

УДК 622.7

АДАПТАЦИЯ МЕТОДА ТРОМПА К ОПИСАНИЮ СЕПАРАЦИИ: ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД

Ариненков Ю. Д., канд. техн. наук, доц.,
Донецкий национальный технический университет

Разработан алгоритм адаптации метода Тромпа с целью повышения правильности описания сепарационной характеристики путем возведения аппроксимирующей функции в наиболее вероятную степень нелинейности ожидаемой характеристики процесса.

The terms of adaptation of traditional model of process of separatic process in the form of the Tromp curve as function of probability distribution of extraction of factions in an useful product to description of process of separatic process of anthracite coals with the purpose of diminishment of errors of this method in the task of prognosis of results of enrichment are explored.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами.

Традиционное представление о свойствах сепарационного процесса обогащения каменных углей основано на предположении о наличии у него сепарационной характеристики в форме кривой Тромпа как функции извлечения фракций в продукт сепарации, совместимой с функцией нормального распределения случайных величин. Однако ещё сам автор этого метода предупреждал о плохом совпадении аппроксимирующей зависимости с данными эксперимента. Ошибка по выходу продукта может достигать 10%. Поэтому исследование применимости функции извлечения фракций в полезный продукт (по методу Тромпа) к описанию процесса сепарации каменных углей с целью уменьшения ошибок метода прогноза результатов обогащения в задачах моделирования и АСУ ТП является актуальным.

Анализ исследований и публикаций. Обогащительные процессы осуществляют переработку сыпучего материала, частицы которого отличаются друг от друга свойствами, поддающимися контролю физическими методами измерения. К таким свойствам относят крупность частиц, содержание в них компонентов различной плотности, электропроводности, магнитной восприимчивости и др. Для описания характеристик сыпучего материала вводят понятие дифференциальной функции распределения твёрдого по элементарным фракциям [1],

но затем приводят якобы точное описание такой функции через конечные отклонения.

Однако, в данном случае правильным будет следующее название обсуждаемой функции: плотность распределения вероятностей фракций. Интеграл функции плотности распределения фракций есть функция распределения вероятностей фракций, которая представляет собою нормированную зависимость выхода продукта от качества фракций.

В [1] представлена функция извлечения фракций в продукт как отношение функций плотности распределения вероятностей фракций концентрата и плотности распределения вероятностей фракций исходного материала, пропорциональная также выходу концентрата. Однако смысл этого результата остался скрытым. Поэтому традиционное утверждение (постулат) о том, что разделяемая сепарационным процессом фракция извлекается в продукты сепарации всегда поровну, не подвергалось проверке на обоснованность.

В работах [2, 3] предпринята попытка обоснования этой величины через якобы равенство суммарных величин засорения и потерь смежных фракций. Такое положение в моделировании сепарационной технологии можно объяснить двумя причинами: низкой точностью описания результатов эксперимента (задача решена автором в [4, 5]) и низкой адекватностью теории процессу.

Постановка задачи. Анализируя кривые извлечения по результатам экспериментальных исследований, автор установил следующую закономерность: на заданной плотности разделения величина извлечения разделяемой фракции в пределах точности графического построения соответствует выходу продукта сепарации.

В классических основах теории сепарационных процессов обогащения полезных ископаемых [6] этот феномен явно не регистрировался, не имеет обоснования и противоречит общепринятому постулату, утверждающему, что извлечение разделительной фракции в продукт сепарации всегда составляет величину 0,5 (50%).

Поэтому здесь ставится задача обосновать величину извлечения разделительной фракции в продукты и найти условия адаптации оценки E_{pm} к описанию процесса по методу Тромпа.

Изложение материала и результаты. Для изучения особенностей функции извлечения фракций (функции Тромпа) как сепарационной характеристики обогатительного процесса была выполнена серия опытов. В этих опытах варьировались зольность исходного уг-

ля, заданная зольность разделения и определялись плотность разделения, выход концентрата, по критерию оценивалась селективность процесса сепарации, а по кривым Тромпа определялось извлечение разделяемой фракции в продукт сепарации. Для повышения точности описания кривых ситового и фракционного составов интерполяция табличных данных исследования выполнена рекурсивными методами *knot*- и *area*-продолжения массивов [4, 5] с помощью соответствующих программ на ЭВМ. В результате применения этих методов получены характеристики, обеспечившие точность решения всех задач.

