

П.И. ПИЛОВ, д-р техн. наук,

В.А. СВЯТОШЕНКО

(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМА ОБОГАЩЕНИЯ КАМЕННЫХ УГЛЕЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО ВЫХОДА КОНЦЕНТРАТА

Современные технологии углеобогащения используют отдельное обогащение угля предварительно разделенного на фракции крупности (машинные классы). Диапазон изменения крупности выбирается так, чтобы каждый используемый обогатительный аппарат функционировал с наибольшей для данных условий эффективностью.

При этом потоки угля, сформированные таким образом, перерабатываются отдельно. Однако суммарный концентрат должен иметь установленную зольность, а выбранные плотности разделения для каждого машинного класса обеспечили бы максимальный его выход.

Решение задачи по выбору плотностей разделения может осуществляться при составлении теоретического баланса продуктов обогащения с помощью правила максимального выхода, основанного на теореме Рейнхардта, которая гласит: "Если при отдельном обогащении нескольких углей требуется получить суммарный концентрат с заданной зольностью, то максимальный суммарный выход концентрата с общей заданной зольностью будет получен при одинаковой средней зольности элементарных слоев разделения" [1]. Исходя из сути процессов сепарации каменных углей, под элементарным слоем разделения следует понимать бесконечно узкую фракцию угля, плотность которой равна плотности разделения, для которой характерно равномерное распределение между продуктами обогащения.

Подчеркивается также, что эта теорема справедлива при неограниченном количестве углей, подвергающихся отдельному обогащению [1].

Известная методика определения режима обогащения углей, обеспечивающего получение максимального выхода суммарного концентрата при его заданной (нормированной) зольности, основанная на использовании теоремы Рейнхардта предполагает графоаналитическое определение плотности разделения для каждого машинного класса на основе кривых обогатимости, предусмотренных стандартом.

Определение плотностей разделения для каждого машинного класса осуществляется следующим образом.

Задаваясь теоретической зольностью суммарного концентрата A_k с помощью кривых обогатимости суммарного машинного класса (сумма всех машинных классов данного угля) определяется зольность элементарного слоя разделения A^p . Для этого от значения A_k на шкале зольности восстанавливается перпендикуляр до пересечения с кривой концентрата β (рис. 1). Через точку пере-

сечения проводится демаркационная линия, параллельная оси абсцисс. Ее пересечение с кривой элементарных фракций λ дает значение зольности элементарного слоя A^e .

