

УДК 622.776

И.К. МЛАДЕЦКИЙ, д-р техн. наук,

С.Н. ДАЦУН

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

ПРИНЦИП ФОРМИРОВАНИЯ ПРОБЫ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Анализ литературных источников по теоретическому обоснованию минимальных масс проб для анализа показателей сырья [1-7,] показывает, что в первую очередь массу связывали с размером кусков сырья. Это было естественно, поскольку, когда размер кусков и размер тары, в которую отбирали пробу, имеют близкие параметры измерения, то допускается большая погрешность заполнения этой тары. Назовем такой способ формирования пробы – **формирование от объема пробы**. Поэтому: чем больше размер кусков – тем больший объем должен быть для пробы а, значит, и масса пробы. Таким образом, при опробовании масса пробы и объем пробы понятия не эквивалентные. Естественно связывать показатели сырья с объемом пробы. Далее весь объем пробы распадается на отдельные мелкие объемы кусков. Поэтому, предпочтительнее не связывать пробу сразу с некоторым объемом, а формировать ее из отдельных кусков. Для этого необходимо располагать сведениями о свойствах отдельных кусков. И в зависимости от требований точности определять требуемое количество кусков, в затем уже определять объем и массу. Назовем этот подход – **формирование пробы от куска**.

Кроме того, в зависимости от распределения ценного минерала в сырье стали вводить различные коэффициенты в уравнения для определения минимальной массы. Это распределение характеризовали понятием неравномерности, поскольку теория вероятностей не преподавалась в высшей школе. Чем больше была неравномерность распределения, тем больше были значения этих коэффициентов. Это также было естественным, поскольку увеличивалась дисперсия распределения ценного минерала, т.е. чем больше дисперсия, тем больше объем пробы. Следовательно, чем больше дисперсия – тем больше объем пробы.

Но и этого оказалось недостаточным для формирования минимального объема. Стали искать зависимости объема пробы между содержанием металла в минерале, содержанием его в руде и соотношением между этими параметрами. Зависимости показывали, что: чем меньше содержание металла в минерале, тем больше должен быть объем пробы. Что также оказалось естественным, поскольку, чем меньше ценного компонента в сырье, тем меньше вероятность, что в пробу заданного объема попадет требуемое его количество. Следовательно, минимальный объем необходимо увеличивать.

Кроме того, чтобы найти аналитические связи между понятием неравномерности, средних значений величин и другими показателями распределения

Випробування та контроль

ценного минерала в сырье, стали предлагать графический анализ. Этот анализ опять-таки отражал уровень достижения научной мысли в стране. Каждый ученый предлагал свои методы, и они в различной степени представляли функции распределения случайных величин, но в убывающем виде.

Таким образом, действительность настойчиво требовала единого научного подхода к теории опробования. Таким анализом стала теория случайных величин и, основанная на ней, теория раскрытия ценного минерала при разрушении полезного ископаемого.

Подход к определению минимального объема методом от объема, а не от куска не позволял аппроксимировать результаты исследований на сыпучие массы с частицами малых и весьма малых размеров. В связи с этим не было возможности достаточно надежно прогнозировать минимальные массы химических (аналитических) проб.

Итак, рассмотрим возможности подхода формирования пробы от куска.

Раскрытие ценного минерала, которое охарактеризуем содержаниями:

- открытых рудных зерен – $P_{PЗ}$, содержание ценного минерала 1;
- богатых сростков – P_{PC} , содержание ценного минерала α_{PC} ;
- бедных сростков – P_{HC} , содержание ценного минерала α_{HC}
- открытых нерудных зерен – $P_{HЗ}$, содержание ценного минерала 0.

Естественно, что:

$$P_{PЗ} + P_{PC} + P_{HC} + P_{HЗ} = 1;$$

$$1 \cdot \mathcal{C}P_{PЗ} + \alpha_{PC} \mathcal{C}P_{PC} + \alpha_{HC} \mathcal{C}P_{HC} + 0 \cdot \mathcal{C}P_{HЗ} = \alpha_{И},$$

где $\alpha_{И}$ – исходное содержание ценного минерала.

