

И.К. МЛАДЕЦКИЙ д-р техн. наук,

А.Н ИВАНЧЕНКО

(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет)

ОСОБЕННОСТИ СТАДИАЛЬНОГО ВЫДЕЛЕНИЯ ОТКРЫТЫХ ФРАКЦИЙ В ОБОГАЩЕНИИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Основной характеристикой смеси частиц, подготовленных к разделению, является функция распределения $F(x)$ этих частиц по разделительному признаку x – размеру частиц, магнитной восприимчивости, плотности и т.д. В практике обогащения полезных ископаемых эта функция называется кривой обогатимости. Одно из свойств такой функции то, что она – неубывающая (рис. 1) и в зависимости от подготовки сырья смесь частиц имеет различные виды функции $F(x)$. Отождествим разделительный признак с содержанием ценного компонента, т.е. $\alpha \equiv x$. Так, при хорошей подготовке смесь имеет незначительное количество промежуточных фракций. Вид кривой 2 позволяет сделать вывод, что диапазон изменения свойств частиц весьма узок и осуществлять разделение не имеет смысла: все частицы представлены одинаковыми разделительными свойствами. Разрывы первого рода в точках 0 и 1 (кривая 1) дают отрезки, определяющие количество открытых частиц с нулевым разделительным признаком ($\alpha = 0$) и с максимальным ($\alpha = 1$). В случае, когда рассматривается полезное ископаемое, то это будут открытые нерудные и рудные зерна, а промежуточные фракции – представлены сростками рудной и нерудной фаз.

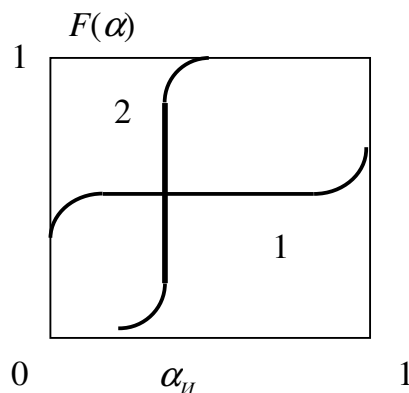


Рис. 1. Функции распределения сростков при крайних случаях раскрытия

Этот показатель изменяется в пределах $0 < \alpha < 1$. Так, когда раскрытие $R = 0$, то $F(\alpha)$ имеет вид ступенчатой функции и частицы будут с одинаковыми значениями содержания ценного компонента, когда $R \rightarrow 1$, $F(\alpha)$ не зависит от α , т.е. смесь состоит из частиц ценного и неценного компонентов.

Разделительный аппарат обычно обладает таким естественным свойством, что частицы с большим значением разделительного признака имеют большую

Загальні питання технології збагачення

вероятность извлечения в обогащенный продукт. Это и отражается в разделительной характеристике на рис. 2.

Кривые 1 и 2 соответствуют аппаратам с хорошими разделительными свойствами. В случае 1 аппарат настроен на выделение бедных частиц, а в случае 2 – богатых. Кривая 3 (рис. 2) характеризует разделительный аппарат, в котором обогащенный и обедненный продукты будут иметь частицы всего диапазона разделительных свойств. Путем подстройки режимных и конструктивных параметров этого аппарата, а также созданием технологических блоков можно воздействовать на крутизну кривой $P(\alpha)$ и положение точки перегиба α_{II} в практически неограниченных интервалах значений α . Таким образом мы вправе предполагать любое необходимое положение $P(\alpha)$.

