УДК 622.7.09:620.113

И.К. МЛАДЕЦКИЙ, д-р техн. наук,
С.Н. ДАЦУН
(Украина, Днепропетровск, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет"),
А.А. ПАВЛЕНКО,
(Украина, Днепропетровск, Национальная металлургическая академия Украины)

ПОКУСКОВОЕ ОПРОБОВАНИЕ РУДНОГО МАССИВА

С тем, чтобы что-то произвести с полезным ископаемым, его отделяют от залежи, и в результате такого отделения, масса становится состоящей из кусков, кусочков, частиц. Эти эпитеты употребляют в зависимости от размера кусков в массиве. Куски – это отбитая масса в забое. Кусочки – различная степень дробления. Частицы – измельченный материал. Все это будет характеризоваться различной степенью подготовки сырья к дальнейшей переработке. Итак – степень подготовки характеризует гранулометрический состав. Степень подготовки зависит от значений обогатительных признаков полезного ископаемого. Независимо от размера гранул, подготовленный материал будет иметь в каждом классе крупности некоторое распределение гранул по фракционному составу. Крайние фракции это открытый рудный и нерудный минерал, т.е. окрытые рудные (РЗ) и нерудные (НЗ) зерна. Все остальные фракции являются промежуточными – сростками. Поскольку обогатить сырье, означает получить продукт, у которого среднее содержание ценного минерала больше чем в исходном ($\alpha_И$), то исходное содержание является мерилом принадлежности фракции к богатой ($\alpha > \alpha_И$), или бедной ($\alpha < \alpha_И$) части сырья. Больше никаких естественных границ для выделения фракций нет, поэтому эти две промежуточные фракции назовем богатыми сростками (РС) и бедными сростками (НС). Таким образом, весть диапазон изменения содержания ценного минерала в частицах разбит на четыре фракции.

Покусковое опробование производится путем отбора отдельных кусков полезного ископаемого из массива таким образом, чтобы равномерно принял участие в пробе весь массив и, согласно принципа Чечета, "каждая фракция приняла участие в пробе в соответствии со своим содержанием в массиве". Однако, отдельно взятый кусок будет принадлежать к одной из фракций и поэтому будет недостоверно характеризовать массив. Следовательно, должна быть некоторая методика, которая будет гарантировать, что набранная проба достоверно характеризует весь массив.

В соответствии с параметрами раскрытия выбираем фракцию с наименьшим содержанием. Допустим, что это будет наиболее богатая фракция, а содержание ценного минерала невысокое, т.е. открытые рудные зерна – РРЗ.

Отбор кусков из массива – это последовательность случайных событий. В каждом из испытаний с вероятностью РРЗ отбирается рудное зерно, а с вероятностью 1 – РРЗ – все остальные. При большом числе испытаний в пробе окажутся все фракции и в количестве достаточном для корректной оценки показателей полезного ископаемого. В такой постановке процесс отбора кусков подчиняется закону Бернулли. И необходимое количество испытаний n (количество кусков) может быть определено по формуле Бернулли:

$$P_{PЗ} = C_n^m P_{PЗ}^m (1 - P_{PЗ})^{n-m},$$

где C_n^m – количество сочетаний из n по m (числа ц); m – желаемое количество благоприятных исходов;

$$C_n^m = \frac{n!}{(n-m)!m!}.$$

Но т.к.

$$m = n \cdot P_{PC} \text{ и } m = (n-m) = n,$$

то

$$P_{PЗ} = C_n^{nP_{PЗ}} P_{PЗ}^{nP_{PЗ}} (1 - P_{PЗ})^{n(1-P_{PЗ})}. \tag{1}$$

Получено уравнение с одним неизвестным – n. Поскольку искомая величина входит под символ факториала, то решение производится численно, т.е. с некоторой заданной точностью, поэтому в первом приближении дисперсия закона распределения и заданная дисперсия будут одинаковы. Решением будет такое n, которое дает значение правой части с допустимой погрешностью.

Таким образом, количество гранул, отбираемых в пробу, зависит от содержания принятой к рассмотрению фракции в массиве, количество которой, в свою очередь, зависит от текстурно-структурных признаков полезного ископаемого и от крупности гранул. Чем больше содержание фракции, тем меньше размер пробы. В пределе, когда все гранулы с одинаковым содержанием ценного минерала, то достаточно взять в пробу одну. Подтверждением служат результаты исследований, часть которых приведена в табл. 1.

Таблица 1

Показатели объема проб в зависимости от текстурно-структурных признаков полезного ископаемого

Показатели	Значения показателей			
Содержание ценного минерала	0,1	0,2	0,3	0,4
Количество гранул	4618	695	192	99
Содержание рудных зерен	0,033	0,066	0,099	0,133
Масса пробы, г	0,069	0,01	0,003	0,001

Чем меньше содержание ценного минерала в массиве – тем больше объем проби, что естественно, поскольку отбор богатых частиц в таком случае редкое событие.

Размер гранул и показатели текстурно-структурных признаков руды интегрально входят в показатели раскрытия, поэтому в явном виде при определении количества гранул, отбираемых в пробу, не участвуют, т.е. если средний размер гранул или 10 мм или 0,1 мм количество гранул будет одинаковым. Отсюда также следует, что чем меньше средняя крупность частиц, тем меньше минимальный объем пробы.

Таким образом, чтобы перейти к объемным и массовым величинам необходимо количество гранул связать с размером этих гранул. Поскольку показатели раскрытия вычисляются для всего диапазона крупностей, то целесообразно воспользоваться средней крупность гранул – $\bar{d}$. И, в предположении, что гранулы близки по форме к шарообразной, то предполагаемый объем пробы будет представлен как:

$$V = \frac{\pi \bar{d}^3}{6} n .$$

Поскольку отбор пробы является случайным процессом, то количество гранул должно быть скорректировано дисперсией этого процесса.

