

КИНЕТИКА ФЛОТАЦИОННОГО ПРОЦЕССА

Шарифжанова Нилуфар Муратжановна*Ассистент Ташкентского университета информационных технологий,
базовый докторант Туринского политехнического университета,*

Аннотация: Предложено уравнение, описывающее закономерности кинетики флотационного процесса. Усовершенствованное уравнение кинетики флотации дает возможность объективно определять предельное время завершения процесса.

Ключевые слова: кинетика, флотация, математические модели, реагент-идентификатора.

Annotation: The equation describing regularities of kinetics of the flotation process is offered. The improved equation of kinetics of flotation enables objective determination of the time-limit of completion of the process.

Key words: kinetics, flotation, mathematical models, reagent-identifier.

Флотация – один из широко распространенных гидромеханических технологических процессов, применяемых в обогащении, металлургии и в технологиях очистки сточных вод промышленных предприятий. Очевидно, что повышение интенсификации перечисленных технологических процессов требует дальнейшего развития методов математического описания флотационных процессов – гетерокоагуляционного разделения дисперсных систем.

Процесс флотации является многофакторным процессом, характеризуется сложным взаимным влиянием различных факторов. Основные факторы, влияющие на скорость флотационного процесса, следующие: крупность частиц, содержание твердого в суспензии, степень аэрированности суспензии (расход воздуха, размер пузырьков, поверхность раздела ж-г), реагентный режим и характеристики аппарата [1,2].

Кинетика изучает вопросы, связанные со скоростью изменения показателей процесса. На основе исследования кинетики изменения поглотительной способности флотационных пульп по отношению к некоторым реагентам, разработан способ идентификации сортов руд по их способности к обогащению методом флотации. Идея способа основана на том, что флотационные свойства руды с переменным вещественным составом, зависят главным образом от состава вмещающих пород, характер которых может быть идентифицирован по изменению поглотительной способности пульпы в отношении определенного реагента-идентификатора подающегося в пульпу в 2 приема. Выбор реагента-идентификатора определяется вещественным составом руды. По отношению разности концентраций реагента-идентификатора к его удельному расходу и величине потенциала P2 идентифицируют сортность руды, сравнивая эти показатели с аналогичными, полученными в

результате предварительных исследований, выполненных на рудах данного месторождения или текущих рудах.

Для описания закономерностей кинетики флотационного процесса используются различные математические модели. Различают уравнения кинетики, полученные из различных моделей и имеющие порядок флотации, равный единице, и уравнения кинетики с порядком флотации, более единицы [1, 2, 4-8]. Первая модель кинетики флотационного процесса, которая основывалась на статистическом характере механизма исследуемого процесса, была предложена К.Ф.Белоглазовым. Для данной модели число столкновений за время dt пропорционально произведению

$$N(n_0 - x)dt,$$

а число частиц, попавших в концентрат, тем больше, чем выше прочность комплексов [1,2]:

$$dx = K_a N f (n_0 - x) dt, \quad (1)$$

где K_a – постоянная аппарата; N – число пузырьков газа, проходящее через суспензию; n_0 – количество флотируемых частиц; f – прочность образующихся комплексов; t – время процесса; x – количество частиц в момент времени t .

После интегрирования уравнения (1) получим

$$E = 1 - \exp(-kt), \quad (2)$$

или

$$\ln[1/(1 - E)] = kt, \quad (3)$$

где k – константа, учитывающая свойства аппарата и характер движения частиц и пузырьков; E – выход минерала в концентрат.

Следует отметить, что при выводе предполагалось, что суспензия мономинеральна и монодисперсна и ее флотируемость не изменяется в течение времени флотации, а объем системы, скорость подачи воздуха и его дисперсность, а также время пребывания пузырьков в суспензии постоянны. Процесс не лимитируется недостатком свободной поверхности воздушных пузырьков – имеет место свободная флотация. С целью уточнения зависимости (3) были разработаны другие модели, описывающие кинетику процесса флотации. Например, уравнение А.Д.Погорелого [7]:

$$-dc/dt = (a/V)/(S_0 - S), \quad (4)$$

где $(S_0 - S)$ – поверхность пузырьков, занятая частицами (величина, пропорциональная числу пузырьков в суспензии); a – масса частиц, которые устойчиво закрепляются на пузырьках; V – объем.

О.С.Богданов предложил учитывать флотоактивность с помощью уравнения вида [5]

$$dE/dt = K(1 - E)^n$$

Пусть в начальный момент времени ($t = 0$) в камере флотационной машины объемом V находится n_0 флотируемых частиц. В единицу времени через слой суспензии проходит N пузырьков газа, образующих при столкновении с частицами

комплексы, прочность которых оценивается величиной f . Пусть за время dt в концентрат переходит dx частиц, тогда в камере в момент времени t должно остаться $(n_0 - x)$ частиц. В этом случае уравнение материального баланса процесса будет иметь вид

$$dx = KNf \left[\frac{(n_0 - x)t_0^2}{t_0 - t} \right] dt. \quad (5)$$

Уравнение (5) преобразуем к виду

$$\frac{-dx}{n_0 - x} = KNf_0^2 \left[\frac{1}{t_0 - t} \right] dt = k \left[\frac{1}{t_0 - t} \right] dt. \quad (6)$$

Интегрируя (6) в пределах по x от 0 до x и по t от 0 до t , получим после несложных преобразований

$$-\ln(C/\tilde{N}_0) = kt(t_0 - t), \quad (7)$$

где $k = KNft_0^2$ - безразмерная константа; C - концентрация.

