

А.А. АЗАРЯН д-р техн. наук,

В.А. АЗАРЯН, А.А. ТРАЧУК, кандидати техн. наук

(Украина, Кривой Рог, Государственное ВУЗ "Криворожский национальный университет")

МЕТОДЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОБОГАЩЕНИЯ РУД ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ

Предварительное обогащение руд черных металлов практически выполняет функцию селективной выборки и включает систему оперативного контроля и управления качеством минерального сырья с использованием специальных физических методов.

Для этой цели применяются геофизические, радиометрические, фотометрические, радиорезонансные, гравитационные, магнитометрические, и другие методы. Кроме того, на шахтах Кривбасса для повышения качества железорудного сырья практикуется метод, основанный на классификации горной массы по крупности, в основе которого лежат различные коэффициенты крепости бедных и богатых руд. Однако данный метод энергоемкий и приводит к повышенному износу футеровки и оборудования.

Применение магнитометрических методов оправдано в тех случаях, когда магнитная восприимчивость горной массы достаточно велика и не требуется создание искусственных сильных магнитных полей. Данный метод целесообразнее использовать для обогащения промпродукта или же "хвостов".

Радиометрические методы предобогащения минерального сырья охватывают широкий спектр способов с использованием естественной и наведенной радиоактивности с применением нейтронно-активационных методов.

Радиометрические методы называют также методами электронной автоматической сортировки. Они применяются как в качестве самостоятельной операции обогащения, так и в сочетании с другими методами, обеспечивая более высокую эффективность переработки минерального сырья.

Основными их преимуществами являются:

- высокая оперативность и точность определения содержания полезного компонента в минеральном сырье;
- возможность выделения и "отсечки" в отвал некондиционной горной массы или же богатых рудных кусков в начале технологических схем обогащения. Следует отметить, что при этом значительно сокращаются как транспортные расходы, так и энергозатраты.

Как известно, для оперативного контроля и управления качеством минерального сырья используется, в основном, содержание полезного компонента, интенсивность изменения массовой доли полезного компонента и объем горной массы [1]. Очевидно, что только при наличии системы оперативного контроля и управления качеством минерального сырья можно обеспечить эффективное обогащение. При этом, каждая операция управления качеством руд со-

Підготовчі процеси збагачення

стоит из двух основных этапов: первый – оперативный контроль и определение массовой доли полезного компонента в каждом куске пробы, или же партии руды; второй – применение к ней управляющего воздействия.

Управляющие воздействия могут быть двух видов: разделение, которое направлено на изменение абсолютного значения массовой доли полезного компонента и объединение (усреднение), которое призвано уменьшить диапазон изменчивости массовой доли полезного компонента [1].

К процессу разделения можно отнести физические методы сепарации. Эти методы называются информационными, так как для разделения минерального сырья на продукты обогащения используется информация, полученная в результате взаимодействия фотометрических и ядернофизических полей и других полей с горными породами.

Теория опробования полезных ископаемых, как и теория любого процесса, определяет выбор комплекса условий, обеспечивающих научно обоснованный путь достижения поставленной цели.

Если же оценивается эффективность использования управлением качеством руд, то, очевидно, что основными характеристиками руд являются качество и выход товарной руды и хвостов.

В Криворожском национальном университете разработаны, изготовлены и испытаны на всех рудах подземной добычи Кривбасса несколько разновидностей радиометрических сепараторов.

Качество концентрата при этом составило: массовая доля железа 56,0-63,8%; кремнезема – от 19,0 до 6,4 процента, соответственно.

Прирост массовой доли железа составил от 5,2 до 12,2% при извлечении железа в концентрат 75-90%.

В таблице 1 приведены результаты обогащения железной руды шахтной добычи Кривбасса [1].