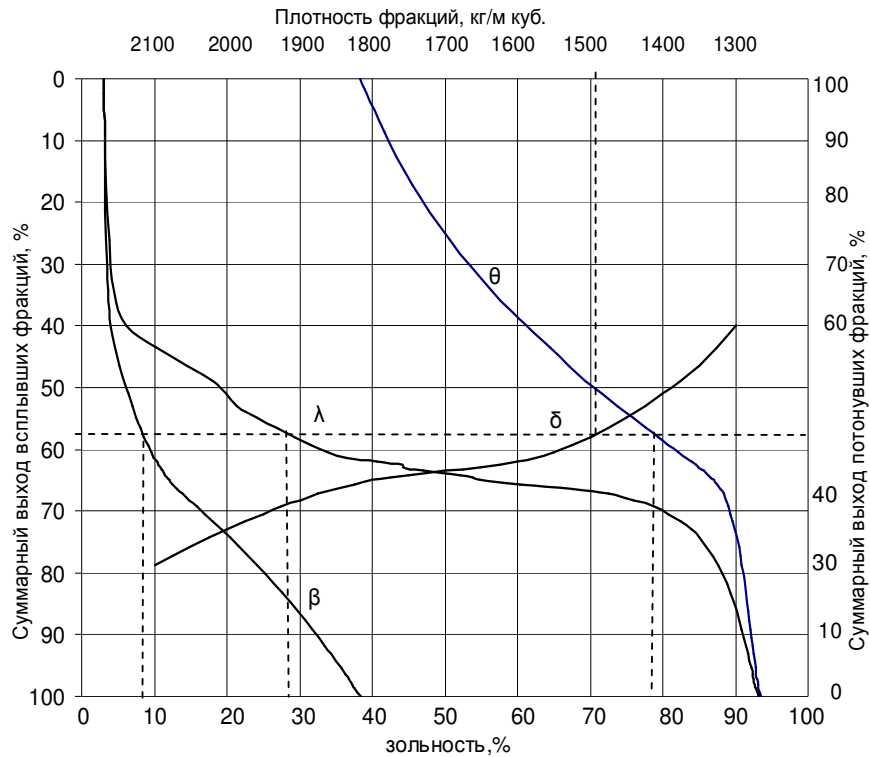


Рис. 1. Пример кривых обогатимости

Затем, при известной величине A^e , которая должна быть постоянной при обогащении всех машинных классов, по кривым обогатимости для каждого машинного класса определяет плотность деления δ_p (рис. 1), выход концентрата γ_k и выход породы γ_n , также их зольности A_k и A_n , по значениям которых рассчитывается выход и зольность суммарного концентрата.

При высокой трудоемкости использования этой методики она практически не используется, сохранив лишь академический формат применения, например, при обучении студентов. Использование вычислительной техники для нее также затруднительно из-за использования графиков (кривых обогатимости).

Эти недостатки можно устранить, если перейти к аналитическому методу определения плотностей деления для машинных классов. Для его обоснования выполним анализ кривых обогатимости с целью установления более простого пути определения зольности элементарных слоев деления.

Стандартные кривые обогатимости предусматривают: зависимость суммарного выхода легких фракций от зольности элементарных фракций (кривая элементарных фракций) $\lambda = \gamma^e(A^e)$, зависимость суммарного выхода легких фракций от их зольности (кривая концентрата) $\beta = \gamma^k(A)$, зависимость суммар-

Гравітаційна сепарація

ного выхода тяжелых фракций от их зольности (кривая породы) $\vartheta = \gamma^m(A)$, зависимость суммарного выхода легких фракций от их плотности (кривая плотностей) $\delta = \gamma^n(\delta)$.

Изложенная методика предполагает следующую траекторию достижения $A^p : A_k \rightarrow \gamma_k \rightarrow A^p$. Но если установить зависимости $A_k(\delta)$ и $A^p(\delta)$, то траектория может быть изменена на следующую: $A_k(\delta) \rightarrow \delta \rightarrow A^p$.

В принципе, перейти к аналитическому методу определения рационального режима обогащения можно путем интерполяции данных таблиц фракционного анализа угля для каждого машинного класса, представленных в формате, необходимом для построения кривых обогатимости. Однако специфический характер кривой элементарных фракций $\lambda = \gamma^n(A^e)$ не гарантирует корректность применения линейной интерполяции.

Установлено [2], что между зольностью и плотностью фракций каменного угля существует линейная зависимость. Ее обоснование можно осуществить следующим образом.

Каждая фракция плотности угля состоит из органической массы и минеральных примесей, находящихся в определенных пропорциях. Если плотность органической массы равна $\delta^{орг}$, а минеральных примесей $\delta^{мин}$, то плотность угольной фракции составляет:

$$\delta = \varphi^{орг} \delta^{орг} + \varphi^{мин} \delta^{мин},$$

где $\varphi^{орг}$, $\varphi^{мин}$ – соответственно, доля органической массы и минеральных примесей в угольной фракции.

Зольность этой угольной фракции равна:

$$A = A^{орг} \varphi^{орг} + A^{мин} \varphi^{мин},$$

где $A^{орг}$, $A^{мин}$ – соответственно, зольность органической массы и минеральных примесей.

Совместное решение этих уравнений дает следующую зависимость зольности угольных фракций от их плотности:

$$A = k(\delta - \delta^{орг}) + A^{орг},$$

где $k = \frac{A^{мин} - A^{орг}}{\delta^{мин} - \delta^{орг}}$.

Полученное уравнение подтверждает линейную зависимость зольности фракций от их плотности. Вместе с тем, угольные фракции различной крупности имеют свою специфическую зольность органической массы и минеральных примесей, что подтверждается ранее выполненными исследованиями [1].

