

УДК 622.776

И.К. МЛАДЕЦКИЙ, д-р техн. наук,

К.А. ЛЕВЧЕНКО, канд техн. наук

(Украина, Днепр, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет")

ПОКАЗАТЕЛЬ РАСКРЫТИЯ РУДНОГО МИНЕРАЛА

подавляющее большинство химических элементов находятся в природе в виде соединений, которые образуют минералы (фр. *minéral*, от, *позднелат. minera – руда*). Минералы – это химические соединения элементов, один или несколько из которых представляют в данный момент ценность. Они сосредотачиваются в виде вкраплений различной крупности (d_{BK}), что в обогащении полезных ископаемых принято называть вкрапленностью. Вкрапленность характеризуется функцией распределения по крупности – $f(d_{BK})$. Объединения минералов более или менее постоянного минералогического состава, образующие самостоятельное тело в земной коре, составляют горные породы. Те из горных пород, химический состав и физические свойства которых, позволяют эффективно использовать их в сфере материального производства, относятся к полезным ископаемым.

Обогащение полезных ископаемых имеет своим предметом выделение минералов с требуемым химическим элементом, что включается в понятие – ценный минерал, а продукт выделения – целевой продукт. Для выделения ценного минерала его предварительно необходимо отделить от других минералов, образующих данную горную породу, что достигается дроблением и измельчением. В результате измельчения образуются различного размера частицы, характеризующиеся функцией распределения частиц по крупности – $f(d)$ (интегральная функция $F(d)$). Так, как разрушение горной породы осуществляется, как по вкраплению ценного минерала, так и по границам спаянности минералов, то в результате образуются открытые частицы ценного минерала – открытые рудные зерна ($PЗ$); открытые частицы остальных минералов горной породы – открытые нерудные зерна ($HЗ$). А также частицы с сочетанием ценного минерала и остальных минералов – сrostки. В сrostках может преобладать ценный минерал – богатые сrostки (PC); или породные минералы – бедные сrostки (HC). Сочетания открытой фракции и сrostков определяется показателем раскрытия ценного минерала, который характеризуется функцией распределения сrostков. Функция распределения сrostков зависит от двух параметров: содержание ценного минерала и средней крупности частиц, и может быть представлена в дифференциальном ($f(\alpha/\bar{d})$) или интегральном виде ($F(\alpha/\bar{d})$), как показано на рис. 1.

