УДК 622.7 https://doi.org/10.18503/1995-2732-2017-15-2-11-20

ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО СПОСОБА ОТБОРА И ПОДГОТОВКИ ПРОБ ДЛЯ ДОСТОВЕРНОГО КОНТРОЛЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПРОДУКТОВ

Чижевский В.Б.[1], Гмызина Н.В.[1], Комлев А.С.[2]

[1]Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия
[2]ООО «Таилс КО», Екатеринбург, Россия

Аннотация
Постановка задачи (актуальность работы): в статье показана необходимость объективного и своевременного контроля гранулометрического состава продуктов обогащения для управления процессами рудоподготовки и повышения их эффективности. **Цель работы:** совершенствование процесса отбора и подготовки проб, предназначенных для определения гранулометрического состава продуктов обогащения. **Используемые методы:** лабораторные и промышленные испытания, сравнение результатов определения гранулометрического состава по пробам, отобранным различными способами. **Новизна:** к элементам новизны относится использование комбинированного способа отбора и подготовки проб, позволяющего исключать влияние вероятной систематической погрешности на результаты гранулометрического состава опробуемого продукта. **Результат:** для получения достоверных результатов контроля гранулометрического состава продуктов обогащения и объективной оценки результатов внедрения новых технологий рудоподготовки необходимо учитывать вероятную систематическую погрешность результата опробования путем своевременного отражения в отобранных пробах всех возможных локальных изменений гранулометрического состава. **Практическая значимость:** внедрение в практику опробования нового оборудования, реализующего комбинированный способ отбора и подготовки проб, обеспечивающего повышение объективности оценки влияния гранулометрического состава на показатели рудоподготовки и последующего обогащения.

Ключевые слова: гранулометрический состав, отбор проб, комбинированный способ, вероятная систематическая погрешность, рудоподготовка.

Введение

Объективный контроль гранулометрического состава исходных продуктов необходим для обеспечения заданных показателей процесса обогащения. Одним из основных критериев, оцениваемых на основании определения гранулометрического состава, является выход готового класса крупности. От выхода готового класса зависит степень раскрытия минеральных зерен, напрямую влияющая на извлечение ценных компонентов в концентрат. Выход готового класса также определяет количество шламов, которые могут отрицательно повлиять на извлечение ценных компонентов [4–6, 13, 17, 20, 21].

Существует большое количество примеров влияния гранулометрического состава исходных продуктов на показатели обогащения [1, 2, 10, 12, 14, 20]. Так, например, для флотации смеси руд с различным характером вкрапленности минералов меди установлена следующая зависимость: при повышении в смеси доли первично-измененных руд целесообразно увеличивать выход класса –0,071 мм, а при преобладании вторично-измененных руд выход указанного готового класса нужно снижать. При переработке борнит-халькозиновых руд изменение выхода класса –0,071 мм в питании флотации с 67 до 80% снижает извлечение меди в концентрат с 89 до 83% [4].

Переизмельчение медной руды перед межцикловой флотацией приводит к резкому снижению извлечения меди за счет ошламовывания зерен халькопирита [5, 6].

Степень раскрытия породных минералов является определяющим фактором при переработке титаномагнетитовых руд. Крупность питания последовательных операций мокрой магнитной сепарации в стадиях измельчения составляет от 18 до 75% класса –0,071 мм [17].

При обогащении свинцово-цинковой руды извлечение основных минералов в концентрат существенно зависит от класса крупности флотируемых раскрытых частиц [20]. Уменьшение крупности частиц минералов с –0,045 до –0,010 мм приводит к разнонаправленным тенденциям с изменением их извлечения:

– для галенита извлечение снижается с 82,5 до 30,9%;

© Чижевский В.Б., Гмызина Н.В., Комлев А.С., 2017

– для сфалерита извлечение сохраняется на уровне 5–6%;

– для пирита извлечение снижается с 28,7 до 12,9%.

Приведенные примеры наглядно демонстрируют необходимость объективного и своевременного контроля гранулометрического состава исходных продуктов, направляемых на обогащение. Особую актуальность вопросы определения гранулометрического состава приобретают в совокупности с разработкой технологий и оборудования для повышения эффективности дробления и измельчения руд, а также работами, связанными с реконструкцией существующих обогатительных фабрик [4, 5, 13, 15, 16, 22].

Теория, материалы и методы исследования, технические и технологические разработки

Большой объем научных работ и исследований в области переработки техногенного сырья в настоящее время позволяет создавать новые производственные мощности, предусматривающие использование рудоподготовительных процессов. Одним из примеров может являться переработка конвертерных шлаков ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» [2, 3, 19]. Одной из основных задач, требующих решения для переработки конвертерных шлаков, является повышение извлечения железа. Извлечение железа в магнитные продукты на сегодняшний день составляет не более 35% [2]. Для повышения извлечения железа в магнитные продукты без снижения его массовой доли необходимо максимальное раскрытие сростков, которое достигается в операциях дробления и измельчения. Перспективным направлением интенсификации процесса измельчения является использование поверхностно-активных веществ [14]. Поверхность тонкоизмельченных минеральных смесей имеет повышенную реакционную способность, что создает предпосылки для адсорбции реагентов на поверхности минералов, в результате чего происходит интенсификация процесса измельчения. Теоретически наиболее полно изучен вопрос действия органических гетерополярных соединений, которые относятся к классу поверхностно-активных веществ (ПАВ). Существует теоретическая модель, исходя из которой при адсорбции ПАВ на поверхности твердых тел снижается поверхностное натяжение на границах «твердое-газ» и «твердое-жидкое». Это приводит к снижению энергетических затрат на измельчение твердых частиц. Для интенсификации процесса измельчения конвертерных шлаков было использовано жидкое стекло. В **табл. 1** приведен гранулометрический состав продуктов сухого измельчения конвертерных шлаков, полученных при добавлении раствора жидкого стекла в пропорциях от 0,004 до 0,020 м^3 на тонну измельчаемого продукта. Концентрация раствора жидкого стекла составляет 5%. В **табл. 2** приведен гранулометрический состав конвертерных шлаков, измельченных без присутствия жидкого стекла с добавлением воды в тех же пропорциях.

