

П.И. ПИЛОВ, И.К. МЛАДЕЦКИЙ, д-ра техн. наук,

Я.Г. КУВАЕВ

(Украина, Днепропетровск, ГВУЗ "Национальный горный университет")

ОБОГАЩЕНИЕ РУД, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЕ МАКСИМАЛЬНЫЙ ВЫХОД КОНЦЕНТРАТА

В практике обогащения руд, в особенности железных, получил распространение принцип усреднения рудных разновидностей (шихтовки) с целью стабилизации показателей качества концентрата. В этом случае рудные разновидности смешиваются в определенных пропорциях и в виде шихты подаются в процесс переработки. Обогащительный процесс при этом предполагает тонкое измельчение всей рудной массы. В результате обогащительные свойства рудных разновидностей нивелируются.

Практика обогащения углей не предполагает измельчения угольной массы и для обеспечения промышленных показателей качества концентрата угольную массу предварительно разделяют по крупности (на машинные классы). Диапазон изменения крупности выбирается так, чтобы каждый разделительный аппарат функционировал с наибольшей эффективностью. При этом потоки угля, сформированные таким образом, перерабатываются отдельно. Однако, конечный концентрат, составленный из суммы потоков должен иметь установленную – заданную – зольность, а выбранные плотности разделения для каждого машинного класса обеспечили бы максимальные его выходы.

Решение задачи по выбору плотностей разделения может осуществляться при составлении теоретического баланса продуктов обогащения с помощью правила максимального выхода, основанного на теореме Рейнгардта, которая гласит: *"Если при раздельном 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 узкую фракцию угля, плотность которой равна плотности разделения, для которой характерно равновероятное распределение между продуктами разделения.

Данная теорема справедлива при сколь угодно большом количестве угольных разновидностей, подвергающихся обогащению.

Закономерности обогащения углей и руды являются одинаковыми поэтому возник вопрос о применении теоремы Рейнгардта к обогащительным процессам рудных разновидностей.

Для решения этого вопроса, согласно теореме Рейнгардта, необходимо располагать кривыми обогатимости $F(\alpha)$ и теоретическими кривыми зависимости качества обогащенного продукта β_K от положения $(\alpha_{II}) \beta_K = f(\alpha_{II})$ сепараци-

Загальні питання технології збагачення

онной характеристики процесса разделения $P(\alpha/\alpha_{II})$.

Расчет кривых обогатимости для вкрапленных руд предложен на кафедре обогащения полезных ископаемых ГВУЗ "Национальный горный университет" в виде ломаных линий, которые отражают распределение сростков и открытых фракций по содержанию в них ценного минерала [2]. Расчет производится в зависимости от показателей измельчения и обогатительных признаков руды: вкрапленности и содержания ценного минерала.

Для получения зависимости $\beta_K = f(\alpha_{II})$ необходимо задаться видом сепарационной характеристики, произвести, например, численное экспериментирование по определению качественных показателей разделения. Методика такого расчета приведена в работе [2]. Для такого экспериментирования необходимо принять вид сепарационной характеристики с неизменной производной в точке перегиба, а положение ее достаточно характеризовать абсциссой точки перегиба α_{II} . Назовем эту точку – содержанием разделения. Величина аналогичная плотности разделения. Таким образом, задаваясь α_{II} и вычисляя

$$\beta = \frac{1}{\gamma_0} \int \alpha P(\alpha) F^1(\alpha) d\alpha,$$

получаем точку кривой $\beta_K = f(\alpha_{II})$.

Итак, допустим, что имеется две рудные разновидности и смесь этих разновидностей в пропорциях один к одному. Кривые обогатимости и функции $\beta_K = f(\alpha_{II})$, приведены на рис. 1-3.