Если суммарный машинный класс угля состоит из n машинных классов с долевыми участиями α_i , то его зольность составит:

$$\bar{A} = \sum_{i=1}^n \alpha_i A_i = \delta \sum_{i=1}^n k_i \alpha_i - \sum_{i=1}^n k_i \alpha_i \delta_i^{opz} + \sum_{i=1}^n \alpha_i A_i^{opz} .$$

Полученное уравнение также является линейным, что позволяет более обоснованно использовать линейную интерполяцию, при которой для нахождения значения y при заданном значении x в интервале изменения аргумента в пределах $x_1 \dots x_2$ при значении функции для этого интервала $y_1 \dots y_2$ следует использовать приведенную ниже формулу:

$$y = y_i + \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} x .$$

Если известна плотность разделения для смеси фракций $\bar{\delta}$, определенная каким либо способом, то зная зависимости изменения зольности от плотности $A^p(\delta)$ для каждого машинного класса, можно с использованием теоремы Рейнхардта определить плотности разделения, обеспечивающие получение максимального выхода суммарного концентрата (рис. 2).

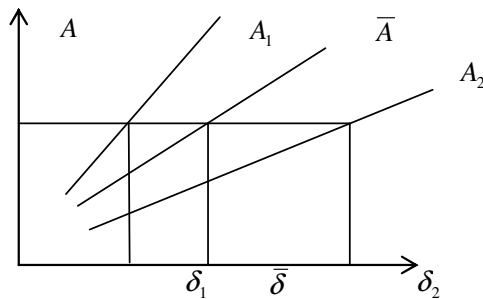


Рис. 2. К определению плотностей разделения для машинных классов угля

Для пояснения возможности создания методики аналитического определения плотностей разделения для каждого из машинных классов, обеспечивающих максимальное значение выхода суммарного концентрата приведем таблицу исходных данных.

К определению рационального режима обогащения каменного угля

Фракции	$\bar{\delta}$	Машинный класс 1				Машинный класс 2				Суммарный класс			
		γ^p	A^p	γ	A	γ^p	A^p	γ	A	γ^p	A^p	γ	A
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$< \delta_1$	$\bar{\delta}_1$	γ_{11}^p	A_{11}^p	γ_{11}	A_{11}	γ_{21}^p	A_{21}^p	γ_{21}	A_{21}	γ_{01}^p	A_{01}^p	γ_{01}	A_{01}
$\delta_1 - \delta_2$	$\bar{\delta}_2$	γ_{12}^p	A_{12}^p	γ_{12}	A_{12}	γ_{22}^p	A_{22}^p	γ_{22}	A_{22}	γ_{02}^p	A_{02}^p	γ_{02}	A_{02}
$\delta_2 - \delta_3$	$\bar{\delta}_3$	γ_{13}^p	A_{13}^p	γ_{13}	A_{13}	γ_{23}^p	A_{23}^p	γ_{23}	A_{23}	γ_{03}^p	A_{03}^p	γ_{03}	A_{03}
$\delta_3 - \delta_4$	$\bar{\delta}_4$	γ_{14}^p	A_{14}^p	γ_{14}	A_{14}	γ_{24}^p	A_{24}^p	γ_{24}	A_{24}	γ_{04}^p	A_{04}^p	γ_{04}	A_{04}
...
$\delta_{n-1} - \delta_n$	$\bar{\delta}_n$	γ_{1n}^p	A_{1n}^p	γ_{1n}	A_{1n}	γ_{2n}^p	A_{2n}^p	γ_{2n}	A_{2n}	γ_{0n}^p	A_{0n}^p	γ_{0n}	A_{0n}
$> \delta_n$	$\bar{\delta}_{n+1}$	$\gamma_{1(n+1)}^p$	$A_{1(n+1)}^p$	$\gamma_{1(n+1)}$	$A_{1(1+n)}$	$\gamma_{2(n+1)}^p$	$A_{2(n+1)}^p$	$\gamma_{2(n+1)}$	$A_{2(1+n)}$	$\gamma_{0(n+1)}^p$	$A_{0(n+1)}^p$	$\gamma_{0(n+1)}$	$A_{0(1+n)}$

Гравітаційна сепарація

В таблиці обозначено: в колонке 1 – предельные изменения плотности фракции; в колонке 2 – средняя плотность фракции $\bar{\delta} = (\delta_{\min} + \delta_{\max})/2$; в колонках 3, 7, 11 – выход элементарных фракций плотности γ° для машинных классов и суммарного класса; в колонках 4, 8, 12 – зольность элементарных фракций плотности A° для машинных классов и суммарного класса; в колонках 5, 9, 13 – суммарный выход всплывших фракций γ для машинных классов и суммарного класса; в колонках 6, 10, 14 – зольность всплывших фракций A для машинных классов и суммарного класса.

