

Условия достоверного определения массовой доли ценного компонента в продуктах обогащения

Комлев А. С.¹

¹ Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

*e-mail: tails2002@inbox.ru

Реферат

Введение. Одним из требований к повышению достоверности опробования на обогатительных фабриках является соответствие системы опробования действующим стандартам.

Методология исследований. На многих обогатительных фабриках проводится работа по приведению системы опробования в соответствие с требованиями стандартов. Это должно привести к достоверному определению массовой доли ценного компонента в продуктах обогащения и минимизировать невязку товарного баланса. На большинстве обогатительных фабрик эффект от приведения системы опробования в соответствие с требованиями отсутствует из-за влияния на результат опробования вероятной систематической погрешности. Целью работы является изучение условий опробования, обеспечивающих достоверное определение массовой доли ценного компонента в продуктах обогащения. Предмет изучения – теоретический алгоритм получения условий достоверного определения массовой доли. Объектом исследований является статистика опробования продуктов обогащения, содержащая локальные экстремальные значения массовой доли и обусловленные такими значениями невязки товарного баланса обогатительных фабрик. Исследования выполнены путем изучения статистики опробования продуктов обогащения на основании современных научных представлений о погрешностях опробования.

Результаты. Предложенный алгоритм достоверного определения массовой доли ценного компонента в продуктах обогащения основан на использовании результатов текущего опробования, фиксирующего периодические «всплески» массовой доли. Найденный интервал времени между отбором точечных проб позволяет определить массовую долю ценного компонента с заданной погрешностью. Полученный интервал времени для достоверного определения массовой доли составляет от нескольких минут до долей минуты. На большинстве действующих обогатительных фабрик указанный интервал времени составляет не менее 30 мин.

Выводы. Для достоверного определения массовой доли ценного компонента в продуктах обогащения необходимо использовать короткие интервалы времени между отбором точечных проб величиной от нескольких минут до долей минуты. Это позволяет применить комбинированный способ отбора проб. Использование коротких интервалов времени между отбором точечных проб дополняет требования действующих стандартов.

Ключевые слова: массовая доля; невязка товарного баланса; интервал времени отбора точечных проб; ураганная проба.

Введение. Практика внедрения на обогатительных фабриках рабочей документации, созданной на базе систем менеджмента качества и экологического менеджмента (ГОСТ Р ИСО 9001-2008, ГОСТ Р ИСО 14001-2016) показала необходимость повышения требований к достоверности процессов опробования. В первую очередь данные требования касаются представительности оперативного контроля сырья и готовой продукции, а также минимизации невязки товарного баланса по ценным компонентам. Дополнительно к этому нормативными документами установлены требования к безопасности при отборе и подготовке проб [1]. Таким образом, для обеспечения качества готовой продукции, соблюдения экологических норм и требований безопасности возникает необходимость создания технологии опробования, адаптируемой под условия работы каждой отдельной обогатительной фабрики.

Таблица 1. Невязки товарных балансов обогатительных фабрик
Table 1. Product imbalances at concentrating plants

Месяц	Невязки товарного баланса, %											
	Мель		Цинк		Свинец		Золото (ОФ № 1)		Золото (ОФ № 2)		Серебро	
	За месяц	Предельная за период	За месяц	Предельная за период	За месяц	Предельная за период	За месяц	Предельная за период	За месяц	Предельная за период	За месяц	Предельная за период
1	-4,5		-3,5		+2,2		+5,4		+4,5		+5,0	
2	+1,3		-2,8		-2,8		-4,5		-2,8		+6,4	
3	-7,3		-1,8		-2,9		-5,3		-6,9		+7,9	
4	-0,4		-2,4		+0,8		+9,8		-11,9		+7,6	
5	-4,2		+0,6		+0,8		+4,4		-12,7		-2,1	
6	+2,0		-2,8		+0,4		+4,4		+6,9		+5,9	
7	-0,5		-3,2		+0,2		+3,2		+6,4		+6,1	
8	-0,1		-3,0		-2,4		+5,9		-4,4		-3,0	
9	-2,0	+2,5	-2,1	+1,0	-1,8	+2,2	+1,9	+9,8	-10,1	+6,9	-3,0	+7,9
10	-0,9		-2,3		-3,4		+0,6		-10,2		-	
11	+2,5		-2,0		+1,3		-0,4		-		-	
12	-0,2		-2,1		+1,6		+1,5		-		-	
13	+0,3		-1,3		-		+1,7		-		-	
14	-		-3,0		-		-		-		-	
15	-		-2,8		-		-		-		-	
16	-		+1,0		-		-		-		-	
17	-		+1,0		-		-		-		-	

Одним из требований является выполнение опробования продуктов обогащения в соответствии с утвержденными стандартами. Так, для руд и концентратов цветных металлов действующим стандартом на отбор и подготовку проб является ГОСТ 14180-80 (*ГОСТ 14180-80. Руды и концентраты цветных металлов. Методы отбора и подготовки проб для химического анализа и определения влаги. М.: Изд-во стандартов, 27 с.*).

