптимальная концентрация реагента при остальных заданных параметрах:

$$K_0 = \frac{10^3 \cdot K_{\phi} \cdot \rho_p \cdot \ell^2 \cdot \ln \frac{8C_0}{C_{np} \cdot \pi^2}}{\pi^2 \cdot f \cdot \rho_n \cdot H \cdot b} + \frac{a}{b}, \text{ г/л} \quad (23)$$

Уравнения (21), (22) и (23) являются основополагающими для проектирования штабелей КВ металлов.

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.

REFERENCES

- [1] Sh'juman P. Diffuzija v tverdyh telah. M.: Nauka, 1968. 320 s.
 [2] Rogov E.I., Jazikov V.G., Rogov A.E. Matematicheskoe modelirovanie v gornom dele. Almaty: Lem, 2002. 204 s.

МЕТАЛДАРДЫҢ ҮЙЛІП ШАЙМАЛАНУ ЗАҢДЫЛЫҚТАРЫ ТУРАЛЫ

Н. Б. Рыспанов

Тірек сөздер: диффузиялық еселіктер, фильтрлеудің тасымалы, металдың шоғырлануы, үйімнің шаймалануы.

Аннотация. Кен байыту орындарда металдардың үйліп шаймалану кен мен қалдықтарға талдау жасалып зерттелген.

Постуила 23.10.2014 г.