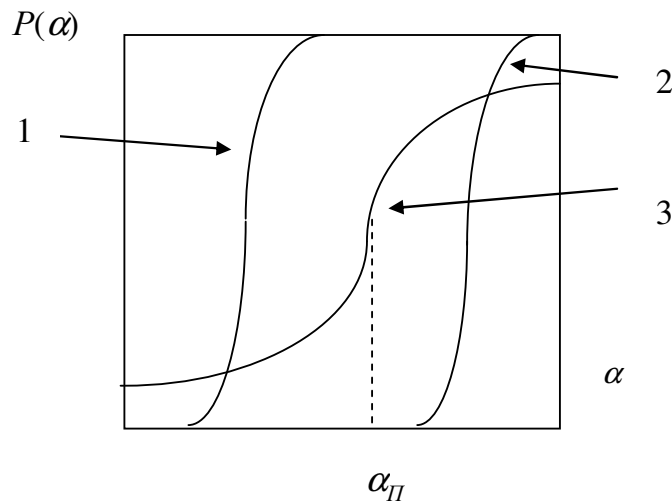


Рис. 2. Виды разделительных характеристик аппаратов

Зная разделительные характеристики $P(\alpha)$ и дифференциальную функцию распределения частиц по разделительному признаку $f(\alpha) = \frac{\partial F(\alpha)}{\partial \alpha}$, несложно определить выходные показатели разделения: качество обогащенного и обедненного продуктов соответственно:

$$\beta = \frac{\int_0^1 \alpha f(\alpha) P(\alpha) d\alpha}{\int_0^1 f(\alpha) P(\alpha) d\alpha} ; \nu = \frac{\int_0^1 \alpha f(\alpha) (1 - P(\alpha)) d\alpha}{\int_0^1 f(\alpha) (1 - P(\alpha)) d\alpha} . \quad (1)$$

Оба показателя изменяются в одном и том же направлении: если положение точки перегиба α_{II} на кривой разделения смещается, например, вправо, то увеличиваются β и ν . При смещении $P(\alpha)$ влево выходные показатели уменьшаются.

Возьмем характеристику $P(\alpha)$ и будем изменять величину α_{II} от 0 до 1. По-

Загальні питання технології збагачення

казатель подготовки также будем изменять в пределах $0 < R < 1$. В результате моделирования при $R = \text{const}$ получены зависимости $\beta = f_1(\alpha_{II})$ и $v = f_2(\alpha_{II})$ (рис. 3).

Как видно из рис. 3, существует функциональная зависимость между выходными показателями разделения (рис. 4).

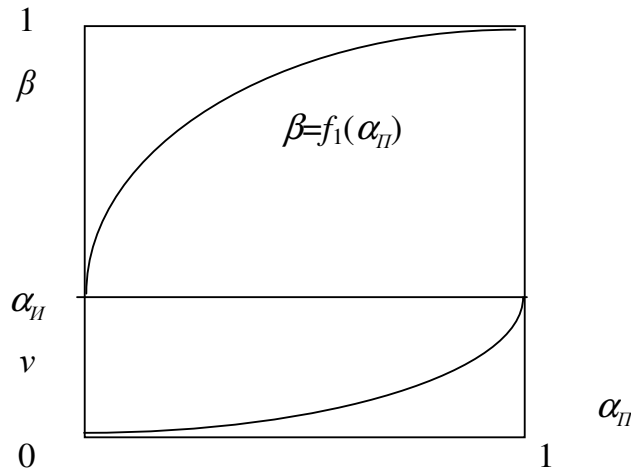


Рис. 3. Графики изменения показателей разделения при смещении точки перегиба разделительной характеристики

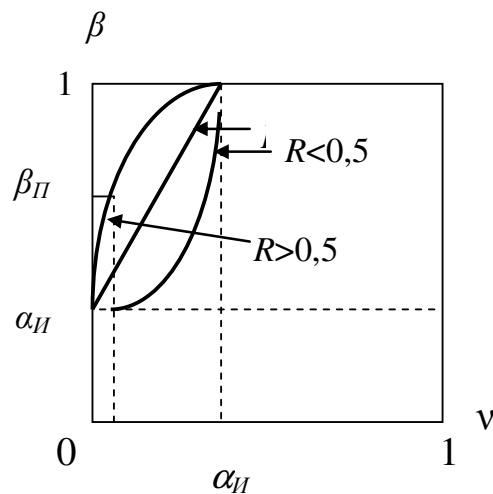


Рис. 4. Зависимость выходных показателей бинарного разделения друг от друга

Рассмотрим закономерности разделения, когда сепарационная характеристика при $R \rightarrow 1$ имеет вид кривой 3 (рис. 2). При этом никогда не будет получено разделение, которое считается идеальным и всегда $\beta < 1$ и $v > 0$. Зависимости $\beta = f_1(\alpha_{II})$ и $v = f_2(\alpha_{II})$ будут иметь предельные значения выходных показателей разделения измененных на следующие величины:

$$\Delta\beta = 1 - \frac{P_{P3}P(1)}{P_{P3}P(1) + P_{H3}P(0)}; \quad \Delta v = \frac{(1-P(1))P_{P3}}{(1-P(1))P_{P3} + P_{H3}(1-P(0))}.$$

Загальні питання технології збагачення

При изменении раскрытия в области, где $R < 0,5$, функции f_1 и f_2 изменяют знак кривизны. Как видно, частицы имеют минимальное значение разделительного признака при $\alpha_{\min} > 0$, а максимальное – при $\alpha_{\max} < 1$.

Проведенные рассуждения дают возможность заключить, что в случае бинарного разделения в одном аппарате невозможно получить одновременно богатый обогащенный продукт и бедные хвосты. Для такого противоречивого требования необходимо технологическое решение или изменение раскрытия. Таким технологическим решением может быть схема, показанная на рис. 5, в которой аппараты для выделения концентрата имеют сепарационную характеристику вида 2 (рис. 1), а для выделения хвостов – вида 1 (рис. 1).

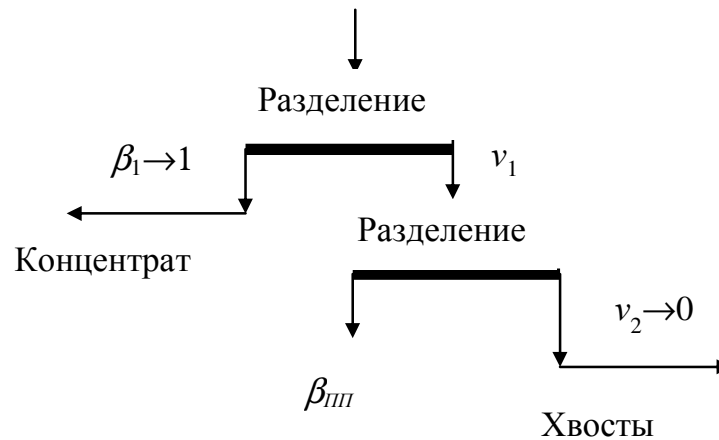


Рис. 5. Схема одновременного выделения концентрата и хвостов

Выразим показатели раскрытия через один аргумент $0 \leq R \leq 1$, называемый раскрытием рудного минерала или просто раскрытием. С его помощью содержание фракций в подготовленном продукте можно выразить как:

- открытые рудные зерна $P_{PЗ} = \alpha_{II} R$;
- богатые сродки $P_{PC} = \alpha_{II} (1 - R)$;
- бедные сродки $P_{HC} = (1 - \alpha_{II})(1 - R)$.

Если минерал полностью раскрыт ($R=1$), то будут только открытые зерна среди частиц, если же минерал не раскрыт ($R=0$), то будут сродки в количестве

$$P_{PC} = \alpha_{II}, P_{HC} = 1 - \alpha_{II},$$

что соответствует представлению о раскрытии рудного минерала.

Подставим показатели раскрытия в формулу, позволяющую определить качество промежуточного продукта, и будем иметь

$$\beta_{III} = \frac{\alpha_{II} - \alpha_{II} R}{\alpha_{II} (1 - R) + (1 - \alpha_{II})(1 - R)} = \alpha_{II}.$$

Загальні питання технології збагачення

Таким образом, при стадийном выделении открытого минерала исходное содержание ценного компонента по стадиям подготовки неизменно и равно исходному содержанию.

Если же применять сепараторы только с одинаковыми сепарационными характеристиками, то технология будет реализовывать стадийное выделение только одного вида готового продукта: хвостов или концентрата.

