

4. НПАОП 0.00-1.61-12 «Правила охраны труда во время дробления и сортировки, обогащения полезных ископаемых и окомкования руд концентратов».

5. ГОСТ 6937-91 «Дробилки конусные. Общие технические требования».

6. НПАОП 0.00-1.08-07 «Порядок аттестации специалистов, имеющих право проводить экспертное обследование оборудования повышенной опасности».

7. НПАОП 0.00-6.14-97 «Порядок сертификации персонала по неразрушающему контролю».

8. ДСТУ EN «Неразрушающий контроль. Ультразвуковой контроль. Часть 1. Общие требования».

9. ДСТУ 2860-94 «Надежность техники. Термины и определения».

10. ГОСТ 24346-80 «Вибрация. Термины и определения».

11. ГОСТ ISO 10816-3 «Механическая вибрация – определение вибрации машин путем изменений на не вращающихся деталях. Часть 3. Промышленные машины с номинальной мощностью свыше 15 кВт и номинальными скоростями вращения в пределах 120 об/мин – 15000 об/мин при измерениях на месте установки».

12. «Положение о техническом обслуживании оборудования предприятий горно-металлургического комплекса», утвержденные приказом Министерства промышленной политики Украины №285 от 15.06.2004 г.».

Рукопись поступила 12.10.2015

УДК 550.83.002.56

***В.И. Чепурной**, зав. лабораторией,
С.И. Ляш, старший научный сотрудник,
С.И. Корнишик, младший научный сотрудник,
Научно-исследовательский горнорудный институт ГВУЗ «КНУ»*

АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГАММА-ГАММА МЕТОДА В ЦЕПИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРОДУКЦИИ ДРОБИЛЬНО-СОРТИРОВОЧНЫХ ФАБРИК ШАХТ КРИВБАССА

Применение гамма-гамма метода дает возможность получить экспресс-информацию о качестве железорудной продукции дробильно-сортировочных фабрик шахт Кривбасса в течение короткого промежутка времени (1-2 минуты), что позволяет создать информативно-регулирующие локальные системы для всего технологического процесса переработки добытого железорудного сырья.

Ключевые слова: качество железорудной продукции, гамма-гамма метод, железорудное сырье, технологический контроль.

Застосування гама-гама методу дає можливість отримати експрес-інформацію про якість залізорудної продукції дробарно-сортувальних фабрик шахт Кривбасу протягом короткого проміжку часу (1-2 хвилини), що дозволяє створити інформативно-регулюючі локальні системи для всього технологічного процесу переробки видобутої залізорудної сировини.

Ключові слова: якість залізорудної продукції, гама-гама метод, залізорудна сировина, технологічний контроль.

Use of gamma-gamma method allows obtain express information about the quality of iron ore products to crushing and screening factory (CSF) Krivbass mines for a short time (1-2 minutes), which enables to create informative regulatory local system for the entire technological process recycling of mined iron ore.

Key words: quality of iron ore products, gamma-gamma method, iron ore, technological control.

Актуальность работы. Для потребителей железорудной продукции шахт Кривбасса наиболее существенное значение имеют два признака отражающих качество продукции – абсолютная величина показателя качества и стабильность его во времени. Улучшение качества железорудного сырья на стадии рудоподготовки связано с увеличением затрат на добычу и переработку железорудного сырья.

Стабилизация качества железорудной продукции достигается рациональным технологическим процессом переработки железорудного сырья. Данное положение оказывает также влияние и на экономику шахтного производства: уменьшение средних квадратических отклонений качества с 1% до 0,5% снижает затраты производства от 1,60 до 1,90 грн. на тонну железорудной продукции.

Для повышения содержания железа в товарной руде до 55-58 и более масс.% на всех шахтах Кривбасса построены дробильно-сортировочные фабрики (ДСФ). Методом трехстадийного дробления и грохочения производится разделение менее прочных частиц богатых руд и более прочных, более устойчивых к механическим воздействиям частиц большого количества маложелезистых горных пород. Полезным конечным продуктом обогащения является товарная агломерационная руда с общим содержанием железа 66-60 мас.% [1].