Таблица 1

Гранулометрический состав конвертерных шлаков после измельчения при добавлении жидкого стекла

Класс крупности, мм	Расход раствора жидкого стекла, м^3/т				
	0	0,0040	0,0075	0,0125	0,0200
–2+1	47,0	40,5	40,0	35,5	41,5
–1+0,5	25,0	30,0	30,5	34,0	30,0
–0,5+0,25	12,5	12,1	12,5	12,7	12,5
–0,25+0,074	14,0	12,9	12,1	12,0	11,5
–0,074+0	1,5	4,5	4,9	5,8	4,5
Итого:	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Таблица 2

Гранулометрический состав конвертерных шлаков после измельчения при добавлении воды

Класс крупности, мм	Расход воды, м^3/т				
	0	0,0040	0,0075	0,0125	0,0200
–2+1	47,0	44,5	44,0	41,0	41,5
–1+0,5	25,0	26,7	26,5	28,9	30,0
–0,5+0,25	12,5	12,2	12,4	12,8	12,5
–0,25+0,074	14,0	13,1	13,0	12,5	14,5
–0,074+0	1,5	3,5	4,1	4,8	3,5
Итого:	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

По результатам определения гранулометрического состава продуктов измельчения установлено, что конвертерный шлак, предварительно обработанный жидким стеклом, измельчается интенсивнее, чем при предварительной обработке водой. Так, при последовательном добавлении воды выход класса –2+1 мм в измельченном продукте составил от 44,5 до 41,5% при выходе того же класса 47,0% в продукте, полученном без добавления воды. При тех же расходах раствора жидкого стекла выход класса –2+1 мм составил от 40,5 до 41,5%. Таким образом, показано, что применение раствора жидкого стекла при сухом измельчении обеспечивает снижение выхода класса –2+1 мм до 5,5% относительно процесса измельчения с добавлением воды. Полученные результаты объясняются расклинивающим действием адсорбционных слоев, фиксирующих микротрещины, а также большей подвижностью материала в мельнице, так как интенсивная диспергация измельчаемого продукта увеличивает его текучесть [2].

Известны результаты исследований по применению ПАВ для улучшения показателей измельчения коренных золотосодержащих руд

[14]. В **табл. 3** приведены значения выхода классов –1+0,4 и –0,4 мм в пробе золотосодержащей руды после измельчения при добавлении различных по составу ПАВ. Установлено, что выход класса –0,4 мм при добавлении ПАВ возрастает в 1,5–1,9 раз. Это приводит к существенному увеличению полноты раскрытия золотосодержащих минералов, так как в указанном классе может быть сосредоточена преобладающая часть всего извлекаемого золота.

Таблица 3

Выход классов –1+0,4 мм и –0,4 мм в пробе золотосодержащей руды после измельчения при добавлении ПАВ

Классы крупности, мм	Выход классов крупности, %			
	Измельчение без добавления ПАВ	Измельчение с добавлением ПАВ № 1	Измельчение с добавлением ПАВ № 2	Измельчение с добавлением ПАВ № 3
–1+0,4	35	38	34	46
–0,4+0	20	35	37	38

Реконструкция действующих обогатительных фабрик в ряде случаев предполагает повышение извлечения ценных компонентов относительно существующих значений за счет увеличения выхода готового класса [13, 15, 16]. Так, например, в медно-цинковых и золотосодержащих рудах до 40% золота может находиться в классе –0,071 мм. При переработке медно-цинковых руд с попутным содержанием золота флотационными методами потери нераскрытого золота с хвостами на некоторых обогатительных фабриках достигают 30%.

Современные методы определения гранулометрического состава в пробах продуктов обогащения имеют системное теоретическое обоснование и широкую сферу внедрения [1, 12]. На практике находит применение широкий спектр оборудования для определения гранулометрического состава – от наборов сит для ручного просеивания проб и лабораторных ситовых анализаторов до автоматических гранулометров, устанавливаемых непосредственно на потоке контролируемого продукта или на выходе системы опробования. Случайная погрешность действующих методик ситового анализа в лабораторных условиях не превышает 1% [1, 7, 31].

Общей характеристикой гранулометрического состава продукта является кумулятивная ситовая характеристика, каждая точка которой представляет собой выход класса, соответствующего точке R_+ материала пробы массой q, оставшегося на сите, либо выход класса, соответствующего точке R_- материала пробы, прошедшего через сито:

$$R_+ = q_+ / q;$$

$$R_- = q_- / q,$$

где q_+ – масса материала, оставшегося на сите; q_- – масса материала, прошедшего через сито.

Ситовые характеристики, отражающие долю материала пробы, оставшуюся между двумя ситами, называются частными. Частная ситовая характеристика соответствует приращениям кумулятивной ситовой характеристики между двумя размерами сит. Типовые кумулятивные ситовые характеристики приведены на **рисунке**. Частная ситовая характеристика крупности математически соответствует производной от кумулятивной ситовой характеристики и может быть названа плотностью распределения вероятности по крупности (см. **рисунок**, в).