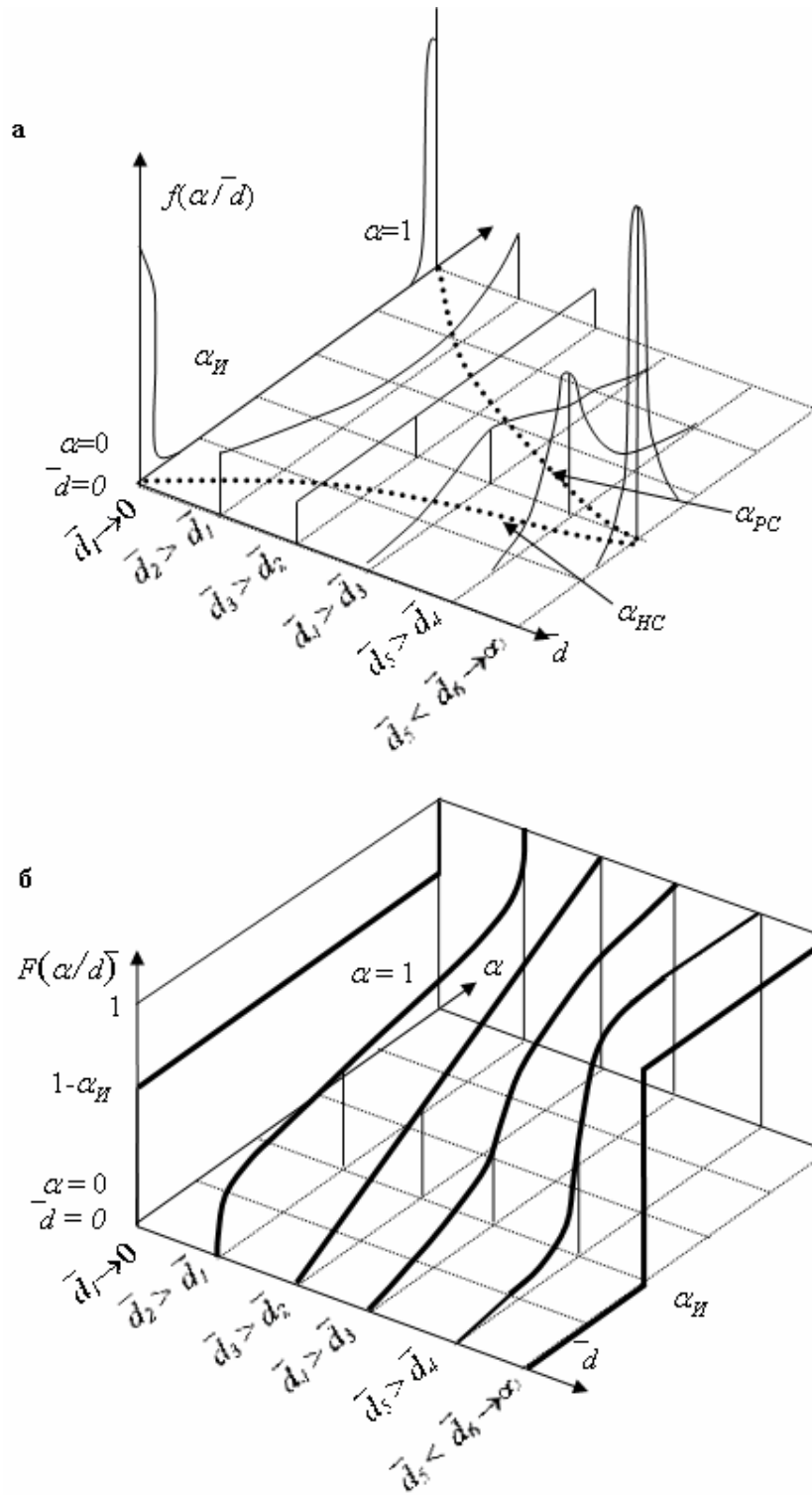


Рис. 1. Вид функции распределения сростков при различной средней крупности помола полезного ископаемого:
 а – дифференциальной функции;
 б – интегральной функции

Підготовчі процеси збагачення

В больших кусках, т.е. когда размер частиц в десятки раз больше размера вкраплений, или иначе можем сказать, что средняя крупность частиц $\bar{d} \rightarrow \infty$, содержание ценного минерала одинаково, и соответствует содержанию ценного минерала в исходном продукте – α_H . По мере измельчения (дробления) с уменьшением средней крупности частиц содержание ценного минерала в богатых (α_{PC}) и бедных (α_{HC}) сростках изменяется. Количество бедных и богатых сростков достигает минимального значения, когда $\bar{d} \rightarrow 0$, а содержание ценного компонента в них стремится, соответственно: $\alpha_{PC} \rightarrow 1$, а $\alpha_{HC} \rightarrow 0$.

Таким образом, вид функции распределения сростков, с одной стороны, зависит от обогатительных свойств сырья: вкрапленности d_{BK} , измельчаемости (твердости), содержания ценного минерала α_H , а с другой – от результатов измельчения, характеризующееся функцией распределения частиц по крупности (гранулометрической характеристикой).

Функция распределения вкраплений по крупности $f(d_{BK})$, измельчаемость и прочность – это то, что заложено природой образования месторождения, и эти факторы не могут быть изменены, т.е. являются неуправляемыми параметрами сырья. Распределение же частиц по крупности после дробления или измельчения, есть управляемый фактор, и является одним из главных показателей подготовки сырья к разделению (обогащению). Главной задачей обогащения есть получение продуктов двух видов: первый содержит только открытые рудные зерна; второй – нерудные (породообразующие). При этом сростков не должно быть, что является идеальным разделением.

Для того, чтобы выделить частицы с заданным содержанием ценного минерала, необходимо функцию распределения сростков определенным образом "разрезать". Гипотетически это достигается проведением вертикали на графике функции $F(\alpha)$ в желаемой точке разделения. Тогда фракции, располагающиеся справа от вертикали, будут образовывать обогащенную фракцию, а те, что слева от вертикали – обедненную.

