

ОПРОБОВАНИЕ КРУПНОКУСКОВЫХ ПРОДУКТОВ

В.З. Козин¹, А.С. Комлев¹

¹Уральский государственный горный университет

Аннотация: На обогатительные фабрики поступает руда с размером максимальных кусков 200 ÷ 300 мм. Опробование таких руд выполняют горстьевым способом, который дает результат опробования с систематической погрешностью. Установки механического опробования громоздки, а случаи их внедрения редки. Анализ и синтез таких установок позволяет рационально подойти к их разработке и внедрению. Анализ основан на расчете случайных погрешностей схемы отбора, подготовки и анализа проб крупнокусковых руд. Расчеты выполнены для медных и золотых руд. Рассчитанные относительные погрешности отбора, подготовки и анализа проб показали, что условия опробования медных и золотых руд должны быть различными. Для медной руды важнее увеличивать число точечных проб, для золотых – их массу, а в схему подготовки золотых проб включать операции обогащения для выделения крупного золота. В связи с асимметрией распределений массовой доли в точечных пробах общим условием остается увеличение числа точечных проб до предельно возможного. Сравниваются пять вариантов опробования крупнокусковых руд. Используемые варианты: горстьевое опробование и механическое опробование позволяют добиться приемлемого результата лишь при реализации предложенных схем. Прогнозируются пока не используемые варианты отбора проб малой массы путем механического разрушения кусков руды при отборе либо анализа проб большей массы непосредственно на конвейере. Оба прогнозируемых варианта требуют конструкторской проработки и опытно-промышленной проверки. Даны примеры расчета схем опробования, что может быть эффективным инструментом их анализа и синтеза.

Ключевые слова: крупнокусковые руды, отбор проб, подготовка проб, расчет схем опробования.

Для цитирования: Козин В.З., Комлев А.С. Опробование крупнокусковых продуктов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 3-1. – С. 410–421. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-410-421.

Sampling of coarse products

V.Z. Kozin¹, A.S. Komlev¹

¹Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

Abstract: Processing plants are fed with ore with maximum size of 200–300 mm. Such ore is subjected to grab sampling which produces systemic error. Mechanical sampling has cumbersome equipment and is rarely introduced. The analysis and synthesis of mechanical sampling facilities allows an efficient approach to engineering and introduction of such equipment. The analysis is based on the calculation of random errors in sampling, preparation and examination of coarse samples. The calculations are performed in terms of copper and

gold ore. The calculated relative errors of sampling, preparation and examination of samples show that sampling of copper and gold ores should be different. In terms of copper ore, it is important to increase the number of snap samples, while for gold ore, it is necessary to add the mass of the samples and add the gold sample preparation with concentration stages of coarse gold. In the article, five variants of coarse ore sampling are compared. The currently used variants of grab and mechanical sampling offer an acceptable result only with implementation of the proposed flowsheets. The look-ahead variants include disintegration of coarse particles and small mass sampling, or larger mass sampling directly on the conveyor. Both look-ahead variants need design studies and pilot testing. Examples of sampling circuit design are given, which offers an efficient tool for the analysis and synthesis of sampling circuits.

Key words: coarse ore, sampling, sample preparation, sampling circuit design.

For citation: *Kozin V.Z., Komlev A.S. Sampling of coarse products. MIAB. Mining Inf. Anal. Bull. 2020;(3-1):410-421. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-410-421.*

Введение

Руда на обогатительные фабрики поступает в той крупности, какая предусмотрена проектом ведения горных работ, и размер максимальных кусков может достигать 1200 мм. Но даже если предусмотрено крупное дробление в горном цехе, на фабрику поступает руда с размером максимальных кусков 200–300 мм. Отбор проб от потоков руды такой крупности не механизирован, и в случае необходимости прибегают к ручному отбору проб.

Опробование — это не только отбор проб. Это их подготовка и анализ. Только при выполнении этих работ получают конечный результат — число. Этот результат отличается от истины — средней массовой доли определяемого компонента в опробуемом массиве (партии, сменной или месячной переработке) — на величину возможных погрешностей.

$$\alpha_{\text{рез}} = \alpha_{\text{ист}} + \Delta\alpha_{\text{погр}}$$

где $\alpha_{\text{рез}}$ — массовая доля компонента, получаемая в результате опробования; $\alpha_{\text{ист}}$ — истинное значение $\alpha_{\text{рез}}$; $\Delta\alpha_{\text{погр}}$ — суммарная погрешность результата опробования.

При опробовании руд на каждом из этапов опробования: отборе проб, их подготовке и анализе могут возникать четыре погрешности

$$\Delta\alpha_{\text{погр}} = \Delta\alpha_{\text{сист}} + \Delta\alpha_{\text{сл}} + \Delta\alpha_{\text{ВСП}} + \Delta\alpha_{\text{мет}}$$

Две из них: систематическая $\Delta\alpha_{\text{сист}}$ и случайная $\Delta\alpha_{\text{сл}}$ являются классическими (фундаментальными).