Качество концентрата обычно задано – β_{K3} . Примем $\beta_{K3} = 0,8$ на усредненной руде (рис. 3) и проведем горизонталь АВ. Точка пересечения АВ с β_K дает значение содержания разделения для данной смеси. Отрезок CD отражает содержание ценного минерала в узкой фракции, примыкающей к содержанию разделения. Выход концентрата определяется по кривой обогатимости, если из точки С опустить вертикаль, то точка пересечения Е кривой обогатимости и вертикали дает значение выхода. В данном случае $\gamma = 0,31$.

Далее согласно теореме Рейнгардта содержание класса, примыкающего к содержанию разделения, должно быть одинаковым для всех рудных разновидностей. Для определения содержаний разделения разновидностей найдем положение отрезка $CD = C_1 D_1 = C_2 D_2$ для первой и второй рудных разновидностей. Из точки C_1 опускаем вертикаль на ось абсцисс находим содержание разделения первой разновидности $\alpha_{II1} = 0,56$ и выход обогащенного продукта первой разновидности $\gamma_1 = 0,24$, качество обогащенного продукта $\beta_{K1} = 0,86$.

Из точки C_2 опускаем вертикаль на ось абсцисс находим содержание разделения второй разновидности $\alpha_{II2} = 0,3$ и выход обогащенного продукта первой разновидности $\gamma_2 = 0,52$, качество обогащенного продукта $\beta_{K2} = 0,71$. Так как обогащенные продукты этих разновидностей смешивают, то показатели разделения будут иметь следующие значения:

Загальні питання технології збагачення

$$\gamma_C = (0,23 + 0,52)0,5 = 0,375,$$

$$\beta = \frac{0,24 \times 0,86 + 0,71 \times 0,52}{0,23 + 0,52} = 0,77 \approx 0,8.$$