Таблица 1

Рудоуправления	Исходная руда			Концентрат				Хвосты	Извлечение Fe в концентрат, %
	Вес пробы, т	Содержание Fe, %	Содержание SiO ₂ , %	Выход, %	Содержание Fe, %	Содержание SiO ₂ , %	Выход, %	Содержание Fe, %	
им. Дзержинского	241,3	52,05	17,10	75,4	60,1	7,4	24,6	27,8	86,9
им. Коминтерна	14,1	49,40	25,10	67,8	61,6	10,3	32,2	25,8	86,2
им. Кирова	23,5	53,00	16,80	77,3	62,0	7,5	22,7	24,8	90,0
им. Р. Люксембург	21,7	57,80	15,70	67,8	63,8	6,4	32,2	39,5	75,0
им. XX партсъезда	11,6	48,20	27,75	58,7	58,0	19,0	31,3	32,0	83,0
им. Орджоникидзе	12,6	50,80	21,10	78,0	56,0	17,0	22,0	28,0	86,0

Підготовчі процеси збагачення

Заслуживают внимания результаты испытаний по обогащению бедной кусковой руды на сепараторе РАС-2, который был смонтирован на ДСФ шахты №2 им. Артема. В зависимости от режима настройки выделяли мартеновскую руду или же породу (табл. 2).

Таблица 2

Исходная руда		Концентрат			Хвосты		Извлечение Fe в кон- центрат, %
Содержа- ние Fe	Содержа- ние SiO ₂	Вы- ход	Содержа- ние Fe	Содержа- ние SiO ₂	Вы- ход	Содержа- ние Fe	
42,2	23,3	70,5	54,0	10,7	29,5	14,0	90,2
41,7	35,7	34,0	58,5	8,5	66,0	33,0	47,7

При обогащении кусковой части руды, рассеянной на классы крупности 20-50, 50-100 и 100-300 мм, был получен кусковый концентрат с содержанием железа 54-58%.

Результаты расчетов свидетельствуют о целесообразности использовании радиометрических сепараторов на рудниках Кривбасса.

Следует отметить, что выделение и реализация богатой составляющей из кусковой части железорудного сырья позволит существенно сократить, или же исключить полностью затраты на мелкое дробление.

Кроме сортировки и предобогащения исходной руды, радиометрические сепараторы могут быть использованы для переработки разубоженной горной массы.

Известно, что с целью повышения качества аглоруды на ДСФ шахт Кривбасса организовано выделение бедной кусковой части из руды подземной добычи, которая на большинстве предприятий складировается (табл. 3).

Таблица 3

Шахты	Выход кусо- вой части, %	Заскладировано, тыс. т	Содержание Fe, %	Место складирования
им. Ленина	30,8	3038	40-43	Напольный склад
Гвардейская	30,8	1210	41-43	Напольный склад
Октябрьская	3,7	42	39-42	Напольный склад
Родина	25	465	39-43	ш. Комсомольская
им. Фрунзе	14,0	–	38-40	В зоне обрушения
Юбилейная	14,0	–	38-40	В зоне обруш.
им. Артема-1	–	12	38-40	Напольный склад
им. Артема-2	–	3	36-38	Напольный склад
Северная	–	50	38-40	В зоне обруш.
Итого		4820		

Условия для отгрузки кусковой части руды имеются только на шахтах им Ленина и Гвардейская.

Дообогащение куска, крупностью 10-100 мм, за счет его додраблывания до 0-50 мм и пересева до крупности 10 мм позволит повысить качество фракции 0-10 мм на 1-1,5%, но в связи с загруженностью действующих ДСФ и условиями складирования их периодическая работа на руде и куске невозможна.

В 1998 г. на ш. "Гвардейская" внедрена микропроцессорная система опера-

Підготовчі процеси збагачення

тивного контролю качества и веса исходной руды на конвейере. Поскольку система работает в реальном масштабе времени, то, используя оперативную информацию о качестве и весе исходной руды можно также реализовать порционную радиометрическую сортировку и формировать товарную руду с заранее заданным содержанием железа [1].

Приведенные данные свидетельствуют о целесообразности промышленного применения радиометрических методов сортировки.