Две из них: вероятная систематическая $\Delta\alpha_{\text{ВСП}}$ и методическая $\Delta\alpha_{\text{мет}}$ специфичны для опробования руд.

Только рассмотрение и учет всех четырех погрешностей позволят оценить возможности опробования руд.

Ручной отбор проб крупнокусковых продуктов специфичен. Кусок руды размером 300 мм весит 50–80 кг, и выполнять любые операции вручную с такими кусками невозможно. Поэтому используют лопаты шириной 200–250 мм и отбирают в пробу более мелкие куски, иногда отбивая молотком мелкие куски от крупных. Такое опробование всегда выполняется с нарушением принципов правильного опробования, и результат опробования отягчен систематической погрешностью.

Так, на Талнахской обогатительной фабрике выполняется ручное опробование руды крупностью более 500 мм и правильное механическое опробование этой же руды. Ручное опробование дает завышение массовой доли никеля в руде в среднем за три месяца на 12,3 относительных процента и меди на 4,6 %.

На Донском ГОКе при опробовании хромовых руд крупностью 300 мм массовая доля оксида хрома завьшается на 5,2 % относительных.

Ручное опробование на предприятиях все же выполняют, несмотря на явную систематическую погрешность, для того, чтобы иметь сведения о качестве руды.

Ситуация осложнилась с 2013 года. Ручной отбор проб не предусмотрен современными правилами безопасности, и его использование даже с соблюдением других необходимых мер, в частности путем отбора проб с остановленного конвейера, недопустимо.

Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору ввела 11.12.2013 г. «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых». Отбор проб регламентируется правилом 799: «Отбор проб должен осуществляться механическими пробоотбирателями в автоматическом режиме или дистанционно управляемыми, за исключением обустроенных для наладки технологии точек технологической схемы по проекту, утверждаемому техническим руководителем организации».

Установки так называемого головного опробования создавались и внедрялись на некоторых обогатительных фабриках. Из действующих установок можно выделить установку головного опробования асбестовой руды крупностью 130 мм на потоке производительностью более 1000 т/ч. Отбор проб выполняется ковшовым пробоотбирателем, масса точечной пробы составляет 800 кг. Объединенная проба массой 32000 кг обрабатывается по технологической линии, включающей две щековые дробилки и секторные сократители.

Другая установка спроектирована и установлена на Талнахской обогати-

тельной фабрике на потоке руды крупностью 110 мм. Отбор проб выполняется методом поперечных сечений пробоотбирателем ковшового типа, перемещающегося поперек толщины потока путем поворота ковша вокруг горизонтальной оси. Подбором траектории перемещения ковша обеспечена правильность отбора точечных проб. Далее пробы проходят через щековую дробилку и шаровую мельницу, после чего сокращаются. Установка расположена на нескольких отметках фабрики. На основе опыта ее использования в журнале «Обогащение руд» было опубликовано решение задачи опробования крупнокусковых проб [1].

Установки головного опробования созданы для опробования угля крупностью до 300 мм. Они состоят из пробоотбирателя и проборазделочной машины.

Интерес к созданию таких установок для руд возникает эпизодически, в основном при решении каких-то местных задач.

Установки для опробования крупнокусковых руд получают громоздкими, но их разработка и внедрение возможны для любой обогатительной фабрики, хотя и по индивидуальным проектам.

Вообще говоря, так как практически любая руда не обогащается в крупности более 300 мм, то предельным размером кусков опробуемой руды следует считать 300 мм.

Но опробовать руду в такой крупности все же избегают.

Так, на Качканарском ГОКе принимают руду крупностью 1200 мм, но установку головного опробования поставили на потоке дробленой руды крупностью 40 мм. Точечную пробу массой 80 кг после отбора сразу сокращают, измельчают до крупности 1 мм и сокращают до лабораторной пробы.

Так как трудоемкость отбора проб резко снижается с уменьшением крупности опробуемого массива (в т. ч. потока руды), а на обогатительных фабриках руду дробят и измельчают, то основным решением явилось установление такой точки отбора проб, в которой руда имеет наименьшую крупность, и до этой точки не происходит изменение состава руды за счет добавления в руду других материалов, либо вывода части руды из потока. Такое решение, если оно возможно, является наилучшим. Если это условие нарушается, его целесообразно обеспечить за счет технологической реконструкции.

Качественное опробование «неподвижных» продуктов любой крупности возможно путем перелопачивания или перегрузки, так как для отбора проб (партий) можно использовать горную технику вплоть до экскаваторов. Ярким примером качественного опробования партий золотой руды с кусками крупностью до 50 мм с относительной погрешностью 6 % (без анализа) является система опробования на Алмалыкском ГОКе. Пробу отбирают после разгрузки состава массой 300 т перелопачиванием с использованием механических погрузчиков, после чего руда вновь загружается в состав. Отобранная проба массой 5 т дробится и сокращается сразу после отбора [2].

