

РЕДУКЦИЯ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ СОПУТСТВУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ К СИСТЕМЕ КРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ

Павлыш В.Н., Перинская Е.В. (ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)
Тел. +38 (062) 3052301; E-mail: pavlysh@fvti.dgtu.donetsk.ua

Abstract: During enriching of extracted mine mass in many cases after obtaining of base product exist remains, that contain accompanying useful things, which may be addition obtained. In the article the method of modeling of process of obtaining of nonmetal materials, based on criterion dependents, is considered.

Key words: model, process, useful minerals, equipment, criterion.

Актуальность задачи. При обогащении ряда полезных ископаемых после извлечения основного продукта остаются отходы, содержащие спектр различных веществ, некоторые из которых имеют заметное содержание. В настоящее время проблеме переработке «хвостов» обогащения уделяется серьезное внимание, при этом важное значение для совершенствования технологии имеет исследование процессов методом математического моделирования. В этой связи тема работы является актуальной.

Постановка проблемы. В результате работы горнодобывающих предприятий и обогатительных фабрик остаются породные отвалы, отрицательно влияющие на состояние окружающей среды. Их удаление требует значительных материальных и трудовых затрат. Вместе с тем, эти отвалы содержат множество полезных элементов, извлечение которых дает значительный экономический эффект. Поэтому проблема разработки способов и совершенствования технологии занимает все более важное место в экономике.

Теоретический анализ исследования. Ряд неметаллических материалов, используемых в технике (в частности, ферриты), получают путем осаждения твердой фазы из суспензии [1]. Математические модели процессов получения суспензии в аппаратах с конвективными компонентами основываются на уравнениях в частных производных и позволяют исследовать основные параметры технологического оборудования [2, 3]. Вместе с тем, для оперативного расчета параметров процесса важно иметь приближенные зависимости, позволяющие обойтись без применения компьютера. Задачей данной работы является разработка модели, основанной на критериальных зависимостях.

Цель статьи – совершенствование математического аппарата для исследования и расчета параметров процесса получения неметаллических материалов из технологических отходов.

Задача исследования – разработка методов расчета удельной поверхности твердого осадка, выпадающего из суспензии и содержащего частицы полезного материала.

Основные результаты исследования. В математической постановке задача сводится к построению функциональной зависимости диаметра частицы твердой фазы (кристалла) от следующих параметров: концентраций поступающих компонент, их расхода, угловой скорости вращения мешалки, рабочей камеры размеров аппарата, вязкости среды, температуры смеси в аппарате, времени зарождения частицы, pH - среды, веса частицы и времени пребывания ее в рабочей камере. При этом следует учитывать, что удельная поверхность обязана быть величиной в пределах $0,2 \pm 0,05$ м²/г. (Ограничение продиктовано практической необходимостью [1]).

Построим критериальное уравнение роста диаметра кристалла d , исходя из следующей зависимости:

$$d=f(C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, Q_1, Q_2, Q, \omega, D, H, T, \tau, \rho H, v, p, q, \theta_1, \theta_2), \quad (1)$$

где C_k - концентрации исходных веществ, Q_k - расход их поступления, Q - расход на выходе, ω - угловая скорость вращения мешалки, D, H - диаметр и высота рабочей камеры, T - время пребывания кристалла (старения) в аппарате, τ - время зарождения, τ - вязкость, q - ускорение свободного падения (т. е. учёт массовых сил), p - давление, θ_1 - температура смеси, θ_2 - температура окружающей среды. Выберем размерности входных параметров следующими:

$$C_k=[\text{кмоль}/\text{м}^3], Q_k=[\text{кг}/\text{с}], \omega=[\text{T}/\text{с}], D=[\text{м}], H=[\text{м}], T=[\text{с}], \tau=[\text{с}], v=[\text{м}^2/\text{с}], \theta_k=[\text{град}], p=[\text{кг}/\text{м}\times\text{с}^2], q=[\text{м}^2/\text{с}]$$

Далее, пусть l - длина в метрах, t - время в секундах, m - масса в кг, χ - температура в градусах. Тогда исходя из (1) построим алгебраическую зависимость:

$$l = k \cdot \left(\frac{m}{l^3}\right)^{x_1} \left(\frac{m}{l^3}\right)^{x_2} \left(\frac{m}{l^3}\right)^{x_3} \left(\frac{m}{l^3}\right)^{x_4} \left(\frac{m}{l^3}\right)^{x_5} \left(\frac{m}{t}\right)^{y_1} \left(\frac{m}{t}\right)^{y_2} \left(\frac{m}{t}\right)^{y_3} \left(\frac{1}{t}\right)^n \times \\ l^{z_1} l^{z_2} t^j t^\rho (\rho H)^\alpha \left(\frac{l^2}{t}\right)^\beta \left(\frac{l}{t^2}\right)^\gamma \left(\frac{m}{lt^2}\right)^\lambda \chi^{\mu_1} \chi^{\mu_2}$$