Покусковое опробование заключается в случайном отборе кусков (частиц) из массива. При каждом отборе (испытании) можно взять один из 4-х видов сростков:

- открытое рудное зерно, с вероятностью – $P_{PЗ}$;
- богатый сросток, с вероятностью – P_{PC} ;
- бедный сросток, с вероятностью – P_{HC} ;
- открытое нерудное зерно, с вероятностью – $P_{HЗ}$.

В результате имеем полную группу событий, т.к. $P_{PЗ} + P_{PC} + P_{HC} + P_{HЗ} = 1$.

Если нас интересует какое-либо одно событие, например $P_{PЗ}$, то все остальные события будут являться противоположными.

Отбор отдельного куска это отдельное событие, независимое от предыдущего события (отбора предыдущего куска). Вероятность, что событие будет успешным зависит от показателей раскрытия (например, содержания открытого рудного куска – $P_{PЗ}$; и отождествляется с ним). Вероятность противоположного события: кусок не принадлежит интересующей совокупности, тоже известна ($1 - P_{PЗ}$). Сколько необходимо испытаний, чтобы было отобрано необходимое количество кусков, чтобы содержание интересующих кусков соответствовало

вероятности его отбора. В такой постановке эта закономерность подчиняется закону Бернулли:

Допустим, событие – взять рудное зерно – будет интересующим нас событием (A) и происходит оно в каждом из испытаний с вероятностью $P_{P3}(A)$. Противоположное событие происходит с вероятностью $P_{P3}(\bar{A}) = 1 - P_{P3}(A)$. Сколько необходимо взять кусков полезного ископаемого, чтобы в отобранных n кусках было ровно $m = n P_{P3}$ кусков, представляющих открытые рудные зерна. В такой постановке это будет закон распределения вероятностей Бернулли, который аналитически выражается как

$$P_{P3} = C_n^m P_{P3}^m (1 - P_{P3})^{n-m},$$

где C_n^m – количество сочетаний из n по m (числа целые) $C_n^m = \frac{n!}{(n-m)!m!}$; m – желаемое количество благоприятных исходов. Но т.к. и $m + (n - m) = n$, то

$$P_{P3} = C_n^{nP_{P3}} P_{P3}^{nP_{P3}} (1 - P_{P3})^{n(1-P_{P3})}. \quad (1)$$

Получено уравнение с одним неизвестным – n . Поскольку неизвестная величина входит в выражение под символом факториала, то аналитическое решение проблематично, поэтому решение его следует выполнять численно. Для этого, по результатам определения показателей раскрытия находим четыре упомянутых параметра. Учитывая, что чем меньше вероятность появления события, тем больше необходимо провести испытаний для надежной фиксации вероятности этого события, то из четырех вероятностей выбираем наименьшее (пусть это будет P_{P3}). Составляем выражение (1). Далее последовательно задаваясь значениями $n = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$ вычисляем значение правой части P_{P3} . Поиск n ведем до тех пор, пока различие между исчисленным значением показателя раскрытия и полученного из выражения (1) будут несущественно отличаться:

$$\frac{P_{P3} - P_{P3}^1}{P_{P3}} < \varepsilon, \quad (2)$$

где ε – заданная точность поиска.

После того как будет получено условие (2), то последнее значение n будет считаться найденным.

Всякая неравномерность показателей требует увеличения объема пробы [10-20]. Количество частиц, отбираемых в пробу это случайная величина, поэтому количество гранул должно быть скорректировано дисперсией этого процесса.

Для распределения Бернулли дисперсия выражается соотношением

$$\sigma^2 = (nP_{P3})^2 = nmP_{P3}.$$

И согласовано с заданной дисперсией измерения σ_3^2 , $\equiv \varepsilon$ т.е. в соответствии с известным соотношением [Пустыльник]

$$\sigma_3^2 = \frac{\sigma_{II}^2}{n_1}.$$

Содержание ценного минерала в куске, также случайная величина и имеет свою дисперсию. Итак, если ценный минерал в руде уже в некоторой степени раскрыт, то отбор пробы осуществляется только сбором отдельных кусков. Даже если проба набирается стандартным совком, то за один раз берутся 2...4 куска. Естественно допустить предположение: сколько кусков необходимо отобрать в пробу от массива с известными обогатительными признаками, чтобы идентифицировать качественные показатели всего массива. Таким образом, когда обоснование минимальной массы пробы идет о куска, то количество отбираемого материала зависит от двух случайных величин: содержания ценного минерала в куске и количество кусков. Следовательно, две неравномерности требуют увеличения объема пробы по двум дисперсиям. Графические способы определения минимальных масс не позволяли определить их, т.к. измельченные частицы уже не позволяли проводить натурные измерения. Поэтому гипотетический способ отбор кусков любого размера и аналитическое определение объема может служить единственной методикой определения минимальной массы (объема) пробы.