В процессе переработки железорудного сырья действует система технологического контроля, в составе которой имеются отдел технологического контроля, подразделение, выполняющее анализ химического состава и служба контрольно-измерительной техники.

Проблема оперативного контроля качества железорудного сырья остается актуальной для шахт Кривбасса. Особое место в ее решении занимают методы ядерно-физического анализа, позволяющие оперативно, с

достаточной точностью осуществлять контроль содержания полезного компонента в железорудном сырье и продукции [2-4].

Повышение требований к качеству железорудной продукции шахт Кривбасса определяет необходимость улучшения системы технологического контроля качественных показателей.

Изложение основного материала и результаты. Для оперативной оценки содержания железа в окисленных рудах широко применяется гамма-гамма метод (ГГМ). На железорудных шахтах Кривбасса он наиболее распространен при контроле качества железорудного сырья на различных стадиях его переработки.

Использование ГГМ было предложено Г.М. Воскобойниковым и М.М. Соколовым. Промышленное использование его на шахтах Кривбасса начато в 1967 г. В основе методик и аппаратуры для реализации метода лежат разработки сотрудников ВИРГ, НИГРИ, КТУ, ВЮГЕМ.

Принцип работы аппаратуры ГГМ следующий: гамма-кванты, излучаемые радиоизотопными источниками, попадают на продукт рудоразработки, отражаясь от поверхности, попадают в сцинтилляционный детектор. Гамма-кванты вызывают в сцинтилляционном детекторе вспышки света. Световые сигналы, возникающие в детекторе под воздействием гамма-излучения, преобразуются фотоумножителем в электрические импульсы и по соединительному кабелю поступают в панель управления, где усиливаются и нормализуются по амплитуде и длительности. Скорость счета нормализованных импульсов определяется интенсиметром. В качестве источника гамма-излучения используется, как правило, закрытые радиоизотопные источники с энергией гамма-квантов от десятков до 200 кэВ. В этом диапазоне энергий преобладают, в основном, два процесса: комптоновское рассеяние гамма-квантов на электронах и фотоэлектрическое поглощение их атомами вещества.

Необходимо отметить, что объективно существует ограничение повышения точности контроля ГГМ. Оно обусловлено реальной погрешностью используемого метода измерения технологических показателей. Увеличение числа измерений определения показателей создает лишь кажущееся повышение точности. В известной формуле для оценки действительного среднего значения показателя увеличение количества показаний не может привести к получению бесконечно малой величины погрешности:

$$\Delta = \frac{K \cdot \varepsilon_x}{\sqrt{n}}$$
$$X = X_{\phi} \pm \Delta \quad (1)$$

где K – критерий Стьюдента;

ε_x – среднее квадратичное отклонение показателя x ;

$X_{\text{ф}}$ – фактическая средняя величина.

Согласно некоторым приближениям в случае точечного источника в гомогенной бесконечной среде зависимость общего потока гамма-квантов (однократно и многократно рассеянных) выражается полуэмпирической формулой [3]

$$N = kQ_o \frac{\rho}{R} e^{-\bar{\mu}\rho R},$$

где k – константа;

Q_o – активность источника гамма-квантов;

ρ – плотность вещества;

R – расстояние от детектора до источника;

$\bar{\mu}$ – линейный коэффициент ослабления.

Линейный коэффициент ослабления $\bar{\mu}$ возрастает с увеличением $z_{\text{эфф}}$, величина которого имеет корреляцию с содержанием железа в руде.

С возрастанием $z_{\text{эфф}}$, убывает поток гамма-квантов, то есть между содержанием железа и потоком рассеянных гамма-квантов имеется обратная зависимость.

Зависимость от плотности среды имеет несколько иной вид, чем зависимость N от $z_{\text{эфф}}$. С увеличением плотности поток сначала растет до максимума, а потом убывает. При максимальном N значение плотности среды ρ определяется по формуле

$$\rho \cong \frac{1}{\bar{\mu}R}.$$

Расстояние R , при котором наблюдается максимум, для данной плотности железорудного сырья, называется точкой инверсии R_o .