Таким образом, в зависимости от конкретной задачи повышения качества железорудного сырья подземной добычи могут быть использованы радиометрические, гравитационные, либо магнитные методы обогащения руд.

Если для обогащения железорудного сырья подземной добычи эффективно использование ядернофизические методы, а для руд открытой добычи – магнитометрические, то для обогащения марганцевых руд эти методы не всегда могут работать эффективно.

В связи со схожестью физико-химических и технологических свойств окисных и карбонатных марганцевых руд, невозможно эффективное разделение смешанных руд на окисную и карбонатную составляющую традиционными ядернофизическими, радиорезонансными, гравитационными, магнитными и флотационными методами обогащения. Только фотометрический метод, учитывающий контрастность по коэффициенту диффузного рассеяния окисных и карбонатных руд, позволяет после промывки производить разделение смешанных типов марганцевых руд.

При этом в качестве информационных признаков используются как массовая доля, так и контрастность руд. В связи с этим без учета полного вещественного состава минерального сырья, т.е. без эффективного атомного номера, эти методы не могут быть полноценно использованы для разделения марганцевых руд на продукты обогащения

Исследованиями установлено, что на точность сортировки и оперативного контроля качества марганцевых руд, наибольшее влияния оказывают [1-3]:

- геометрические параметры датчика, источника гамма-излучения, защитных контейнеров, углы падения и регистрации гамма-излучения, расстояние между источником-датчиком, датчиком и поверхностью контролируемой горной массы;
- интенсивность первичного гамма-излучения;
- массовая доля марганца и диапазон изменения ее в контролируемой среде;
- полный вещественный состав или же эффективный атомный номер контролируемой среды;
- гранулометрический и минеральный состав, а также влажность горной массы.

При облучении поверхности горной массы источником гамма-излучения необходимо добиваться максимальной интенсивности рассеянного излучения, которая достигается при угле рассеивания 90° .

Геометрические условия измерений должны отвечать следующим основным требованиям [4]:

Підготовчі процеси збагачення

- обеспечивать минимальные потери рассеянного излучения при максимальной контрастности сигнала и возможно меньшей активности источника первичного излучения;
- обеспечивать независимость значения полезного сигнала от изменения расстояния между датчиком и исследуемой поверхностью;
- обеспечивать возможность оптимизации угла падения первичного излучения на исследуемое вещество и расстояние между источником и детектором при минимальных потерях рассеянного гамма-излучения.

На рис. 1 приведена зависимость интенсивности рассеянного гамма-излучения от массовой доли марганца, которая описывается уравнением вида:

$$N = -0,0816q^3 + 8,8918q^2 - 377,77q + 9749,3$$

Надежность аппроксимации при этом составляет $R^2=0,97$.

Установлено, что для непрерывного контроля качества концентрата необходимо обеспечить следующие технические требования:

Крупность, мм	-20+3
Минимальный слой, мм	50
Расстояние между детектором гамма-излучения и поверхностью контролируемого продукта, мм	55
Массовая доля влаги, %, не более	15

Ниже, на рис. 1 приведена зависимость интенсивности интегрального потока рассеянного гамма-излучения от массовой доли марганца.

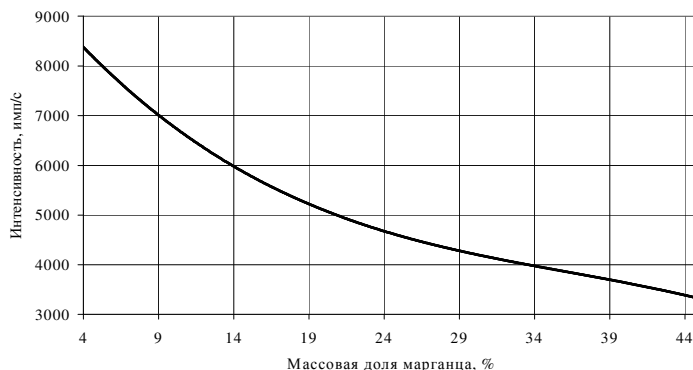


Рис. 1. Зависимость интенсивности гамма-излучения от массовой доли марганца

Технология фотометрического предварительного обогащения является эффективным методом разделения труднообогатимых смешанных марганцевых руд на окисные и карбонатные технологические типы. Успешное применение данного метода на марганцеворудных предприятиях Украины позволит уменьшить, а в будущем отказаться от дорогостоящего импортного низкофосфористого концентрата марганцевых руд.

