

К.А. ЛЕВЧЕНКО, канд. техн. наук,
И.К. МЛАДЕЦКИЙ, д-р техн. наук
(Украина, Днепр, НТУ «Днепровская политехника»)

ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА ПОНЯТИЯ «ОБОГАТИМОСТЬ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО»

Процесс обогащения полезных ископаемых предполагает минимум два этапа:

- первый – отделение полезного минерала от вмещающей породы;
- второй – разделение полученной смеси минералов друг от друга.

Первый этап выполняется измельчением полезного ископаемого. В зависимости от крупности помола, он характеризуется вскрытием или раскрытием ценного минерала. Второй этап выполняется на различного рода разделительных аппаратах – сепараторах, которые системно характеризуются сепарационной характеристикой. Таким образом, понятие «обогащаемость» должно включать характеристики этих двух этапов.

Если в научных работах встречается термин «обогащаемость», то рассматриваются функции распределения полезного ископаемого по фракциям или другим показателям качества, по которым ведут разделение с целью получения обогащенного и обедненного продуктов. Например, угольная масса не подвергается измельчению, и поэтому подвергается разделению первоначально по крупности, а потом уже по зольности. Зольность связывают с плотностью фракций и поэтому фактически идет разделение по плотности, поскольку предварительное разделение по крупности в известной степени ограничило влияние крупности на разделительный процесс. Тонкие частицы разделяют флотационными методами, которые используют обнаженные поверхности бинарных частиц. Таким образом, интенсивность разделения зависит от степени вскрытия ценного минерала в сырье.

Кривая распределения зольности фракций обычно имеет вид, показанный на рис. 1.

Исторически сложилось, что качество угольных фракций оценивали по содержанию негорючей массы – зольности. Тогда первая вертикаль означает содержание минерала с наибольшим углеродсодержанием – наименьшей зольностью – материнской зольностью – α_M . Вторая $P_{PC}(\alpha_M < \alpha < \alpha_H)$ наклонная линия охватывает интервал зольности богатых фракций, ограниченный материнской зольностью и средней зольностью пробы. Третья наклонная линия $P_{HC}(\alpha_H < \alpha < \alpha_N)$ охватывает интервал зольности бедных фракций, ограниченный средней зольностью и зольностью породных фракций пробы. Четвертый отрезок – вертикальный – указывает на содержание породных (с наименьшим со-

Загальні питання технологій збагачення

держаним горючої маси – найбільшої зольністю) фракцій $P_{НЗ}$ в пробі.

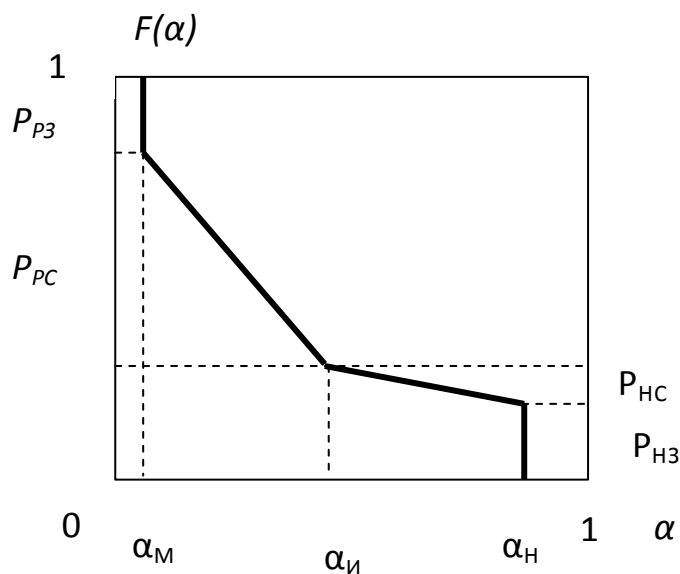


Рис. 1. Інтегральна функція розподілення кусков по вмісту в них нецінного мінерала

Считається, що обогатимість буде тем вище, чем більше довжина вертикальних відрізків і пологіше нахилні, т.е. чем більше відкритих фракцій і менше проміжних фракцій, а також чем більше відстання між материнською зольністю і зольністю породних фракцій – $\alpha_M - \alpha_Н$ (рис. 2).