Зонд, который имеет длину $R < R_o$ называется доинверсионным, при $R > R_o$ зонд называют заинверсионным.

Благодаря применению комбинированных двойных зондовых систем из инверсионного и заинверсионного зондов удалось решить частично проблему влияния плотности исследуемой пробы на определение содержания железа в ней.

Как показывают экспериментальные исследования, применение комбинированных зондов позволяет в определенном диапазоне изменения плотности ($0,5 \div 1 \text{ т/м}^3$) исключить влияние среды и других мешающих факторов [2].

Для исследования влияния гранулометрического состава на плотность материала пробы введем понятие относительной плотности

$$\rho' = \frac{\rho_m}{\rho_b},$$

где ρ' – относительная плотность вещества;

ρ_m – истинная плотность материала;

ρ_b – плотность материала, заполняющего поры (воздух, вода и т.д.).

Величина относительной плотности зависит от пористости материала и формы порового пространства. Для идеального материала образованными сферическими зёрнами относительная плотность равна

$$\rho' = \frac{3 - Kn}{2Kn},$$

где $Kn = \frac{\text{объем} \cdot \text{пор}}{\text{объем} \cdot \text{материала}} 100\%$ – коэффициент крепости

Для частиц имеющих кубическую форму

$$\rho' = \frac{1}{1 - (1 - Kn)^{2/3}}.$$

Если материал образуется частицами различных размеров, зависимость между относительной плотностью и пористостью определяется из выражения

$$\rho' = -\frac{2 + v_0}{2(1 - v_0)} = \frac{Kn}{(1 - v_0)},$$

где V_0 – коэффициент заполнения порового пространства, оставшегося после заполнения его более крупными фракциями.

В наиболее общем случае эмпирическая зависимость между относительной плотностью среды и пористостью выражается формулой

$$\rho' = \frac{\alpha}{K_n^{\epsilon}},$$

где α и ϵ – постоянные коэффициенты, зависящие от состава материала и структуры порового пространства.

В настоящей работе использовали эталонирование приборов ГГМ на рабочих эталонах. Для эталонирования приборов использовали насыпные модели-эталон. Руда для насыпных эталонов выбиралась из тех фракций, которые необходимы для контроля продуктов рудоразборки. Толщина слоя в эталонных пробах определялась с учетом изменений плотности исследуемой среды: для фракций – 10 мм -20 см; +10-25 мм – 30 см; +25-50 мм – 50 см.

Для измерения содержания железа в продуктах рудоразборки была использована следующая схема опробования: сначала определялось содержание железа во фракции -100мм и +100мм, а затем после отсева – во фракциях -10 мм, +10-25 мм, +25-50 мм. Измерения проводились в ящиках, для чего насыпался необходимый слой руды. На одной пробе проводилось не менее 20 замеров.

Определение содержания железа сводилось к пересчету с помощью эталонировочных графиков величин скорости счета в величины содержаний железа. Результаты замеров по каждой фракции усреднялись путем вычисления среднеарифметического значения.

Точность и достоверность определений содержания железа в пробах оценивались путем сопоставления данных геофизического опробования методом ГГМ с результатами традиционного геологического опробования.

При таких сопоставлениях результаты геологических методов опробования, основанные на химических анализах отбираемых проб, принимались за истинные.

Геофизические методы опробования по отношению к геологическим являются совмещенными или сопряженными. При плохом усреднении материала пробы, что наблюдается при крупных фракциях материала, расхождения между данными геологического и геофизического опробования закономерны и неизбежны.

В процессе исследований определялось среднее случайное расхождение данных геологического метода исследований и сопряженных данных геофизического опробования, которое рассчитывалось по формулам:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} ,$$
$$V_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})^2}{\bar{X}}} \cdot 100\% ,$$

где ε – абсолютное среднеквадратическое расхождение;

V_{ε} – относительное среднеквадратическое расхождение;

n – число проб;

X_i – содержание железа в i пробе;

\bar{X} – среднеарифметическое содержание железа в i пробе.