Методология исследований. На горно-обогатительных и горно-металлургических предприятиях накоплен большой опыт применения указанного стандарта и аналогичных ему для других руд и продуктов обогащения. В свете же новых требований к процессам опробования соблюдению стандартов уделяется повышенное внимание. В частности, на ряде обогатительных фабрик проводится периодическая проверка соответствия процессов отбора и подготовки проб требованиям ГОСТ. Соответствие контролируется по основным характеристикам процесса опробования и параметрам устройства оборудования для отбора и подготовки проб. Перечень возможных пунктов контроля приводится далее.

Процесс опробования:

- число (периодичность отбора) точечных проб;
- масса (объем) точечной пробы;
- минимальная масса пробы после сокращения объединенной пробы;
- отсутствие изменения состава пробы в процессе отбора и подготовки.

Оборудование для опробования:

- соответствие ширины щели пробоотсекателя максимальной крупности опробуемого продукта;
- соответствие объема пробоотсекающих инструментов и накопительных емкостей объему точечной (накопленной) пробы;
- соответствие длины щели пробоотсекателя ширине потока опробуемого продукта;
- механическая исправность оборудования.

При обнаружении того или иного несоответствия оно должно быть устранено [2, 3]. Дополнительно к этому проводятся работы по балансовому учету всех входящих и выходящих продуктов процессов обогащения. Согласно положениям системы менеджмента качества, внедренной на многих предприятиях, соответствие процессов опробования стандартам и балансовый учет всех продуктов обогащения должны обеспечить достоверное определение массовой доли ценного компонента и минимальную величину невязки товарного баланса, не превышающую установленную норму [4].

Задачей работы является изучение условий опробования, обеспечивающих достоверное определение массовой доли ценного компонента в продуктах обогащения. Предмет изучения – это теоретический алгоритм получения условий достоверного определения массовой доли. Объект исследований – статистика опробования продуктов обогащения, содержащая локальные экстремальные значения массовой доли и обусловленные такими значениями невязки товарного баланса обогатительных фабрик. Исследования выполнены путем изучения статистики опробования продуктов обогащения на основании современных научных представлений о погрешностях опробования [1–4].

Результаты. В табл. 1 приведены невязки товарных балансов по ценному компоненту для нескольких обогатительных фабрик. В табл. 2 показаны невязки товарных балансов тех же обогатительных фабрик после выполнения мероприятий по приведению системы опробования в соответствие с требованиями ГОСТ 14180-80.

На большинстве обогатительных фабрик значимый и системный эффект от проведения всех указанных мероприятий отсутствует.

Таблица 2. Невязки товарных балансов обогатительных фабрик после проведения мероприятий по приведению системы опробования в соответствие с требованиями

Table 2. Product imbalances at concentrating plants after the measures have been taken to bring the sampling system in the conformity with the requirements

Месяц	Невязки товарного баланса, %											
	Медь		Цинк		Свинец		Золото (ОФ № 1)		Золото (ОФ № 2)		Серебро	
	За месяц	Предельная за период	За месяц	Предельная за период	За месяц	Предельная за период	За месяц	Предельная за период	За месяц	Предельная за период	За месяц	Предельная за период
1	+1,0		-2,6		-0,9		+5,2		-12,6		-3,2	
2	-1,7		-3,9		+0,8		+4,5		+6,8		-1,0	
3	+4,2		-3,9		+0,4		+0,8		-6,7		-0,6	
4	+5,7		-4,8		+1,1		+2,8		-7,9		+4,9	
5	+11,2		-6,9		+0,2		+10,9		-7,9		+5,2	
6	+2,5		+0,4		+0,7		+3,8		-7,2		+4,9	
7	+3,4		-4,1		+0,8		+2,6		-11,1		+8,2	
8	+0,7		-4,1		+0,6		+1,0		-12,0		+7,4	
9	+2,5	+11,2	-5,0	+0,4	-2,9	+2,0	-0,2	+10,9	-9,0	+6,8	+6,7	+8,2
10	-1,1	-1,7	-6,0	-6,9	+1,3	-2,9	-3,9	-3,9	-9,2	-12,6	-	-3,2
11	-1,1		-3,4		+1,2		-1,4		-9,2		-	
12	-		-3,3		+2,0		-		-9,2		-	
13	-		-3,6		+0,4		-		-		-	
14	-		-		+1,2		-		-		-	
15	-		-		+0,9		-		-		-	
16	-		-		+1,0		-		-		-	
17	-		-		-2,4		-		-		-	
18	-		-		+1,6		-		-		-	
Меро- прия- тия	<p>Установлена постоянная периодичность ручного отбора проб исходной руды. Исключено изменение состава отобранных проб. Число точечных проб доведено до требуемого</p> <p>Введен в эксплуатацию автоматический пробоотборник на исходной руде (питание процесса). Исключено изменение состава отобранных проб</p>											

