

УДК 622.7:519.217.4

А.Д. ПОЛУЛЯХ, д-р техн. наук,
В.Ф. ПОЖИДАЕВ, д-р техн. Наук
Днепропетровск, Приднепровская лаборатория "УкрНИИуглеобогащение"),
В.Б. ТОМИЛИН
(Украина, пос. Фащевка ЦОФ "Комендантская")

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ В ГИДРОЦИКЛОНЕ НА ОСНОВЕ ВЫВОДА КРИВОЙ ИЗВЛЕЧЕНИЯ

Кривые извлечения являются основой расчета показателей разделения продуктов обогащения. Реальные экспериментальные данные далеки от кривой типа функции распределения нормального закона, называемой кривой Тромпа. Нельзя применять чисто статистические приемы, не связанные с реальной физикой процесса. Поэтому задача обоснования аналитического выражения кривых разделения – актуальна.

На ЦОФ "Комендантская" были проведены испытания гидроциклона с сифонной разгрузкой слива ЦАС-320. Математическое описание кривых разделения следует из решения уравнения случайного блуждания по вертикальной оси (по отношению к нижней поверхности аппарата), записанного в виде уравнения Колмогорова-Фоккера-Планка относительно концентраций [1, 2]:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + V \frac{\partial c}{\partial y}$$

Здесь $c = c(t, y)$ – значение доли частиц в момент времени t в точке y . Ось Oy считаем направленной вверх; D – коэффициент диффузии, $\text{м}^2/\text{с}$; V – коэффициент сноса, соответствующий вертикальной составляющей скорости частицы, $\text{м}/\text{с}$. Смесь неоднородна по своим физическим свойствам. Для каждого класса (или фракции) можно записать уравнение случайного блуждания со своими условиями прохождения частиц сквозь поверхность извлечения. Достигнув точки $y = 0$, частица с вероятностью $1 - p$ отражается, т.е. возвращается к процессу блуждания, или с вероятностью p поглощается

екраном, т.е. извлекается в свой продукт, выйдя из процесса блуждания.

Отражение происходит с вероятностью $1 - p = 1 - p(x)$. Следовательно, условие полного отражения можно записать как равенство нулю потока частиц

$$D \frac{\partial c}{\partial y} + Vc = 0$$

через экран, т.е. $c = 0$. Условию полного поглощения соответствует $c = 0$. Это событие происходит с вероятностью P .

Поэтому взвешенная сумма этих двух равенств дает граничное условие для дифференциального уравнения (1) в частных производных при условии $y = 0$:

$$(1 - p) \left(D \frac{\partial c}{\partial y} + Vc \right) - \mu V p c = 0$$

где $\mu > 0$ – безразмерный коэффициент.

Если обозначить безразмерное время как $\tau = V^2 t / 4D$, через $K(x)$ – вспомогательную функцию как $K(x) = \tau \cdot g(2 - g)$, где

$$g = \frac{1 - L}{L} \cdot \frac{p(x)}{1 - p(x)} \theta$$

а промежуточную функцию как

$$f(x) = (1 - e^{-K(x)}) / K(x),$$

то извлечение материала с характеристикой x можно записать как $\varepsilon(x) = 1 - f(x)$.

Полученные зависимости могут быть использованы для прогнозирования результатов технологических процессов разделения и выбора оптимальных конструктивных параметров обогатительного оборудования. На практике представляет интерес определение результатов процесса разделения смеси, в частности, извлечение полезного продукта $\varepsilon(x)$. Значения $\varepsilon(x)$ могут быть получены экспериментально как функция $\tilde{\varepsilon}(x)$ или теоретически $\hat{\varepsilon}(x)$, решением исходного уравнения.