Гранулометрический состав опробуемого продукта является самостоятельной характеристикой, зависящей от разнообразных видов воздействия на горную массу, куски и частицы: взрыв, откалывание, резание, дробление, измельчение, самоизмельчение при перегрузке и транспортировании и т. п. В результате могут сформироваться правосторонние, левосторонние, а также симметричные и равномерные законы распределения крупности по массе [7].

Описание кумулятивных ситовых характеристик выполняется через степенную зависимость для выхода $R_-(d)$ подрешетного продукта:

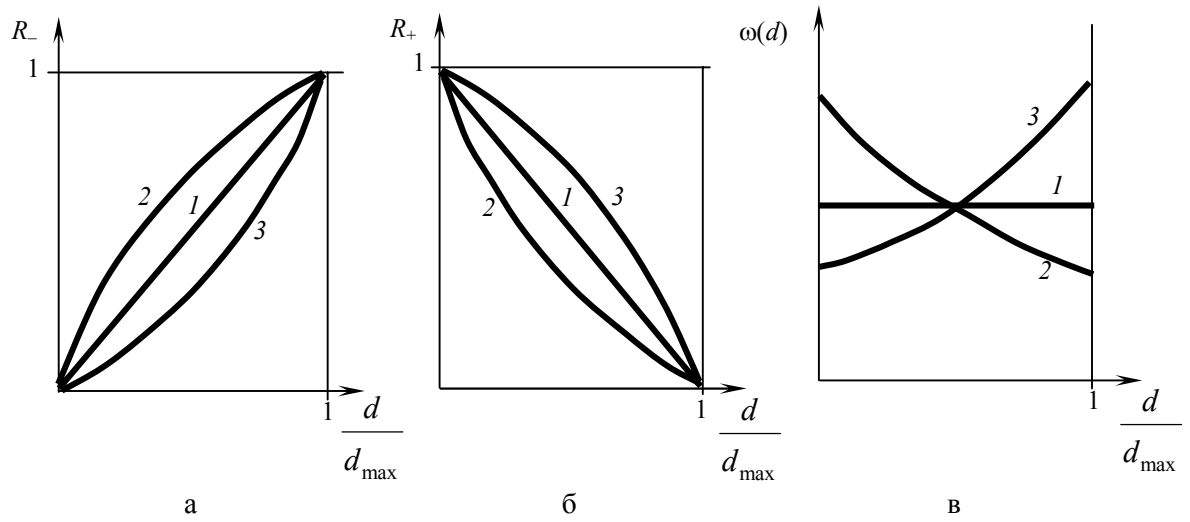
$$R_-(d) = (d / d_{\max})^c,$$

где d – размер куска; $d_{\max}$ – максимальный размер куска; c – коэффициент.

Отсюда плотность распределения вероятности будет определена в следующем виде:

$$\omega(d) = c \cdot d^{c-1} / d_{\max}^c.$$

При $c = 1$ (кривая *1*) кумулятивная кривая принимает вид прямой линии, которой соответствует равномерный закон распределения. При $c < 1$ кумулятивная кривая для подрешетного продукта имеет выпуклый вид и правоасимметричную плотность распределения вероятности (кривая *2*). При $c > 1$ кумулятивная кривая для подрешетного продукта имеет вогнутый вид и левоасимметричную плотность распределения вероятности (кривая *3*). Так, например, кривая *2* на рисунке *б* указывает на преобладание в продукте мелких классов крупности.



Типовые кумулятивные ситовые характеристики крупности: а – для подрешетного продукта; б – для надрешетного продукта; в – плотность распределения вероятности по крупности

Развитие современных теоретических знаний в области процессов опробования, основанных на асимметричных распределениях массовой доли контролируемого 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 [7], а также подтверждено на практике [8–12]. Наличие в ситовой характеристике асимметричных распределений свидетельствует о возможности появления ВСП при определении гранулометрического состава.

По опыту работы большинства обогатительных фабрик, отбор проб продуктов для определения гранулометрического состава выполняется вручную с последующим анализом проб в соответствии с ГОСТ-24598-81 [29]. Пробы для определения гранулометрического состава отбираются с различной периодичностью: от 30 мин для пульпы до 12 ч для дробленой руды. Например, отбор пробы исходной руды после последней стадии дробления до крупности –25 мм может выполняться один раз в смену, так как принято считать, что гранулометрический состав дробленого продукта практически не изменяется. Тем не менее даже при устойчивой работе обогатительной фабрики на изменение гранулометрического состава дробленого и измельченного продуктов непрерывно влияет множество факторов, связанных с режимами работы оборудования, физико-механическими свойствами руд и т. п. Это приводит к многочисленным флуктуациям гранулометрического состава на всех стадиях дробления и измельчения [11, 12].

Возникающие флуктуации гранулометрического состава носят асимметричный характер, так как увеличить выход готового класса при заданных режимах дробления и измельчения невозможно, тогда как уменьшение его вполне возможно и может произойти с большой вероятностью. В результате зависимость изменения выхода готового класса от времени будет иметь четко выраженную отрицательную тенденцию. При периодическом отборе в пробу преимущественно попадает продукт, близкий по выходу готового класса к заданному. Значительные отклонения от заданной величины в меньшую сторону в силу непродолжительности действия обнаруживаются в пробах гораздо реже. Таким образом, значимые по величине занижения выхода готового класса с помощью проб, отобранных с большой периодичностью, не обнаруживаются, что закономерно приводит к искусственному завышению выхода готового класса. Такое завышение носит систематический характер и является следствием действия ВСП, обусловленной дискретностью (периодичностью) опробования.