Развитие современных теоретических знаний в области процессов опробования, основанных на асимметричных распределениях массовой доли ценного компонента по опробуемому массиву, позволило установить новую погрешность опробования, получившую название вероятной систематической погрешности (ВСП). Влияние ВСП на результат опробования продуктов обогатительных фабрик предсказано и обосновано теоретически в научной литературе [4–6]. Большинство продуктов на обогатительных фабриках представляют собой технологические потоки в сыпучем или пульпообразном состоянии. ВСП возникает при периодическом отборе проб от технологических потоков способом поперечного пересечения. Это объясняется пропуском появляющихся в интервалах между отбором точечных проб резких изменений массовой доли ценного компонента, носящих характер локальных экстремальных значений. Особенность появления локальных экстремальных значений состоит в том, что изменение массовой доли направлено в одну сторону: на хвостах обогащения – в сторону увеличения массовой доли, на богатых концентратах – в сторону уменьшения массовой доли, на исходных рудах – преимущественно в сторону увеличения массовой доли. Поэтому в случае возникновения локальных изменений средняя массовая доля в объединенной пробе хвостов и, как правило, руды, имеет тенденцию к занижению (на самом деле хвосты и руда богаче), а в богатых концентратах – к завышению (на самом деле богатые концентраты беднее).

ВСП не учитывается ни одним из существующих стандартов на отбор и подготовку проб. Между тем роль ВСП в части влияния на результат опробования значима и может проявиться в виде появления излишков или недостат ценных компонентов, а также в виде большой невязки товарного баланса [5–10].

Несмотря на многочисленные косвенные свидетельства важной роли ВСП, ее величина до недавнего времени не могла быть достоверно определена экспериментально. Такая возможность появилась только после внедрения в практику опробования нового комбинированного способа отбора и сокращения проб [11], снижающего случайную погрешность результата и исключаяющего влияние ВСП. Технологической основой комбинированного способа является отбор большого количества точечных проб от партии продукта (за контрольный период) с последующим сокращением каждой из них, что позволяет учесть все возможные локальные изменения массовой доли ценного компонента.

Возможность прямого экспериментального определения наличия и величины ВСП появляется, если на одном и том же технологическом потоке выполнять отбор проб способом поперечного пересечения и комбинированным способом [1, 4, 11].

Иллюстрацией процесса локального появления экстремальной массовой доли ценного компонента является периодическая регистрация на обогатительных фабриках ураганных проб [1, 12–14].

На золотоизвлекательной фабрике (ЗИФ) в течение 50 смен по 12 ч отбор проб от потока отвалных хвостов выполнялся способом поперечного пересечения с интервалом в один час, а также выполнялся отбор проб от того же потока комбинированным способом. При отборе проб каждый час массовая доля золота в хвостах за месяц составила 0,499 г/т, а при отборе проб комбинированным способом массовая доля золота оказалась выше – 0,527 г/т. Разница в массовой доле золота в хвостах за месяц составила +0,028 г/т (5,3 % относительных). По данным почасового опробования за 50 смен на ЗИФ зафиксированы пять ураганных часовых проб. Периодичность появления таких проб составила не более одной пробы в смену. Так, например, в течение трех смен в хвостах ЗИФ фиксируется относительно постоянная массовая доля золота, характерная для штатного режима работы ЗИФ. Но во второй смене в четвертый час получен ураганный результат опро-

бования, составляющий 4,94 г/т (табл. 3). Важно, что процедура опробования на ЗИФ полностью соответствует требованиям ГОСТ 14180-80.