Другим примером является система опробования крупнокусковой $d_{\max} = 100$ мм магнетитовой руды, поступающей в биг-бэгах. Руду пропускают через дробилку и дисковый пробоотбиратель — сократитель, после чего руда вновь поступает в биг-бэги [3].

При отборе проб как от потоков, так и неподвижных масс, следует выполнять принципы правильного опробования. Это позволит добиться отсутствия систематической погрешности.

Все изложенные установки и системы выполняют правильное опробование, т. е. $\Delta\alpha_{\text{сист}} = 0$.

Методы

Анализ и синтез возможных схем опробования основан на расчете случайных погрешностей.

Случайная погрешность неизбежна, но ее можно рассчитать и подбором параметров опробования уменьшить [4].

Относительная случайная погрешность результата опробования руды P_{α} предопределяется выполнением операций отбора проб $P_{\text{от}}$, подготовки $P_{\text{под}}$ и анализа $P_{\text{ан}}$.

$$P_{\alpha}^2 = P_{\text{от}}^2 + P_{\text{под}}^2 + P_{\text{ан}}^2. \quad (1)$$

Погрешность отбора проб % определяется по формуле

$$P_{\text{от}}^2 = \frac{4V_{\alpha}^2}{N_T}. \quad (2)$$

где V_{α} — коэффициент вариации (%) за контрольный период, например, смена; N_T — число точечных проб за этот же период.

Погрешность подготовки проб руды или крупнокусковых хвостов, %:

$$P_{\text{под}}^2 = k \cdot d_{\text{зmax}}^{3-b} \cdot \sum \frac{d_{i\text{max}}^b}{q_i}; \quad (3)$$

$$k = \frac{10^4 f \rho_M \beta_M}{\alpha}. \quad (4)$$

Погрешность анализа руд и хвостов, %

$$P_{\text{ан}}^2 = \frac{1}{n_{\text{нав}}} \cdot \left(k \frac{d_{\text{навmax}}^3}{q_{\text{нав}}} + P_M^2 \right). \quad (5)$$

где f — коэффициент формы; ρ_M — плотность минерала, кг/м³; β_M — массовая доля компонента в минерале, % или г/т; α — массовая доля компонента в руде, % или г/т; $d_{\text{зmax}}$ — максимальный размер зерен минерала, м; $d_{i\text{max}}$ — максимальный размер кусков на i -ой стадии

сокращения пробы, m ; b — показатель вкрапленности зерен минерала; q_i — масса пробы после i -ой стадии сокращения, кг; $q_{\text{нав}}$ — масса навески при анализе, кг; $n_{\text{нав}}$ — число навесок; P_M — относительная погрешность метода анализа, %.

Рассчитаем по этим формулам погрешности результата опробования для золотой и медной руды для смены (по стандарту это партия).

Погрешность отбора проб. Принимаем число точечных проб $N_T = 8$ (один раз в час). Коэффициенты вариации за месяц для золотой руды составляют 100 %, для медной 50 %. Для смены эти значения примерно в десять раз меньше, т. е. V_α для смены для золотой руды 10 % и для медной 5 %.

Относительные случайные погрешности отбора сменной пробы:

$$P_{\text{отAu}}^2 = \frac{4 \cdot 10^2}{8} = 50 \%^2;$$

$$P_{\text{отCu}}^2 = \frac{4 \cdot 5^2}{8} = 12,5 \%^2.$$

Погрешность подготовки проб.

Найдем вначале k

Для золотой руды $\alpha = 3$ г/т; $f = 0,17$; $\rho_M = 18000$ кг/м³, $\beta_M = 0,9 \cdot 10^6$ г/т

$$k_{\text{Au}} = \frac{10^4 \cdot 0,17 \cdot 18000 \cdot 0,9 \cdot 10^6}{3} = 9 \cdot 10^{12}.$$

Для медной руды $\alpha = 1,8$ %; $f = 0,4$; $\rho_M = 4100$ кг/м³, $\beta_M = 34,6$ %

$$k_{\text{Cu}} = \frac{10^4 \cdot 0,4 \cdot 4100 \cdot 34,6}{1,8} = 3 \cdot 10^8.$$

Подготовка проб крупностью 300 мм состоит в дроблении до $d_{\text{max}} = 100$ мм и сокращении до $q = 300$ кг, затем $d = 20$ мм и $q = 80$ кг, $d = 3$ мм и $q = 20$ кг, $d = 1$ мм и $q = 5$ кг, $d = 0,5$ мм и $q = 1$ кг, т. е. на выходе пакет крупностью 0,5 мм и массой 1 кг.