Тогда уравнение для расчета величины E процесса флотации примет вид

$$E = 1 - \exp \left[\frac{-kt}{t_0 - t} \right] = 1 - \exp \left[\frac{-kT}{1 - T} \right]. \quad (8)$$

где $T = t/t_0$.

Применение уравнения (8) в практике инженерных расчетов позволяет находить предельное время завершения флотационного процесса, что особенно важно для определения показателей работы аппаратов периодического и непрерывного действия, так как именно эта величина необходима для проведения расчетов значений E в единичном аппарате или в каскаде аппаратов непрерывного или периодического действия.

Следует отметить, что зависимость (8) может быть преобразована к виду (2), в чем легко можно убедиться при условии, что $t_0 \gg t$, тогда $t_0 - t \approx t_0$. Следовательно, можно записать

$$E = 1 - \exp \left[\frac{-kt}{t_0 - t} \right] = 1 - \exp \left[-\frac{k}{t_0} t \right] = 1 - \exp(-k_1 t).$$

Значения параметров k и t_0 могут быть рассчитаны также аналитическим (симплексным) методом [3] при использовании двух или трех точек, снятых с экспериментальной кривой. Применяя симплексный метод, зависимость (8) преобразуем в симплексно-критериальную форму, тогда двум любым моментам времени t_i и $t_i + 1$ на экспериментальной кривой $C = f(t)$ будут соответствовать значения концентраций C_i и C_{i+1} , а уравнение (8) может быть представлено соответственно для моментов времени t_i и $t_i + 1$:

$$t_i = \left(\frac{t_0}{k} \right) \left[\frac{1}{k} + \frac{1}{\ln(C_0/C_i)} \right]^{-1}; \quad (9)$$

$$t_{i+1} = \left(\frac{t_0}{k} \right) \left[\frac{1}{k} + \frac{1}{\ln(C_0/C_{i+1})} \right]^{-1}. \quad (10)$$

Решая совместно (9) и (10), после несложных преобразований имеем

$$\ln S_c = \left[\frac{t_0 \Delta t}{t_0 t_a - t_g^2} \right]^{-1} \ln(C_0/C_g),$$

откуда получаем выражение для расчета предельного времени флотации по двум экспериментальным точкам

$$t_0 = \frac{t_g^2 \ln S_C}{t_a \ln S_C - \Delta t (C_0/C_g)},$$

где $C_g = \sqrt{C_i C_{i+1}}$ – среднегеометрическое значение величин C_i и C_{i+1} ; t_a – средне-арифметическое значение интервала времени; t_g – среднегеометрическое значение интервала времени; $\Delta t = t_{i+1} - t_i$ – интервал времени; $S_C = C_{i+1}/C_i$ – симплекс временного подобия.

Значение константы t_0 может быть также рассчитано по уравнению

$$t = \frac{[k(S_t-1)-(S_t+1)\ln S_C]^2 - 4S_t \ln^2 S - [k(S_t-1)-(S_t+1)\ln S_C]}{2(S_t-1)\ln S_C} \quad (11)$$

Проведенные исследования показали, что предложенная выше уточненная кинетическая зависимость (8) позволяет более точно описать закономерности кинетики процесса флотации и одновременно дает возможность рассчитать предельное время флотационного процесса t_0 , которое является его важной характеристикой.

ЛИТЕРАТУРА :

1. Белоглазов К.Ф. Закономерности флотационного процесса. М.: Metallurgizdat, 1947.
2. Белоглазов К.Ф. Кинетика флотационного процесса // Тезисы докладов сессии по физико-химическим проблемам обогащения. М.: Metallurgizdat, 1938.
3. Белоглазов И.Н. Твердофазные экстракторы (Инженерные методы расчета). Л.: Химия, 1985.
4. Волкова З.В. Кинетика пенно-флотационного процесса // Уч.зап. Моск.пед. института. 1966. № 267.
5. Вопросы теории и технологии флотации / О.С.Богданов, А.К.Поднек, В.Я.Хайман и др. // Труды института «Механобр». 1959. Вып. 124.
6. Митрофанов С.И. Селективная флотация. М.: Недра, 1967.
7. Погорелый А.Д. Границы использования кинетического уравнения флотации К.Ф.Белоглазова // Изв. вузов. Цветная металлургия. 1962. № 1
8. Рубинштейн Ю.Б. Кинетика флотации / Ю.Б.Рубинштейн, Ю.А.Филипов. М.: Недра, 1980