ВСП не учитывается ни одним из существующих нормативных документов, и ее влияние на результат опробования до сегодняшнего времени не оценивалось [8–12, 23–31]. 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 оборудования,

реализующего комбинированный способ отбора и подготовки проб [8–10], снижающий случайную погрешность результата и исключающий влияние ВСП. Технологической основой комбинированного способа отбора и подготовки проб является отбор большого количества точечных проб от любой партии продукта за любой контрольный период с последующим усреднением и сокращением каждой из них. Комбинированный способ отбора и подготовки проб реализован в новых системах опробования типа «СОП-1П» для потоков пульпы, «СОД-2» и «СО-КН» – для сыпучих продуктов [25, 26]. Характерной особенностью комбинированного способа отбора и подготовки проб является учет всех возможных локальных изменений массовой доли контролируемого компонента и гранулометрического состава. Возможность экспериментального определения наличия и величины ВСП появляется, если на одном и том же технологическом потоке выполнять отбор проб наиболее распространенным способом периодического поперечного пересечения и комбинированным способом.

Имеющиеся данные по работе обогатительных фабрик, использующих для опробования продуктов обогащения комбинированный способ, подтверждают влияние ВСП на достоверность определения гранулометрического состава. Получены сравнительные данные определения гранулометрического состава по результатам отбора проб слива гидроциклонов способом периодического поперечного пересечения и комбинированным способом. Так, на одной из обогатительных фабрик для слива гидроциклонов периодическое пересечение выполняется вручную, один раз в 60 мин, а отбор проб комбинированным способом производится с применением системы «СОП-1-325-08П», в которой начальная проба пульпы формируется за счет непрерывного продольного пересечения предварительно усредняемого потока, а сокращение начальной пробы выполняется отсечением микропорций с периодичностью в две секунды [9, 10, 24]. Установлено, что отбор проб способом периодического пересечения приводит к завышенному значению выхода готового класса –0,071 мм. За месяц отобранные периодическим пересечением пробы показали выход класса –0,071 мм, равный 89,4%, тогда как в накопленных пробах, полученных комбинированным способом, выход готового класса составил 84,6%, что на 4,8% меньше. Занижение выхода готового класса для комбинированного способа отбора и подготовки проб за рассматриваемый период времени произошло более чем в 93% случаев. При этом завышение указанного значения (менее 7% случаев) не превышает 0,3% [11, 12].

Аналогичные показатели для определения гранулометрического состава пульпы на другой обогатительной фабрике за месяц составили соответственно 91,9 и 88,3% (на 3,6% меньше). Необходимо добавить, что случайная погрешность определения выхода готового класса за месяц при усреднении данных по ручному отбору 90 сменных проб не будет большой. Случайная погрешность определения выхода класса крупности определяется через дисперсию числовой доли частиц в пробе [7]:

$$S_{\mathrm{R}}^2 = \frac{R_- \cdot (1 - R_-)}{n_c} = \frac{R_+ \cdot (1 - R_+)}{n_c},$$

где R_- и R_+ – доля минусового и плюсового классов; n_c – число частиц, соответствующих размеру сита определяемого класса.

Согласно приведенной формуле, при пересчете дисперсии числовой доли частиц в относительную случайную погрешность [7, 9], величина этой погрешности не превысит 0,1%. Это позволяет считать преимущественную часть значений +4,8 и +3,6% экспериментально установленной величиной ВСП.

Аналогичные сравнительные результаты получены для опробования измельченного золотосодержащего шлака. По результатам опробования пяти партий шлака путем отбора точечных проб из объема каждого тарного места установлено значение выхода класса –3+1 мм, составившее от 0,36 до 3,20%, при среднем значении по пяти партиям 1,66%. При опробовании тех же партий шлака с использованием дискового сократителя типа «СОД-2», реализующего комбинированный способ сокращения пробы, выход указанного класса по всем партиям составил от 2,20 до 4,92% при среднем выходе по партиям 3,63%. Сравнительные данные по определению класса –3+1 мм в пробах измельченного шлака приведены в **табл. 4**.

Очевидно, что результаты опробования при наличии ВСП и результаты опробования при отсутствии ВСП характеризуются систематическим завышением выхода контролируемого класса для комбинированного способа, составляющим 1,97% (54,27% относительных). При этом рассчитанная величина относительной случайной погрешности определения выхода указанного класса, исходя из числа точечных проб (от 250 до 330), составляет не более 0,32%. На этом основании можно утверждать, что преобладающая часть величины завышения выхода класса крупности –3+1 мм, составляющая 1,93% абсолютных, вызвана действием ВСП.

Таблица 4

Сравнительные результаты определения класса –3+1 мм в пробах измельченного шлака

Номер партии	Выход класса –3+1 мм, %		Разность выхода класса –3+1 мм, %	
	Отбор и подготовка проб комбинированным способом	Отбор точечных проб из тарного места	абсолютная	относительная
1	2,20	0,36	1,84	83,64
2	3,40	2,04	1,36	40,00
3	3,53	1,71	1,82	51,56
4	4,92	3,20	1,72	34,96
5	4,10	0,99	3,11	75,85
Среднее значение	3,63	1,66	1,97	54,27

В настоящее время широкое распространение получают приборы автоматического определения гранулометрического состава сыпучих и пульпообразных продуктов – автоматические гранулометры [18]. Точность определения гранулометрического состава у гранулометров достаточно высока – относительная разница результатов определения выхода частных классов крупности автоматическим и ручным способами не превышает величины ± 4%. Учитывая, что при правильно выполненном ручном просеивании разделение пробы по крупности можно осуществить с минимальной погрешностью и получить близкий к абсолютной величине результат, указанная точность автоматического определения гранулометрического состава является достаточной [7]. Тем не менее при использовании гранулометров для контроля измельченных продуктов обогащения также возможно возникновение ВСП из-за больших временных интервалов между отбором проб от потока контролируемого продукта. В **табл. 5** приведены сравнительные результаты по работе гранулометра седиментационного типа с частотой рабочих циклов (отборов проб от потока) 6 и 54 мин на измельченном исходном продукте обогатительной фабрики. В качестве контрольной величины выхода определяемого готового класса выбраны показания системы опробования «СОП-1-426-04П».