В расчете нужен еще размер зерен золота и халькопирита. Примем $d_{3\text{max}} = 0,5$ мм. Показатель вкрапленности для золотой руды $b = 0$, для медной руды $b = 1,5$.

$$P_{\text{подAu}}^2 = k \cdot d_{3\text{max}}^{3-b} \cdot \sum \frac{d_{i\text{max}}^b}{q_i} = 9 \cdot 10^{12} \cdot (0,5 \cdot 10^{-3})^{3-0} \cdot \left(\frac{1}{300} + \frac{1}{80} + \frac{1}{20} + \frac{1}{5} + \frac{1}{1} \right) = 1417 \%^2.$$

Тогда

$$P_{\text{подCu}}^2 = 3 \cdot 10^8 \cdot (0,5 \cdot 10^{-3})^{3-1,5} \cdot \left(\frac{(100 \cdot 10^{-3})^{1,5}}{300} + \frac{(20 \cdot 10^{-3})^{1,5}}{80} + \frac{(3 \cdot 10^{-3})^{1,5}}{20} + \frac{(1 \cdot 10^{-3})^{1,5}}{5} + \frac{(0,5 \cdot 10^{-3})^{1,5}}{1} \right) = 0,1 \cdot (3,33 + 1,12 + 0,26 + 0,2 + 0,35) = 0,558 \%^2.$$

Погрешность анализа

Примем для золотой руды $n_{\text{нав}} = 2$, $d_{\text{нав макс}} = 0,25$ мм, $q_{\text{нав}} = 50$ г, $P_M = 10$ %.

Предполагаем, что пакет 1 кг крупностью 0,5 мм будет измельчен до 0,1 мм, но золото плохо измельчается, примем его крупность 0,25 мм.

Тогда

$$P_{\text{анAu}}^2 = \frac{1}{2} \left(9 \cdot 10^{12} \frac{(0,25 \cdot 10^{-3})^3}{0,05} + 10^2 \right) = 1456 \%^2.$$

Для медной руды $n_{\text{нав}} = 2$, $d_{\text{нав макс}} = 0,1$ мм, $q_{\text{нав}} = 1$ г, $P_M = 0,7$ %.

$$P_{\text{анCu}}^2 = \frac{1}{2} \left(3 \cdot 10^8 \frac{(0,1 \cdot 10^{-3})^3}{0,001} + 0,7^2 \right) = 0,4 \%^2.$$

Погрешности результата опробования

$$P_{\alpha_{\text{Au}}}^2 = 50 + 1417 + 1456 = 2923 \%^2;$$

$$P_{\alpha_{\text{Cu}}}^2 = 12,5 + 0,558 + 0,4 = 13,46 \%^2.$$

Результаты

Сравним полученные результаты, табл. 1.

Для медной руды основную погрешность формирует отбор проб. 8 проб за смену мало. Если бы было отобрано 480 проб, то $P_{\text{от}}^2 = 0,21 \%^2$, а погрешность результата опробования составила бы 1,08 %.

$$P_{\alpha_{\text{Cu}}}^2 = 0,21 + 0,558 + 0,4 = 1,17 \%^2; P_{\alpha_{\text{Cu}}} = 1,08 \%,$$

Возможный вариант достижения этого результата, рис. 1.

Такое решение требует проекта и изготовления нестандартного оборудования, в частности пробоотбирателя.

Для золотой руды это не подходит. Основной результат опробования формирует анализ проб. Если анализ проб выполнять с относительной погрешностью 10 %, то

$$P_{\alpha_{\text{Au}}}^2 = 50 + 1417 + 100 = 1567 \%^2;$$

$$P_{\alpha_{\text{Au}}} = 40,0 \%,$$

что приемлемо.

Возможный вариант достижения этого результата, рис. 2 [5, 6].

В связи с асимметрией распределений массовой доли в точечных пробах возникают вероятная систематическая и методическая погрешности. Эти погрешности появляются при использовании систем опробования с небольшим числом точечных проб, например, одна проба в час, и при использовании небольших масс навесок при анализе.

Таблица 1

Относительные погрешности, %
Relative error, %

Руда	$P_{\text{от}}$	$P_{\text{под}}$	$P_{\text{ан}}$	P_{α}
медная	3,5	0,75	0,63	3,7
золотая	7,1	37,6	38,2	54,1