Пользуясь данными таблицы несложно реализовать обозначенную выше траекторию определения зольности элементарных слоев разделения $A_x(\delta) \rightarrow \delta \rightarrow A^{\circ}$. Для этого необходимо задать желаемую теоретическую зольность суммарного концентрата, получаемого гравитационными методами обогащения $[A]$. В колонке 14 необходимо отыскать строки, между которыми находится значение $[A]$. Используя эти значения, с помощью линейной интерполяции рассчитывается плотность разделения для суммарного класса:

$$\delta = \delta_i + \frac{\delta_{i+1} - \delta_i}{A_{i+1} - A_i} ([A] - A).$$

Диапазон плотностей в данной формуле выбирается из колонки 1 таблицы.

Применяя линейную интерполяцию, находим исходя из зависимости $A^{\circ}(\delta)$, зольность элементарного слоя разделения для суммарного класса:

$$A^{\circ} = A_i + \frac{A_{i+1} - A_i}{\bar{\delta}_{i+1} - \bar{\delta}_i} (\delta - \bar{\delta}_i).$$

Следует отметить, что в результате фракционного анализа определяется средняя зольность фракции A_i° для фракции, плотность которой меняется в пределах $\delta_i \dots \delta_{i+1}$. Поэтому для рассчитанной плотности разделения выбирается диапазон изменения плотностей по колонке 2, т.е. используются средние значения плотности фракции.

Таким образом, определяется плотность разделения для первого машинного класса:

$$\delta_1 = A_{1i}^{\circ} + \frac{\bar{\delta}_{i+1} - \bar{\delta}_i}{A_{1(i+1)}^{\circ} - A_{1i}^{\circ}} (A^{\circ} - A_{1i}^{\circ}),$$

и для второго машинного класса:

$$\delta_2 = A_{2i}^{\circ} + \frac{\bar{\delta}_{i+1} - \bar{\delta}_i}{A_{2(i+1)}^{\circ} - A_{2i}^{\circ}} (A^{\circ} - A_{2i}^{\circ}).$$

Такой расчет можно производить для любого количества машинных классов. Реализация процесса обогащения при соблюдении рассчитанных таким образом плотностей разделения обеспечит максимальный выход суммарного концентрата при заданной зольности [А].

При необходимости составления теоретического баланса продуктов обогащения, например выхода и зольности концентратов для каждого машинного класса:

– для первого машинного класса

$$\gamma_{1к} = \gamma_{1i} + \frac{\gamma_{1(i+1)} - \gamma_{1i}}{\delta_{1(i+1)} - \delta_{1i}} (\delta_1 - \delta_{1i});$$

$$A_{1к} = A_{1i} + \frac{A_{1(i+1)} - A_{1i}}{\gamma_{1(i+1)} - \gamma_{1i}} (\gamma_{1к} - \gamma_{1i});$$

– для второго машинного класса

$$\gamma_{2к} = \gamma_{2i} + \frac{\gamma_{2(i+1)} - \gamma_{2i}}{\delta_{2(i+1)} - \delta_{2i}} (\delta_2 - \delta_{2i});$$

$$A_{2к} = A_{2i} + \frac{A_{2(i+1)} - A_{2i}}{\gamma_{2(i+1)} - \gamma_{2i}} (\gamma_{1к} - \gamma_{2i}).$$

Таким образом, предлагаемая методика позволяет достичь поставленных целей и имеет следующие преимущества: упрощение расчета и повышение его точности за счет исключения кривых обогатимости, а также возможность ее использования в компьютерных программах.

Список литературы

1. **Артюшин С.П.** Проектирование углеобогатительных фабрик. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1974. – 200 с.
2. **Пилов П.И., Чумаченко И.И.** Оперативный технологический менеджмент в углеобогащении на основе теоремы Рейнхардта // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГГУ, 2007. – №10. – С. 384-390.

© Пилов П.И., Святошенко В.А., 2011

*Надійшла до редколегії 15.03.2011 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. І.К. Младецьким*