Анализ и обсуждение. На основании имеющихся параллельных результатов опробования предложен алгоритм определения числа ураганных проб, массовой доли золота в них и продолжительности появления определяющих эти пробы значений массовой доли.

Таблица 3. Массовая доля золота в хвостах ЗИФ при почасовом отборе проб в течение смены
Table 3. Mass fraction of gold in the tailings of a gold processing plant under the hourly sampling over a period of a shift

Номер смены	Массовая доля золота, г/т											
	Номер часа в смене											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,48	0,48	0,49	0,45	0,44	0,48	0,50	0,45	0,46	0,43	0,50	0,49
2	0,48	0,51	0,48	4,94	0,52	0,60	0,52	0,51	0,53	0,53	0,53	0,54
3	0,55	0,49	0,48	0,50	0,50	0,52	0,48	0,50	0,50	0,47	0,54	0,51

Пусть имеется контрольный период опробования T , в течение которого отбирается N точечных проб (рис. 1). Интервал отбора точечных проб $\Delta t = T/N$. В течение контрольного периода возникает n_b ураганных значений массовой доли – «всплесков». Продолжительность «всплеска» $\Delta \tau_b$, амплитуда $\Delta \alpha_b$, α_n – массовая доля за контрольный период без учета ураганных проб.

Средняя массовая доля $\bar{\alpha}$ за контрольный период составит:

$$\bar{\alpha} = \alpha_n + \Delta \alpha_b \frac{n_b \Delta \tau_b}{N \Delta t},$$

где α_n – массовая доля за контрольный период без учета ураганных проб; $\Delta \alpha_b$ – амплитуда ураганного значения массовой доли («всплеска»); n_b – число «всплесков», возникающих в течение контрольного периода T ; $\Delta \tau_b$ – продолжительность «всплеска»; N – число точечных проб, отбираемых в течение контрольного периода T ; Δt – интервал времени между отбором точечных проб.

Так как при опробовании не все «всплески» попадут в точечные пробы, а попадут только n_o «всплесков», результат анализа точечной пробы с попавшим в нее «всплеском» $\alpha_n + \Delta \alpha_b$ будет распространен на интервал Δt . На рис. 1 точечная проба со «всплеском» обозначена индексом 5п. Расчетная массовая доля с учетом попавших в пробу «всплесков» за контрольный период T составит:

$$\alpha_p = \alpha_n + \Delta \alpha_b \frac{n_o}{N}.$$

Отклонение α_p от среднего истинного значения будет найдено по формуле:

$$\Delta \alpha = \alpha_p - \bar{\alpha} = \Delta \alpha_b \left(\frac{n_o}{N} - \frac{n_b \Delta \tau_b}{N \Delta t} \right). \quad (1)$$

Если ни один из «всплесков» не попадет в точечные пробы ($n_o = 0$), то расчетная массовая доля α_p окажется занижена на величину

$$\Delta \alpha = -\Delta \alpha_b \frac{n_b \Delta \tau_b}{N \Delta t}. \quad (2)$$

С изменением n_0 от 0 до n_b величина $\Delta\alpha$ будет изменяться в соответствии с формулой (1). Не учтенный пробой «всплеск» за короткий контрольный период ($n_b = 1$ или $n_b = 2$) приводит к занижению массовой доли в соответствии с формулой (2), зависящему от соотношения его продолжительности $\Delta\tau_b$ и интервала времени между отбором проб Δt . Это занижение может быть сравнительно небольшим. Учет же попавшего в пробу «всплеска» приводит к гораздо более значительному завышению массовой доли. Завышение $\Delta\alpha$ будет предопределяться учтенным «всплеском». Так как соотношение $\Delta\tau_b / \Delta t$ является малой величиной, из формулы (1) при $n_0 = n_b$

$$\Delta\alpha \approx \Delta\alpha_b \frac{n_b}{N}.$$

Массовая доля за короткий период будет сильно завышена.