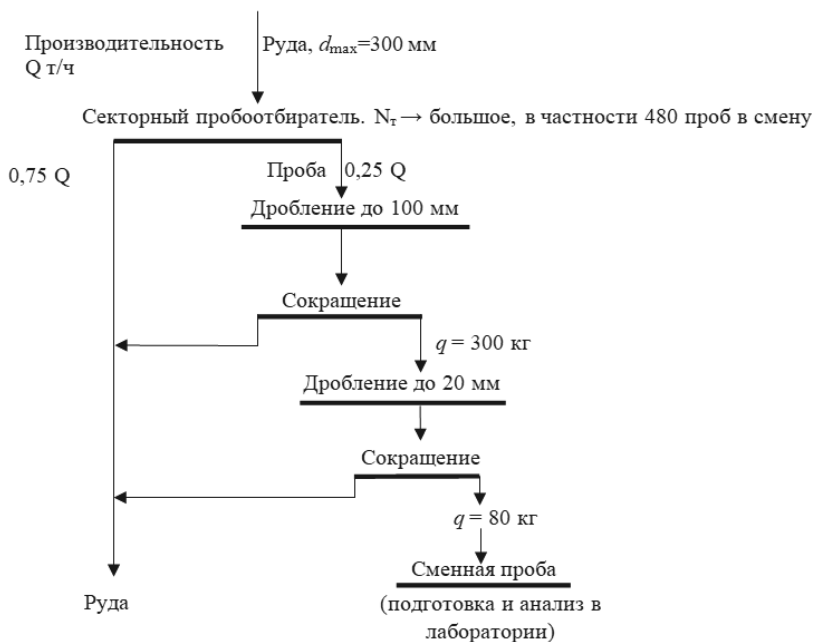


Рис. 1. Возможная схема опробования руд цветных металлов
 Fig. 1. Possible scheme for testing non-ferrous metal ores

Если имеется возможность выполнить отбор проб от одного и того же опробуемого массива способом поперечных сечений (небольшое число точечных проб) и способом продольных сечений (большое число точечных проб), то определить $\Delta\alpha_{\text{всп}}$ можно непосредственно. Результаты опробования оказываются разными, и отличаются они именно на величину $\Delta\alpha_{\text{всп}}$:

$$\Delta\alpha_{\text{всп}} = \bar{\alpha}_{\text{поп}} - \bar{\alpha}_{\text{пр}}$$

Такое опробование было реализовано на одной из медно-цинковых обогатительных фабрик. На одном и том же продукте (хвостах) был выполнен отбор проб как способом поперечных, так и способом продольных сечений. При отборе проб способом поперечных сечений (1300 проб) зафиксировано занижение массовой доли меди в хвостах на 0,025 % и цинка на 0,06 %, что составляет занижение по меди на 8,22 % и по цинку на 8,28 %.

Аналогичная работа выполнена на хвостах золоторудной фабрики. При отборе проб каждый час способом поперечных сечений в течение месяца получено, что средняя массовая доля золота в хвостах равна 0,499 г/т, а при отборе проб способом продольных сечений 0,527 г/т. Занижение составило 0,028 г/т, или 5,3 %.

Практические варианты опробования крупнокусковых руд

При отборе объединенной пробы начальная масса $q_{\text{нач}}$ зависит от массы точечной пробы $q_{\text{т}}$ и числа точечных проб $N_{\text{т}}$ [4].

$$q_{\text{нач}} = q_{\text{т}} \cdot N_{\text{т}}$$

Масса точечной пробы зависит от используемого для ее отбора пробоотбирателя или способа отбора или анализа (при инструментальном анализе точечных проб). Поэтому масса точечной пробы может быть любой, от очень малой до весьма большой [7, 8].

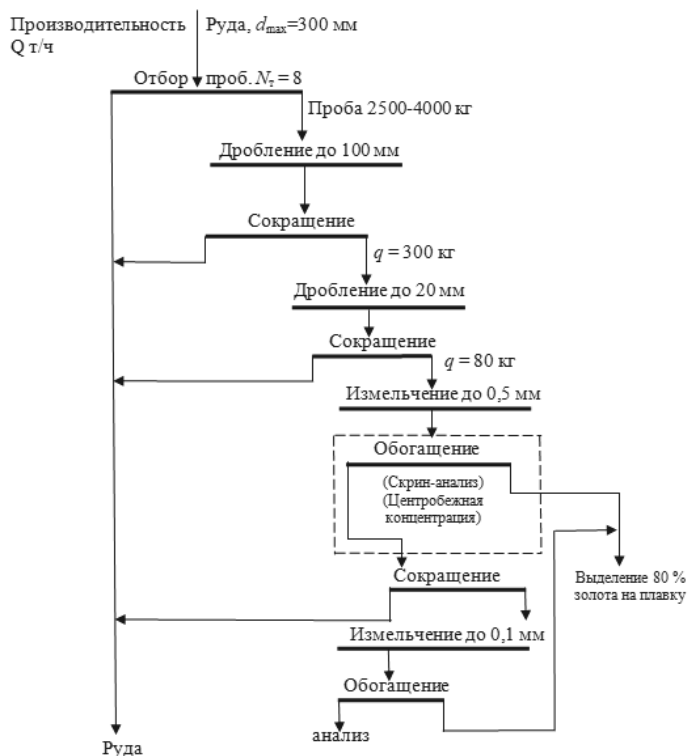


Рис. 2. Возможная схема опробования золотых руд

Fig. 2. Possible scheme for testing gold ores

Таблица 2

Варианты опробования крупнокусковых руд

Options for testing large-lump ores

Вариант отбора или анализа точечной пробы	Масса точечной пробы	Число точечных проб	Погрешности			Особенности и реализация
			$\Delta a_{\text{сист}}$	$\Delta a_{\text{сл}}$	$\Delta a_{\text{всп}}$	
1. Ручной отбор (метод молотка и совка)	малая	малое	$\neq 0$	$\neq \text{min}$	$\neq 0$	Распространен, но связан со всеми погрешностями
2. Механический отбор	большая	малое	$= 0$	$\neq \text{min}$	$\neq 0$	Реализован на рудах с кусками до 130 мм (АО «Ураласбест»)
3. Механический отбор с одновременным дроблением и сокращением пробы	большая	большое	$= 0$	$= \text{min}$	$= 0$	Реализован на рудах с кусками до 110 мм (Талнахская обогатительная фабрика)
4А. Механический отбор с отбойкой кусков малой массы	Очень малая	Очень большое	$= 0$	$= \text{min}$	$= 0$	Реализован на угольном разрезе. На рудах не реализован

Окончание табл. 2

Вариант отбора или анализа точечной пробы	Масса точечной пробы	Число точечных проб	Погрешности			Особенности и реализация
			$\Delta\alpha_{\text{сист}}$	$\Delta\alpha_{\text{сл}}$	$\Delta\alpha_{\text{всп}}$	
4Б. Естественное разрушение кусков и отбор в пробу пылевидных частиц	Весьма малая	Весьма большое	$\neq 0$	$=\min$	$=0$	Не реализован, но имеются перспективы использования
5А. Автоматический анализ точечных проб малой массы	малая	большое	$\neq 0$	$=\min$	0	Реализован на основе рентгенофлуоресцентного анализа (Гайский ГОК)
5Б. Автоматический анализ точечных проб большой массы	большая	большое	$=0$	$=\min$	0	Возможна реализация на основе активационного анализа

Число точечных проб зависит от массы точечной пробы. Чем меньше масса точечной пробы, тем больше дисперсия точечных проб и, следовательно, требуемое число точечных проб при одной и той же случайной погрешности отбора объединенной пробы [9].

Во многих случаях число точечных проб также предопределено условиями их отбора или анализа, например, периодичностью анализа проб в системах с использованием автоматических анализаторов [10, 11].

В итоге опробование крупнокусковых руд может быть выполнено по какому-либо одному из нескольких вариантов, зависящих от выбора техники опробования, массы и числа точечных проб, табл. 2.

Развитие исследований

1. Ручной отбор пробы горстьевым способом (метод молотка и совка)

$$\Delta\alpha_{\text{сист}} \neq 0, \Delta\alpha_{\text{всп}} \neq 0, \Delta\alpha_{\text{сл}} \neq \min$$

Запрещен правилами безопасности. Используется по необходимости.

2. Отбор в пробу ограниченного числа точечных проб, например, каждый час, с многостадийным дробле-

нием и сокращением точечных проб большой массы.

$$\Delta\alpha_{\text{сист}} = 0, \Delta\alpha_{\text{всп}} \neq 0, \Delta\alpha_{\text{сл}} = \min$$

Большие капитальные и эксплуатационные затраты. Имеется положительный опыт.

3. Выделение в пробу большого числа точечных проб, например, каждую минуту, с многостадийным дроблением и сокращением начальной пробы большой массы.

$$\Delta\alpha_{\text{сист}} = 0, \Delta\alpha_{\text{всп}} = 0, \Delta\alpha_{\text{сл}} = \min$$

Большие капитальные и эксплуатационные затраты.

4. Отбор большого числа точечных проб малой массы. Получение пробы, пригодной для анализа.

Подвариант А. Отбор малых точечных проб с механическим искусственным их отделением от кусков руды. По существу, механизация метода молотка и совка.

$$\Delta\alpha_{\text{сист}} = 0, \Delta\alpha_{\text{всп}} = 0, \Delta\alpha_{\text{сл}} = \min$$

Опыт есть при опробовании угля. При необходимости опробования потоков угля с весьма крупными кусками пришлось прибегнуть к нестандарт-

ному решению. Был разработан баровый пробоотбиратель, отличающийся тем, что от крупных кусков угля в процессе отбора пробы отбивались мелкие кусочки, составляющие пробу.

Для руд такое решение не реализовано, но предложение опубликовано и даже получен патент.

Подвариант **Б**. Отбор малых точечных проб с использованием естественного отделения их от кусков руды, например, при дроблении.

$$\Delta\alpha_{\text{сист}} \neq 0, \Delta\alpha_{\text{ВСП}} = 0, \Delta\alpha_{\text{сл}} = \min$$

Проводились опыты на железной руде и на руде цветных металлах. Если $\Delta\alpha_{\text{сист}}$ приемлемо или постоянно, то это хороший вариант. Но никто не решился его осуществить.

5. Установка рудоконтролирующих станций. Автоматическое опробование.

Подвариант **А**. На основе рентгенофлуоресцентного анализа.

$$\Delta\alpha_{\text{сист}} \neq 0, \Delta\alpha_{\text{ВСП}} = 0, \Delta\alpha_{\text{сл}} = \min$$

Малые капитальные и эксплуатационные затраты.

Ограничения по номенклатуре и массовым долям элементов.

Опыт есть [12].

Подвариант **Б**. На основе активационного анализа.

$$\Delta\alpha_{\text{сист}} = 0, \Delta\alpha_{\text{ВСП}} = 0, \Delta\alpha_{\text{сл}} = \min$$

Использование линейных ускорителей электронов.

Опыт есть, но недостаточен [13].

Это хороший вариант, но никто не решился реализовать, а созданная в XX в. лаборатория ликвидирована.

Заключение

Отбор проб от потоков руд крупностью до 300 мм возможен с исполь-

зованием мощных секторных или лотковых (разновидность ковшовых) пробоотбирателей, выделяющих в пробу до четверти потока материала, направляемого сразу на дробление и сокращение. Целесообразнее выполнять отбор от потоков крупностью 100–150 мм и менее, определив приемлемую точку в технологическом процессе вплоть до продуктов измельчения.

Из пяти возможных вариантов опробования крупнокусковых руд наилучшие результаты могут быть получены только в случае отбора большого числа точечных проб (3, 4а и 5б). При этом будет достигнута минимальная случайная погрешность и исключены систематическая и вероятная систематическая погрешности.

Расчет случайной погрешности выбранного варианта опробования крупнокусковой руды и подбор оптимальных параметров опробования удобно выполнять с использованием относительных величин (формулы 1–5). Показано, что для различных руд соотношение случайных погрешностей отбора проб, подготовки и анализа различно. Так, для медной руды преобладающей оказалась погрешность отбора начальной пробы, а для золотосодержащей руды погрешности подготовки пробы и анализа [14, 15].

Экономичными по трудозатратам являются варианты опробования крупнокусковых руд 4 и 5, но эти варианты (за исключением варианта 5А, внедренного на Гайском ГОКе) недостаточно разработаны. Необходимы дополнительные исследования и конструктивная проработка элементов для их промышленного использования [16, 17].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ненарокомов Ю.Ф.* Проектирование установок головного опробования руд на обогатительных фабриках. Обогащение руд. 1986. №5. С. 38 – 41.
2. *Калинин В.П., Санакулов К.С., Халматов М.М., Гурин В.Д., Шустова Т.Ф.* Опробование золотосодержащих флюсовых руд. // Горный вестник Узбекистана. 2003. №2. С. 56 – 59.
3. *Козин В.З., Комлев А.С.* Комбинированный способ отбора проб продуктов обогащения и оборудования для его реализации. // Обогащение руд. 2014. №3. С. 28 – 32.
4. *Козин В.З.* Опробование минерального сырья. Екатеринбург, издание УГГУ. 2011. 316 с.
5. *Schriner D., Anderson C.* Centrifugal concentration of rare minerals from calcitic gangue// *Jornal of Metallurgical Engineering*. 2015. Vol. 4. pp. 69 – 77.
6. *King R.P.* Modeling and simulation of mineral processind systems. Boston: Butterworth Heinemann, 2014. 404 p.
7. *Pitard F.* Correct sampling systems and statistical tools for metallurgical prosesses // XXVII International Mineral Processing Congress. Santiago, Chile, 2014. Chap. 15. pp. 1.
8. *Козин В.З., Комлев А.С.* Определение коэффициентов вариации массовой доли компонентов в продуктах обогащения. // Обогащение руд. 2019. №1. С. 28 – 33.
9. *Brochot S.* Sampling for metallurgical test: how the test results can be used to estimate their confidence level. XXVIII International Mineral Processing Congress. Quebec City, Canada, 2016. Paper ID 438.
10. *Broicher H.F.* Ore and waste identification and quality control by means of laser induced fluouescence // *The Canadian Mining and Metallurgical Bulletin*. 1999. Vol. 92 no 1034, p. 59 – 63.
11. *Moore P.* Processing performance // *International Mining*. 2018. January. pp. 66 – 73.
12. *Ляпин А.Г.* Инженерно-аналитический контроль технологий добычи и переработки минерального сырья. // Горный журнал. 2009. №4. С. 14 – 16.
13. *Бондаренко А.В.* Возможность применения малых ускорителей для аналитического контроля руд и продуктов обогащения. // Обогащение руд, 1989, №5. С. 27 – 29.
14. *Geelhoed, B (ed) (2010) Approaches in Material Sampling, Delft University Press, 152 P.*
15. *Geelhoed, B. (2011) Is Gy's formula for the Fundamental Sampling Error accurate? Experimental evidence. Minerals Engineering 2011; 24(2): 167 – 173.*
16. *Вайсберг Л.А., Устинов И.Д.* Введение в технологию разделения минералов. – Санкт-Петербург: Изд. «Русская коллекция», 2019. – 166 с.
17. *Устинов И.Д., Балдаева Т.М.* Вибрационная классификация по крупности. Термодинамическая модель. // Обогащение руд. 2018. № 1. С. 12 – 16. **УДК**

REFERENCES

1. *Nenarokomov Yu.F.* Design of installations for ore testing at processing plants. *Obogashchenie rud*. 1986. no 5. pp. 38 – 41. [In Russ]
2. *Kalinin V.P., Sanakulov K.S., Halmatov M.M., Gurin V.D., SHustova T.F.* Testing of gold-containing flux ores. *Gornyj vestnik Uzbekistana*. 2003. no 2. pp. 56 – 59. [In Russ]
3. *Kozin V.Z., Komlev A.S.* Combined method of sampling enrichment products and equipment for its implementation. *Obogashchenie rud*. 2014. no 3. pp. 28 – 32. [In Russ]
4. *Kozin V.Z.* *Oprobovanie mineral'nogo syr'ya* [Testing of mineral raw materials]. Ekaterinburg, izdanie UGGU. 2011. 316 p. [In Russ]
5. *Schriner D., Anderson C.* Centrifugal concentration of rare minerals from calcitic gangue. *Jornal of Metallurgical Engineering*. 2015. Vol. 4. pp. 69 – 77.
6. *King R.P.* Modeling and simulation of mineral processind systems. Boston: Butterworth Heinemann, 2014. 404 p.
7. *Pitard F.* Correct sampling systems and statistical tools for metallurgical prosesses // XXVII International Mineral Processing Congress. Santiago, Chile, 2014. Chap. 15. pp. 1.

8. Kozin V.Z., Komlev A.S. Determination of coefficients of variation of the mass fraction of components in enrichment products. *Obogashchenie rud.* 2019. no 1. pp. 28 – 33. [In Russ]
9. Brochot S. Sampling for metallurgical test: how the test results can be used to estimate their confidence level. XXVIII International Mineral Processing Congress. Quebec City, Canada, 2016. Paper ID 438.
10. Broicher H.F. Ore and waste identification and quality control by means of laser induced fluorescence. *The Canadian Mining and Metallurgical Bulletin.* 1999. Vol. 92. no 1034, p. 59 – 63. [In Russ]
11. Moore P. Processing performance. *International Mining.* 2018. January. pp. 66 – 73.
12. Lyapin A.G. Engineering and analytical control of technologies for mining and processing of mineral raw materials. *Gornyj zhurnal.* 2009. no 4. pp. 14 – 16. [In Russ]
13. Bondarenko A.V. Possibility of using small accelerators for analytical control of ores and enrichment products. *Obogashchenie rud.* 1989, no 5. pp. 27 – 29. [In Russ]
14. Geelhoed, B (ed) (2010) *Approaches in Material Sampling*, Delft University Press, 152 P.
15. Geelhoed, B. (2011) Is Gy's formula for the Fundamental Sampling Error accurate? Experimental evidence. *Minerals Engineering* 2011; 24(2): 167 – 173.
16. Vajsberg L.A., Ustinov I.D. *Vvedenie v tekhnologiyu razdeleniya mineralov* [Introduction to the technology of mineral separation]. Sankt-Peterburg: Izd. «Russkaya kolleksiya», 2019. 166 p. [In Russ]
17. Ustinov I.D., Baldaeva T.M. Vibrational classification by size. Thermodynamic model. *Obogashchenie rud.* 2018. no 1. pp. 12 – 16. [In Russ]

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Козин Владимир Зиновьевич*¹ – докт. техн. наук, профессор, декан горно-механического факультета, gmf.dek@ursmu.ru,

*Комлев Алексей Сергеевич*¹ – канд. техн. наук, старший научный сотрудник, gmf.dek@ursmu.ru,

¹Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, 620144, ГСП-126, ул. Куйбышева, 30.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Kozin V.Z.*¹, Dr. Sci. (Eng.), Dean of the Rock Mechanics Faculty, gmf.dek@ursmu.ru,

*Komlev A.S.*¹, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, gmf.dek@ursmu.ru,

¹ Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia.

Получена редакцией 21.11.2019; получена после рецензии 28.01.2020; принята к печати 20.03.2020.

Received by the editors 21.11.2019; received after the review 28.01.2020; accepted for printing 20.03.2020.