Исходные данные и результаты исследований сведены табл. 1.

Таблица 1
Результаты исследования характеристик извлечения фракций

| Зольность исходного угля $A_{из}$, % | Селективность S_{λ} , % | Выход концентрата $\gamma_{кф}$, % | Зольность разделения λ_p , % | Плотность разделения D_p , кг/м ³ | Извлечение разделяемой фракции ε , % |
|---------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--|--|
| 36,46 | 82,36 | 63 | 47,6 | 1722 | 63 |
| 36,44 | 83,52 | 63 | 43,8 | 1712 | 63 |
| 36,44 | 83,52 | 63 | 43,8 | 1712 | 63 |
| 21 | 95 | 87,54 | 80 | 1868 | 86 |
| 21 | 90 | 87,54 | 80 | 1868 | 86 |
| 21 | 90 | 74,06 | 10 | 1548 | 74 |
| 36,55 | 95 | 59,33 | 10 | 1590 | 56 |
| 36,55 | 95 | 70,29 | 80 | 1929 | 70 |
| 36,87 | 95 | 58,56 | 10 | 1526 | 58 |
| 36,87 | 95 | 82,98 | 90 | 2063 | 80 |

Из сопоставления данных третьей и шестой граф представленной таблицы установлено, что во всех случаях с ошибкой -1,47% проявляется линейное соотношение извлечением разделяемой фракции и выходом продукта сепарации. Это положение согласуется с результатами всех выполненных исследований при аппроксимации кривой Тромпа с помощью функции нормального распределения. Следовательно, такой способ аппроксимации функции Тромпа не приемлем, так как реальная функция Тромпа нелинейная, несимметричная.

Аппроксимирующую функцию на основе закона нормального распределения можно попытаться преобразовать так, чтобы, хотя бы

приблизённо, совместить её с кривой Тромпа. Например, возведём величину извлечения разделяемой фракции E_p в степень V до равенства с вероятностью по функции нормального распределения при $\varepsilon_2(0) = 0,5$:

$$\varepsilon_p = \varepsilon_2^V(0) \text{ при } \varepsilon_2(0) = 0,5 . \quad (1)$$

Для установленной закономерности (смещения точки разделения) и указанного значения $\varepsilon_2(0) = 0,5$ из (1) после логарифмирования получим искомый показатель степени

$$V_p = \frac{\text{Ln}\varepsilon_p}{\text{Ln}0,5} . \quad (2)$$

Формулы (1) и (2) дают возможность вычислить характерные величины извлечения $\varepsilon(\varepsilon_2(0))$ для любых других значений $\varepsilon_2(0)$:

$$\varepsilon(\varepsilon_2(0)) = \varepsilon_2(0)^{-1,443\text{Ln}\gamma_{\text{кф}}} . \quad (3)$$

Из (3) для $\varepsilon_2(0) = 0,75$ находим

$$\varepsilon(\varepsilon_2(0) = 0,75) = 0,75^{-1,443\text{Ln}\gamma_{\text{кф}}} . \quad (4)$$

Аналогично для $\varepsilon_2(0) = 0,5$

$$\varepsilon(\varepsilon_2(0) = 0,5) = \gamma_{\text{кф}} \quad (5)$$

и для $\varepsilon_2(0) = 0,25$

$$\varepsilon(\varepsilon_2(0) = 0,25) = 0,25^{-1,443\text{Ln}\gamma_{\text{кф}}} . \quad (6)$$

Для заданных формулами (4) - (6) ординат кривой извлечения фракций можно определить соответствующие им меры отклонения плотности разделения $D(\varepsilon_2(0) = 0,75)$, $D(\varepsilon_2(0) = 0,5) = D_p$ и $D(\varepsilon_2(0) = 0,25)$. После этого “среднеквадратичную ошибку сепарации по плотности” можно определить как

$$E_s = 0,5[D(\varepsilon(\varepsilon_2(0) = 0,25)) - D(\varepsilon(\varepsilon_2(0) = 0,75))] . \quad (7)$$

Пример применения разработанного алгоритма с учётом формул (1)-(6) к определению ошибки сепарации по кривой извлечения (по Тромпу) иллюстрируется на продукте с распределением фракций по данным табл. 2 рис.1.