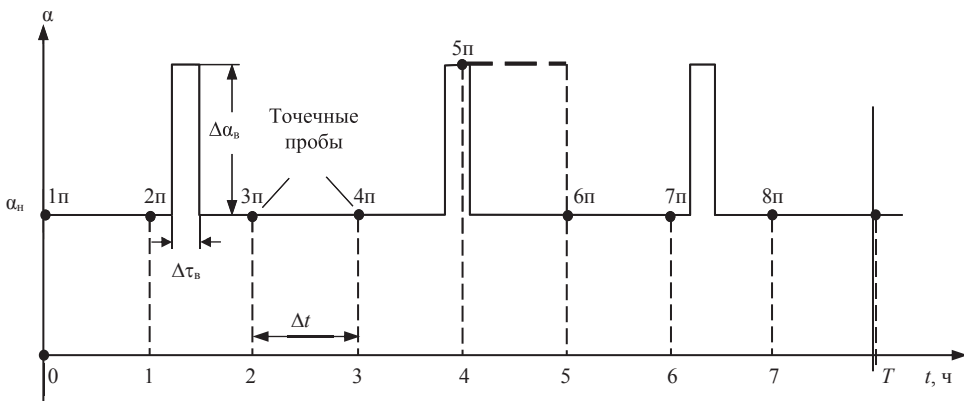


Рис. 1. Изменение массовой доли α в течение контрольного периода T :

(1п–8п) – номера часовых точечных проб

Fig. 1. The variation of mass fraction α within a testing period T :

(1п–8п) – the numbers of hourly spot samples

Если «всплески» в пробах не учитывать за большой контрольный период, в котором «всплесков» много, это приведет к значительному занижению массовой доли. Такое занижение компенсирует учет попавших в точечные пробы «всплесков». По этой причине результаты анализа ураганных проб за длинный (большой) контрольный период при расчете средней массовой доли не учитывать нельзя. Теоретические выводы, сделанные ранее [1, 12, 15], это подтверждают: до некоторого предела по величине контрольного периода ураганные пробы следует исключать из расчета, а при превышении этого предела – принимать к расчету.

Границу между коротким и длинным контрольным периодом T можно установить ориентировочно из условия $\Delta\alpha = 0,01 \alpha_n$ (относительная случайная погрешность определения $\Delta\alpha$ составляет 1 %).

Отсюда

$$N = 100 \frac{\Delta\alpha_b}{\alpha_n}.$$

Если $\Delta\alpha_b / \alpha_n = 2$, то $N = 200$, а если $\Delta\alpha_b / \alpha_n = 10$, то $N = 1000$.

При почасовом опробовании ($\Delta t = 1$ ч) длинным контрольным периодом будет $T = 200$ – 1000 ч, а при 10-минутном – $T = 33$ – 166 ч.

Отсюда формулируется общая закономерность: чем больше Δt , тем длиннее контрольный период, за который не следует принимать к расчету ураганные пробы.

Интервал времени между отбором точечных проб Δt , обеспечивающий снятие вопроса учета ураганных проб в зависимости от величины контрольного периода, для условия $\Delta\alpha = 0,01\alpha_n$ будет найден по формуле

$$\Delta t = \frac{T}{100} \cdot \frac{\alpha_n}{\Delta\alpha_n}. \quad (3)$$

Расчет средней массовой доли золота в хвостах ЗИФ за 50 смен приводит к другим результатам: среднее значение массовой доли при почасовом отборе проб без учета ураганных проб занижено по сравнению с результатами отбора проб комбинированным способом на 5,3 %, а с их учетом практически совпадает (различие менее 0,6 % отн.).

Так как за 50 смен доля обнаруженных в точечных пробах и использованных в расчете «всплесков» полностью компенсирует влияние пропущенных «всплесков», можно рассчитать общее число этих «всплесков» за месяц из условия (1), полагая $\Delta\alpha = 0$:

$$n_b = n_o \frac{\Delta t}{\Delta\tau_b}.$$

Средняя продолжительность $n_o = 5$ обнаруженных при почасовом отборе проб ($\Delta t = 60$ мин) «всплесков» составила 12,1 мин. Следовательно, число «всплесков» за 50 смен на ЗИФ составило

$$n_b = 24,8.$$

Результат означает, что в течение 50 смен возникало 25 «всплесков» – по одному каждые две смены. Если бы ураганные пробы не были включены в расчет, массовая доля золота в хвостах за 50 смен была бы занижена на 5,3 %. Включение же в расчет пяти обнаруженных «всплесков» такое занижение компенсирует. В итоге на ЗИФ не возникнет положительная невязка товарного баланса [4, 5].

Случайная погрешность опробования для указанной массовой доли золота в хвостах за большой контрольный период при усреднении 600–700 проб не будет большой (не более 1,5 % отн.). Это позволяет считать величину +5,3 % экспериментально установленной ВСП.