Следуя идеям, заложенным в кривых извлечения Тромпа и исходя из решения уравнения Фоккера-Планка, в качестве кривой извлечения можно предложить:

$$E = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{x}{m}\right)$$

Однако, поскольку идеальное извлечение ($E = 1$) невозможно встретить на практике, логично ввести некий поправочный коэффициент E_{\max} , представляющий собой максимальное извлечение экспериментальных данных. Например, в процессах классификации на крутонаклонных грохотах в подрешетный продукт (класс -6 мм) извлечение тонких классов ($-0,5$ мм) практически никогда не будет равно 100%. Аналогичная картина наблюдается и для основных процессов обогащения. Тогда можно записать

$$E = E_{\max} \left(1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{x}{m}\right) \right)$$

Параметр E_{\max} определяет максимально возможное извлечение, допустимое на данном аппарате или в данном процессе. При известном значении E_{\max} находим относительную величину извлечения

$\tilde{E} = \frac{E}{E_{\max}} = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{x}{m}\right)$. При $x = m$ $\tilde{E} = 0,5$. Таким образом $x = m$ соответствует приблизительно граничной крупности или плотности разделения. Третий параметр s связан с интенсивностью падения извлечения вблизи точки $x = m$.

Для предварительной оценки параметра s продифференцируем полученное выражение

$$\frac{dE}{dx} = -\varphi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{x}{m}\right) \cdot \frac{E_{\max}}{sx} = -\frac{1}{sx} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-0,5\left(\frac{1}{s} \ln \frac{x}{m}\right)^2}$$

В точке $x = m$ $-\frac{dE}{dx}\Big|_{x=m} = \frac{1}{sm} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} = k$, где k – модуль тангенса угла наклона

кривой. Отсюда $s = \frac{1}{km\sqrt{2\pi}}$.

Для подбора начальных значений для параметров m , k , s при $E_{\max} \approx 1$, и соответственно, $E \approx \tilde{E}$ можно предложить следующую схему: пусть x_1 и x_2 таковы, что $E_1 = E(x_1)$ приближается к $E = 0,5$ справа, а $E_2 = E(x_2)$ – слева. Тогда

$$m = \frac{x_1 + x_2}{2}, \quad k = \left| \frac{E_2 - E_1}{x_2 - x_1} \right|, \quad s = \frac{1}{km\sqrt{2\pi}}.$$

Если E_{\max} существенно меньше 1, то для подбора параметров можно использовать эту же схему, только в выражении для k вместо E надо подставлять \tilde{E} .

Теоретическая модель была проверена по результатам извлечения продуктов разделения гидроциклона с сифонной разгрузкой слива ЦАС-320 ЦОФ "Комендантская" для различных опытов (табл. 1 и 2, рис.1 и 2).

Таблица 1

Опыт 1				
Среднее эксп.	$E_{\text{эксп}}$	Среднее теор.	$E_{\text{теор}}$	Относит. Погрешность
0,025	0,372	0,025	0,370	0,005405
0,105	0,351	0,105	0,355	0,011268
0,355	0,301	0,355	0,298	0,010067
0,730	0,211	0,730	0,212	0,004717

Таблица 2

Опыт 2			
Среднее эксп.	$E_{\text{эксп}}$	Среднее теор.	$E_{\text{теор}}$
0,025	0,304	0,025	0,308
0,105	0,281	0,105	0,273
0,355	0,135	0,355	0,146
0,730	0,073	0,730	0,064