За контрольный период в 27 смен результаты определения гранулометрического состава в пробах «СОП-1-426-04П» и с помощью автоматического гранулометра оказались идентичными – 89,4% при периодичности рабочих циклов гранулометра в 6 мин **(табл. 5)**. Это свидетельствует о снижении влияния на результат опробования ВСП при увеличении числа проб (в данном случае до 6 мин) или переходе к непрерывному опробованию потока (система «СОП-1-426-04П»). На основании этого можно предположить, что при имеющихся флуктуациях гранулометрического состава и правильной настройке гранулометра существующей частоты рабочих циклов (6 мин) достаточно для устранения значимого влияния ВСП на результат опробования.

Таблица 5

Сравнительные результаты определения гранулометрического состава по результатам опробования слива гидроциклонов при частоте рабочих циклов гранулометра 6 и 54 мин

Смена (№ п/п)	Выход класса –0,071 мм			
	Частота рабочих циклов 6 мин		Частота рабочих циклов 54 мин	
	«СОП-1-426-04П»	Автоматический гранулометр	«СОП-1-426-04П»	Автоматический гранулометр
1	89,7	90,2	84,4	91,3
2	91,7	90,2	89,6	91,2
3	94,4	85,5	90,0	93,2
4	94,0	85,5	93,1	93,5
5	94,5	50,1 (неисправность)	91,5	90,4
6	90,3	92,7	92,6	92,1
7	87,2	93,7	86,6	92,4
8	90,4	85,2	89,4	93,2
9	89,2	85,0	86,8	89,0
10	89,3	85,3	83,8	89,9
11	89,2	89,6	89,9	90,6
12	88,0	90,2	85,9	90,4
13	89,8	89,6	87,4	91,8
14	88,3	88,1	84,3	88,9
15	83,7	87,9	86,9	93,0
16	82,6	88,3	84,6	89,3
17	83,3	90,2	85,3	90,0
18	87,9	90,2	76,8	84,1
19	88,0	84,2	78,9	85,0
20	87,4	85,6	–	–
21	90,8	93,0	–	–
22	89,4	91,2	–	–
23	90,9	90,9	–	–
24	90,8	92,3	–	–
25	89,9	92,0	–	–
26	89,6	92,1	–	–
27	91,5	92,5	–	–
28	90,9	91,4	–	–
Среднее значение	89,4	89,4	86,7	90,5

Необходимо отметить, что в одну из указанных в **табл. 5** смен в работе гранулометра были зафиксированы неполадки. В результате гранулометр зафиксировал резкое отклонение выхода готового класса в меньшую сторону – до 50% готового класса в смене № 5. При этом резкое изменение гранулометрического состава не нашло отражения в накопленной пробе «СОП-1-

426-04П», что является подтверждением неисправности гранулометра. Совпадение результатов опробования установлено при исключении из расчетов результатов по смене № 5.

Из представленных данных видно, что при снижении частоты рабочих циклов гранулометра с 6 до 54 мин значение выхода готового класса за 19 смен имеет завышение относительно контрольной величины на 3,8%. По отдельным сменам завышение составило до 7,3% (смена № 18). Очевидно, что преобладающая доля указанного завышения возникает из-за действия ВСП, которая при невысокой частоте рабочих циклов оказывается значимой.

Заключение

Полученные результаты полностью соответствуют теоретическим представлениям о влиянии ВСП на результат определения гранулометрического состава при отборе проб способом периодического пересечения [7, 12]:

– завышение выхода подрешетного класса обусловлено отсутствием в пробах, отобранных с относительно большой периодичностью, продукта с заниженным выходом подрешетного класса;

– сравнительно редкие случаи занижения выхода подрешетного класса объясняются отбором проб в период действия резких отрицательных изменений зависимости выхода подрешетного класса от времени;

– занижение выхода надрешетного класса обусловлено отсутствием в пробах, отобранных с относительно большой периодичностью, продукта с завышенным выходом надрешетного класса;

– сравнительно редкие случаи завышения выхода надрешетного класса объясняются отбором проб в период действия резких положительных изменений зависимости выхода надрешетного класса от времени;

– за относительно большой контрольный период (декада, месяц) разница выхода контролируемого класса в пробах, полученных разными способами, снижается относительно разницы за короткий период (смена, сутки, партия).

Учитывая приведенные результаты экспериментального определения ВСП, возникает актуальный вопрос о контроле гранулометрического состава продуктов при совершенствовании процессов рудоподготовки. Так, полученный результат интенсификации процесса измельчения конвертерных шлаков путем добавления в процесс раствора жидкого стекла (см. **табл. 1**) на практике может оказаться не зафиксированным в случае применения периодического отбора проб от измельченного продукта, выполняемого с низкой частотой. Учитывая величину изменения выхода класса –2+1 мм в зависимости от расхода раствора ПАВ, величины ВСП в (–4,5)% будет достаточно для фактического уравнивания показателей измельчения во всем диапазоне расхода раствора ПАВ.

Следовательно, необходимо использовать новые системы опробования, реализующие комбинированный способ отбора и подготовки проб, характерной особенностью которого является учет всех возможных локальных изменений массовой доли контролируемого компонента и гранулометрического состава.