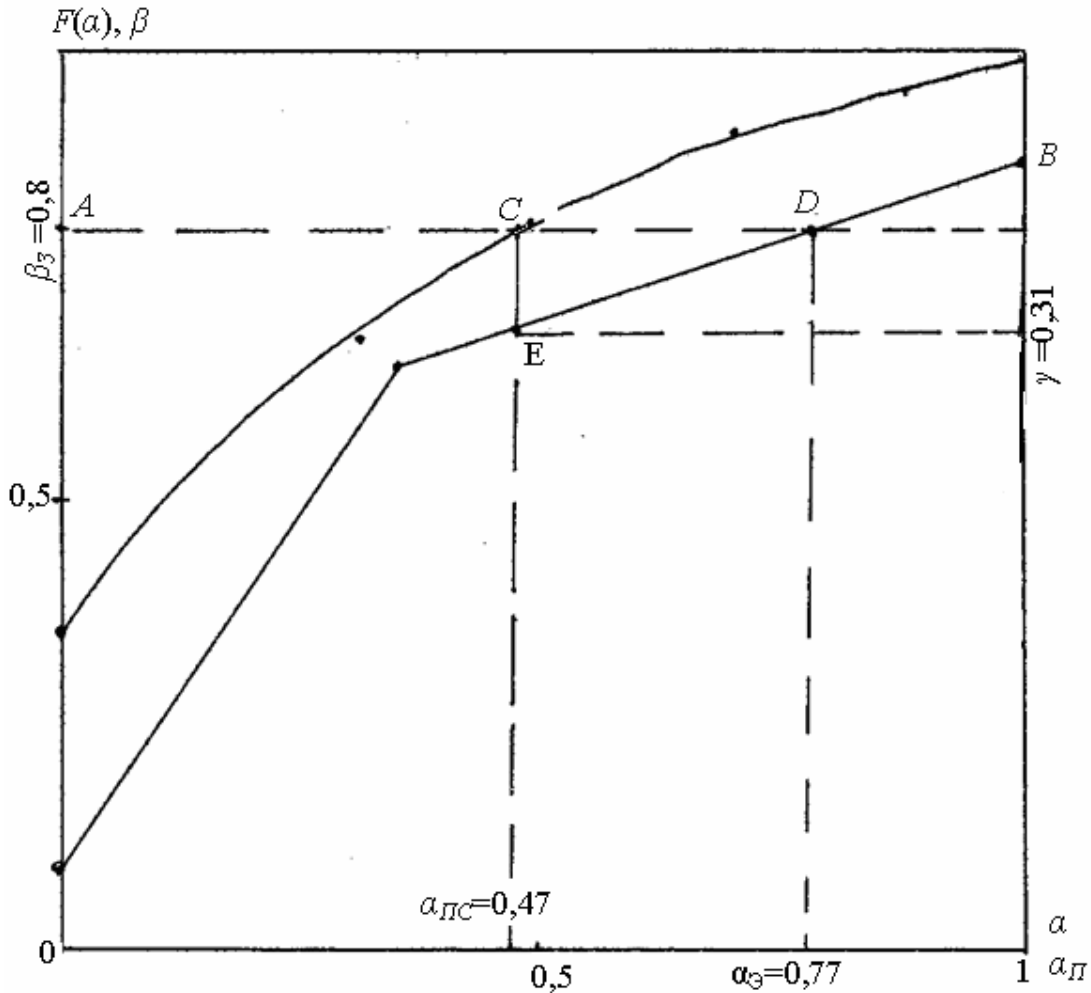


Рис. 1. Схема определения показателей разделения для шихты, составленной из двух рудных разновидностей

Возьмем любые другие соотношения: $\gamma_1 = 0,2$, $\beta_{K1} = 0,9$; $\gamma_2 = 0,4$, $\beta_{K2} = 0,75$. Качество концентрата соответствует $\beta_{K3} = 0,8$. Выход концентрата составит $\gamma_C = 0,3 < 0,375$. Многократный просчет различных случайных комбинаций: γ_1 , β_{K1} , γ_2 , β_{K2} , при $\beta_{K3} = \text{const}$ дает значение выхода обогащенного продукта меньше первоначально полученного.

Если отрезок CD невозможно отложить для смешиваемых разновидностей, то заданное качество концентрата нереально для такой шихты.

Поскольку кривые обогатимости и $\beta_K = f(\alpha_{II})$ от точки $\alpha_{II} = 0$ имеют расходящуюся тенденцию, то положение линии CD между ними единственно.