Предложенный алгоритм учета ураганных проб позволяет определить временной интервал отбора точечных проб в условиях изменения массовой доли ценного компонента. В табл. 4 приведены результаты расчета по формуле (3) интервала отбора точечных проб, обеспечивающего достоверный учет колебаний массовой доли ценного компонента. Расчеты выполнены для отвальных хвостов и исходных руд различных обогатительных фабрик. Для указанных продуктов характерно систематическое появление положительных «всплесков» массовой доли ценного компонента различной величины. Расчет основан на зафиксированных при текущем опробовании за сутки ($T = 1440$ мин) «всплесках» массовой доли, которые могут быть отнесены к ураганным пробам. Необходимый интервал отбора точечных проб Δt рассчитан для относительной погрешности определения $\Delta\alpha$ 1,00 %, 0,50 % и 0,25 % ($\Delta\alpha = 0,01\alpha_n$; $\Delta\alpha = 0,005\alpha_n$; $\Delta\alpha = 0,0025\alpha_n$).

При анализе приведенных результатов обращает на себя внимание несоответствие существующего интервала отбора точечных проб $\Delta t_{\text{суц}}$ и рассчитанного ин-

тервала Δt . Условием достоверного опробования в данном случае будет зависимость $\Delta t_{\text{сущ}} \leq \Delta t$. Это условие при опробовании на обогатительных фабриках не выполняется. Так, например, для получения достоверного результата опробования хвостов обогащения медно-цинковых руд с относительной случайной погрешностью 1 % необходимые интервалы отбора точечных проб составили две минуты для меди и три минуты для цинка. При этом на действующей обогатительной фабрике интервал отбора точечных проб от хвостов обогащения составляет 60 мин.

Таблица 4. Результаты расчета интервала отбора точечных проб для достоверного учета массовой доли ценного компонента

Table 4. The results of calculating a time frame of spot sampling for reliable account of valuable component mass fraction

Ценный компонент/ продукт обогащения	Массовая доля без учета ураганных проб $\alpha_{\text{ц}}$	Амплитуда зафиксированного «всплеска» $\Delta\alpha_{\text{в}}$	Необходимый интервал отбора Δt , мин			Существующий интервал отбора $\Delta t_{\text{сущ}}$, мин
			$\Delta\alpha = 0,01\alpha_{\text{ц}}$	$\Delta\alpha = 0,005\alpha_{\text{ц}}$	$\Delta\alpha = 0,0025\alpha_{\text{ц}}$	
Медь/хвосты	0,22 %	1,62 %	2	1,0	0,5	60
Цинк/хвосты	0,45 %	2,46 %	3	1,3	0,7	60
Золото/хвосты	0,25 г/т	2,40 г/т	2	0,8	0,4	30
Золото/хвосты	0,70 г/т	3,23 г/т	3	1,6	0,8	30
Свинец/хвосты	0,39 %	1,65 %	3	1,7	0,9	30
Цинк/хвосты	0,17 %	0,41 %	6	3,0	1,5	30
Золото/исх. руда	6,30 г/т	30,12 г/т	3	1,5	0,8	5
Свинец/исх. руда	1,68 %	5,88 %	4	2,1	1,1	30
Медь/исх. руда	2,42 %	4,10 %	8	4,3	2,2	30
Цинк/исх. руда	0,69 %	3,20 %	3	1,6	0,8	30

Обеспечение величины Δt в пределах нескольких минут возможно за счет применения комбинированного способа отбора проб. Результат внедрения данного способа на обогатительных фабриках наглядно демонстрирует эффект от достоверного учета массовой доли ценного компонента в продуктах обогащения. По результатам работы обогатительных фабрик после перехода на комбинированный способ отбора и сокращения проб (уменьшения интервала времени между отбором точечных проб) зафиксировано снижение величины невязки товарного баланса. В табл. 5 показан пример такого снижения невязки для медно-цинковой обогатительной фабрики (по меди и цинку) и ЗИФ (по золоту и серебру) соответственно.

Снижение величины невязки для медно-цинковой обогатительной фабрики произошло в среднем в 1,5 раза по меди и в 1,3 раза по цинку, для ЗИФ – в 1,6 раза по золоту и в 1,9 раза по серебру.

Устройство и принципы работы специального оборудования, применяемого для отбора и подготовки проб комбинированным способом, рассмотрены ранее [1, 6, 11, 12].

Выводы. Для достоверного определения массовой доли ценного компонента в продуктах обогащения необходимо использовать короткие интервалы времени между отбором точечных проб величиной от нескольких минут до долей минуты.