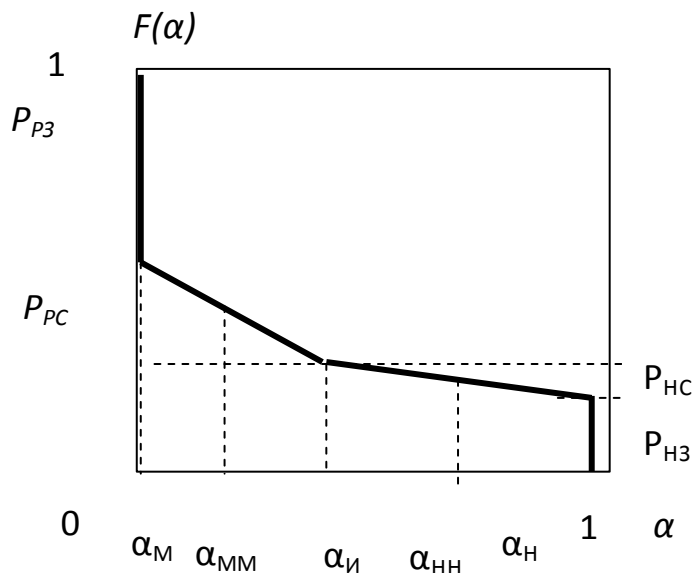


Рис. 2. Розподілення зольності для добре обогатимої гірної маси

Обогатимість буде тем гірше, чем менше довжина вертикальних відрізків і круче нахилні, т.е. фракцій, а також чем менше відстання між материн-

скою зольністю і зольністю породних фракцій $\alpha_M - \alpha_H$ (рис. 3)

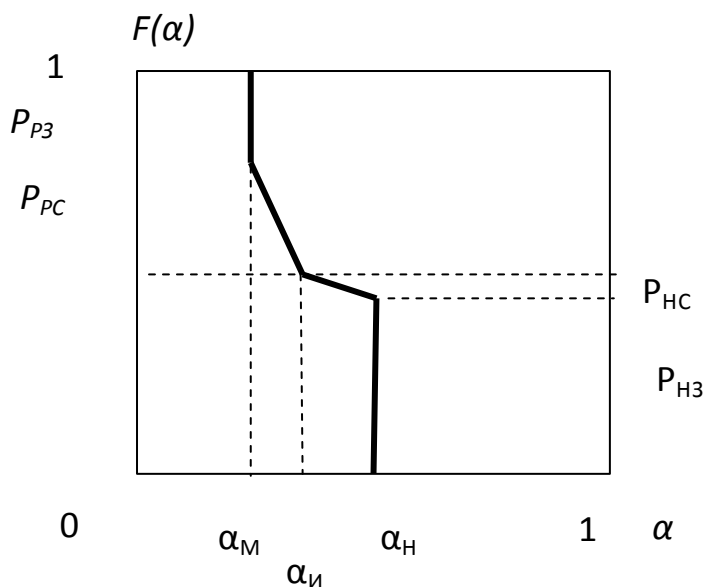


Рис. 3. Розподілення зольності для поганообогатимої гірної маси

Но обогаченню – розділенню – підвергаються всі фракції, тому необхідно в оцінку обогачимості включати всі числові характеристики функції розподілення фракцій по зольності. Для цього необхідно, наприклад, розглядати середні вмісти цінного мінерала в багатих α_{MM} і породних α_{HH} фракціях (рис. 2, 3), тоді відстань, яку можна оцінювати обогачимість, вирається як:

$$R = \frac{P_{НС} \cdot \alpha_{HH} + P_{НЗ} \cdot \alpha_H}{P_{НС} + P_{НЗ}} - \frac{P_{ПЗ} \cdot \alpha_M + P_{РС} \cdot \alpha_{MM}}{P_{ПЗ} + P_{РС}};$$

$$\alpha_{MM} = \frac{\alpha_M + \alpha_И}{2}, \quad \alpha_{HH} = \frac{\alpha_H + \alpha_И}{2}.$$

Итак:

- когди $\alpha_M \rightarrow 0$ и $P_{РС} \rightarrow 0$, то віднімаєме стремиться к нулю;
- когди $\alpha_H \rightarrow 1$ и $P_{НС} \rightarrow 0$, то зменшаєме стремиться к единице. Следовательно, выражение для $R \rightarrow 1$, обогачимость хорошая, и тоже стремиться к единице;
- когди $\alpha_M \rightarrow \alpha_И$ и $\alpha_H \rightarrow \alpha_И$, то и $\alpha_{MM} \rightarrow \alpha_И$ и $\alpha_{HH} \rightarrow \alpha_И$, и тогда выражение для $R \rightarrow 0$, обогачимость плохая и стремиться к нулю.

В то время, когди разрабатывались технологии обогачения полезных ископаемых, теория вероятностей была в зачаточном состоянии, поэтому ученые

Загальні питання технологій збагачення

предлагали свои методы для количественного и наглядного описания методик анализа показателей обогатительных процессов.

В настоящее время теория вероятностей преподается для всех инженерных специальностей, и согласно ее канонам интегральная характеристика есть неубывающая функция, т.е. она начинается с ординаты, равной нулю, и заканчивается, монотонно возрастаая, в ординате, равной единице.

Вкрапленные полезные ископаемые или ценный минерал имеет различное сосредоточение.