При этом допускается подлинность определения значения обогатительного показателя σ_α^2 . И, опять-таки, если требуется определить его с иной точностью, то необходимо увеличить количество кусков в пробе Δn_2 . Поскольку события: измерение и формирование – это последовательная цепь событий, то необходимое количество кусков составит:

$$n_H = n \frac{\sigma_\alpha^2}{\sigma_{\alpha 3}^2} \frac{\sigma_m^2}{\sigma_{m 3}^2}.$$

А объем пробы, очевидно

$$V = \frac{\pi d^3}{6} n \frac{\sigma_\alpha^2}{\sigma_{\alpha 3}^2} \frac{\sigma_m^2}{\sigma_{m 3}^2}.$$

Итак, при формировании пробы покусковым отбором, необходимо учитывать погрешность содержания ценного минерала и погрешность количества кусков. Погрешность количества кусков это дисперсия содержания ценного

минерала в частице $\sigma_{\alpha}^2(d)$. При отборе малых частиц следует воспользоваться усредненным показателем точности: наиболее вероятным отклонением, что соответствует асимметрии распределения. Значение смещения экстремума распределения можно оценить с помощью момента первого порядка. Для этого находим математическое ожидание отклонения

$$\overline{\sigma_{\alpha}} = \int_0^{d_{MAX}} \sigma_{\alpha}(d) f(d) \partial d .$$

А затем определяем момент первого порядка

$$M_{\sigma} = \int_0^{d_{MAX}} [(\sigma)]_{\alpha}(d) - \overline{\sigma_{\alpha}} f(d) \partial d .$$

Тогда наиболее вероятное значение дисперсии содержания ценного минерала в частицах опробуемого массива составит

$$\sigma_{\alpha} = \overline{\sigma_{\alpha}} + M_{\sigma} .$$

Размер частиц, также имеет некоторое распределение и оно несимметричное, поэтому следует пользоваться наиболее вероятным значением крупности, а не средним. Наиболее вероятное значение крупности соответствует максимуму распределения частиц по крупности, абсцисса которого находится, как отклонение от математического ожидания

$$M_{\bar{d}} = \int_0^{d_{MAX}} (d - \bar{d}) f(d) \partial d .$$

После чего находится значение абсциссы наиболее вероятной крупности частиц

$$\tilde{d} = \bar{d} + M_{\bar{d}} .$$

Исследуем данное соотношение относительно минимального представления целого.

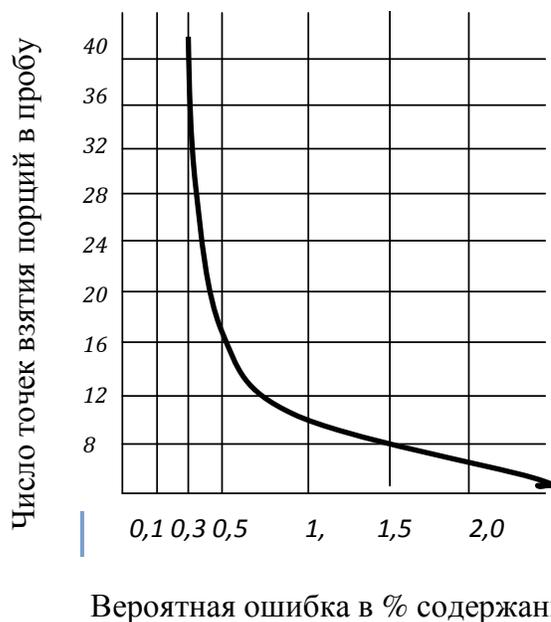


Рис. 1. График зависимости количества точечных проб и степенью точности опробования

В работе [Хан] приведена зависимость между погрешностью опробования и количеством точечных опробований (рис 1). Как следует из графика, незначительные увеличения точности опробования требуют существенного увеличения объема пробы. Примем эти результаты в качестве эталона для сравнения расчетных показателей.