Переход к коротким интервалам времени между отбором точечных проб возможен только при одновременном с отбором сокращении точечных проб. Таковую возможность обеспечивает комбинированный способ отбора и сокращения проб.

Переход к коротким интервалам времени между отбором точечных проб способствует снижению величины невязки товарного баланса.

Расчет интервала времени между отбором точечных проб возможен по результатам текущего опробования на обогатительной фабрике без проведения дополнительных исследований и выполнения дополнительных анализов.

Таблица 5. Снижение величины невязки товарного баланса за счет повышения достоверности учета массовой доли ценного компонента
Table 5. Reducing the size of the product imbalance by means of increasing the reliability of valuable component mass fraction registration

Обогатительная фабрика	Период работы, мес	Ценный компонент	Изменение невязки товарного баланса за период работы, %	
<i>До перехода на комбинированный способ</i>				
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
<i>После перехода на комбинированный способ</i>				
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

Использование коротких интервалов времени между отбором точечных проб дополняет требования системы менеджмента качества, действующих стандартов, а также разработанных на их базе рабочих документов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Козин В. З. Опробование минерального сырья на обогатительных фабриках. Екатеринбург: УГГУ, 2018. 208 с.
2. Pitard F. Correct sampling systems and statistical tools for metallurgical processes // XXVII International Mineral Processing Congress. Santiago, Chile. 2014. Chap. 15. P. 1.
3. 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.
4. Козин В. З. Товарный баланс обогатительных фабрик: науч. моногр. Екатеринбург: УГГУ, 2014. 133 с.
5. Козин В. З., Водовозов К. А. Причины положительных невязок товарного баланса на обогатительных фабриках // Обогащение руд. 2013. № 2. С. 27–31.
6. Комлев А. С. Экспериментальное подтверждение наличия и величины вероятной систематической погрешности при опробовании продуктов обогатительных фабрик // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: матер. XXI Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург: Форт Диалог-Исеть, 2016. С. 48–50.
7. Кудрявцев Ю. А. Погрешности опробования при эксплуатации Советского золоторудного месторождения // Геология и минеральные ресурсы Красноярского края: сб. ст. Красноярск, 1972. С. 23–28.
8. Ляпин А. Г. Инженерно-аналитический контроль технологий добычи и переработки минерального сырья // Горный журнал. 2009. № 4. С. 14–16.
9. Cleary P. W., Robinson G. K. Sampling of cohesive bulk materials by falling stream cutters // Chemical Engineering Science. 2011. Vol. 66. Iss. 17. P. 3991–4003.
10. Mucha J., Szuwarzysk M. Sampling errors and their influence on accuracy of zinc and lead content evaluation in ore from the Trzebieonka mine (Silesian–Cracow Zn–Pb ore district, Poland) // Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. 2004. Vol. 74. Iss. 1. P. 165–170.
11. Козин В. З., Комлев А. С. Комбинированный способ отбора проб продуктов обогащения и оборудование для его реализации // Обогащение руд. 2014. № 3. С. 28–32.
12. Козин В. З., Комлев А. С. Ураганные пробы и их учет // Обогащение руд. 2015. № 4. С. 39–43.
13. Алимов Ю. И., Шаевич А. Б. Методологические особенности оценивания результатов количественного химического анализа // Журнал аналитической химии. 1988. № 10. С. 1893–1916.

14. Методика разведки золоторудных месторождений / под ред. Г. П. Воларович, В. Н. Иванова. М.: ЦНИГРИ, 1991. 262 с.

15. Хмара В. В. Оптимизация интервала отбора проб при дискретном контроле изменяющегося параметра // Цветные металлы. 2009. № 2. С. 97–99.

Поступила в редакцию 25 февраля 2019 года

Сведения об авторах:

Комлев Алексей Сергеевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры обогащения полезных ископаемых Уральского государственного горного университета.
E-mail: tails2002@inbox.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-5-63-74

The conditions of reliable determination of valuable component mass fraction in mineral processing products

Aleksei S. Komlev¹

¹ Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.

Abstract

Introduction. One requirement to sampling reliability improvement at concentrating plants is sampling system conformity to the current standards.

Research methodology. At a number of concentrating mills measures are taken on bringing the sampling system in the conformity with the standard requirements. It should lead to reliable determination of valuable component mass fraction in mineral processing products, and minimize product imbalance. In most concentrating plants the effect from bringing the sampling system into the line with the requirements is lacking due to the influence of a probable systematic error on the result of sampling.