Минеральное сырье перед разделением подвергается отделению ценного минерала от неценного, т.е. измельчается. В зависимости от раскрытия ценного минерала, подготовленная масса имеет различную обогатимость, а поскольку при анализе сырья определяют абсолютное значение содержания ценного минерала, то функция распределения начинается в точке с координатами (0,0), а заканчивается в точке с координатами (1,1) (рис. 4).

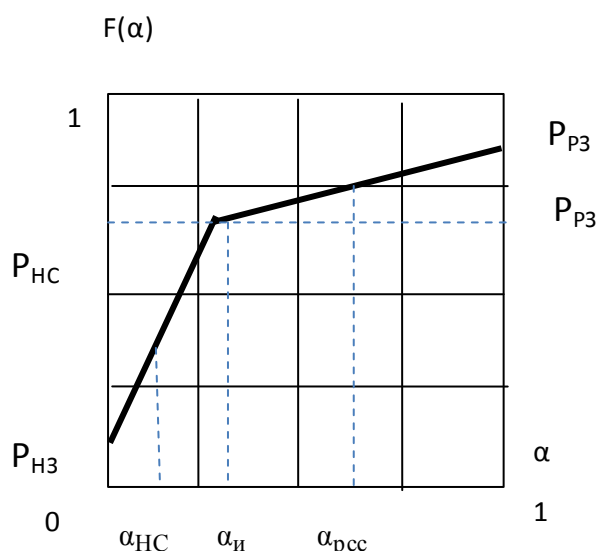


Рис. 4. Распределение сrostков для средней обогатительной подготовки

Согласно принципу Чечетта, если в подготовленном сырье имеются открытые фракции, то операция разделения желательна, с тем, чтобы не измельчать ничего лишнего. Здесь разделение будет осуществляться тем лучше, чем больше открытых фракций, т.е. опять-таки чем длиннее вертикальные отрезки в точках разрыва функции, т.е. чем меньше сrostков и больше открытых фракций и функция будет стремиться к ступенчатому виду, показанному на рис. 5.

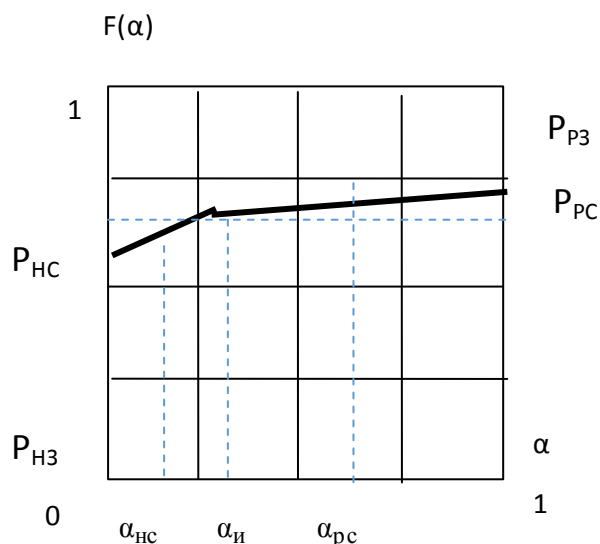


Рис. 5. Распределение сrostков для хорошей обогатительной подготовки

Если же брать куски руды большого размера – значительно больше размера вкрапления, то открытых фракций не будет: $P_{PЗ} = P_{НЗ} = 0$. Содержание ценного минерала в кусках будет несущественно отличаться друг от друга, и в частицах с $\alpha > \alpha_{И}$ будет некоторое максимальное содержание $\alpha_{МАКС}$, а в частицах с $\alpha < \alpha_{И}$ будет некоторое минимальное содержание – $\alpha_{МИН}$. Функция распределения сrostков примет вид, показанный на рис. 6.

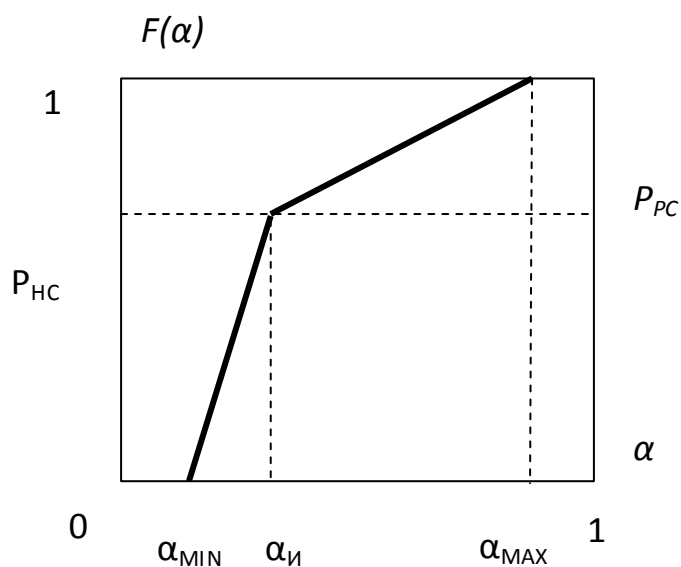


Рис. 6. Распределение сrostков для плохо подготовленной руды

Оценить степень подготовки – обогатимость – можно также с помощью соотношения:

$$\alpha_{PC} = \frac{1 + \alpha_{II}}{2}, \quad \alpha_{HC} = \frac{\alpha_{II}}{2}.$$

Или:

$$\alpha_{PC} = \frac{\alpha_{MAX} + \alpha_{II}}{2}, \quad \alpha_{HC} = \frac{\alpha_{MIN} + \alpha_{II}}{2}.$$

Итак:

– когда $\alpha_{MAX} = \alpha_{MIN} = \alpha_{II}$, тогда показатель $R = 0$, обогатимость нулевая;

– когда $P_{PЗ} = \alpha_{II}$ и $P_{НЗ} = 1 - \alpha_{II}$, тогда $R = 1$ – обогатимость единичная (идеальная).

Все вышеотмеченное справедливо при условии, что последующее разделение осуществляется на разделительном блоке (сепараторе), имеющим идеальное разделение, т.е. сепарационная характеристика ступенчатая и имеет единичный скачок в точке, абсцисса которой соответствует наилучшему сочетанию параметров подготовки и разделения.

Так как разделяют и дробленый и измельченный продукт, то мимо согласования крупности сырья с возможностями сепараторов пройти нельзя. Вместе с тем, как уникально каждое месторождение полезного ископаемого, так же уникальны для обогащения сырья из этого месторождения должны быть и технологические аппараты. Особенно разделительные. Поток частиц ценного минерала, идущего на разделение, характеризуется функцией распределения этого признака $f(\chi)$ с достаточно широким диапазоном изменения величины χ . Поэтому сепаратор должен быть достаточно чувствителен ко всем значениям χ от χ_{\min} до χ_{\max} .

Таким образом, согласовывать необходимо не число, а целую функцию. Естественно, что ей должна отвечать другая функция, которая присуща аппарату. Такими двумя функциями являются: функция раскрытия $F(\alpha)$ (кривая обогатимости, функция распределения сростков) и функция, отражающая закономерности разделения – сепарационная характеристика $P(\alpha)$.

Функция раскрытия чаще всего имеет вид, показанный на рис. 7, поз.1

(дифференциальная функция от нее $f(\alpha) = \frac{dF(\alpha)}{d\alpha}$), и достаточно полно иденти-

фицируется такими числами: содержанием открытых рудных $P_{PЗ}$ и нерудных $P_{НЗ}$ зерен, богатых P_{PC} и бедных P_{HC} сростков, содержанием ценного минерала в богатых $\alpha_{PC} > \alpha_{II}$ и бедных $\alpha_{HC} < \alpha_{II}$ сростках, а также абсциссой точки перегиба α_{II} – средним содержанием ценного минерала в исходном продукте питания сепараторов. Раскрытие ценного минерала R с помощью этой функции (поскольку она полностью характеризует свойства подготовленного сырья), можно выразить как:

$$R = \alpha_{pc} - \alpha_{nc} = \frac{P_{pz} + P_{pc} \cdot \alpha_{pc}}{P_{pz} + P_{pc}} - \frac{P_{nc} \cdot \alpha_{nc}}{P_{nz} + P_{nc}}.$$

В зависимости от степени раскрытия R функция изменяет свое положение и даже структуру. Так, когда $R \rightarrow 0$ функция $F(\alpha)$ превращается в ступенчатую функцию со скачком в точке α_u (рис. 7, поз. 2), а когда $R \rightarrow 1$, то сrostков нет, и $F(\alpha)$ имеет два скачка в точке $\alpha=0$ ($F(\alpha) = P_{nc} + P_{nz}$) и в точке $\alpha=1$ ($\Delta F(\alpha) = P_{pc} + P_{pz}$).

Сепарационная характеристика $P(\alpha)$ типа 1 (рис. 8) также имеет одну точку перегиба α_n . Положение этой точки заранее не определено. И имеет характерные точки разрыва первого рода: в точке $\alpha=0$, величина $P_{зах}$ дает характеристику захвата нерудных частиц в обогащенный продукт, и в точке $\alpha=1$ величина $P_{ном}$ дает характеристику потерь ценного открытого компонента.

В зависимости от конструкции аппарата, характеристика $P(\alpha)$ изменяет свое положение и структуру. Так, если она имеет положение 2 (рис. 8), то это значит, что сепаратор идеально отделяет частицы с $\alpha > \alpha_n$ от частиц с $\alpha < \alpha_n$. В случае, когда $P(\alpha)$ занимает положение 3 (рис. 8), то структура в обедненном продукте функции $P(\alpha)$ изменена, разделение осуществляется не по разделительному признаку, а механически на два потока в отношении $P_1:P_2$.