Результаты анализа гранулометрического состава марганцевых руд пока-

Підготовчі процеси збагачення

зали, что для всего диапазона крупности минерального сырья необходимо установить несколько порогов разделения. Однако при этом усложняется как механическая, так и электронная часть сепаратора.

Наиболее целесообразным является сканирование поверхности куска в свободном падении с последующим суммированием точечных измерений, что дает возможность на одном сепараторе охватить весь диапазон крупности марганцевых руд крупностью -80+10 мм и обеспечить производительность до 50 т/ч.

При обогащении мелких классов фотометрическими сепараторами для повышения производительности применяют многоканальные устройства.

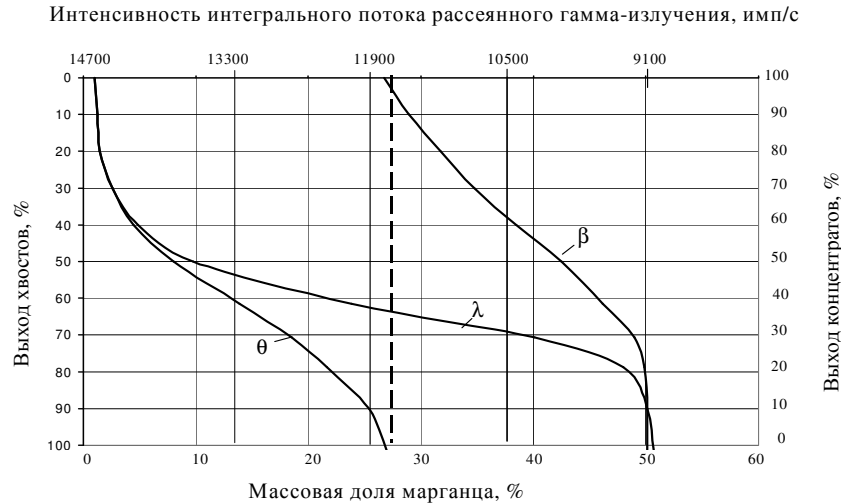


Рис. 2. Кривые обогатимости радиометрического сепаратора

На рис. 2 и 3 приведены кривые обогатимости и производительности фотометрического сепаратора в зависимости от коэффициента диффузионного рассеяния и крупности кусков соответственно.