Таблица 2

Состав угля к задаче определения ошибки по Тромпу

| Плотность фракций, кг/м ³ | Фракции угля | | Всплывший продукт | | Утонувший продукт | |
|--------------------------------------|--------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
| | Выход, % | Зольность, % | Выход, % | Зольность, % | Выход, % | Зольность, % |
| 1400 ≤ D < 1600 | 79,6 | 6,5 | 79,6 | 6,50 | 100,0 | 21,00 |
| 1600 ≤ D < 1800 | 5,2 | 44,3 | 65,0 | 11,50 | 20,4 | 77,60 |
| 1800 ≤ D < 2000 | 15,2 | 89,0 | 76,4 | 21,00 | 15,2 | 89,00 |
| Итого | 100,0 | 21,0 | - | - | - | - |

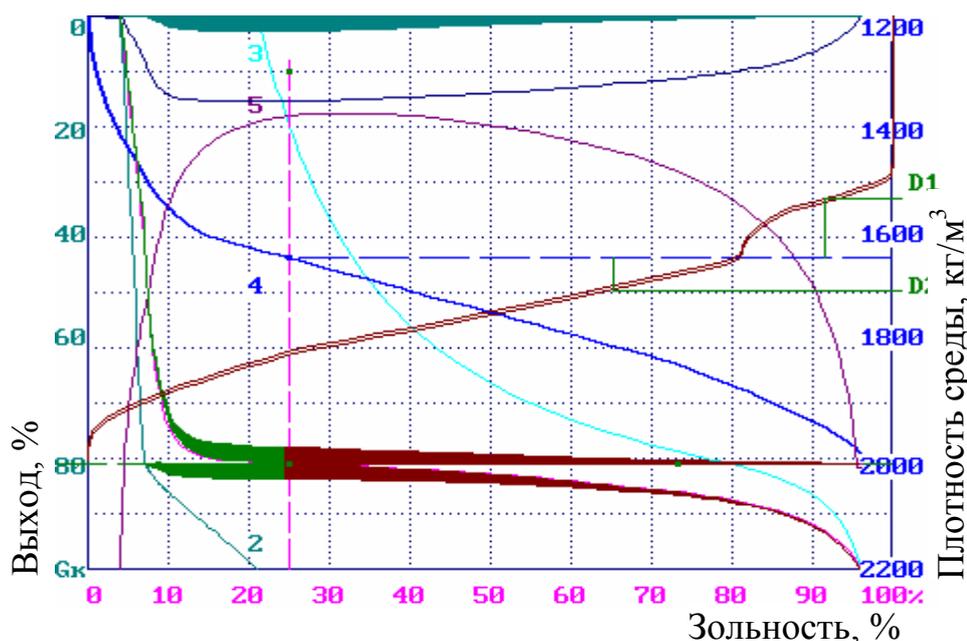


Рис.1. Преобразование шкалы извлечения фракций возведением её в степень: 1 – λ ; 2 – β ; 3 – ν ; 4 – $D(\lambda)$; 5 – Θ .

Из представленных кривых видно, что всегда параметр D_1 определяется на участке извлечения в концентрат концентратных, а D_2 - породных фракций.

По кривой извлечения фракций при выходе концентрата $\gamma_k = 80,85\%$ для характеристического извлечения по (6) $\varepsilon(\varepsilon_2(0)=0,25) = 0,6537$ программой найдена характеристическая плот-

ность на высокозольной ветви кривой $D_2=1696 \text{ кг/м}^3$ и для характеристического извлечения $\alpha(\varepsilon_2(0)=0,75) = 0,9156$ на низкозольной ветви кривой извлечения фракций определена характеристическая плотность $D_1 = 1529 \text{ кг/м}^3$. При этом ошибка сепарации составила величину $E_S \approx 84 \text{ кг/м}^3$ на плотности разделения $D_p = 1638 \text{ кг/м}^3$.

Далее был рассмотрен также вариант параллельного переноса графика кривой извлечения, построенного на основе функции нормального распределения, - вдоль оси плотности со смещением на величину

$$\Delta D = D(\varepsilon_2(0)=0,5) - D_p. \quad (8)$$

Схема определения плотностей D_1 и D_2 для оценки E_{pm} при параллельном смещении кривой Тромпа дана рис. 2.