Таким образом, основными числовыми характеристиками $P(\alpha)$ являются: $P_{зах}$, $P_{ном}$, α_n и производная в точке перегиба функции $P(\alpha_n)$. Сепаратор, имеющий характеристику $P(\alpha)$, близкую к типу 3, не имеет смысла, и такой тип рассматривать не будем.

Отметим, что если имеется соотношение между $F(\alpha)$ и $P(\alpha)$ такое как на рис. 7, поз. 2 и на рис. 8, поз. 2, то обогащенного продукта не будет. Этот факт наводит на мысль, что точки перегиба функций $F(\alpha)$ и $P(\alpha)$ должны быть одного значения, т.е. $\alpha_n = \alpha_u$.

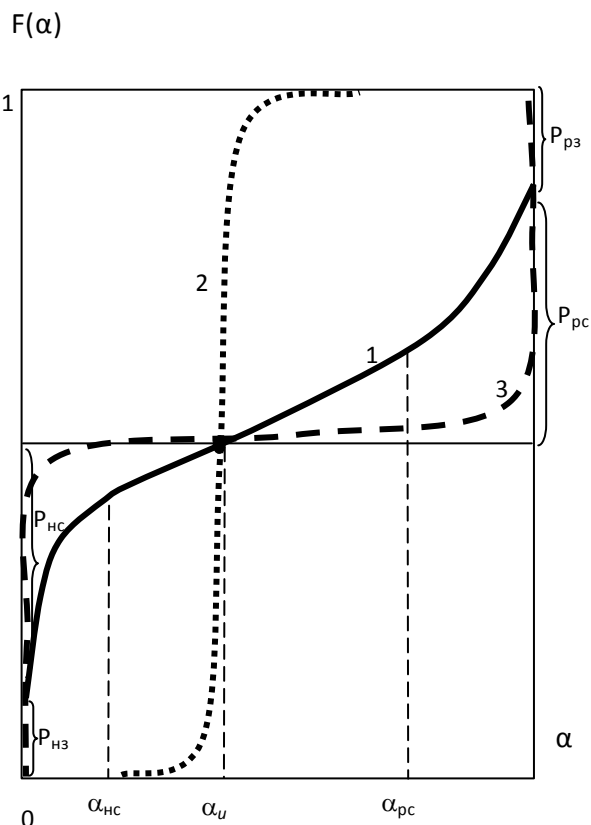


Рис. 7. Интегральная функция распределения сростков

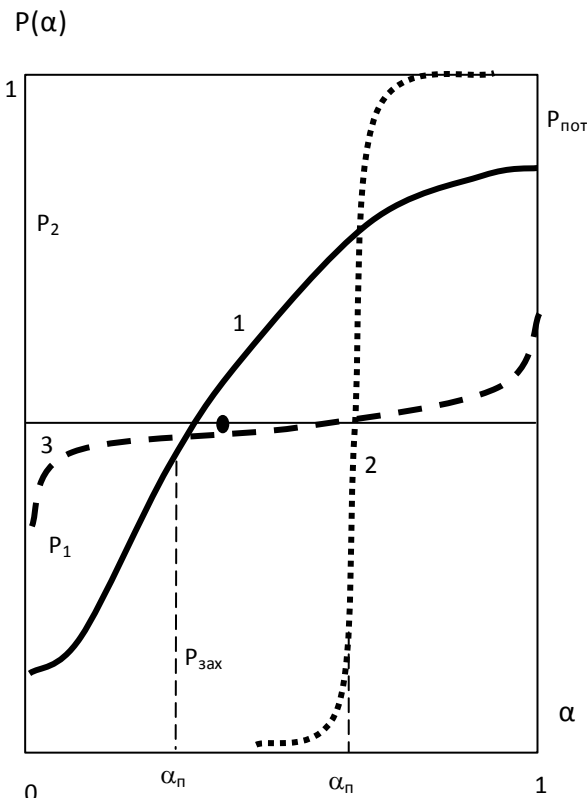


Рис. 8. Общий вид сепарационной характеристики

Для теории обогащения полезных ископаемых наличие этих двух важнейших характеристик дает возможность определять любые показатели разделения, например, интегральные выходные:

– выход продукта:

$$\gamma = \int_0^1 P(\alpha) \cdot f(\alpha) d\alpha;$$

– содержание ценного минерала в обогащенном продукте:

$$\beta = \frac{1}{\gamma} \cdot \int_0^1 \alpha \cdot P(\alpha) \cdot f(\alpha) d\alpha;$$

– содержание ценного минерала в обедненном продукте:

$$\nu = \frac{1}{1-\gamma} \cdot \int_0^1 \alpha \cdot (1-P(\alpha)) \cdot f(\alpha) d\alpha.$$

Рассмотрим сочетания между собой $P(\alpha)$ и $F(\alpha)$. Будем изменять $F(\alpha)$ и

подбирать подходящую для нее функцию $P(\alpha)$ в зависимости от выходных показателей.