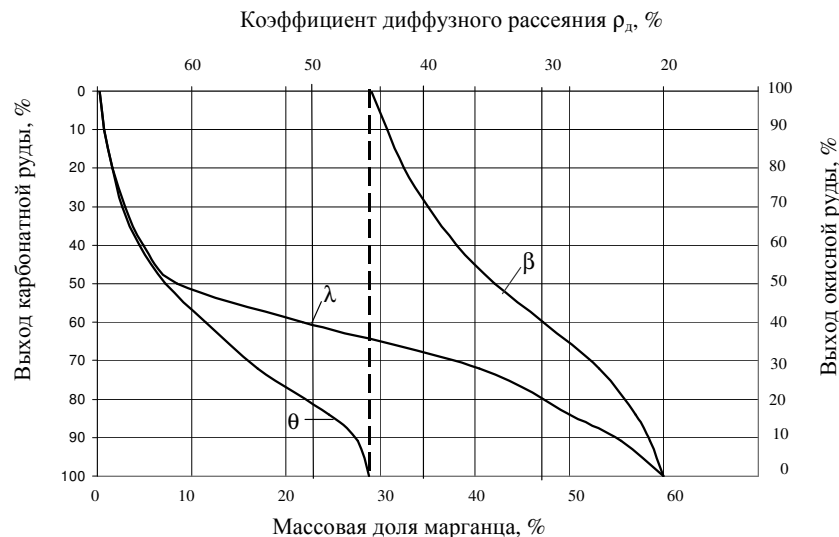


Рис. 3. Кривые обогатимости фотометрического сепаратора

Підготовчі процеси збагачення

В Проблемно-отраслевой научно-исследовательской лаборатории были проведены испытания фотометрического сепаратора на пробах смешанных марганцевых руд Таврического и Орджоникидзевского ГОКов. Результаты сортировки приведены в табл. 4.

Результаты сортировки смешанных марганцевых руд Орджоникидзевского ГОКа

Таблица 4

№ п/п	Вес пробы, кг	Массовая доля Mn, %	Продукты обогащения			
			Окисные		Карбонатные	
			Mn, %	Выход, %	Mn, %	Выход, %
1	191,0	22,63	44,1	25,5	14,93	74,5
2	184,0	22,75	42,3	27,7	15,26	72,3
3	207,0	23,72	47,5	25,3	15,6	74,7

Из табл. 4 видно, что из смешанной марганцевой руды со средней массовой долей марганца 23% можно получить концентрат с массовой долей 45%. При этом после фотометрического разделения смешанных руд карбонатные руды направляются на вход радиометрического сепаратора, а окисные – на вход отсадочной машины.

Предварительное испытание фотометрического сепаратора и анализ полученных результатов показали, что для успешного разделения смешанных марганцевых руд достаточно примерно 10% отличие в их отражательных свойствах.

Методика формирования комплексной технологии обогащения окисных, карбонатных и смешанных марганцевых руд с использованием гамма-гамма и фотометрических методов должна рассматриваться отдельно для каждого месторождения с учетом особенностей физико-химических, физико-механических и геолого-минералогических свойств минерального сырья.

Выводы

1. В зависимости от конкретной задачи повышения качества железорудного сырья подземной добычи могут быть использованы радиометрические, гравитационные, либо магнитные методы обогащения руд.

2. Для предварительного обогащения железорудного сырья подземной добычи эффективно использование ядернофизических методов, а для руд открытой добычи – магнитометрические.

3. Испытание фотометрического сепаратора и анализ результатов показали, что для успешного разделения смешанных марганцевых руд достаточно примерно 10% отличие в их отражательных свойствах.

Список литературы

1. Качество минерального сырья / А.А. Азарян, В.А. Колосов, Л.А. Ломовцев, и др. – Кривой Рог: Минерал, 2001. – 203 с.

2. Бызов В.Ф., Азарян А.А. Управление качеством минерального сырья // Качество минерального сырья: Сб. науч. тр. – Кривой Рог, 1999. – С. 10-27.

Підготовчі процеси збагачення

3. Азарян В.А., Трачук А.А. Исследование влияния массовой доли марганца и расстояния между детектором и поверхностью рассеивателя на интенсивности рассеянного гамма-излучения. // Разработка рудных месторождений. – 1998. – № 67. – С. 87-89.

4. Азарян В.А. Технология предварительного обогащения марганцевых руд: Дисс. ... канд. техн. наук. – Кривой Рог: КТУ, 2009. – 190 с.

5. Близнюк Г.И., Большаков А.Ю. Способ рудоподготовки с использованием данных ядернофизического опробования // Обогащение руд. – 1979. – № 5. – С. 10-11.

6. Применение радиометрической сепарации для повышения эффективности обогащения окисно-карбонатных марганцевых руд / В.А. Мокроусов, Э.Г. Литвинцев, К.И. Тищенко и др. // Горный журнал. – 1976. – № 11. – С. 58-61.

© Азарян А.А., Азарян В.А., Трачук А.А., 2014

*Надійшла до редколегії 12.02.2014 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. Т.А. Олійник*