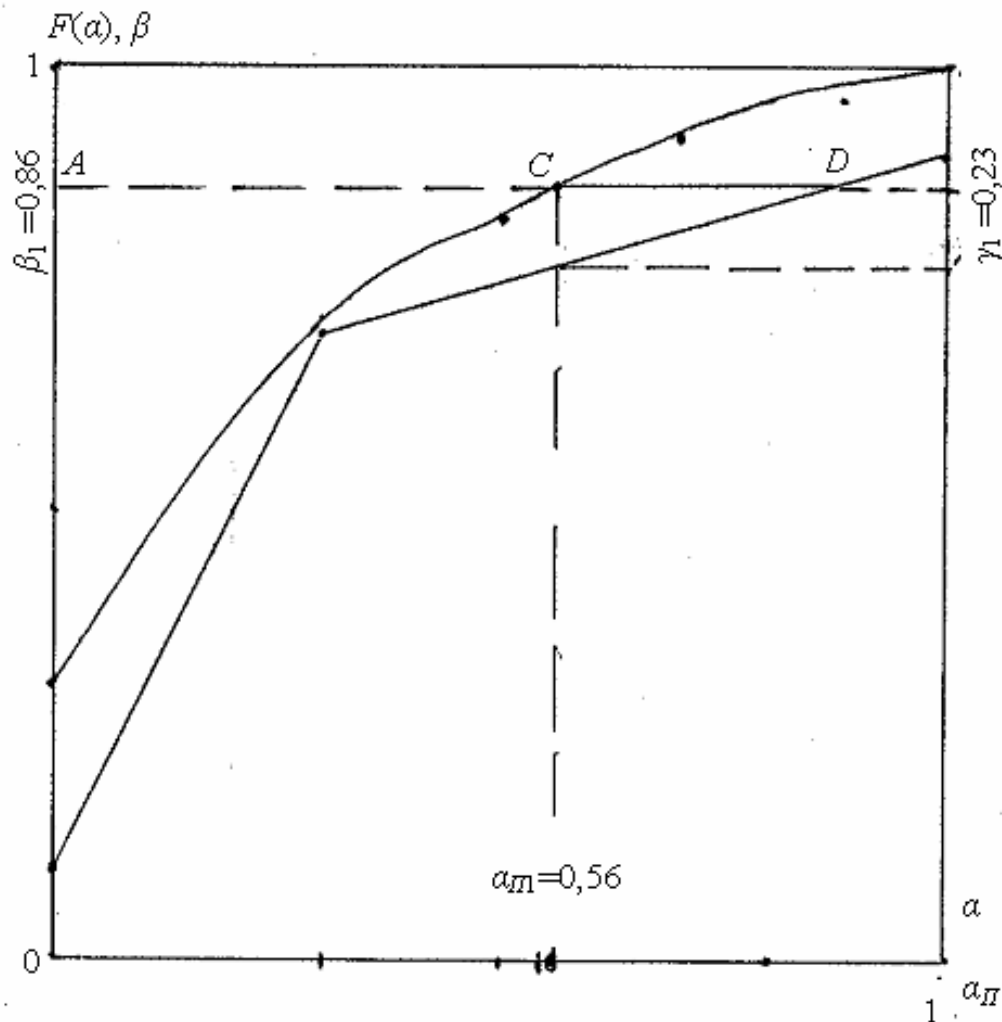


Рис. 2. Схема определения параметров разделения первой рудной разновидности

Таким образом, существует единственное соотношение $\gamma_1, \beta_{K1}, \gamma_2, \beta_{K2}$, которое дает максимальный выход обогащенного продукта при раздельном обогащении разновидностей. В то время как разделение таким же образом подготовленной шихты этих разновидностей дает выход продукта меньше максимального.

Общее решение данной задачи следующее.

Заданы кривые обогатимости рудных разновидностей $F_i(\alpha)$ и теоретические функции изменения качества обогащенного продукта $\beta_i(\alpha_{II})$ при известных сепарационных характеристиках разделительных аппаратов. Заданы те же характеристики для шихты, составленной из этих разновидностей: $F_C(\alpha), \beta_C(\alpha_{II})$ в известных соотношениях p_i .