Отсюда следует система линейных уравнений:

$$\begin{aligned} 1: \quad I &= 3x + z_1 + z_2 + 2\beta + \gamma + \lambda; \\ m: \quad 0 &= x + y + \lambda; \\ t: \quad 0 &= -y - n + j + \rho - \beta - 2\gamma - 2\lambda; \end{aligned}$$

Здесь:

$$x = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5; \quad y = y_1 + y_2 + y_3.$$

Из второго уравнения находим:

$$\lambda = -(x + y).$$

Подставляем найденное значение λ в первое и третье уравнение получаем:

$$\begin{aligned} I &= -3x + z_1 + z_2 + 2\beta + \gamma + y \\ 0 &= -y - n + j + \rho - \beta - 2\gamma - 2(x + y) \end{aligned}$$

Откуда следует система линейных уравнений для нахождения β и γ :

$$\begin{aligned} 2\beta + \gamma &= I + 2x - (z_1 + z_2) - y \\ \beta + 2\gamma &= y + n - j - \rho - 2(x + y). \end{aligned} \quad (2)$$

Решив систему (2), получим:

$$\gamma = \frac{2}{3}j + \frac{2}{3}\rho - \frac{2}{3}n + y + \frac{2}{3}x - \frac{1}{3} + \frac{1}{3}(z_1 + z_2);$$

$$\beta = -\frac{1}{3} - \frac{\rho}{3} + \frac{n}{3} - y + \frac{2}{3}x + \frac{2}{3} - \frac{2}{3}(z_1 + z_2);$$

$$\lambda = -(x + y); \quad x = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5; \quad y = y_1 + y_2 + y_3;$$

$$\mu_1 + \mu_2 = 0.$$

Таким образом, приходим к следующей зависимости:

$$d = k C_1^{x_1} C_2^{x_2} C_3^{x_3} C_4^{x_4} C_5^{x_5} Q_1^{y_1} Q_2^{y_2} Q^{y_3} w^n D^{z_1} H^{z_2} T^j \tau^\rho (pH)^\alpha v^{\frac{j\rho+n}{3} + \frac{n}{3} - y + \frac{2}{3}x - \frac{2}{3}(z_1+z_2)} \times \quad (3)$$

$$\times q^{\frac{2}{3}j + \frac{2}{3}\rho - \frac{2}{3}n + y + \frac{2}{3}x - \frac{1}{3} + \frac{1}{3}(z_1+z_2)} p^{-(x+y)} \theta_1^{\mu_1} \theta_2^{\mu_2}$$

Отсюда следует критериальное уравнение:

$$d \cdot \frac{q^{1/3}}{v^{1/3}} = k \cdot \left(C_1 \cdot \frac{v^{2/3} q^{2/3}}{\rho} \right)^{x_1} \left(C_2 \cdot \frac{v^{2/3} q^{2/3}}{\rho} \right)^{x_2} \left(C_3 \cdot \frac{v^{2/3} q^{2/3}}{\rho} \right)^{x_3} \left(C_4 \cdot \frac{v^{2/3} q^{2/3}}{\rho} \right)^{x_4} \times$$

$$\times \left(C_5 \cdot \frac{v^{2/3} q^{2/3}}{\rho} \right)^{x_5} \left(\frac{Q_1 \cdot q}{v\rho} \right)^{y_1} \left(\frac{Q_2 \cdot q}{v\rho} \right)^{y_2} \left(\frac{Q \cdot q}{v\rho} \right)^{y_3} \left(\frac{\omega \cdot v^{1/3}}{q^{2/3}} \right)^n \left(\frac{D \cdot q^{1/3}}{v^{2/3}} \right)^{z_1} \left(\frac{H \cdot q^{1/3}}{v^{1/3}} \right)^{z_2} \times \quad (4)$$

$$\times \left(\frac{T \cdot q^{2/3}}{v^{1/3}} \right)^j \left(\frac{\tau \cdot q^{2/3}}{v^{1/3}} \right)^\rho \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^\mu (pH)^\alpha$$

Здесь k - коэффициент пропорциональности. Уравнение (4) содержит 15 безразмерных комплексов (1), причем число переменных $n=19$, а число измерений $m=4$, т. е. $n-m=15$.

Неизвестные числа $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, y_1, y_2, y_3, n, z_1, z_2, j, \rho, \mu, \alpha$ определяются методом Монте-Карло при условии, что величины $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, Q_1, Q_2, Q, \omega, D, H, T, \tau, pH, v, \rho, \theta_1, \theta_2$ - известны (либо определены опытным путем).

Итак, считая формулу (4) известной, определяем теперь удельную поверхность по формуле:

$$S_{y\partial} = \frac{6000}{d \cdot \rho}.$$

При численной реализации задачи были использованы следующие численные значения параметров:

$C_1=185,3$ г/л (концентрация $FeSO_4$),

$C_2= 20,6$ г/л (концентрация $ZnSO_4$),

$C_3= 57,3$ г/л (концентрация $MnSO_4$),

$C_4= 2,5$ г/л (концентрация $NiSO_4$),

$C_5=210$ г/л(концентрация NH_4HCO_3),

$Q_1=25-30$ л/мин (поступление смеси растворов солей Fe, Mn, Zn, Ni)

$Q_2=40-60$ л/мин (поступление углеаммонийной соли),

$V=9$ м³ (объем цилиндрического реактора),

$R=0,5$ м,

$T=40-80$ мин. (время пребывания кристалла в реакторе),

$\tau=5$ сек. (время зарождения кристалла),

$\theta_1=50^\circ-55^\circ$ С (температура процесса осаждения)

$\omega=(100-1000)$ об/мин (угловая скорость вращения мешалки),

$S_{y\partial}=0,2\pm 0,05$ (удельная поверхность твердого осадка),

$v=0,7$ (вязкость жидкой фазы)

$\rho=1250$ кг/м³ (плотность суспензии)

Критериальное уравнение (4) позволяет найти $S_{y\partial}$ при различных значениях расходов Q_1, Q_2 и угловой скорости вращения мешалки ω . Полученные результаты считаются допустимыми, если $S_{y\partial} \in [0,15; 0, 25]$ г/м².

В табл. 1 указаны значения $S_{y\partial}$ при $Q_1=0,525; Q_2=0,875$ и различных значениях ω .

В табл. 2 приводятся значения $S_{y\partial}$ при $\omega=5, Q_2=0,875$ и различных $Q_1, 0,405 < Q_1 < 0,885$ с шагом 0,06.

В таблице 3 $\omega=5, Q_1=0,525, 0,405 \leq Q_2 \leq 0,885$ с шагом 0,06.

Таблица 1. Расчет $S_{y\partial}$ в зависимости от ω

ω	Q_1	Q_2	$S_{y\partial}$
1,67	0,525	0,875	0,033
3,34	-	-	0,107
5,01	-	-	0,215

Таблица 2. Расчет $S_{y\partial}$ при различных Q_1

ω	Q_1	Q_2	$S_{y\partial}$
5	0,405	0,875	0,16
5	0,465	0,875	0,19
5	0,525	0,875	0,21
5	0,585	0,875	0,24
5	0,585	0,875	0,24
5	0,645	0,875	0,26
5	0,705	0,875	0,28
5	0,765	0,875	0,31
5	0,825	0,875	0,33
5	0,885	0,875	0,35

Таблица 3. Расчет $S_{y\partial}$ при различных Q_2

ω	Q_1	Q_2	$S_{y\partial}$
5	0,525	0,405	0,16
5	0,525	0,465	0,17
5	0,525	0,525	0,18
5	0,525	0,585	0,19
5	0,525	0,645	0,193
5	0,525	0,705	0,2
5	0,525	0,765	0,205
5	0,525	0,825	0,21
5	0,525	0,885	0,213

Выводы. Построенная критериальная модель на базе установленного функционального соотношения позволяет исследовать численным путем зависимость диаметра кристалла d от 19 переменных ($C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, Q_1, Q_2, Q, \omega, D, H, T, \tau, pH, v, \rho, \theta_1, \theta_2$). Практически важным является исследование диаметра d в зависимости от расходов Q_1, Q_2 и угловой скорости вращения мешалки ω . Результаты численных просчетов позволяют установить соответствующие зависимости.

Укажем также, что данной зависимостью можно пользоваться при прогнозировании величины $S_{y\partial}$ в зависимости от основных параметров при помощи ЭВМ.

Список литературы: 1. Вассерман И. М. Химическое осаждение из растворов.- Л.: Химия, 1980.-204С. **2.** Павлыш В. Н., Перинская Е. В. Математическое моделирование машин, включающих узлы конвективного типа. Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сборник научных трудов. - Донецк: ДонНТУ,- 2002. -Выпуск 21. - стр. 178 - 184. **3.** Павлыш В. Н., Перинская Е. В. Моделирование и расчет параметров машин, содержащих конвективные узлы и дополнительные конструкции. Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сборник научных трудов - Донецк,: ДонНТУ, 2004,-Выпуск 28.- стр. 224 - 230.