Вычисление ε и V_ε производится по классам крупности. Рассчитанные ε и V_ε принимаются за нормы допустимых расхождений. Оценка точности геофизического метода опробования производится путем сравнения данных вычисления ε и V_ε для геологического и геофизического методов опробования.

Неравномерность в распределении материала, состава вмещающих пород может являться источником систематических ошибок. Величина систематического расхождения по фракциям крупности определялась по формуле

$$\bar{\alpha} = \bar{X}_{\text{геол.}} - \bar{X}_{\text{геоф.}},$$

где $\bar{X}_{\text{геол.}}$, $\bar{X}_{\text{геоф.}}$ – среднеарифметические значения содержаний железа в данном классе крупности.

Статистическая значимость систематического расхождения между $\bar{X}_{\text{геол.}}$, $\bar{X}_{\text{геоф.}}$ определяется по t – критерию, который вычисляется по формуле

$$t = \frac{|\bar{\alpha}| \sqrt{n}}{\sqrt{\varepsilon_{\text{геол.}}^2 + \varepsilon_{\text{геоф.}}^2}}.$$

Систематические расхождения устраняются корректировкой эталонировочного графика.

Выводы

1. В условиях ДСФ шахт Кривбасса применение гамма-гамма метода для оценки содержания железа возможно на всех стадиях рудоподготовки железорудного сырья.

2. Для классов крупности -10мм, +10-25 мм, +25-50мм при контроле содержания железа с необходимой точностью требуется создание номинального слоя насыщения и введение поправочных коэффициентов при эталонировании геофизических приборов.

3. Применение гамма-гамма метода дает возможность получить экспресс-информацию о качестве железорудного сырья и железорудной продукции в течение короткого промежутка времени (1÷2 минут), что позволяет создать информативно-регулирующие локальные системы для всего технологического процесса переработки добытой рудной массы.

4. Вопрос обоснования контроля содержания железа для фракции крупности -10мм, +10-25 мм, +25-50мм с помощью гамма-гамма метода определяется возможностями регулирования технологического процесса переработки.

Список использованных источников

1. Е.К. Бабец, А.В. Петрухин, К.В. Николаенко, А.В. Давыдов, А.С. Батареев, В.А. Гурин. Получение товарной аглоруды из надрешетного продукта дробильно-сортировочной фабрики шахты им. Фрунзе с применением селективного разрушения минеральных компонентов руды. Збірник наукових праць Науково-дослідного гірничорудного інституту ДВНЗ «КНУ» №54, Кривий Ріг, 2013. – С.181-195.

2. Методическое руководство по опробованию железных руд Кривбасса и КМА гамма-гамма методом аппаратурой РСР. – Белгород: ВИОГЕМ, 1975. – 49 с.

3. Гамма методы в рудной геологии. Под ред. А.П. Очкура. – Л.: Недра, 1976. – 407 с.

4. Л.С. Зажигаев, А.А. Кишьян, Ю.И. Романиков. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента. – М.: Атомиздат, 1978. – 232 с.

Рукопись поступила 07.08.2015

УДК 622.25:622.235

*Є.К.Бабець, канд.техн.наук, с.н.с, член-кореспондент АГНУ, директор
С.І.Ляш, старший науковий співробітник,
В.І.Чепурний, зав. лабораторією,
Науково-дослідний гірничорудний інститут ДВНЗ «КНУ»*

**ВДОСКОНАЛЕННЯ ВІДБІЙКИ ПОРОДНОГО МАСИВУ
ПРИ ПРОВЕДЕННІ ТУПИКОВІХ ПІДНЯТКОВІХ ВИРОБОК
ВИСОТОЮ 12-15 МЕТРІВ**

Запропонований варіант буропідричних робіт дозволяє вдосконалити відбійку породного масиву в межах проектного контуру тупикової підняткової виробки висотою 12-15 метрів.

Ключові слова: тупикова підняткова виробка, породний масив, відбійка, свердловинний заряд ВР, компенсаційна порожнина, компенсаційний простір.