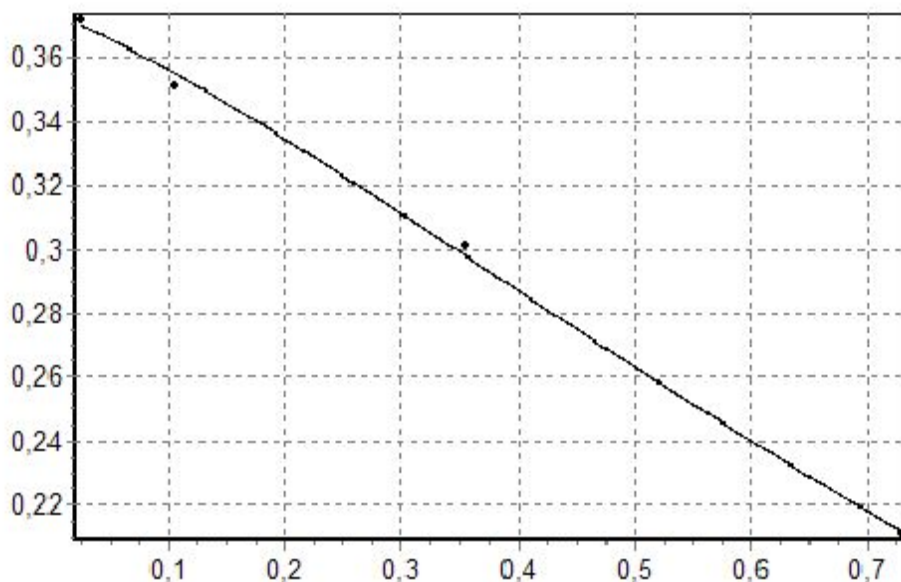


Рис. 1. Сравнение теоретической кривой извлечения с экспериментальными данными для гидроциклона с сифонной разгрузкой слива ЦАС-320 ЦОФ "Комендантская" (опыт 1)

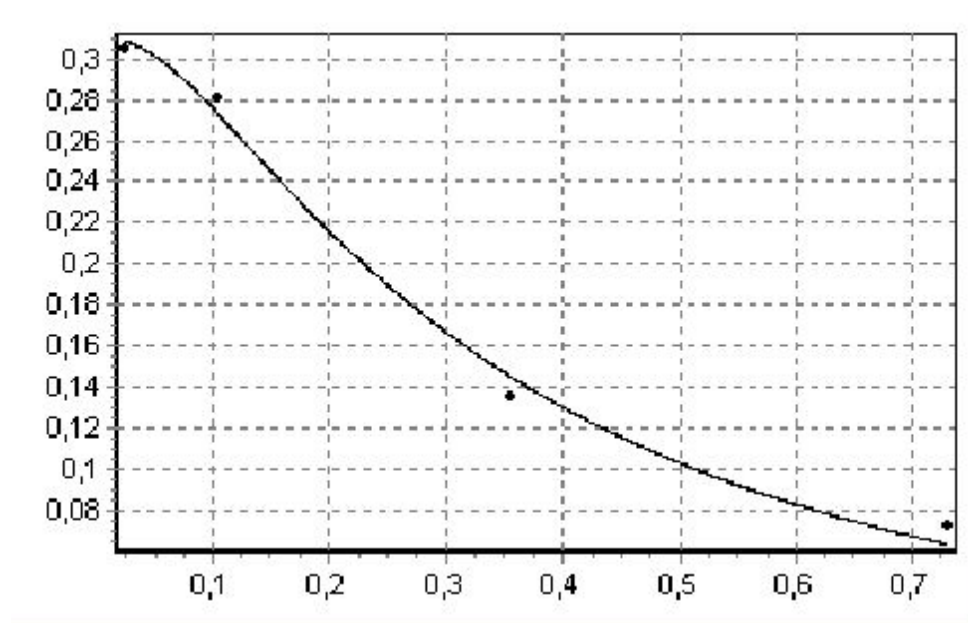


Рис. 2. Сравнение теоретической кривой извлечения с экспериментальными данными для гидроциклона с сифонной разгрузкой слива ЦАС-320 ЦОФ "Комендантская" (опыт 2)

Как видим, приведенная модель способна теоретически описывать поведение кривой извлечения не только в случае симметричных, наподобие кривой Тромпа, экспериментальных результатов. Подтверждена ее адекватность и чисто статистическими методами [2].

Таким образом получена принципиальная возможность для исследования гидроциклонного комплекса и связанного с ним нового оборудования.

Список литература

1. **Пилов П.И., Святошенко В.А.** Управление гравитационными процессами углеобогащения на основе их сепарационных характеристик // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2000 – №10(51). – С.27–37.
2. Формализация результатов разделительных процессов в углеобогащении: Монография / **В.К. Гарус, О.В. Грачев, В.Ф. Пожидаев, О.Д. Полулях** – Луганск: НВФ"Стек", 2003. – 176 с.

© Полулях А.Д., Пожидаев В.Ф., Томилин В.Б., 2005

Надійшла до редколегії