

тестовые формы контроля — максимум 55 (20 — средний балл за рубежный контроль и максимум 35 — за экзамен). Деятельность студента в течение семестра сказывается на его итоговой оценке лишь на 45 %, остальное зависит от того, как он проходит тестирование. Причем в такой форме контроль осуществляется по всем 100 % изучаемых дисциплин. Так как тестовая система несовершенна, об объективности такой оценки пока говорить не приходится.

Таким образом, при наличии перечисленных недостатков и погрешностей применения метода тестирования как формы контроля знаний показатели качества обучения на данном этапе могут вызывать сомнения. Для изменения сложившейся ситуации требуется дальнейшее совершенствование тестовых форм контроля успеваемости, а также разумное их сочетание с традиционными формами контроля знаний.

References

1. *Avanesov V.S.* The application of tasks in the test form in the new educational technologies // *Educational Technology*. — 2007. — № 4. — P. 45–68.
2. *Bogdanov I.V., Lazarev S.V. et al.* Psychology and Pedagogics // <http://www.myword.ru>
3. *Kazdanyan S.S.* About application of the test technology of validation in higher education // *Innovation and advanced technologies in the education system*. — Penza – Yerevan – Shadrinsk: Sociosphere, 2011. — 317 p.
4. *Kovalev G.S.* Peculiarities of the national exams in the world // *National Education*. — 2004. — № 2. — P. 21–32.
5. *Efremova N.F.* Test control in education. — M.: The University Book, Logos, 2007. — 263 p.
6. *Allahverdiyev D.T.* Experience of using tests for didactic teaching expertise // *Higher education in Russia*. — 1993. — № 2. — P. 102–104.
7. *Sharipova Z.M.* Experience of introduction the credit system of education on Chemistry Department of KSU after E.A.Buketov // *Bulletin of KSU. Chemistry Series*. — 2005. — № 3(39). — P. 13–16.

УДК 536.7:546.19:669.75

Кинетические аспекты процесса осаждения висмута оксидом свинца

Kinetic aspects of the bismuth extraction process with lead oxide

Омаров Х.Б., Алдабергенова С.К., Абсат З.Б., Кочегина Е.В.

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова (E-mail: aldsau@mail.ru)

Құрамында мыс бар қорғасын оксидының технологиялық ерітінділерінен висмутты бөліп алу үрдісі зерттелді. Үрдістің тиімді жағдайлары анықталды, висмутты тұндыру жылдамдығының температурадан тәуелділігі зерттелді, белсендіру энергиясының мәндері есептелді және олардың негізінде үрдістің жүру мүмкіндігінің қорытындысы берілді. Жүргізілген тәжірибе нәтижелері құрамында мыс бар технологиялық ерітінділерден висмутты қорғасын оксидпен бөліп алудың принципалды мүмкіндігі көрсетілді.

Investigation of the extraction process of bismuth from technological copper-containing solution with lead oxide was carried out. The optimal conditions for carrying out the process were established. The dependence of bismuth precipitation velocity on temperature was studied; the values of activation energy were calculated. The conclusions about possible character of the process were made on the basis of these calculations. The mathematical correlations obtained in the result of calculations were verified on the validity and significance by using statistical tests. The results of experiments carried out showed the principal possibility of bismuth extraction from technological copper-containing solution with this oxide.

Изучение физико-химических, термодинамических и кинетических параметров пиро- и гидро-металлургических процессов позволяет оптимизировать и повысить их эффективность.

Заключительной стадией получения высококачественной меди является электрорафинирование. Именно от процесса электрорафинирования зависит качество меди. В результате высокоэффективного проведения электрорафинирования возможно получить медь чистотой 99,9999 %. Однако

проведение данного процесса затрудняется наличием вредных примесей в электролите, таких как мышьяк, сурьма, висмут, которые имеют электрохимический потенциал, близкий к меди. При наличии высоких концентраций примесей часть электролита выводится из технологического цикла для получения медного купороса.

Одним из перспективных методов решения данной задачи является удаление перечисленных выше примесей в виде труднорастворимых соединений — арсенатов, антимонатов, висмутатов.

Для количественного описания процессов, на протекание которых комплексным образом влияют несколько внешних факторов одновременно, в настоящее время применяется ряд методов математического планирования эксперимента, основывающихся как на причинно-следственном, так и на вероятностном подходе. Благодаря данному методу с помощью полученных математических моделей можно изучать как внутренние связи процесса (находить энергию активации, термодинамические константы), так и прогнозировать поведение системы в изменяющихся внешних условиях (рассчитывать выход продукта в реакторах с распределенными параметрами в различных игровых ситуациях) [1; 2].

В данной работе приведены результаты исследований осаждения висмута оксидом свинца из медного электролита методом математического планирования эксперимента, основанном на вероятностном подходе [3] с использованием обобщенного многофакторного уравнения Протодяконова, при помощи которого выведена зависимость скорости процесса от температуры и рассчитана энергия активации процесса.