Предположим, что $F(\alpha)$ имеет вид 3 (рис.7). Это значит, что раскрытие близко к 1, и функция почти на всем диапазоне изменения α нулевая. Поэтому произведение $P(\alpha) \cdot f(\alpha)$ также равно нулю. И только в точках $\alpha = 0$ и $\alpha = 1$ будут ненулевые значения произведений $P(\alpha) \cdot f(\alpha)$. Следовательно, когда $R \rightarrow 1$, вид характеристики $P(\alpha)$ не имеет значения, и важны только $P(0)$ и $P(1)$.

Когда раскрытие $R \rightarrow 0$, но $R \neq 0$, то $F(\alpha)$ имеет производную $f(\alpha_u) \rightarrow \infty$, и уже имеются частицы с содержанием ценного компонента $\alpha_{pc} > \alpha_u$ и $\alpha_{nc} < \alpha$, поэтому обогащение становится возможным. Для реализации такой возможности необходимо, чтобы производные от функции распределения сростков и от сепарационной характеристики имели соотношение: $f(\alpha_n) > F'(\alpha_u)$. И здесь уже менее существенными становятся значения P_{nom} и $P_{зах}$. Таким образом, чем хуже раскрытие, тем лучше должна быть $P(\alpha)$, т.е. тем больше должна быть $P'(\alpha_n)$ и при $R \rightarrow 1$ $P'(\alpha_n) \rightarrow \infty$.

Кроме того, для заметного разделения необходимо также, чтобы $\alpha_n = \alpha_u$.

Следовательно, главным условием согласования характеристики подготовки и разделения может быть условие:

$$P'(\alpha_n = \alpha_u) = \frac{1}{R}.$$

Отсюда следует также, что предельное положение сепарационной характеристики есть $P'(\alpha_n - \alpha_u) = \infty$.

Рассмотрим полученные утверждения с помощью критерия Ханкока-Луйкена. Известно, что этот критерий основывается на разности извлечений ценного и неценного компонентов в целевой продукт:

$$E = \varepsilon_K - \varepsilon_H = \frac{\beta \cdot \gamma}{\alpha_H} - \frac{\gamma \cdot (1 - \beta)}{1 - \alpha_H} = \frac{\gamma \cdot (\beta - \alpha_H)}{\alpha \cdot (1 - \alpha_H)}.$$

Решение будем производить путем численного экспериментирования. Для этого задаемся функцией раскрытия ценного минерала $F(\alpha)$ и сепарационной характеристикой $P(\alpha)$. Рассчитываются выходные показатели разделения и критерий Ханкока-Луйкена (ХЛ). Производится смещение сепарационной характеристики и вычисления повторяются. По значению критерия ХЛ определяется направление смещения и окончание решения.

Пример. Заданы $P(\alpha)$ и $F(\alpha)$ (табл. 1).

Таблиця 1

Сепарационная характеристика и распределение сростков

α	0	0,125	0,375	0,625	0,875	1
$P(\alpha)$	0,1	0,12	0,37	0,7	0,9	0,95
$F(\alpha)$	0,15	0,38	0,7	0,8	0,9	1

Определяются показатели разделения. Результаты вычислений сведены в табл. 2. Обозначение в шапке таблиц произведения цифр означает умножение элементов столбцов с соответствующими номерами.

Таблиця 2

Вычисление показателей разделения – 1

α	$I-P$	$P1$	ΔF	$1*4$	$4*3$	$2*4$	$1*6$	$1*7$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,9	0,1	0,15	0	0,015	0,135	0	0
0,125	0,88	0,12	0,23	0,029	0,0276	0,2	0,00345	0,025
0,375	0,63	0,37	0,32	0,12	0,1184	0,2	0,0444	0,075
0,625	0,3	0,7	0,1	0,0625	0,07	0,03	0,0437	0,0187
0,875	0,1	0,9	0,1	0,0875	0,09	0,01	0,0787	0,00875
1	0,05	0,95	0,1	0,1	0,095	0,005	0,095	0,005
				0,361	0,416	0,58	0,265	0,15

$$\beta = 0,637; \nu = 0,258; \gamma = 0,416; E = 0,4991.$$

Смещаем сепарационную характеристику влево и проводим аналогичные вычисления (табл. 3)

Таблиця 3

Расчет показателей разделения – 2

α	$I-P$	$P1$	ΔF	$4\cdot3$	$2\cdot4$	$1\cdot5$	$1\cdot6$
0	0,88	0,12	0,15	0,018	0,135	0	0
0,125	0,85	0,15	0,23	0,0345	0,1955	0,0043	0,0244
0,375	0,4	0,6	0,32	0,192	0,128	0,072	0,048
0,625	0,2	0,8	0,1	0,08	0,02	0,0437	0,0125
0,875	0,05	0,95	0,1	0,095	0,005	0,08	0,0043
1	0,02	0,98	0,1	0,098	0,002	0,098	0,002
				0,517	0,483	0,298	0,091

$$\beta = 0,576; \nu = 0,188; \gamma = 0,517; E = 0,48.$$

Значение критерия стало меньше. Смещаем сепарационную характеристику вправо и проводим аналогичные вычисления (табл. 4)

Значение критерия ХЛ меньше первоначального, следовательно, в первом случае выполнено согласование сепарационной характеристики с функцией обогатимости.