На рис. 2. приведены расчетные результат в виде графиков для минимального количества гранул отбираемых в пробу в зависимости от содержания ценного минерала и вкрапленности его в руде (семейство кривых 1). И для содержания неценного минерала (семейство 2). По результатам этих исследований определено, что при одинаковых значениях P_{P3} и P_{H3} количество частиц, отбираемых в пробу также одинаковое. Кроме того, чем меньше содержание какой-либо раскрытой фракции, тем большее количество частиц требуется отбирать в пробу.

Данные рис. 1 и рис. 2 имеют полное качественное совпадение.

Приняв некоторые значения обогатительных признаков и вычислив возможное содержание открытых фракций и выбрав из них минимальное значение определим представительное количество кусков. Результаты этого исследования представлены в табл. 1.

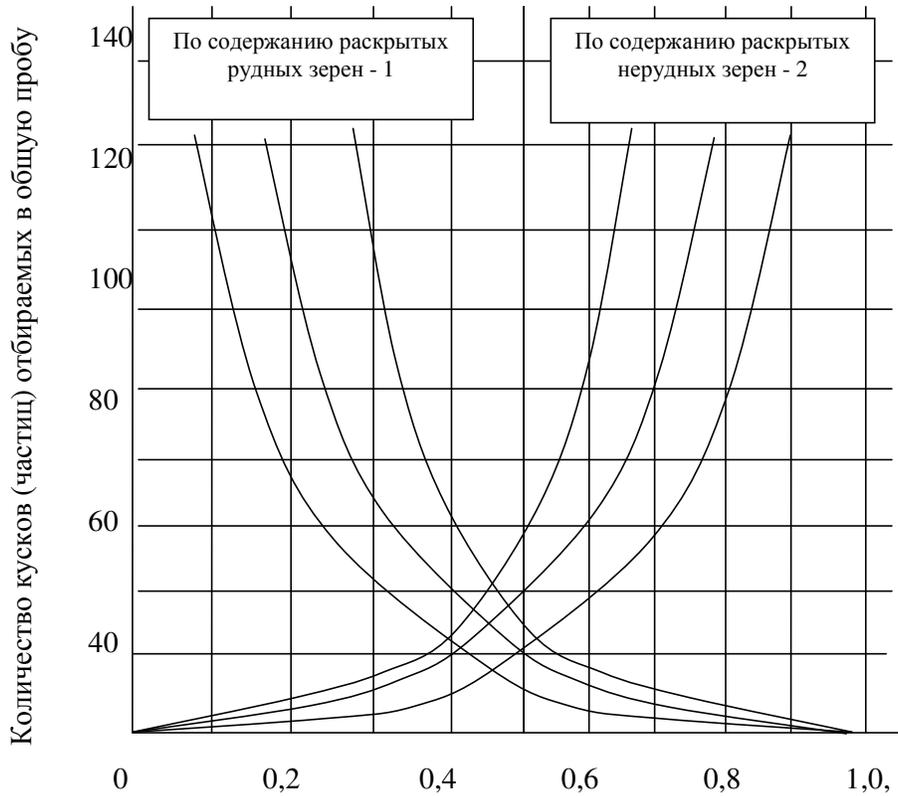


Рис. 2. График зависимости количества частиц, отбираемых в пробу от содержания ценного минерала в массиве

Таблица 1

Показатели объема проб в зависимости от текстурно-структурных признаков полезного ископаемого. $d_{BK} = 0,2$ мм

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

Результаты табл. 1 также имеют характер зависимостей, представленных на рис. 2.

В табл. 2 приведены расчеты по определению главного показателя минимального объема пробы – количества гранул, подлежащих отбору в пробу; для различных показателей структуры руды и содержания ценного минерала в ней. Минимальное содержание контрольной фракции изменялось в пределах: $0,04 < P_{MIN} < 0,15$, а крупность помола, соответствующая среднему 0,2 мм.

Содержание ценного минерала, доли ед.	Размер вкрапления, мм		
	0,04	0,08	0,12
0,2	8395	1758	572
0,35	4875	356	118
0,45	2332	191	66

Анализ результатов исследования дает возможность сделать такие выводы.