Research aims to study the conditions of sampling ensuring reliable determination of valuable component mass fraction in mineral processing products. Subject matter – the theoretical algorithm of arriving at the conditions of reliable determination of mass fraction. Research object – the statistics of mineral processing products sampling, containing local extreme values of mass fraction and conditioned by such values of product imbalance at concentrating mills. Research has been carried out by means of studying the statistics of mineral processing sampling based on modern scientific image of sampling errors.

Results. The proposed algorithm of valuable component mass fraction reliable determination in mineral processing products is based on the results of the current sampling, recording the recurring “outbursts” of mass fraction. The discovered time frame between spot samplings makes it possible to determine the mass fraction of a valuable component with the specified error. The obtained time frame for mass fraction reliable determination makes up several minutes to fractions of a minute. At a majority of the operating concentrating plants the indicated time frame is not less than 30 min.

Summary. For reliable determination of valuable component mass fraction in mineral processing products it is required to use short time frames between spot samples from some minutes to fractions of a minute. It makes it possible to apply to integrated way of sampling. The use of short time frames between spot samplings supplements to requirements of the current standards.

Key words: mass fraction; product imbalance; time frame between spot samples; hurricane sample.

REFERENCES

1. Kozin V. Z. *Sampling of mineral raw material at concentrating plants*. Ekaterinburg: UrSMU Publishing; 2018. (In Russ.)
2. Pitard F. Correct sampling systems and statistical tools for metallurgical processes. *XXVII International Mineral Processing Congress. Santiago, Chile*. 2014. Chap. 15. P. 1.
3. 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.
4. Kozin V. Z. *Trade balance off concentrating plants: scientific monograph*. Ekaterinburg: UrSMU Publishing; 2014. (In Russ.)
5. Kozin V. Z., Vodovozov K. A. Factors causing positive product imbalance at ore-dressing plants. *Obogashchenie Rud = Mineral Processing*. 2013; 2: 27–31. (In Russ.)
6. Komlev A. S. Experimental validation of the presence and the size of the probable systematic error of sampling at concentration plants. In: *Scientific fundamentals and practice of ore and technogenic raw material processing: Proceedings of the 21st International Science and Engineering conference*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publishing; 2016. (In Russ.)
7. Kudriavtsev Iu. A. Sampling errors at Sovetskoe goldfield operation. In: *Geology and mineral resources of Krasnoyarsk region: collected works*. Krasnoyarsk; 1972: 23–28 (In Russ.)
8. Liapin A. G. Engineering-analytical control over the technologies of mineral raw material production and processing. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2009; 4: 14–16. (In Russ.)

9. Cleary P. W., Robinson G. K. Sampling of cohesive bulk materials by falling stream cutters. *Chemical Engineering Science*. 2011; 66 (17): 3991–4003.
10. Mucha J., Szuwarzysk M. Sampling errors and their influence on accuracy of zinc and lead content evaluation in ore from the Trzebionka mine (Silesian–Cracow Zn–Pb ore district, Poland). *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 2004; 74 (1): 165–170.
11. Kozin V. Z., Komlev A. S. A combination sampling method for processing products and equipment for its implementation. *Obogashchenie Rud = Mineral Processing*. 2014; 3: 28–32. (In Russ.)
12. Kozin V. Z., Komlev A. S. Outstanding samples and other consideration. *Obogashchenie Rud = Mineral Processing*. 2015; 4: 39–43. (In Russ.)
13. Alimov Iu. I., Shaevich A. B. Methodological features of evaluating the results of quantitative chemical analysis. *Zhurnal analiticheskoi khimii = Journal of Analytical Chemistry*. 1988; 10: 1893–1916. (In Russ.)
14. Volarovich G. P., Ivanov V. N. (eds.) *Goldfields exploration techniques*. Moscow: TsNIGRI Publishing; 1991. (In Russ.)
15. Khmara V. V. Optimization of the interval for sampling in discrete control of varying parameter. *Tsvetnye metally = Non-ferrous Metals*. 2009; 2: 97–99.

Received 25 February 2019

Information about authors:

Aleksei S. Komlev – PhD (Engineering), senior researcher of the Department of Mineral Processing, Ural State Mining University. E-mail: tails2002@inbox.ru

Для цитирования: Комлев А. С. Условия достоверного определения массовой доли ценного компонента в продуктах обогащения // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 5. С. 63–74. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-5-63-74

For citation: Komlev A. S. The conditions of reliable determination of valuable component mass fraction in mineral processing products. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 5: 63–74 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-5-63-74