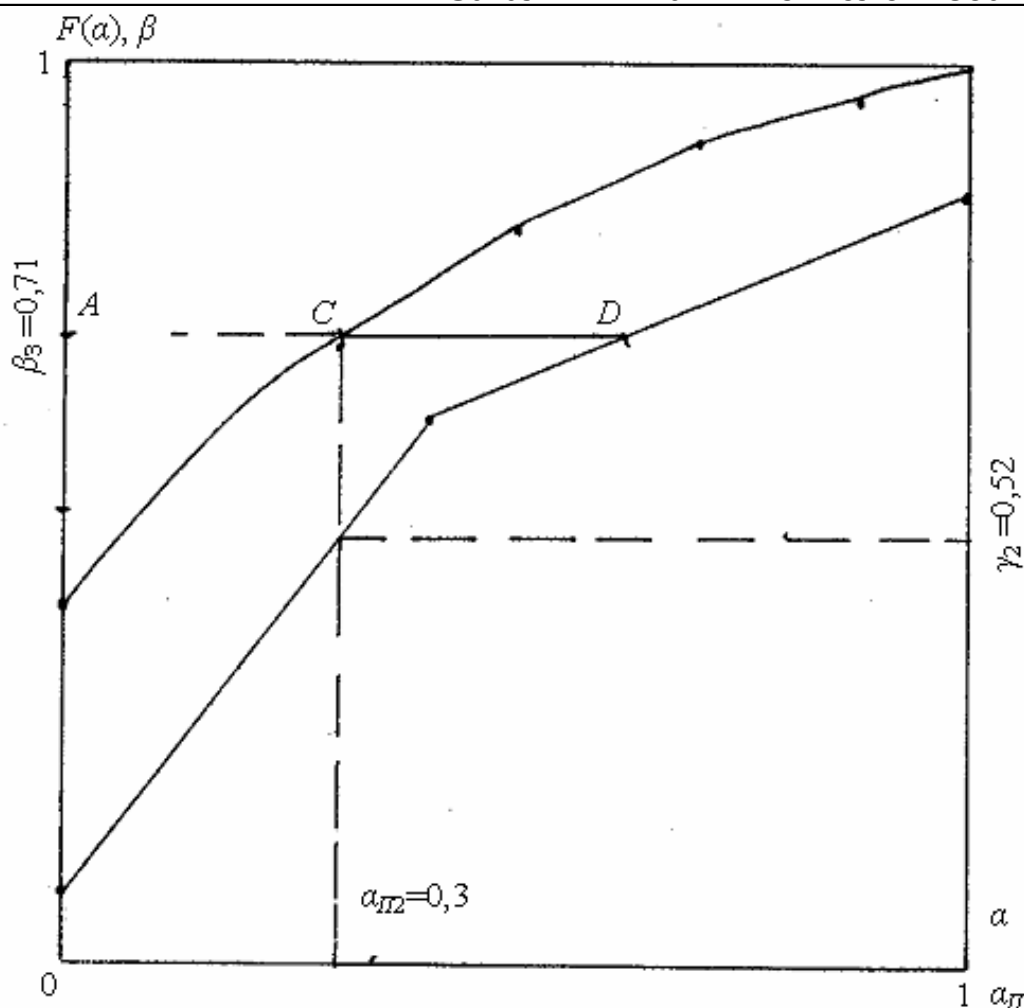


Рис. 3. Схема определения параметров разделения второй рудной разновидности

Требуется получить обогащенный продукт с заданным содержанием β_{K3} и максимальным выходом $\gamma_{МАКС}$.

Находится содержание разделения $\alpha_{PC} = \beta_C^{-1}(\beta = \beta_{K3})$.

Определяются границы элементарной фракции разделения

$$\alpha_{ЭC} = F^{-1}(F(\alpha) = \beta_{K3}),$$

$$\Delta\alpha_C = \alpha_{ЭC} - \alpha_{PC}.$$

Определяется выход продукта $\gamma_C = 1 - F(\alpha = \alpha_{PC})$.

Далее определяются показатели разделения каждой из рудных разновидностей.

Ординаты, соответствующие заданной разности абсцисс функций

Загальні питання технології збагачення

$$F_i^{-1}(\alpha_{\Pi i}) - \beta^{-1}(\alpha_{\Pi i} + \alpha_{\Pi C}) = \Delta\alpha_C.$$

Затем по кривым обогатимости разновидностей находим $\alpha_{\Pi i} \beta_{P_i}$.

Выход каждой разновидности составит $\gamma_i = 1 - F(\alpha_{\Pi i})$.

Общий выход продукта составит

$$\gamma = p_i \gamma_i.$$

При этом

$$\gamma = p_i \gamma_i \beta_i = \beta_{K3}.$$

Итак, раздельное обогащение рудных разновидностей дает максимально возможный выход концентрата по сравнению с обогащением усредненной шихты в любом их соотношении.

Если при раздельном обогащении нескольких рудных разновидностей требуется получить суммарный концентрат с общим заданным содержанием ценного минерала, то максимальный суммарный выход концентрата с общим заданным содержанием будет получен при одинаковом среднем содержании ценного минерала элементарных фракций разделения.

Список литературы

1. **Артюшин С.П.** Проектирование углеобогачительных фабрик / Изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Недра, 1974. – 200 с.
2. **Кармазин В.В., Младецкий И.К., Пилов П.И.** Расчеты технологических показателей обогащения полезных ископаемых: Учебное пособие – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2006. – 221 с.

© Младецкий И.К., Пилов П.И., Куваев Я.Г., 2011

*Надійшла до редколегії 02.09.2011 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. О.Д. Полуляхом*