Расчет показателей разделения – 3

α	$I-P$	$P1$	ΔF	4·3	2·4	1·5	1·6
0	0,93	0,07	0,15	0,01	0,1395	0	0
0,125	0,91	0,09	0,23	0,02	0,209	0,0025	0,026
0,375	0,8	0,2	0,32	0,064	0,256	0,024	0,096
0,625	0,4	0,6	0,1	0,06	0,0625	0,0375	0,039
0,875	0,2	0,8	0,1	0,08	0,02	0,07	0,0175
1	0,1	0,9	0,1	0,09	0,01	0,09	0,01
				0,303	0,697	0,224	0,18

$$\beta = 0,73; \nu = 0,25; \gamma = 0,303; E = 0,48.$$

Таким образом, положение сепарационной характеристики и функции распределения сродков должны иметь общую абсциссу точки перегиба в точке среднего содержания ценного минерала и производная сепарационной характеристики в этой точке должна быть обратно пропорциональна параметру подготовки сырья к разделению.

Проведенные рассуждения дают нам основание, что выражение для оценки раскрытия ценного минерала может служить численной оценкой понятия обогатимости полезного ископаемого.

В работе [1] предложена формула, позволяющая в некоторой степени прогнозировать качество концентрата β , если известно содержание ценного минерала в исходной руде $\alpha_{и}$, показатель раскрытия R и показатель совершенства технологии разделения K :

$$\beta_K = \alpha_{и} + R \cdot K \cdot (1 - \alpha_{и}).$$

Коэффициенты K и R зависят от технологии переработки полезного ископаемого и совместно определяют трудность обогащения (обогатимость) полезного ископаемого. Коэффициент K определяет совершенство разделения, поэтому связан с видом сепарационных характеристик аппаратов, применяемых в технологии.

В данной формуле осуществляется сложение качественных показателей без согласующих коэффициентов, что противоречит понятиям о показателе качества. Перед вторым слагаемым есть коэффициенты и если они совместно составляют единицу, то качество концентрата соответствует также единице, тогда качество концентрата равно своему максимальному значению. В этом случае соответствие соблюдается. В практике обогащения полезных ископаемых иногда наблюдаются случаи, когда ордината и абсцисса выражены одними и теми же величинами. Как правило это случаи равенства их значений, например, все возможное множество абсцисс и ординат лежит в диапазоне 0 – 1. Будем полагать, что здесь имеется такой же случай.

Определим значения показателей, характеризующих технологию обогащения.

Загальні питання технологій збагачення

Допустим задана характеристика распределения сродков $F(\alpha)$, идеальная сепарационная характеристика $P(\alpha)$, сепарационная характеристика некоторого сепаратора $P_1(\alpha)$, причем последняя имеет абсциссу точки перегиба соответствующую скачку характеристики $P(\alpha)$ (табл. 5).

Таблица 5

Расчет показателей разделения – 4

α	$P(\alpha)$	$P_1(\alpha)$	$F(\alpha)$	$\Delta F(\alpha)$	2*5	3*5	1*6	1*7	α_i
0	0	0,05	0,15	0,15	0	0,0075	0	0	0
0,125	0	0,1	0,3	0,15	0	0,015	0	0,002	0,0187
0,375	0	0,4	0,6	0,3	0	0,12	0	0,045	0,112
0,625	1	0,7	0,75	0,15	0,15	0,105	0,094	0,065	0,094
0,875	1	0,9	0,9	0,15	0,15	0,135	0,131	0,12	0,13
1	1	0,95	1	0,1	0,1	0,095	0,1	0,095	0,12
Σ					0,4	0,447	0,325	0,327	0,4747

$$\beta_2 = \frac{0,325}{0,4} = 0,838; \beta_1 = \frac{0,327}{0,477} = 0,685; K = \frac{\beta_1}{\beta_2} = 0,817.$$

Таким образом, взяв отношение качества обогащенного продукта к теоретически возможному, получим показатель совершенства разделительного процесса.

Методика оценки этого показателя разделительного процесса будет следующей.

1. Имеем $F(\alpha)$.

2. Берем сепарационную характеристику сепаратора, которым предполагается вести разделение в промышленности, и оцениваем показатели разделения – β_1 .

3. Берем ступенчатую сепарационную характеристику и оцениваем показатели разделения – β_2 .

4. Оцениваем эффективность сепарации.