Список литературы

1. Васильев А.М., Фролов В.В. Усовершенствование методики определения гранулометрических характеристик мелкозернистых материалов на ситовых анализаторах различной конструкции // Обогащение руд. 2016. № 3. С. 41–46.
2. Гмызина Н.В. Интенсификация процесса измельчения конвертерных шлаков // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. №3 (27). С. 13–14.
3. Гмызина Н.В., Зубков А.А. Обогащение и комплексное использование сталеплавильных шлаков // Материалы VII Конгресса обогатителей стран СНГ. М.: Альтекс, 2009. Т.II. С. 67–68.
4. Даваасамбуу Д., Эрдэнэцогт Д. Оптимизация процессов флотации медно-молибденовых руд на основе оперативного анализа минерального состава // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: материалы XX Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2015. С. 52–56.
5. Запуск и освоение Хайбуллинской обогатительной фабрики ООО «Башмедь» с применением технологии и оборудования ЗАО НПО «РИВС» / Зимин А.В., Калинин Е.П., Рыжков К.В., Немчинова Л.А. и др. // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: материалы XX Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2015. С. 272–276.
6. Иванов Б.С., Бодуэн А.Я., Петров Г.В. Отечественные медно-цинковые колчеданные руды: проблемы переработки и технологические перспективы // Обогащение руд. 2014. № 3. С. 7–13.
7. Козин В.З. Опробование минерального сырья. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2011. 316 с.
8. Козин В.З., Комлев А.С. Ураганные пробы и их учет // Обогащение руд. 2015. № 4. С. 39–43.
9. Козин В.З., Комлев А.С. Комбинированный способ отбора проб продуктов обогащения и оборудование для его реализации // Обогащение руд. 2014. № 3. С. 28–32.
10. Оборудование и технологии для отбора и подготовки проб на обогатительных фабриках / Козин В.З., Морозов Ю.П., Комлев А.С., Фалькович Е.С. // Горный журнал. 2015. № 8. С. 76–81.
11. 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: материалы XXI Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2016. С. 48–50.

12. Комлев А.С. Влияние вероятной систематической погрешности на определение гранулометрического состава продуктов обогащения // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: материалы XX Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2015. С. 186–191.
13. Киреева О.В., Дресвянкина Т.П., Назаренко Л.Н. Совершенствование технологии обогащения лежалых отвальных шлаков с применением ультратонкого измельчения // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: материалы XVIII Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2013. С. 71–74.
14. Лобанов В.Г., Абрахманов И.С., Терехов П. Влияние ПАВ на показатели измельчения золотосодержащей руды // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: материалы XXI Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2016. С. 266–268.
15. Морозов Ю.П. Повышение комплексности использования сульфидных руд на основе дополнительного извлечения золота / Урал. гос. горный ун-т; ООО «Таилс КО». Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2015. 61 с.
16. Повышение эффективности извлечения золота из руд месторождения «Воронцовское» / Орлов С.Л., Мусаев В.В., Чинова Н.Б., Пушной Е.А. и др. // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: материалы XVII Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2012. С. 62–66.
17. Пелевин А.Е., Мушкетов Ант. Андр. Раскрытие породных минералов в стадиях измельчения титаномагнетитовой руды Гусевогорского месторождения // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: материалы XX Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2015. С. 38–44.
18. Салохеймо К. Новое поколение анализаторов размера частиц в пульпе // Цветные металлы. 2010. № 2. С. 82–88.
19. Чижевский В.Б., Гмызина Н.В. Изучение состава и строения конвертерного шлака // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 68-й межрегион. научн.-техн. конф. Магнитогорск, 2010. Т. I. С. 185–188.
20. Шехирев Д.В., Смайлов Б.Б. Кинетика извлечения частиц различного минерального состава при флотации свинцово-цинковой руды // Обогащение руд. 2016. № 2. С. 20–27.
21. Chunyue Song, Kailin Hu, Ping Li. Modeling and scheduling optimization for bulk ore blending process // Journal of Iron and Steel Research, International. 2012. Vol. 19, iss. 9, September. P. 20–28.
22. 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.
23. Pitard F. Correct sampling systems and statistical tools for metallurgical prosesses // XXVII international Mineral Processing Congress. Santiago, Chile. 2014. Chap. 15, p. 1.
24. Boucher D., Langlois R., Waters K., Rowson N. Particle motion observed inside a laboratory-scale Knelson Concentrator using positron emission particle tracking // XXVII international Mineral Processing Congress. Santiago, Chile. 2014. Chap. 17, pp. 73–82.
25. Сократитель дисковый электромеханический и способ сокращения и отбора проб с его использованием: пат. 2347205 РФ / Морозов Ю.П., Козин В.З., Комлев А.С. № 2007127529; заявл. 18.07.2007; опубл. 20.02.2009. Бюл. № 5. 5 с.
26. Станция опробования пульпы и способ опробования потока пульпы с ее использованием: пат. 2511377 РФ / Морозов Ю.П., Козин В.З., Комлев А.С., Фалькович Е.С. № 2011154028; заявл. 28.12.2011; опубл. 07.02.2014. Бюл. № 10. 7 с.
27. ГОСТ 14180-80. Руды и концентраты цветных металлов. Методы отбора и подготовки проб для химического анализа и определения влаги.
28. ГОСТ Р ИСО 5725-1, 2, 3, 4, 5, 6-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений.
29. ГОСТ 28192-89. Отходы цветных металлов и сплавов. Методы отбора, подготовки проб и методы испытаний.
30. СТО 04610600-014-2007. Отработанные катализаторы алюмоплатиновые монометаллические и полиметаллические и отходы производства катализаторов. Правила приемки, отбор проб, упаковка, маркировка, транспортирование и хранение.
31. ГОСТ-24598-81. Руды и концентраты цветных металлов. Ситовый и седиментационный методы определения гранулометрического состава.