Задача обогащения полезных ископаемых заключается в том, чтобы обогащенный продукт имел содержание ценного минерала больше исходного содержания $\beta > \alpha_H$, а обедненный продукт – меньше $\alpha_H > \nu$. т.е. основным критерием различия продуктов разделения является исходное содержание.

В промышленности такое разделение осуществляется с помощью аппаратов, у которых разделительные свойства характеризуются не вертикалью, а наклонной, более сложной кривой, называемой сепарационной характеристикой. Сепарационная характеристика отражает вероятности перехода узких фракций продукта в обогащенный продукт. Чем больше сепарационная характеристика отличается от ступенчатой функции, тем хуже разделительные свойства аппарата. Обогащители называют ступенчатую функцию идеальной сепарационной характеристикой.

Гипотетически технологические критерии позволяют независимо от показателей подготовки сырья по показателям разделения оценить качество разделения, но чем выше значение критерия, тем лучше сочетаются показатели под-

готовленого сир'я і роздільні властивості сепараційного процесу.

Із викладеного випливає, що оцінка якості розділення не може бути виконана без урахування показників підготовки сир'я. Таким чином, розглянемо загальні аспекти оцінки якості роздільних процесів.

Для спрощення деяких висновків, припустимо, що ми маємо справу з рівномірно вкрапленою рудою, яка має блокове будову: розмір вкраплень d_{BK} , відстань між вкрапленнями r_{BK} , розмір блоку L_{BK} . При дробленні відкриваються вкраплення цінного мінералу. Нерудна фаза має розмір

$r_{BK} = d_{BK} \left(\sqrt[3]{\frac{0,65}{\alpha_H}} - 1 \right)$, якщо вміст цінного мінералу в дроблюваному матеріалі $\alpha_H \leq 0,65$. В протилежному випадку рудна фаза стає сплошною, а нерудна – вкрапленою і тоді має сенс говорити про відкриття нерудної фази. Вивід висновків, згідно яких визначаються показники відкриття, наведено в [1], тому тут обмежимося констатацією:

- вміст відкритих рудних зерен ($\alpha = 1$)

$$P_{P3} = \alpha_H \cdot \int_0^{d_{BK}} \left(1 - \frac{d}{d_{BK}} \right) \cdot f(d) \partial d;$$

- вміст нерудних зерен ($\alpha = 0$)

$$P_{H3} = (1 - \alpha_H) \cdot \int_0^{r_{BK}} \left(1 - \frac{d}{r_{BK}} \right) \cdot f(d) \partial d;$$

- вміст бідних сростків ($\alpha_H > \alpha_{HC} > 0$)

$$P_{HC} = (1 - \alpha_H) \cdot \left(\int_0^{r_{BK}} \frac{d}{r_{BK}} \cdot f(d) \partial d + \int_{r_{BK}}^{10 \cdot L_{BK}} f(d) \partial d \right);$$

- вміст багатих сростків ($\alpha_H < \alpha_{PC} < 1$)

$$P_{PC} = \alpha_H \cdot \left(\int_0^{d_{BK}} \frac{d}{d_{BK}} \cdot f(d) \partial d + \int_{r_{BK}}^{10 \cdot L_{BK}} f(d) \partial d \right) + \int_{10 \cdot L_{BK}}^{\infty} f(d) \partial d;$$

$$r_{BK} = 1,4 \cdot d_{BK} \cdot \left(\sqrt[3]{\frac{0,65}{\alpha_H}} - 1 \right); \quad r_{BK} + d_{BK} = L_{BK}.$$

Підготовчі процеси збагачення

Увеличение крупности помола может привести к такому случаю, когда открытых фракций не будет (рис. 1, d_3), а дальнейшее увеличение крупности даст нам функцию распределения d_4, d_5 .

Пределные значения содержания ценного минерала в частицах в зависимости от их крупности приведены в работе [2], согласно той структуры, которую мы приняли. Эти зависимости имеют вид:

$$\text{– для максимального значения} \quad \alpha_{\max} = \left(\frac{n+1}{n \cdot \sqrt[3]{\frac{0,65}{\alpha_H} + 1}} \right)^3 ;$$

$$\text{– для минимального значения} \quad \alpha_{\min} = \left(\frac{n}{(n+1) \cdot \sqrt[3]{\frac{0,65}{\alpha_H} - 1}} \right)^3 ,$$

где d_{BK} – размер вкрапления ценного минерала; α_H – содержание ценного минерала в монолите руды; n – количество измерений L_{BK} , укладываемых в поперечнике частицы.