Диапазон изменения критерия должен быть разделен на интервалы, которые характеризуют: низкую эффективность, среднюю и высокую. Такими интервалами могут быть:

- $0 < E < 0,3$ – низкая;
- $0,3 < E < 0,7$ – средняя;
- $E > 0,7$ – высокая.

Здесь использована аналогия с градацией коэффициентов корреляции.

В том случае, когда сепаратор предназначен для выделения хвостов, то наилучшее значение качественного показателя $\nu = 0$. Отношение показателей качества невозможно. Тогда следует принимать к рассмотрению обогащенный продукт, теоретическое значение качества которого составит величину:

Загальні питання технологій збагачення

$$\beta = \frac{P_{PЗ} + P_{PC} \cdot \alpha_{PC} + P_{HC} \cdot \alpha_{HC}}{P_{PЗ} + P_{PC} + P_{HC}}$$

Оценка критерия эффективности представлена расчетами (табл.6).

Итак, в зависимости от того, какое качество обогащенного продукта следует получить при одинаковой подготовке сырья к разделению, обогатимость этого продукта будет различной.

Таблица 6

Расчет показателей выделения хвостов

α	$P(\alpha)$	$P_1(\alpha)$	$F(\alpha)$	$\Delta F(\alpha)$	2*5	3*5	1*6	1*7	α_{II}
0	0	0,15	0,15	0,15	0	0,022	0	0	0
0,125	1	0,3	0,3	0,15	0,15	0,045	0,1875	0,0056	0,019
0,375	1	0,7	0,6	0,3	0,3	0,21	0,1125	0,079	0,112
0,625	1	0,95	0,75	0,15	0,15	0,142	0,0937	0,058	0,094
0,875	1	0,98	0,9	0,15	0,15	0,147	0,1312	0,128	0,13
1	1	0,99	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,12
Σ		0,85	0,667	0,456	0,371	0,456			0,475

$$\beta_2 = \frac{0,456}{0,85} = 0,536; \beta_1 = \frac{0,371}{0,667} = 0,556; K = \frac{0,536}{0,556} = 0,96.$$

Таким образом, обогатимость полезного ископаемого может быть оценена показателем:

$$Об = R \cdot K;$$

который изменяется от 0 до 1, и низкие значения его соответствуют плохой обогатимости, а высокие значения – хорошей. Итак, обогатимость есть число, которое показывает совершенство подготовки сырья к разделению и само разделение.

Рассмотрим теперь, как согласуются между собой предложенное понятие обогатимости с формулой, предложенной Кармазиным В.И.

Определим предварительно коэффициент совершенства технологии разделения, в соответствии с табл. 2.

Таблица 7

Вычисление показателей разделения – 1

α	P	P_1	ΔF	2*4	4*3	1*5	1*6	1*4
0	0	0,1	0,15	0	0,015	0	0	0
0,125	0	0,12	0,23	0	0,0276	0	0,00345	0,028
0,375	0	0,37	0,32	0	0,12	0	0,045	0,12
0,625	1	0,7	0,1	0,1	0,07	0,0625	0,043	0,065
0,875	1	0,9	0,1	0,1	0,09	0,0875	0,078	0,0875
1	1	0,95	0,1	0,1	0,095	0,1	0,095	0,1
				0,3	0,417	0,25	0,265	0,39

Загальні питання технологій збагачення

Раскрытие в данном случае определится как:

$$R = \frac{0,1 + 0,3 \cdot 0,75}{0,4} - \frac{0,45 \cdot 0,25}{0,6} = 0,66;$$

$$\beta_1 = \frac{0,25}{0,3} = 0,83;$$

$$\beta_2 = \frac{0,264}{0,417} = 0,63;$$

$$K_c = \frac{0,63}{0,83} = 0,76;$$

$$\beta_K = \alpha_{II} + R \cdot K \cdot (1 - \alpha_{II});$$

$$\beta_K = 0,39 + 0,66 \cdot 0,76 \cdot (1 - 0,39) = 0,69.$$

Абсолютное расхождение составляет $\Delta\beta_K = 0,69 - 0,63 = 0,06$.

Т.е. 8%, что укладывается в понятие соответствия теоретических предположений и практических результатов.

Список литературы

1. Кармазин В.И. Современные методы обогащения руд черных металлов. – М.: Госгортехиздат, 1966. – 751 с.

© Левченко К.А., Младецкий И.К., 2019

*Надійшла до редколегії 02.09.2019 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*

УДК 622.7

<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.18823.34728>

О.В. БУЛАХ, канд. техн. наук
(Україна, Кривий Ріг, Криворізький національний університет)

РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕРОБКИ БІДНИХ ЗАЛІЗНИХ РУД ГЕМАТИТ-МАРТИТОВОГО СКЛАДУ

Залізні руди зустрічаються практично на всіх континентах. Україна займає одне з провідних у світі місць за запасами та видобутком залізних руд. Основні