Поступила 13.02.17.
Принята в печать 20.03.17.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

https://doi.org/10.18503/1995-2732-2017-15-2-11-20

THE USE OF COMBINED SAMPLING AND SAMPLE PREPARATION METHOD TO ENSURE THE ACCURACY OF SIZE DISTRIBUTION ANALYSIS

Vladimir B. Chyzhevsky – D.Sc. (Eng.), Professor
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: magtu_opi@mail.ru

Natalia V. Gmyzina – Ph.D. (Eng.), Associate Professor
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: magtu_opi@mail.ru

Aleksey S. Komlev – Ph.D. (Eng.), Chief Operating Officer
"Tails KO" LLC, Yekaterinburg, Russia. E-mail: Tails2002@inbox.ru

Abstract
Problem Statement (Relevance): The authors of this article demonstrate how important it is to monitor the size distribution of the concentrate in a timely manner for proper control over ore preparation and for better efficiency. Objectives: The authors aim to improve the process of taking and preparing samples for the size distribution analysis. Methods Applied: Methods applied included laboratory and field tests followed by the comparison of results obtained for samples taken

using different sampling techniques. Originality: The original features of this research include the use of a combined method of sampling and sample preparation which helps eliminate the likely systematic error. Findings: To ensure accuracy of the size distribution analysis and to understand how successful a new ore preparation technology has turned to be, one should account for the likely systematic error by sampling consistently in order to register any possible local change in particle size distribution. Practical Relevance: This research resulted in the implementation of a new sampling equipment which utilizes a combined method of sampling and sample preparation. The use of this method can improve the judgement of how the current size distribution can impact the ore preparation and downstream processes.

Keywords: Size distribution, sampling, combined method, likely systematic error, ore preparation.

References

1. Vasiliev A.M., Frolov V.V. Improving the particle size distribution analysis of fine materials using sieves of various design. *Obogashchenie rud* [Ore concentration], 2016, no. 3, pp. 41–46. (In Russ.)
2. Gmyzina N.V. Intensifying the grinding of converter slag. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2009, no. 3 (27), pp. 13–14. (In Russ.)
3. Gmyzina N.V., Zubkov A.A. Concentration and comprehensive utilization of steelmaking slag. *Materialy VII Kongressa obogatiteley stran SNG* [Proceedings of the VII Congress of Concentration Plant Operators from CIS]. Moscow: Alteks, 2009, vol. II, pp. 67–68. (In Russ.)
4. Davaasambuu D., Erdenetsogt D. Optimization of the flotation of copper-molybdenum ores on the basis of operational analysis of the mineral composition. *Nauchnye osnovy i praktika pererabotki rud i tekhnogennogo syria: Materialy XX Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [The scientific basis and the practice of ore and industrial materials processing: Proceedings of the XX International Scientific Conference]. Yekaterinburg: Fort Dialog Iset' Publishing House, 2015, pp 52–56. (In Russ.)
5. Zimin A.V., Kalinin E.P., Ryzhkov K.V., Nemchinov L.A. et al. Start-up and commissioning of Haybullinskyi Concentrator Plant of Bashmed LLC using the technology and the equipment of RIVS Research and Manufacturing Association. *Nauchnye osnovy i praktika pererabotki rud i tekhnogennogo syria: Materialy XX Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [The scientific basis and the practice of ore and industrial materials processing: Proceedings of the XX International Scientific Conference]. Yekaterinburg: Fort Dialog Iset' Publishing House, 2015, pp. 272–276. (In Russ.)
6. Ivanov B.S., Baudouin A.Ya., Petrov G.V. The country's copper-zinc sulfide ores: The problems of processing and perspectives. *Obogashchenie rud* [Ore concentration], 2014, no. 3, pp. 7–13. (In Russ.)
7. Kozin V.Z. *Oprobovanie mineralnogo syria* [Minerals testing]. Yekaterinburg: Publishing House of the Ural State Mining University, 2011, 316 p. (In Russ.)
8. Kozin V.Z., Komlev A.S. Bonanza grade and sample monitoring. *Obogashchenie rud* [Ore concentration], 2015, no. 4, pp. 39–43. (In Russ.)
9. Kozin V.Z., Komlev A.S. Combined method of sampling designed for products of a concentration plant and the equipment for its implementation. *Obogashchenie rud* [Ore concentration], 2014, no. 3, pp. 28–32. (In Russ.)
10. Kozin V.Z., Morozov Yu.P., Komlev A.S., Falkovich E.S. Sampling equipment and sampling technologies for concentration plants. *Gorny zhurnal* [Mining Journal], 2015, no. 8, pp. 76–81. (In Russ.)
11. Komlev A.S. Theoretical proof of the existence and the magnitude of the likely systematic error in concentrator product sampling. *Nauchnye osnovy i praktika pererabotki rud i tekhnogennogo syria: Materialy XXI Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [The scientific basis and the practice of ore and industrial materials processing: Proceedings of the XXI International Scientific Conference]. Yekaterinburg: Fort Dialog Iset' Publishing House, 2016, pp. 48–50. (In Russ.)
12. Komlev A.S. The impact of the likely systematic error on concentrator product particle size distribution analysis. *Nauchnye osnovy i praktika pererabotki rud i tekhnogennogo syria: Materialy XX Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [The scientific basis and the practice of ore and industrial materials processing: Proceedings of the XX International Scientific Conference]. Yekaterinburg: Fort Dialog Iset' Publishing House, 2015, pp. 186–191. (In Russ.)
13. Kireeva O.V., Dresvyankina T.P., Nazarenko L.N. Enhanced processing of mature dump slag with the help of ultrafine grinding. *Nauchnye osnovy i praktika pererabotki rud i tekhnogennogo syria: Materialy XVIII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [The scientific basis and the practice of ore and industrial materials processing: Proceedings of the XVIII International Scientific Conference]. Yekaterinburg: Fort Dialog Iset' Publishing House, 2013, pp. 71–74. (In Russ.)
14. Lobanov V.G., Abrakhmanov I.S., Terekhov P. Effect of surfactants on the grindability of gold ore. *Nauchnye osnovy i praktika pererabotki rud i tekhnogennogo syria: Materialy XXI Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [The scientific basis and the practice of ore and industrial materials processing: Proceedings of the XXI International Scientific Conference]. Yekaterinburg: Fort Dialog Iset' Publishing House, 2016, pp. 266–268. (In Russ.)
15. Morozov Yu.P. Enhancing the utilization of sulfide ores through further extraction of gold. *Uralsky gosudarstvenny gorny universitet; OOO "Tails KO"* [Ural State Mining University; "Tails KO" LLC]. Yekaterinburg: Fort Dialog Iset' Publishing House, 2015. 61 p. (In Russ.)
16. Orlov S.L., Musaev V.V., Chinova N.B., Pushnoy E.A. et al. Enhanced recovery of gold from the ores of the Vorontsovskoe deposit. *Nauchnye osnovy i praktika pererabotki rud i tekhnogennogo syria: Materialy XVII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [The scientific basis and the practice of ore and industrial materials processing: Proceedings of the XVII International Scientific Conference]. Yekaterinburg: Fort Dialog Iset' Publishing House, 2012, pp. 62–66. (In Russ.)
17. Pelevin A.E., Mushketov A.A. Exposure of valuable minerals when grinding the titanium magnetite ores of the Gusevogorskoe deposit. *Nauchnye osnovy i praktika pererabotki rud i tekhnogennogo syria: Materialy XX Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [The scientific basis and the practice of ore and industrial materials processing: Proceedings of the XX International Scientific Conference]. Yekaterinburg: Fort Dialog Iset' Publishing House, 2015, pp. 38–44. (In Russ.)
18. Saloheymo K. New generation of slurry particle size analyzers. *Tsvetnye metally* [Non-Ferrous Metals], 2010, no. 2, pp. 82–88. (In Russ.)
19. Chizhevsky V.B., Gmyzina N.V. Looking at the composition and the structure of converter slag. *Aktualnye problemy sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya: Materialy 68-y*

mezhregionalnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [Important problems of today's science, technology and education: Proceedings of the 68th Cross-Regional Scientific Conference]. Magnitogorsk, 2010, vol. I, pp. 185–188. (In Russ.)
20. Shekhirev D.V., Smaylov B.B. The kinetics of extracting particles containing different minerals when floating lead-zinc ore. *Obogashchenie rud* [Ore concentration], 2016, no. 2, pp. 20–27. (In Russ.)
21. Chunyue Song, Kailin Hu, Ping Li. Modeling and scheduling optimization for bulk ore blending process. Journal of Iron and Steel Research, International. 2012, vol. 19, iss. 9, September, pp. 20–28.
22. Cleary P.W., Robinson G.K. Sampling of cohesive bulk materials by falling stream cutters. Chemical Engineering Science. 2011, vol. 66, iss. 17, pp. 3991–4003.
23. Pitard F. Correct sampling systems and statistical tools for metallurgical prosesses. XXVII international Mineral Processing Congress. Santiago, Chile. 2014. Chap. 15, pp. 1.
24. Boucher D., Langlois R., Waters K., Rowson N. Particle motion observed inside a laboratory-scale Knelson Concentrator using positron emission particle tracking. XXVII international Mineral Processing Congress. Santiago, Chile. 2014. Chap. 17, pp. 73–82.
25. Morozov Yu.P., Kozin V.Z., Komlev A.S. *Sokratitel' diskovy elektromekhanichesky i sposob sokrashcheniya i otbora prob s ego ispolzovaniem* [Circular electric sample cutter and its application]. Patent RF, no. 2347205, 2009.
26. Morozov Yu.P., Kozin V.Z., Komlev A.S., Falkovich E.S. *Stantsiya oprobovaniya pulpy i sposob oprobovaniya potoka pulpy s ee ispolzovaniem* [Slurry sampling station and its application for continuous slurry flow]. Patent RF, no. 2511377, 2014.
27. State Standard 14180-80. Nonferrous metal ores and concentrates. Methods of sampling and sample preparation for chemical analysis and moisture content analysis. (In Russ.)
28. State Standard R ISO 5725-1, 2, 3, 4, 5, 6-2002. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. (In Russ.)
29. State Standard 28192-89. Waste non-ferrous metals and alloys. Methods of sampling and sample preparation and test methods. (In Russ.)
30. STO 04610600-014-2007 Waste aluminium-platimun monometallic and polymetallic catalysts and catalyst production byproducts. Acceptance, sampling, packaging, labeling, transportation and storage. (In Russ.)
31. State Standard 24598-81. Nonferrous metal ores and concentrates. Sieve and sedimentation methods for determining the particle size distribution. (In Russ.)

Received 13/02/17
Accepted 20/03/17

Образец для цитирования

Чижевский В.Б., Гмызина Н.В., Комлев А.С. Применение комбинированного способа отбора и подготовки проб для достоверного контроля гранулометрического состава продуктов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2017. Т.15. №2. С. 11–20. https://doi.org/10.18503/1995-2732-2017-15-2-11-20

For citation

Chyzhevsky V.B., Gmyzina N.V., Komlev A.S. The use of combined sampling and sample preparation method to ensure the accuracy of size distribution analysis. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2017, vol. 15, no. 2, pp. 11–20. https://doi.org/10.18503/1995-2732-2017-15-2-11-20