Предположим, что мы располагаем одним видом сепараторов, которые имеют сепарационные характеристики вида 1 (рис. 1). В этом случае выделяем только хвосты. Расчеты по формулам (1) показывает, что за 2-3 приема разделения можно получить практически чистые хвосты. Весь обогащенный продукт идет на дальнейшее раскрытие для более глубокого обогащения.

Зависимость $\beta_K = f(\nu)$ изображаем прямыми линиями (рис. 6), потому что относительное раскрытие в каждой последующей стадии, по мере увеличения качества концентрата уменьшается.

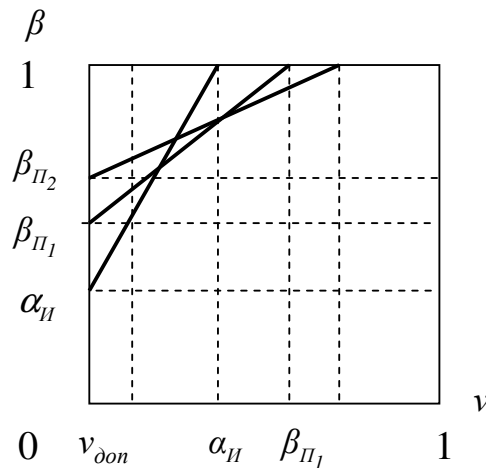


Рис. 6. Схема для определения выходных показателей технологических блоков подготовки и разделения

На потери ценного минерала наложено ограничение; они не должны быть больше допустимого значения – $\nu < \nu_{дон}$. Восстанавливаем вертикаль в этой точке и в пересечение ее с кривой $\beta_K = f(\nu)$ определяем предельное значение качества обогащенного продукта в данной стадии обогащения – $\beta_{ПП1}$. Следующая стадия обогащения даст максимальное значение качества $\beta_{ПП2}$, и т.д.

Однако, как следует из рис. 6, приращение качества промежуточного продукта будет от стадии к стадии уменьшаться. Обоганительный процесс прекращают тогда, когда эти приращения станут незначительными. А незначительное приращение соответствует попаданию приращений в интервал погрешности, т.е. если взять продукт с качеством $\alpha_{и}$ и смешать его с продуктом, качество которого $\beta_K = 1$, то получим продукт не хуже заданного качества $\beta_{КЗ}$. Допустим, проведено n стадий подготовки и разделения ценного минерала. В каждой

Загальні питання технології збагачення

стадії було получено P_{P3_i} открытых рудных зерен и P_{H3_i} нерудных зерен. Тогда при смешении получим продукт с качеством

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n P_{P3_i} + (1 - P_{P3_i} - P_{H3_i})\alpha_{II}}{\sum_{i=1}^n P_{P3_i} + 1 - P_{P3_i} - P_{H3_i}} .$$

Как видим, что по мере увеличения качества обогащенного продукта уменьшается приращение его по операциям. Следовательно, высокие показатели при таком способе построения технологии недостижимы.

Реализация основного принципа обогащения полезных ископаемых "не измельчать ничего лишнего" (принцип Чечета) кроется в том, чтобы из процесса выводить после подготовки открытые рудные и нерудные зерна. В результате обогащенный продукт будет с содержанием ценного компонента близким к 1, а обедненный – $v \rightarrow 0$. Промежуточный продукт будет направляться на дальнейшее раскрытие. Поскольку разделение бинарное, то сформулированная процедура может быть реализована только с помощью некоторой технологии (рис. 5), при которой качество промежуточного продукта будет равно качеству исходного продукта.

Таким образом, учитывая все приведенные рассуждения приходим к выводу, что стадияльное выделение открытых фракций дает возможность за меньшее количество подготовительных операций получить требуемое высокое качество концентрата при ограничениях на потери в хвостах.

Кроме того, это единственный способ, который гарантирует достижение качества концентрата сколь угодно близкого к единице.

© Младецкий И.К., Иванченко А.Н., 2011

*Надійшла до редколегії 12.10.2011 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*