Для распределения Бернулли дисперсия выражается соотношением

$$\sigma^2 = (nP_{PЗ})^2 = nmP_{PЗ} .$$

И согласовано с заданной дисперсией измерения $\sigma_З^2$, т.е.

$$V = \frac{\pi \bar{d}^3}{6} n \frac{\sigma^2}{\sigma_З^2} .$$

Распределение фракций, в свою очередь, должно быть скорректировано дисперсией распределения содержания ценного минерала.

Такое распределение характеризуется максимально возможным и минимально возможным содержаниями в зависимости от размера и текстурно-структурных признаков руды:

– минимально-возможное:

$$\alpha_{МИН} = \frac{nl_P \alpha_P + (n+1) l_H \alpha_H}{nl_P + (n+1) l_H} ; \quad (2)$$

– максимально-возможное:

$$\alpha_{МАКС} = \frac{nl_H \alpha_H + (n+1) l_P \alpha_P}{nl_H + (n+1) l_P} . \qquad (3)$$

Разность между этими двумя величинами уменьшается по мере увеличения размера кусков. Размер кусков выражен в количестве прослоев: чем больше прослоев (величина n), тем больше размер куска. Моделирование с помощью выражений (2) и (3) при условии, что l_P = 5мм, l_H = 13мм, α_P = 0,7, α_H = 0,2 дало зависимость, приведенную в табл. 1.

Как видно из табл. 2, после n = 3 зависимость резко снижает чувствительность и только куски размером d = 10 l_H = 130 мм могут иметь различие в содержании магнетита около одного процента.

Таблица 2

Предельные значения содержания магнетита в кусках в зависимости от их размера

$n=\frac{d}{l}$	0	1	2	3	10	∞
α_{MIN}	0,2	0,28	0,3	0,31	0,33	0,35
α_{MAX}	0,7	0,42	0,38	0,36	0,34	0,35

Поскольку зависимости нелинейные, то необходимо определять средние значения α_{MAX} и α_{MIN} как средневзвешенные по распределению по крупности:

$$\overline{\alpha}_{MAX} = \sum_d \alpha_{MAX}(d) P(d) ,$$

$$\overline{\alpha}_{MIN} = \sum_d \alpha_{MIN}(d) P(d) .$$

Тогда дисперсия содержания может быть представлена как:

$$\sigma_\alpha^2 = \frac{\overline{\alpha}_{MAX} - \overline{\alpha}_{MIN}}{4}$$

и согласована с заданной дисперсией – $\sigma_{\alpha з}^2$. В результате минимальный объем будет равен:

$$V = \frac{\pi \overline{d}^3}{6} n \frac{\sigma^2}{\sigma_з^2} \frac{\sigma_\alpha^2}{\sigma_{\alpha з}^2} .$$

Можно считать, что крупные сростки ограничены содержанием ценного минерала $\alpha_{MIN} \le \alpha \le \alpha_{MAX}$, что обусловлено содержанием ценного минерала в богатых и бедных прослоях текстуры руды. Таким образом, функция фракционного состава имеет вид, как показано на рис. 1. Отсюда следует, что дисперсия содержания ценного минерала в подготовленной руде может быть получена на основании кривой обогатимости, поскольку эта функция опирается на максимальное и минимальное значения качественных показателей.

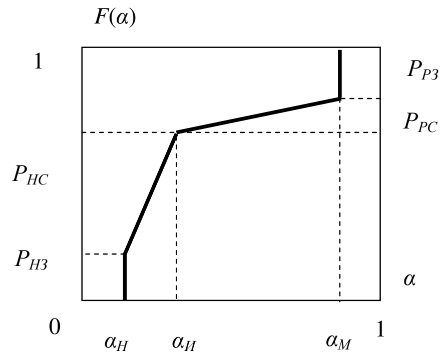

Рис. 1. Интегральная функция распределения кусков по содержанию в них магнетита

Как следует из табл. 2 при увеличении крупности материала содержание ценного компонента в нем стремится к единственному значению – $\alpha_И$, и количество кусков, отбираемых в пробу стремится к одному: $n \rightarrow 1$.

<u>*Пример*</u>

Средняя крупность руды составляет 10 мм, $\overline{\alpha}_{MAX} = 0{,}7$; $\overline{\alpha}_{MIN} = 0{,}2$; $P_{РЗ} = 0{,}03$; $N = 4000$, $\delta = 3500$ кг/м^3. Определить минимальный объем (массу) пробы.

<u>*Решение*</u>

$$V = \frac{\pi \overline{d}^3}{6} n \frac{\sigma^2}{\sigma_З^2} \frac{\sigma_\alpha^2}{\sigma_{\alpha З}^2} = \frac{3{,}14}{6} 10^{-6} \times 1 \times 4000 \left(\frac{0{,}7 - 0{,}2}{4 \times 0{,}1}\right)^2 = 0{,}006365 \text{ м}^3 \approx 6{,}4 \text{ дм}^3.$$

Пробу отбирают в некоторую емкость, при этом коэффициент заполнения соответствует $K_З = 0{,}65$. Окончательно объем пробы составит

$$V_П = VK_З = \frac{6{,}4}{0{,}65} = 9{,}84 \text{ дм}^3.$$

Или приблизительно 1 ведро.

Список литературы

1. Козин В.З. Контроль технологических процессов обогащения: Конспект лекций. – Екатеринбург, 2003. – 161 с.

2. Козин В.З. Универсальная формула минимальной массы пробы // Известия вузов, Горный журнал. – 2004. – №1. – С. 102-106.

Надійшла до редколегії 20.08.2014 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим