

КОМБИНИРОВАННЫЙ ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ОТБОР ПРОБ ОТ ПРОДУКТОВ ОБОГАЩЕНИЯ РУД

В.З. Козин¹, А.С. Комлев¹

¹ Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия,
e-mail: tails2002@inbox.ru

Аннотация: Расчет числа точечных проб в точках их отбора превращается для обогащительных фабрик в неопределенную задачу, так как входящие в расчетную формулу величины фактически принимаются произвольно. Дисперсия точечных проб определяется только экспериментально, так как найти ее аналитическим путем возможно только при покусковом отборе проб. Допустимую погрешность отбора проб возможно найти только расчетом полной случайной погрешности опробования. Такой расчет можно не выполнять, если использовать пробоотбиратель, отбирающий заведомо большее число проб, чем необходимо согласно расчету. Для сложных условий опробования на обогащительных фабриках, обогащающих руды цветных металлов, число точечных проб для партии (смены) не превышает 4900. Пробоотбиратель, отбирающий большее число точечных проб, становится универсальным для отбора проб на любых точках опробования обогащительной фабрики. Разработаны и внедрены пробоотбиратели для пульпы и кусковых продуктов, отбирающие 21 600 проб от партии за смену продолжительностью 12 ч. Пробоотбиратель выполняется из трех единиц оборудования: щелевого сократителя первичного потока способом продольных сечений, секторного сократителя вторичного потока и дискового сократителя третичного потока. Конечная проба заданной массы будет получена с относительной случайной погрешностью не более 0,5%. Разработаны и внедрены станции опробования пульповых потоков до 2000 м³/ч и сыпучих продуктов до 24 м³/ч крупностью до 80 мм. Использование нового оборудования обеспечивает снижение невязок товарных балансов в 1,5–2 раза, а также повышение производительности труда на участках пробоподготовки до пяти раз.

Ключевые слова: число точечных проб, высокочастотный отбор, стандартный отбор, коэффициент вариации, станция опробования, дисковый сократитель, случайная погрешность, вероятная систематическая погрешность, покусковой отбор, невязка товарного баланса, комбинированный способ отбора и подготовки, параллельное опробование.

Для цитирования: Козин В. З., Комлев А. С. Комбинированный высокочастотный отбор проб от продуктов обогащения руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 5. – С. 142–153. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_5_0_142.

Mixed-type high-rate sampling in ore processing

V.Z. Kozin¹, A.S. Komlev¹

¹ Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia, e-mail: tails2002@inbox.ru

Abstract: Calculation of number of sampling points at processing plants is an indeterminate problem as the inputs of the calculation formula are assumed at random. The variance of the

point samples is only found experimentally as its analytical determination is possible only in lump sampling. The permissible sampling error can be estimated from calculating the total random sampling error. It is possible to do without such calculation using a sampler which collects certainly more samples than is required for the calculation. In complex sampling conditions at processing plants for nonferrous metal ores, the number of point samples per shift is not more than 4900. A sampler collecting more point samples becomes a universal tool for sampling at any point at a processing plant. The designed and introduced samplers for lump and slurry products can collect 21 600 samples per shift 12 hours long. Such sampler consists of three machine units: a slot-like reducer of the primary flow by longitudinal sections, a sector reducer of the secondary flow and a disk-like reducer of the tertiary flow. The final sample of a preset mass is obtained at a relative random error not higher than 0.5% in this case. The sampling stations for slurry flows to 2000 m³/h and granular products to 24 m³/h to 80 mm in size are designed and put into operation. The new equipment ensures reduction in the discrepancy of commodity balances by 1.5–2 times as well as enhances efficiency of sampling by 5 times.

Key words: number of point samples, high-rate sampling, standard sampling, coefficient of variation, sampling station, disk-like reducer, random error, probable systematic error, lump sampling, commodity balance discrepancy, mixed-type preparation and sampling method, parallel sampling.

For citation: Kozin V. Z., Komlev A. S. Mixed-type high-rate sampling in ore processing. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(5):142-153. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_5_0_142.

Введение

Отбор проб от опробуемых массивов связан с решением двух разноплановых задач. Первая задача — подготовка методик отбора проб, обеспечивающих нулевую систематическую погрешность. Это возможно, если методика соответствует принципам правильного опробования при выполнении любой отдельной операции. Для этого методики составляются с подробным описанием особенностей, связанных с выполнением всех операций [1–4]. Вторая задача — выполнить расчет числа точечных проб в соответствии с ГОСТ 14180-80 «Руды и концентраты цветных металлов. Методы отбора и подготовки проб для химического анализа и определения влаги» по формуле:

$$N_{\tau} = \frac{4V_{\tau}^2}{P_{\text{доп}}^2}, \quad (1)$$

где V_{τ} — коэффициент вариации точечных проб; $P_{\text{доп}}$ — допустимая относи-

тельная погрешность отбора объединенной пробы.

Расчет по указанной формуле является неопределенным, так как обе величины, V_{τ} и $P_{\text{доп}}$, фактически назначаются произвольно.

В зарубежной теории и практике опробования, основанных на достаточно развернутой теории П. Жи [5], обсуждаются проблемы, связанные с расчетом и использованием погрешностей опробования, а также с определением коэффициентов вариации точечных проб [6–10].

Коэффициент вариации точечных проб определяют только экспериментально, так как неоднородность опробуемого массива формируется произвольным образом, не поддающимся теоретическому описанию. Такой эксперимент является трудоемким, тогда как получаемый результат характеризуется значительной относительной погрешностью (40–70% и более) [11].

Допустимая относительная погрешность отбора объединенной пробы может быть назначена только ориентировочно, так как полный расчет погрешностей при принятой технологии опробования не делается. Действующий ГОСТ 14180-80 предлагает погрешность отбора принимать равной погрешности анализа навесок. Такой алгоритм только подчеркивает необоснованность выбора погрешности отбора объединенной пробы.

В итоге следует констатировать, что расчет числа точечных проб по формуле (1) является произвольным и недо-стоверным.

Известны системы экспресс-анализа потоков пульпы, в частности, система «AnStat330», при помощи которой выполняется анализ потока без физического отбора пробы с частотой в несколько десятков секунд. Способ сканирования потока близок к способу периодического продольного пересечения. Подобные системы используются для оперативного технологического опробования. Для товарных точек опробования, предусматривающих физический отбор точечных проб, указанная система и ей подобные неприменимы [12].

Целью представленной работы является обоснование необходимости и целесообразности отказа от неопределенного расчета числа точечных проб в точках опробования на обогатительных фабриках, а также перехода к комбинированному отбору проб, число точечных проб при котором заведомо превышает число, получаемое при расчетах по ГОСТ 14180-80.

Комбинированный высокочастотный отбор проб позволяет исключить трудоемкую экспериментальную оценку коэффициентов вариации, избежать негативного влияния на результат опробования ураганных проб, обеспечить отбор проб на любой точке опробования обогатительной фабрики с относи-

тельной случайной погрешностью менее 0,5%.

Теория высокочастотного отбора проб

Коэффициенты вариации точечных проб для партий руды на обогатительных фабриках цветной металлургии обычно находятся в пределах от 10 до 20%. Для партий концентратов коэффициенты вариации точечных проб составляют менее 10%.

В ГОСТ 14180-80 предлагается в случае отсутствия экспериментального определения коэффициентов вариации точечных проб принимать его для руды равным 35%, а для концентратов — 5%. Допустимые относительные погрешности анализа как для руд, так и для концентратов равны 1%.

Следовательно, максимально возможное число точечных проб на обогатительной фабрике будет получено при расчете точки отбора проб от руды и будет равно 4900 [2, 11].

Пробоотбиратель, отбирающий за контрольный период более 4900 точечных проб, становится фактически универсальным для любой обогатительной фабрики. Такой пробоотбиратель пригоден для установки на любом продукте, исключая экспериментальные работы по определению коэффициентов вариации, а также допустимой погрешности отбора проб и, в итоге, исключая расчет числа точечных проб.

Новые пробоотбиратели, отбирающие увеличенное число точечных проб по указанным выше условиям, разработаны одной из российских компаний как для пульпы под общей маркой «СОП», так и для сыпучих материалов под общей маркой «СОД» [12].

Пробоотбиратель «СОП» включает в себя узел турбулизации элемента опробуемого потока и отбора первичной пробы способом продольных сечений,

встраиваемый непосредственно в транспортную магистраль пульпового продукта (щелевой поточный пробоотборник типа «ПЩП»), а также модуль, состоящий из секторного пробоотбирателя и дискового сократителя потока (пробоотборный модуль типа «МП»).

Точечные пробы секторным пробоотбирателем отсекаются каждые 2 с. За смену продолжительностью 12 ч будет отобрано 21 600 проб.

Дисковый сократитель выделяет за 2 с 10 проб, направляемых в накопленную сменную пробу. При получаемом числе точечных проб разработанные пробоотбиратели типа «СОП» становятся универсальными для всех обогатительных фабрик.

При заданной массе объединенной сменной пробы 3 кг масса точечной пробы, поступающей в сменную пробу, составит 14 мг. Средняя масса одного куска опробуемой руды в пульпе составляет 0,002 мг. Это означает, что в точечной пробе будет $n_d = 7000$ кусков, отбираемых от тщательно перемешиваемой пробы, что приближает отбор объединенной сменной пробы к покусковому отбору.

Покусковой коэффициент вариации, характеризующий различие кусков опробуемого массива V_k , и коэффициент вариации точечных проб, характеризующий неоднородность элементов опробуемого массива, при покусковом опробовании совпадают:

$$V_T (n_T = 1) = V_K. \quad (2)$$

Формула (2) имеет принципиальное значение для создания нового комбинированного высокочастотного способа отбора точечных проб.

Формула коэффициента вариации при покусковом отборе точечных проб [1] принимает следующий вид:

$$V_K = \sqrt{\frac{\rho_M \cdot \beta_M}{\rho_p \cdot \alpha}} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

где α — массовая доля определяемого компонента в опробуемом массиве; β_M — то же в минерале, содержащем определяемый компонент; ρ_p и ρ_M — плотность породы и минерала.

Пример расчета по предложенной формуле (3) показан ниже.

Пусть $\alpha = 1,2\%$; $\beta_M = 34,6\%$; $\rho_M = 4200 \text{ кг/м}^3$; $\rho_p = 3000 \text{ кг/м}^3$.

Покусковой коэффициент вариации:

$$V_K = \sqrt{\frac{4200 \cdot 34,6}{3000 \cdot 1,2}} \cdot 100 = 635,3 \%$$

Коэффициент вариации V_d точечных проб дискового сократителя будет равен

$$V_d = \frac{V_K}{\sqrt{n_d}}, \quad (4)$$

где n_d — число кусочков, отбираемых в точечную пробу дисковым сократителем ($n_d = 7000$).

Случайная относительная погрешность отбора пробы от потока пульпы составит

$$P_{\alpha \text{ см}}^2 = \frac{4V_T^2}{N_T} + \frac{4V_d^2}{N_d} = \frac{4V_T^2}{N_T} + \frac{4V_K^2}{n_d \cdot N_d}, \quad (5)$$

где V_T — коэффициент вариации точечных проб (принято максимальное значение по ГОСТ 14180-80, равное 35%); V_K — покусковой коэффициент вариации (для примера $V_K = 635,3\%$); N_T — число точечных проб, отбираемых секторным сократителем ($N_T = 21\,600$); n_d — число кусочков, отбираемых в точечную пробу дисковым сократителем ($n_d = 7000$); N_d — число точечных проб, отбираемых дисковым сократителем ($N_d = 216\,000$).

Общая принципиальная схема комбинированного высокочастотного пробоотбирателя представлена на рис. 1.

Случайная погрешность отбора сменной пробы P_α будет равна

$$P_\alpha^2 = \frac{4 \cdot 35^2}{21\,600} + \frac{4 \cdot 635,3^2}{7000 \cdot 216\,000} = 0,227 + 0,001 = 0,228\% \\ P_\alpha = 0,48\%.$$

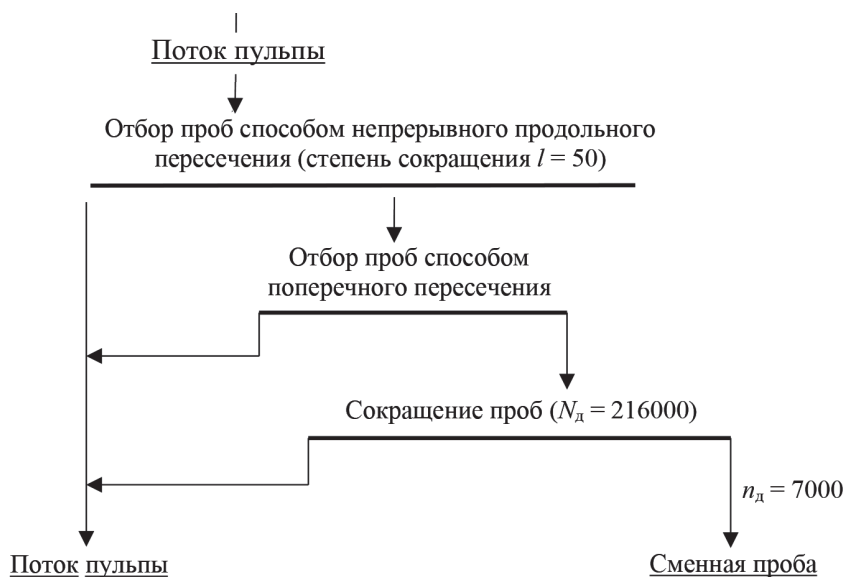


Рис. 1. Принципиальная схема комбинированного высокочастотного пробоотбирателя
 Fig. 1. Mixed-type high-rate sampler diagram

Так как число отбираемых проб N_T и N_D предопределено конструкцией комбинированного высокочастотного пробоотбирателя, а случайная погрешность, вносимая дисковым сократителем, пренебрежимо мала [12, 13], то погрешность отбора проб будет зависеть только от коэффициента вариации точечных проб V_T , максимальное значение которого соответствует погрешности менее 0,5%. Реальные коэффициенты вариации для руд примерно в два раза меньше, а для концентратов меньше на порядок.

В продуктах обогатительных процессов полезный компонент и порода зачастую заключены в отдельных зернах, которые даже при относительно малом интервале времени между отбором проб в эти пробы могут не попасть [12, 13]. Опробование потоков с интервалом между отбором в 2 с обеспечивает полное отражение в сменной пробе ураганных проб и, соответственно, исключает занижение массовых долей в пробах руд и хвостов, а также завышение массовых долей в пробах концентратов [1].

Практические результаты

В настоящее время для указанных задач новые пробоотбиратели выпускаются в виде станций опробования типа «СОП» для пульповых продуктов и дисковых сократителей типа «СОД» для сыпучих кусковых материалов. Данное оборудование реализует способ комбинированного высокочастотного отбора и сокращения проб [12].

Типоразмер станции опробования типа «СОП» определяется диаметром трубопровода и производительностью опробуемого потока. Станции опробования типа «СОП» могут быть установлены на трубопровод диаметром от 89 до 820 мм при производительности потока до 2000 м³/ч. Станции опробования внедрены на 31 предприятии РФ и стран ближнего зарубежья. Все имеющиеся на обогатительных фабриках точки опробования пульповых продуктов оснащены станциями опробования за период с 2010 г. в АО «Рудник Александровский», двух золотоизвлекательных фабриках ОАО «Южуралзолот»

то Группа Компаний», ТОО «Бакырчикское горнодобывающее предприятие», АО «RMG Соррег», ОсОО «КАЗ Минералз Бозымчак». На трех балансовых точках обогатительных фабрик за период с 2010 г. станции опробования внедрены на обогатительных фабриках АО «Бурибаевский ГОК», АО «Святогор», ЗАО ЗДК «Золотая звезда», ЗАО «Новоорловский ГОК», АО «Варваринское», Филиал ППМ АО «Уралэлектромедь», АО «Вишневогорский ГОК».

Примеры размещения станций опробования пульпы на объектах и общая компоновка оборудования приведены на рис. 2 и 3.

Применение станций опробования типа «СОП» для опробования потоков пульпы обеспечивает следующие преимущества:

1. Обнаружение скрытых излишков и потерь ценных компонентов (по результатам работы обогатительных фабрик):

- увеличение массовой доли меди в отвальных хвостах до 0,1% абс. (при существующем режиме опробования массовая доля меди в отвальных хвостах занижается);

- увеличение массовой доли меди в исходных рудах до 0,25% абс. и цинка до 0,30% абс.;

- увеличение массовой доли золота в исходных рудах до 1,2 г/т;

- снижение массовой доли золота в концентратах до 4,5 г/т.

2. Механизация процесса отбора проб.

3. Механизация операций перемешивания и сокращения проб непосредственно в точке их отбора.

4. Высокая эксплуатационная надежность оборудования с условием своевременной замены изнашивающихся частей (шаровой вентиль и щелевой отсекающий, срок службы от 3 до 18 месяцев в зависимости от характеристик опробуемого потока).

Дисковые сократители позволяют механизировать отбор проб от продуктов в емкостях путем перегрузки продукта из одной емкости в другую с одновременным отбором пробы. Для этого неподвижную массу, находящуюся в контейнере, вагоне и т.п., следует направить в бункер дискового сократителя, из которого материал потоком направляется в сократитель, где каждый элемент потока перемешивается, образуя первич-

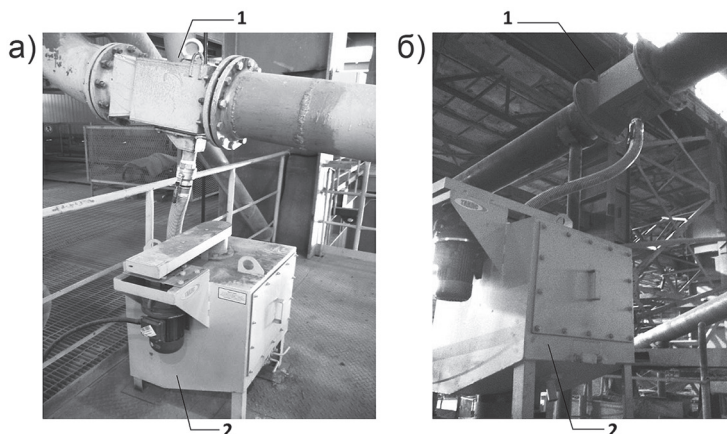


Рис. 2. Станции опробования типа «СОП-1П» для опробования питания флотации: СОП-1-273-04П (а); СОП-1-325-04П (б); 1 — пробоотборник типа «ПЦП»; 2 — модуль пробосократительный МП-04Р

Fig. 2. Sampling station model SOP-1P for sampling flotation feed: SOP-1-273-04P (a); SOP-1-325-04P (b); 1 — sampler model PSHCHP; 2 — sample reducing module MP-04R

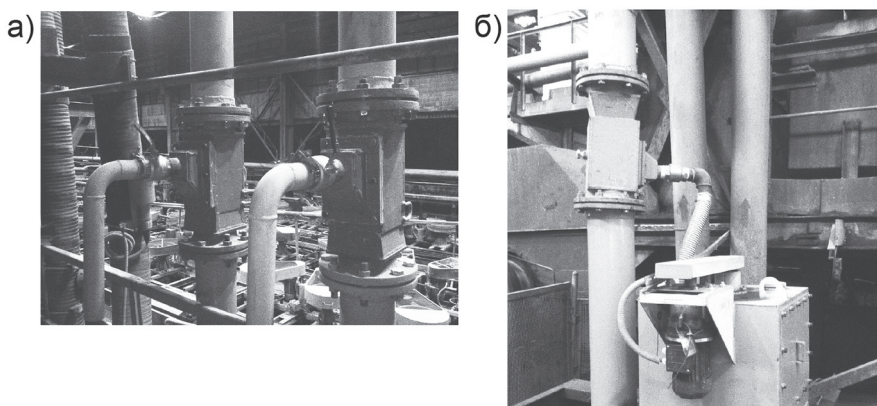


Рис. 3. Расположение щелевых пробоотборников ПЩП-159-02К и ПЩП-219-04К на вертикальных участках трубопроводов: пробоотборники щелевые ПЩП-159-02К (а); пробоотборник щелевой ПЩП-219-04К в составе СОП-1-219-04П (б)

Fig. 3. Arrangement of slot-like samplers PSHCHP-159-02K and PSHCHP-219-04K in vertical sections of pipelines: slot-like samplers PSHCHP-159-02K (a); slot-like sampler PSHCHP-219-04K in SOP-1-219-04P (b)

ную пробу, от которой отбирается большое число микропорций, образующих непрерывный поток точечных проб, формирующих начальную пробу. Прошедший через сократитель опробуемый материал может быть собран в ту же самую тару или аналогичную по объему емкость, а также может быть направлен в технологический процесс. Такой вариант комбинированного способа идеально подходит для сокращения проб в лаборатории, когда обычно технологией про-

бодготовки предусматривается длительное перемешивание и сокращение проб.

Для реализации указанного способа разработана серия дисковых сократителей для сыпучих продуктов максимальной крупностью от 6 до 80 мм и производительностью до 24 м³/ч. При необходимости перед дисковым сократителем в технологической линии устанавливается дробилка. На сегодняшний день дисковые сократители внедрены или нахо-

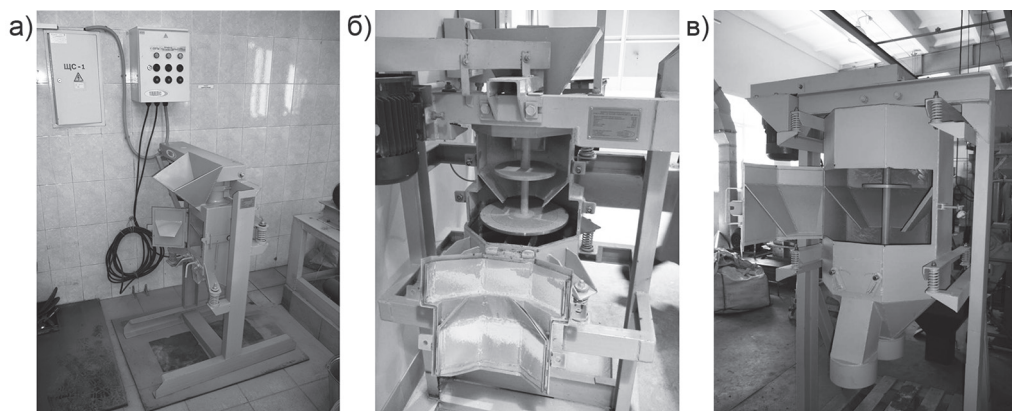


Рис. 4. Дисковые сократители в отделении пробоподготовки: СОД-2-100В (а); СОД-2-300В (б); СОД-2-400В (в)

Fig. 4. Disk-like reducers in sample preparation area: SOD-2-100V (a); SOD-2-300V (b); SOD-2-400V (v)

дятся на стадии внедрения в производство на 19 предприятиях РФ и стран ближнего зарубежья. Для опробования всей партии продукта способом перегрузки дисковые сократители начиная с 2005 г. внедрены в производство в АО «ЕЗ ОЦМ», АО «Кыштымский медэлектролитный завод», ОАО «Уфалей-никель», ОАО «Уралмеханобр», ООО «Компания «Интерполихим».

Примеры дисковых сократителей на объектах приведены на рис. 4.

Применение дисковых сократителей типа «СОД» для опробования сыпучих продуктов обеспечивает следующие преимущества:

1. Механизация процесса отбора проб.
2. Механизация операций перемешивания и сокращения проб как непосредственно в точке их отбора, так и на этапе пробоподготовки.
3. Высокая эксплуатационная надежность оборудования.
4. Возможность применения как в качестве отдельного оборудования, так и в составе технологических линий после пробоотборников и дробилок.

По опыту внедрения дисковых сократителей и станций опробования на обогатительных фабриках, перерабатывающих медно-цинковые и золотосодержащие руды, установлено снижение погрешностей объединенных сменных проб по сравнению с применявшимися ранее оборудованием и способами опробования. Высокая представительность и эксплуатационная надежность позволяют использовать оборудование преимущественно для товарного опробования продуктов обогащения, при этом результаты эксплуатации в течение длительного времени демонстрируют систематическое снижение величины невязки товарного баланса. Это установлено экспериментально при помощи расчета невязки как по результатам параллельного опробования продуктов переработки, так и по результатам сравнения величины относительной невязки за различные периоды работы на сырье одного состава (табл. 1).

В табл. 2 показаны данные по производительности процесса сокращения материала на нескольких предприятиях с

Таблица 1

Сравнение величины невязки товарного баланса до и после перехода на комбинированный способ отбора и подготовки проб
Comparison of commodity balance discrepancies before and after mixed-type sample preparation and collection

Обогатительная фабрика	Период работы, мес.	Ценный компонент	Изменение невязки товарного баланса за период работы, %	
До перехода на комбинированный способ				
Медно-цинковая	8	Медь	+4,1	-5,9
		Цинк	+4,7	-3,3
ЗИФ	10	Золото	+5,9	-7,1
		Серебро	+4,7	-4,3
После перехода на комбинированный способ				
Медно-цинковая	12	Медь	+3,2	-3,6
		Цинк	+2,9	-3,3
ЗИФ	16	Золото	+3,5	-4,8
		Серебро	+2,3	-2,5

Таблица 2

Производительность участка пробоподготовки при использовании различных методов сокращения
Efficiency of sampling using different sample reducing methods

Профиль производства	Наименование (вид) сокращаемого материала	Продолжительность процесса перемешивания и сокращения пробы, ч	
		немеханизированное сокращение способом квартования (масса пробы, кг)	сокращение на дисковом сократителе
Обогатительное	исходная руда	1,2 (50)	0,3
Медеплавильное	концентрат гравитационный	1,4 (72)	0,4
Электролизное	шлаки отделения аффинажа	4,2 (900)	0,6
	шлаки металлургического передела	2,5 (550)	0,5

использованием немеханизированных методов и сократителей типа «СОД».

Из приведенных в табл. 2 данных следует, что при использовании дисковых сократителей для формирования сокращенных проб были улучшены показатели работы участков пробоподготовки: производительность процессов усреднения и сокращения пробы возросла в среднем в 4,9 раз.

Обсуждение результатов

Масса точечной пробы при отборе проб от опробуемого массива может быть любой: от небольшой частицы до

массы, измеряемой десятками килограммов. Масса точечной пробы является первичной величиной, выбираемой с учетом требований к пробоотбирателям.

Применяемые в настоящее время пробоотбиратели для потоков имеют ограничения по ширине пробоотсекающей щели, поэтому в точечную пробу попадает достаточно много кусков опробуемого материала.

На рис. 5 представлена зависимость коэффициента вариации точечных проб от числа отбираемых в точечную пробу кусков. Установлена граница, разделя-

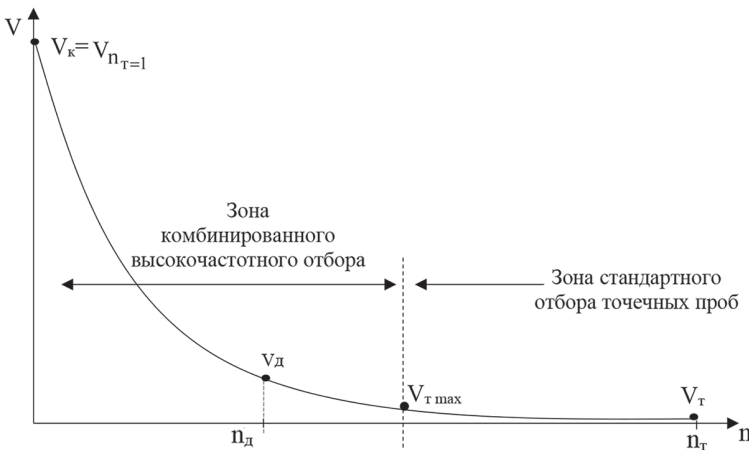


Рис. 5. Соотношение зон высокочастотного и стандартного варианта отбора точечных проб

Fig. 5. Ratio high-rate and standard scenarios of point sampling

ющая зоны стандартного и комбинированного высокочастотного способов отбора проб. Пробоотбиратель, отбирающий число точечных проб, которое найдено по условию $V > V_{T, \max}$ для конкретной обогатительной фабрики, является универсальным.

Переход к отбору точечных проб с коэффициентом вариации V_d позволяет исключить из практики обогатительных фабрик все работы, связанные с экспериментальным определением величины V_T и расчетом числа точечных проб N_T .

Из зависимости на рис. 5 следует, что диапазон использования высокочастотного отбора точечных проб обусловлен величиной коэффициента вариации массовой доли, изменяющегося в пределах, заданных требованиями ГОСТ 14180-80. Разработанное новое оборудование для реализации высокочастотного отбора точечных проб позволяет:

- исключить при опробовании как систематическую, так и вероятную систематическую погрешность;
- минимизировать случайную погрешность;
- механизировать отбор проб как от потоков, так и от неподвижных масс;
- механизировать перемешивание и сокращение проб в лабораториях;
- снизить невязку товарного баланса в 1,5–2,0 раза;
- снизить расходы на приобретение и обслуживание систем опробования в 2–3 раза.

Выводы

1. Покусковой отбор точечных проб является условием, при котором покусковая дисперсия и дисперсия точечных проб совпадают по величине. Дисперсия

точечных проб в этом случае определяется аналитическим расчетом.

2. В связи с технической сложностью реализации покускового отбора и большой разницей величин покусковой дисперсии и дисперсии точечных проб опробуемых масс выполняется мультикусковой отбор точечных проб: в сменную пробу отбирается большое количество кусков, при этом дисперсия точечных проб определяется аналитическим путем.

3. Комбинированный высокочастотный отбор точечных проб исключает необходимость выполнения экспериментальных работ по определению дисперсии точечных проб. Большое число отбираемых точечных проб исключает появление при опробовании вероятных систематических погрешностей.

4. Высокочастотный отбор точечных проб реализован в сократителях типа «СОД» и станциях опробования типа «СОП» в составе комбинированных систем опробования, внедренных на нескольких десятках обогатительных фабрик. Внедрение снижает невязку товарного баланса обогатительных фабрик до 1,5–2,0 раз, а также снижает расходы на оборудование для опробования до трех раз.

Вклад авторов

Козин В.З. — постановка задач исследований, разработка математического аппарата исследований, разработка теоретических основ процессов, выполнение теоретических расчетов.

Комлев А.С. — планирование и проведение экспериментов и промышленных испытаний, внедрение и авторский контроль, сбор и обработка информации, выполнение теоретических расчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козин В. З. Опробование минерального сырья. — Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2011. — 316 с.

2. Глазатов А. Н., Цемехман Л. Ш. Разработка методик опробования сырья и продуктов на содержание цветных и драгоценных металлов на обогатительных и металлургических предприятиях. Часть 1 // Цветные металлы. — 2015. — № 10. — С. 54–59. DOI: 10.17580/tsm.2015.10.09.

3. Бондаренко А. В., Захаров П. А., Шевелев Е. С. Создание автоматической системы опробования пульповых продуктов для горно-обогатительных предприятий // Горный журнал. — 2016. — № 11. — С. 75–79. DOI: 10.17580/gzh.2016.11.14.

4. Никитенко Е. М., Евтушенко М. Б., Юшина Т. И. Совершенствование пробирного анализа руд Дегдеканского месторождения // Обогащение руд. — 2019. — № 1. — С. 34–38. DOI: 10.17580/or.2019.01.05.

5. Gy P. *Sampling of particulate material: Theory and practice*. Elsevier: Amsterdam, 1982, 431 p.

6. Engström K., Esbensen K. H. Evaluation of sampling systems in iron concentrating and pelletizing processes — Quantification of Total Sampling Error (TSE) vs. process variation // *Minerals Engineering*. 2018, vol. 116, pp. 203–208.

7. Lotter N. O., Evans C. L., Engstrom K. Sampling — A key tool in modern process mineralogy // *Minerals Engineering*. 2018, vol. 116, pp. 196–202. DOI: 10.1016/j.mineng.2017.07.013.

8. Napier-Munn T. J., Whiten W. J., Faramarzi F. Bias in manual sampling of rock particles // *Minerals Engineering*. 2020, vol. 153, article 106260.

9. Gleeson D. Getting to the core // *International Mining*. 2019, pp. 64–68.

10. Rozendal A., Le Rous S. G., du Plessis A., Philander C. Grade and product quality control by microCT scanning of the world class Namakwa Sands Ti-Zr placer deposit West Coast, South Africa: An orientation study // *Minerals Engineering*. 2018, vol. 116, pp. 152–162. DOI: 10.1016/j.mineng.2017.09.001.

11. Козин В. З., Комлев А. С. Расчет фундаментальной погрешности отбора проб // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 11-1. — С. 265–275. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_265.

12. Комлев А. С. Комбинированный способ отбора и сокращения проб минеральных продуктов: научная монография. — Екатеринбург: изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2020. — 216 с.

13. Батугин С. А., Ткач С. М. Эффект сортировки и уровень представительности геологических проб при опробовании и пробочной оценке запасов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2007. — № 2. — С. 82–89. **ИДБ**

REFERENCES

1. Kozin V. Z. *Oprobovanie mineral'nogo syr'ya* [Testing of mineral raw materials], Ekaterinburg, Izd-vo UGGU, 2011, 316 p.

2. Glazatov A. N., Tsemekhman L. Sh. Development of methods for testing raw materials and products for the content of non-ferrous and precious metals at processing and metallurgical enterprises. Part 1. *Non-ferrous Metals*. 2015, no. 10, pp. 54–59. [In Russ]. DOI: 10.17580/tsm.2015.10.09.

3. Bondarenko A. V., Zakharov P. A., Shevelev E. S. Creation of an automatic system for testing pulp products for mining and processing enterprises. *Gornyi Zhurnal*. 2016, no. 11, pp. 75–79. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2016.11.14.

4. Nikitenko E. M., Evtushenko M. B., Yushina T. I. Improvement of assay analysis of ores of the Degdekansky deposit. *Obogashchenie Rud*. 2019, no. 1, pp. 34–38. [In Russ]. DOI: 10.17580/or.2019.01.05.

5. Gy P. *Sampling of particulate material: Theory and practice*. Elsevier: Amsterdam, 1982, 431 p.

6. Engström K., Esbensen K. H. Evaluation of sampling systems in iron concentrating and pelletizing processes — Quantification of Total Sampling Error (TSE) vs. process variation. *Minerals Engineering*. 2018, vol. 116, pp. 203–208.

7. Lotter N. O., Evans C. L., Engstrom K. Sampling — A key tool in modern process mineralogy. *Minerals Engineering*. 2018, vol. 116, pp. 196–202. DOI: 10.1016/j.mineng.2017.07.013.
8. Napier-Munn T. J., Whiten W. J., Faramarzi F. Bias in manual sampling of rock particles. *Minerals Engineering*. 2020, vol. 153, article 106260.
9. Gleeson D. Getting to the core. *International Mining*. 2019, pp. 64–68.
10. Rozendal A., Le Rous S. G., du Plessis A., Philander C. Grade and product quality control by microCT scanning of the world class Namakwa Sands Ti-Zr placer deposit West Coast, South Africa: An orientation study. *Minerals Engineering*. 2018, vol. 116, pp. 152–162. DOI: 10.1016/j.mineng.2017.09.001.
11. Kozin V. Z., Komlev A. S. Calculation of the fundamental sampling error. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 11-1, pp. 265–275. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_265.
12. Komlev A. S. *Kombinirovannyi sposob otbora i sokrashcheniya prob mineral'nykh produktov*: monografiya [Combined method of sampling and reduction of samples of mineral products: monograph] Ekaterinburg, izd-vo «Fort Dialog-Iset'», 2020, 216 p.
13. Batugin S. A., Tkach S. M. The sorting effect and the level of representativeness of geological samples during sampling and block assessment of reserves. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2007, no. 2, pp. 82–89. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Козин Владимир Зиновьевич¹ — д-р техн. наук,
профессор, зав. кафедрой,
декан Горно-механического факультета,

e-mail: gmf.dek@ursmu.ru,
ORCID ID: 0000-0001-7184-919X,

Комлев Алексей Сергеевич¹ — канд. техн. наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: tails2002@inbox.ru,
ORCID ID: 0000-0002-2484-2726,

¹ Уральский государственный горный университет.

Для контактов: Комлев А.С., e-mail: tails2002@inbox.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.Z. Kozin¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Chair,
Dean of Faculty of Mining and Mechanics,
e-mail: gmf.dek@ursmu.ru,

ORCID ID: 0000-0001-7184-919X,

A.S. Komlev¹, Cand. Sci. (Eng.),
Senior Researcher, e-mail: tails2002@inbox.ru,

ORCID ID: 0000-0002-2484-2726,

¹ Ural State Mining University,
620144, Ekaterinburg, Russia.

Corresponding author: A.S. Komlev, e-mail: tails2002@inbox.ru.

Получена редакцией 08.11.2021; получена после рецензии 14.03.2022; принята к печати 10.04.2022.

Received by the editors 08.11.2021; received after the review 14.03.2022; accepted for printing 10.04.2022.