Раскрытием можно характеризовать подготовленный к разделению материал. Для этого, необходимо определенным образом подвергнуть анализу этот материал, и какое качество обогащенного продукта ожидается. Попробуем выполнить такой анализ при минимальном количестве исходной информации.

Обогатительными признаками полезного ископаемого являются содержание ценного минерала – α_H ; вкрапление этого минерала – d_{BK} ; измельчаемость полезного ископаемого. Поскольку подготовленный продукт может быть охарактеризован средней крупностью частиц, то этот, последний, показатель можно заменить этой величиной – \bar{d} ; или же функцией распределения частиц по крупности – $F(\alpha/\bar{d})$ [2].

График изменения содержания ценного минерала в частицах измельченного минерального сырья имеет вид, показанный на рис. 2.

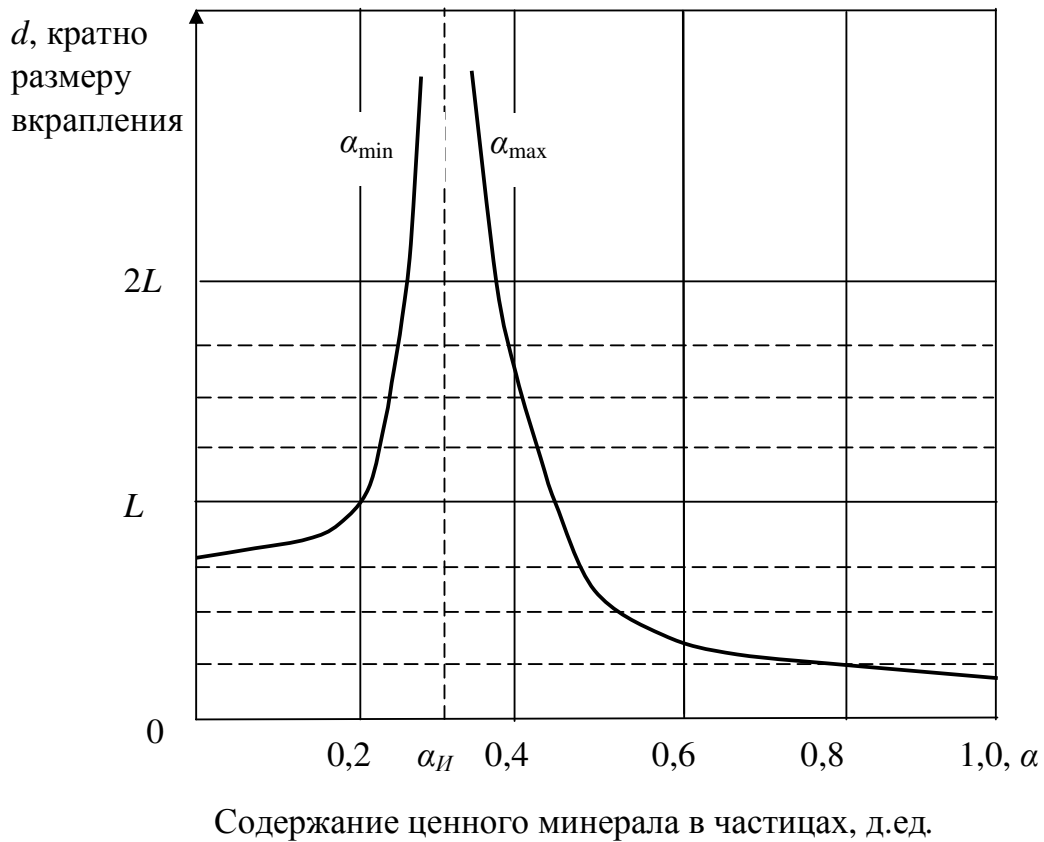


Рис. 2. Кривые предельных значений содержания ценного минерала в частицах заданного класса