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 несколько частиц.

Итак:

- чем больше содержание ценного минерала, тем меньше может быть проба;
- чем лучше раскрытие, тем меньше может быть проба. При раскрытии $R \rightarrow 1$ количество кусков пропорционально содержанию ценного минерала;
- чем богаче руда и лучше ее обогатимость, тем меньше может быть проба;
- чем однороднее распределение обогатительных признаков, тем меньше может быть проба;
- чем крупнее куски, тем меньше количество кусков набирается в пробу, в пределе – можно взять один кусок.

Выводы справедливы, когда оценивают содержание ценного минерала и когда его значение не превышает 50%. Дальнейшее увеличение содержания ценного минерала влечет за собой то, что для достоверного определения содержания ценного минерала необходимо ориентироваться на содержание неценного минерала и выводы остаются справедливыми относительно этого показателя.

Список литературы

1. Richards R.H. Ore Dressing. Chart. XL Accessory Apparatus – 1909. – Vol. III., №9.
2. Мостович В.Я. Пробирное искусство (методы сухого пути) – М.: Metallurgizdat, 1934. – 147 с.
3. Прейгерзон Г.И. Опробование полезных ископаемых / Под ред. П.В. Лященко. – М.: ОНТИ; Л.: Горное изд., 1933. – 136 с.
4. Пожарицкий К.Л. Теоритические основы отбора (сокращения) проб // Тр. Всесоюзной конф. по аналитической химии. – Изд. АН СССР, 1943. – Т. 2.
5. Хан, Г.А. Опробование, контроль и автоматизация процессов обогащения: Учеб. пособие для студ. обогат. спец. горных и металлург. вузов. – М.: Metallurgizdat, 1958. – 380 с.
6. Методика забойного опробования руды и добытой рудной массы: Лекции / доц. Н.В. Барышев; Всес. науч. инж.-тех. горное о-во. – М.: Обществ. ун-т повышения квалификации, 1940. – 84 с.

7. Барышев Н.В., Русинов Л.А., Левоник Б.С. Разведочное дело. Опробование твердых полезных ископаемых. – ОНТИ, 1935. – Ч. 4.
8. Барышев Н.В., Громов Л.В. К вопросу о методах опробования // Труды МГРИ. – 1936. – Т.1.
9. Барышев Н.В., Красников В.И. К методике экспериментального исследования вопроса о рациональном сокращении проб // Труды МГРИ. – 1936. – Т. 2.
10. Кумпан С.В., Гуцевич В.П., Думарев В.С., Погребницкий Е.О., с участием Лепешинского Ю.Н. Курс разведочного дела. – ОНТИ НКТП, 1934. – Часть 1.
11. Brunton D.W. Theory and practice of ore Sampling // Trans. Am. Inst. Min and Met. Eng. – 1898. – Vol. XXV.
12. Пожарицкий К.Л. Опробование месторождений цветных металлов и золота. – М.: Металургиздат, 1947.
13. Зенков Д.А. Руководство по методике рудничной геологии для золоторудных месторождений. Горноэксплуатационное опробование на золотых рудниках. – М.: Госгеохиздат, 1941. – Ч. 1.
14. Котляров Н.Н. О теоретических основаниях в деле взятия и сокращения проб полезных ископаемых // Тр. Первого Всесоюзного горного науч.-техн. съезда. – Изд. НТУ, ВСНХ, 1928. – Т. 8.
15. Пожарицкий К.Л. Методика сокращения проб // Заводская лаборатория. – 1937. – №8; 1937. – №10.
16. Барышев Н.В., Каллистов П.Л. К вопросу о надежных весах проб золотых руд. // Цветные металлы. – 1938. – №12.
17. Иванов Н.В. Новая методика опробования по типам руд // Разведка недр. – 1946. – №5.
18. Чечотт Г.О. Опробование и испытание полезных ископаемых. – М-Л.: ОНТИ, 1932. – 143 с.
19. Козин В.З. Контроль технологических процессов обогащения: Конспект лекций. – Екатеринбург, 2003. – 161 с.
20. Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. – М.: Наука, 1968. – 288 с.

© Младецкий И.К., Дацун С.Н., 2015

*Надійшла до редколегії 25.09.2016 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. Л.Ж. Горобець*