Исследования проведены по пятифакторной матрице на четырёх уровнях. В качестве факторов взяты: отношение Pb:Bi (0,5:1; 1:1; 1,5:1; 2:1); температура, °C (25, 40, 55, 70); концентрация серной кислоты, г/л (80, 100, 120, 140); продолжительность, мин (15, 30, 45, 60) и способ подачи осадителя (одновременно или частями) (1–4).

Навеску оксида свинца, взятую в необходимом соотношении к висмуту, вводили в раствор медного электролита с заданной температурой. Температура поддерживалась водяным термостатом с точностью ± 2 °C. Процесс осаждения висмута из медьсодержащего сернокислого раствора проводили при непрерывном перемешивании с продолжительностью, диктуемой условием матрицы. По истечении заданного времени твердые осадки отделяли фильтрованием, в фильтрате определяли остаточное содержание висмута титриметрическим методом после выделения из азотнокислого раствора пирофосфатом натрия [4].

После проведения экспериментов осуществлена выборка результатов на точечные зависимости и рассчитаны алгебраические описания точечных зависимостей. Проверка адекватности зависимостей проводилась с использованием коэффициента корреляции:

$$R = \sqrt{1 - \frac{(N-1) \sum_1^N (y_s - y_m)^2}{(N-K-1) \sum_1^N (y_s - y_{cp})^2}} > 0,66, \quad (1)$$

где N — число описываемых точек; K — число действующих факторов; y_s — экспериментальное значение результата; y_m — теоретическое значение; y_{cp} — среднее экспериментальное значение.

Значимость коэффициента корреляции определялась неравенством

$$t_R = \frac{R\sqrt{n-k-1}}{1-R^2} > 2. \quad (2)$$

Статистическое описание частных зависимостей представлено обобщённым уравнением Протодяконова:

$$y_{II} = \frac{\prod_{i=1}^k y_i}{y_{cp}^{k-1}}, \quad (3)$$

где y_{II} — многофакторная функция Протодяконова; y_i — частные функции; k — число факторов; y_{cp} — среднее значение всех учитываемых результатов эксперимента.

Для процесса осаждения висмута оксидом свинца (II) обобщенное уравнение Протодяконова представлено следующим выражением:

$$Y_{II} = (4,28 + 82,65x_1 + (-27,8)x_1^2) \cdot (1,1 + 1,7x_2 + (-0,01)x_2^2) \cdot (0,3 + 1,05x_3 + (-0,0047)x_3^2) \times \\ \times (5,37 + 3,07x_4 + (-0,0039)x_4^2) 56,52^{-3}. \quad (4)$$

Анализ уравнений и экспериментальных данных на адекватность даёт корреляционное отношение R и t_R , что повышает установленный критерий $t_R > 2$ и свидетельствует об удовлетворительной точности описания процесса осаждения висмута оксидом свинца, где $R = 0,87$, а $t_R = 12,1$.

Уравнение (4), являющееся математической моделью процесса, даёт возможность определить оптимальные условия его реализации при различном сочетании действующих факторов.

На основании проведенных расчетов рекомендуется следующий оптимальный режим для процесса осаждения висмута оксидом свинца: $Pb:Bi = 2:1$, температура $70^\circ C$, концентрация серной кислоты = 140 г/л, продолжительность осаждения 60 мин и способ подачи осадителя (одновременно или частями) равен 1.

После преобразования и дифференцирования обобщенного уравнения Протодьяконова возможно вычислить скорость процесса и зависимость скорости процесса от температуры:

$$y_c = e^{-\frac{a}{y_n^b}}, \quad (5)$$

$$y_n = \frac{y_1 \cdot y_2 \cdot y_3 \cdot y_4 \cdot y_5}{y_{cp}^n}, \quad (6)$$

$$y_2 = cx_2^d, \quad (7)$$

где x — время.

Дифференцируя уравнение (5) и подставив (6) и (7), получаем:

$$\frac{\partial y_c}{\partial x_2} = y_c(-a) \cdot (-b)y_n^{-b-1} \frac{dy_n}{dx_2} = y_c a b y_n^{-b} \cdot \frac{y_{cp}^k \cdot y_1 \cdot y_3 \cdot y_4 \cdot y_5}{y_1 \cdot y_3 \cdot y_4 \cdot y_5 \cdot y_{cp}^k} \cdot \frac{dy_2}{dx_2} = a b y_c y_n^{-b} y_2^{-1} \frac{\partial y_2}{\partial x_2}, \quad (8)$$

y_1, y_3, y_4, y_5 — все значения функции, кроме τ (времени).

После логарифмирования:

$$\ln y_c = -a y_n^{-b} = -a \left(\frac{y_1 \cdot y_3 \cdot y_4 \cdot y_5}{y_{cp}^k} \right)^{-b} y_2^{-b} \Rightarrow y_2^{-b} = \frac{-\ln y_c}{a} \cdot \left(\frac{y_{cp}^k}{y_1 \cdot y_3 \cdot y_4 \cdot y_5} \right)^{-b}, \quad (9)$$

где

$$y_2 = \left(\frac{-a}{\ln y_c} \right)^{1/b} \cdot \frac{y_{cp}^k}{y_1 \cdot y_3 \cdot y_4 \cdot y_5}. \quad (10)$$

Частная производная уравнения (10)

$$\frac{\partial y_c}{\partial x_2} = -b y_c \ln y_c y_2^{-1} \frac{\partial y_2}{\partial x_2} \quad (11)$$

справедлива при любых дифференциальных функциях.

Учитывая, что $y_2 = cx_2^d$, получим:

$$\frac{\partial y_2}{\partial x_2} = c d x_2^{d-1} = y_2 \frac{d-1}{d} \left(c^{1/d} \cdot d \right) = c^{1/d} \cdot d \cdot y_2^{1-\frac{1}{d}}. \quad (12)$$

Тогда, подставив уравнение (8), имеем:

$$\begin{aligned} \frac{\partial y_c}{\partial x_2} &= -b y_c \ln y_c c^{1/d} \cdot y_2^{-1/d} = -b y_c \ln y_c c^{1/d} d \left(-\frac{\ln y_c}{a} \right)^{1/bd} \cdot \left(\frac{y_1 \cdot y_3 \cdot y_4 \cdot y_5}{y_{cp}^k} \right)^{1/d} = \\ &= -b d c^{-1/d} y_c \ln y_c \left(-\frac{\ln y_c}{a} \right)^{1/bd} \cdot \left(\frac{y_1 \cdot y_3 \cdot y_4 \cdot y_5}{y_{cp}^k} \right)^{1/d}. \end{aligned} \quad (13)$$

Конечное уравнение (13) позволяет рассчитать скорость процесса в зависимости от времени.

На основе уравнения Протодьяконова зависимость скорости степени осаждения висмута оксидом свинца от температуры найдена методом наименьших квадратов:

$$\ln \frac{\partial y}{\partial x_2} = 12,52 - 5012,3x, \quad (14)$$

где $x = 1/T$, откуда по множителю $b = -\frac{E}{R}$ определена $E = 49,8$ кДж/моль. Изменение скорости процесса осаждения висмута оксидом свинца (II) от температуры приведено в таблице и на рисунке.

Т а б л и ц а

Изменение скорости процесса осаждения висмута оксидом свинца (II) от температуры

Температура, К	$\frac{\partial y_c}{\partial x_2}$	$\ln \frac{\partial y_c}{\partial x_2}$
298	$2,82 \cdot 10^{-3}$	-16,69
313	$2,77 \cdot 10^{-3}$	-15,97
328	$2,72 \cdot 10^{-3}$	-15,27
343	$2,67 \cdot 10^{-3}$	-14,52

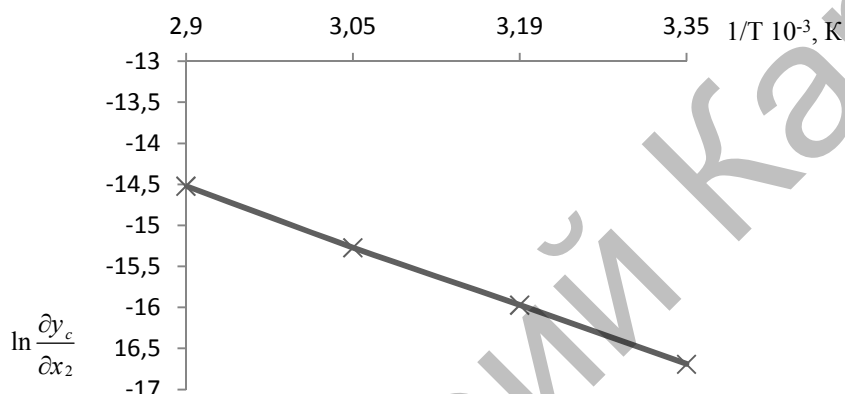


Рис. Изменение скорости процесса осаждения висмута оксидом свинца (II) от температуры

Таким образом, гетерогенный процесс осаждения висмута оксидом свинца протекает в диффузионно-кинетической области, что характерно для смешанной кинетики гетерогенных процессов. Поэтому с целью интенсификации процесса и увеличения скорости диффузии необходимы интенсивное перемешивание, увеличение соотношения оксида свинца к висмуту и повышение температуры и кратности дозирования сорбента.

References

1. *Malyshev V.P.* Random-determined planning of experiment. — Alma-Ata: Nauka, 1981. — 116 p.
2. *Malyshev V.P.* Mathematic planning of metallurgic and chemical experiments. — Alma-Ata: Nauka, 1977. — 36 p.
3. *Malyshev V.P.* The random-determined description. — Almaty: Nauka, 1994. — 373 p.
4. *Korostelev P.P.* The chemical analysis in metallurgy. — M.: Metallurgiya, 1988. — 384 p.