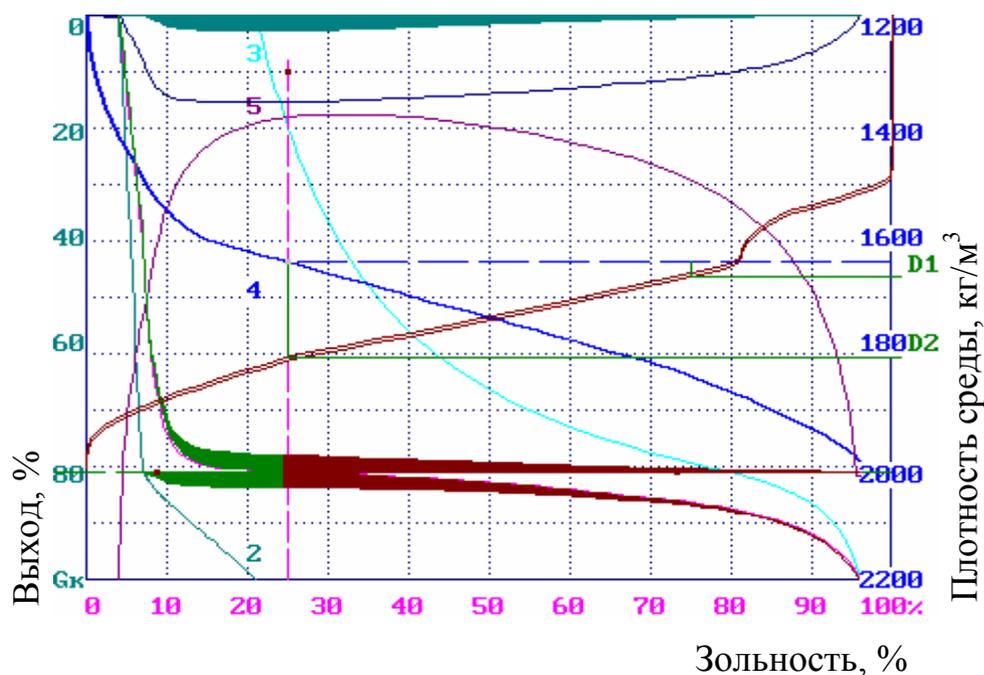


Рис. 2. Параллельное смещение шкалы извлечения фракций по Тромпу: 1 – λ ; 2 – β ; 3 – ν ; 4 – $D(\lambda)$; 5 – сепарабельность Θ .

Нужно отметить, что все представленные на рис.2 кривые почти полностью идентичны кривым рис.1, отличие состоит только в способе определения характеристических плотностей D_1 и D_2 . В обоих случаях наблюдается не известный ранее эффект закрутки у кривой распределения вероятностей извлечений фракций вокруг разделительной точки. Такой эффект наблюдается впервые.

Выводы и направления дальнейших исследований. Установлено, что извлечение разделительной фракции в продукты соответствует их выходу. Поэтому функцию Тромпа можно применить для прогностического описания фракционного состава продуктов сепарации возведением в степень для нелинейного преобразования по шкале функции.

Список источников

1. Технологическая оценка минерального сырья. Методы исследования: Справочник / Под ред. П. Е. Остапенко. - М.: Недра, 1990. - 264 с.
2. Кирнарский А. С., Егурнов А. И. Аутогенные свойства разделительной среды при обогащении угля // Збагачення корисних копалин: Н.-техн. зб. -Дніпропетровськ, 2000. -№ 7(48). - С. 39-46.
3. Пожидаев В. Ф. Особенности поведения кривой гранулометрического состава в области мелких классов // Збагачення корисних копалин: Н.-техн. зб. - Дніпропетровськ, 1999. -№ 3 (44). - С. 45 - 52.
4. Ариненков Ю.Д. Интерполяция распределения фракций угля // Тр. междунар. науч.-техн. конференции «Горная энергомеханика и автоматика». ДонНТУ. –Донецк, 2003, т. 1.-С. 21 – 27.
5. Ариненков Ю.Д. Эффективность рекурсивного продолжения коротких массивов данных состава угля // Вісті Донецького гірничого інституту. ДонНТУ. –Донецьк. –2003. № 2. – С. 88-92.
6. Тихонов О. Н. Введение в динамику массопереноса процессов обогатительной технологии. - Л., Недра, 1973. -240 с.

Дата поступления статьи в редакцию: 29.10.07