Таким образом, чтобы характеризовать раскрытие ценного минерала необходимо использовать всю функцию распределения сrostков, получаемых в результате подготовки материала к разделению. На этом основании получаем:

$$R = \alpha_p - \alpha_n = \frac{P_{P3} + P_{PC} \cdot \alpha_{PC}}{P_{P3} + P_{PC}} - \frac{P_{HC} \cdot \alpha_{HC}}{P_{H3} + P_{HC}},$$

где $\alpha_p, \alpha_n, \alpha_{pc}, \alpha_{nc}$ – содержание ценного минерала соответственно, в рудной и нерудной части, в богатых и бедных сrostках, д.ед.; $P_{P3}, P_{H3}, P_{PC}, P_{HC}$ – количество зерен соответственно, рудных и нерудных (породных) раскрытых зерен, богатых и бедных сrostков.

В соответствии с гипотезами о предполагаемом виде функции распределения сrostков можно записать такие соотношения:

$$P_{P3} + P_{PC} = \alpha_I; \quad P_{H3} + P_{HC} = 1 - \alpha_I; \quad P_{P3} = \alpha_I - P_{PC};$$

$$\alpha_{PC} = \frac{\alpha_I + \alpha_{max}}{2}; \quad \alpha_{HC} = \frac{\alpha_I + \alpha_{min}}{2}.$$

Підготовчі процеси збагачення

Когда размер частиц соизмерим с размером вкрапления, но функция распределения частиц по крупности включает все возможные фракции, тогда:

$$R = 1 - \frac{P_{PC}}{2 \cdot \alpha_H} \cdot (2 - (\alpha_H + \alpha_{\max})) - \frac{P_{HC}}{2 \cdot (1 - \alpha_H)} \cdot (\alpha_H + \alpha_{\min}).$$

Итак: чем больше сrostков, тем меньше раскрытие и если предположить, что открытых фракций нет, но содержание ценного минерала в сrostках колеблется $0 \leq \alpha \leq 1$ (рис. 1, d_3) т.е.:

$$P_{PC} = \alpha_H, \quad P_{HC} = 1 - \alpha_H, \quad \alpha_{\max} = 1,0, \quad \alpha_{\min} = 0,$$

и

$$R = 1 - \frac{1}{2} \cdot (2 - (\alpha_H + 1)) - \frac{1}{2} \cdot \alpha_H = 0,5.$$

Таким образом, при тонком измельчении и в отсутствии открытых фракций раскрытие составляет $R = 0,5$.

При $R > 0,5$, имеем все виды частиц, т.е. открытые рудные и породные, бедные и богатые сrostки (рис. 1, d_2).

Максимальное раскрытие ($R = 1,0$) будет только в том случае, если содержание любого вида сrostков будет нулевым. (рис. 1, d_1).

Если $R < 0,5$, то это означает, что нет открытой фракции и сепарация продукта нецелесообразна: богатой фракции не получится, а годной в отходы не существует (рис. 1, d_4, d_5).

Дальнейшее увеличение крупности частиц приводит к тому, что сrostки содержат несколько элементарных циклов вкрапления и в дальнейшем

$$\alpha_{\max} = \alpha_{\min} = \alpha_H$$

Тогда, раскрытие составляет

$$R = 1 - \frac{\alpha_H}{2 \cdot \alpha_H} \cdot (2 - (\alpha_H + \alpha_H)) - \frac{(1 - \alpha_H)}{2 \cdot (1 - \alpha_H)} \cdot (\alpha_H + \alpha_H) = 0.$$

Итак, показатель раскрытия, как критерий удовлетворяет основным принципам построения критериев, положителен, изменяется в пределах от нуля до единицы ($0 \leq R \leq 1,0$), и чувствителен к изменению любого из обогатительных признаков сырья.

Список литературы

1. Младецкий И.К., Мостыка Ю.С. Аналитическое определение показателей раскрытия руд. – Днепропетровск: Системные технологии, 1999. – 106 с.
2. Младецкий И.К., Марюта А.Н. Моделирование процесса магнитной сепарации руд. – Киев-Донецк: Вища школа, 1984. – 135 с.
3. Младецкий И.К., Соколова А.В. Рециклы в сепарации промышленного сырья // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2002. – 16(57). – С. 25-31.

© Младецкий И.К., Левченко К.А., 2017

*Надійшла до редколегії 22.09.2017 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. Л.Ж. Горбець*