

УДК 622.725 : 543.52

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ И ПРОБЛЕМЫ РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

А. С. КОБЗЕВ (ИЕЕС (группа IMC Montan))*

В статье представлен обзор технологии предварительного обогащения минерального сырья радиометрическими методами. Даны определения основных направлений радиометрического обогащения, изложен принцип работы оборудования. Кратко рассмотрена история развития радиометрических методов сепарации. Приведены результаты применения радиометрических методов обогащения при решении различных технологических задач. Определены основные проблемы развития радиометрического обогащения в России.

Ключевые слова: предварительное обогащение, радиометрические методы обогащения, радиометрическая сепарация, крупнопорционная сортировка, управление качеством сырья.

Современными тенденциями в горнодобывающем секторе являются ухудшение качества и истощение богатых запасов минерального сырья, а также необходимость применения высокопроизводительного оборудования и валовых систем разработок на стадии добычи, что приводит к значительному разубоживанию руд. Данные проблемы ставят перед горнодобывающими предприятиями задачу применения новых технологий переработки полезных ископаемых, так как традиционные обогатительные процессы не всегда позволяют извлекать ценные компоненты с приемлемыми технико-экономическими показателями.

Перспективным направлением переработки минерального сырья является применение технологий предварительного обогащения, которые уже на стадии крупного или среднего дробления позволяют вывести из процессов обогащения материал с отвальным содержанием полезного компонента.

Наиболее универсальными среди методов предварительного обогащения являются радиометрические, которые основаны на взаимодействии различных видов излучений (видимый свет, электромагнитные волны, рентгеновское излучение и т. д.) с веществом.

Универсальность методов радиометрического обогащения заключается в том, что они опробованы и успешно применяются при переработке практически всех видов твердого минерального сырья, промышленных и бытовых отходов, а также сельскохозяйственных культур.

В технологии радиометрического обогащения выделяются две группы процессов — сепарация и сортировка.

Радиометрическая сортировка — процесс, при котором из добытой горной массы выделяются различные по содержанию ценного компонента (или вредных примесей) сорта руды и пустая порода. При этом, объектом анализа и разделения является материал, находящийся на ленте транспортера либо в

транспортных емкостях (кузов самосвала, вагонетка, ковш погрузчика), в связи с чем данная технология также называется порционной сортировкой.

В целом, порционная сортировка является не столько обогатительным процессом, сколько методом управления качеством сырья, направляемого на дальнейший передел. Применение данной операции позволяет удалить до 5–7 % породы, что частично или полностью компенсирует разубоживание горной массы при добыче.

При радиометрической сепарации используется неравномерность распределения ценного компонента в отдельных кусках материала, которые являются объектами анализа и разделения. К достоинствам радиометрических методов сепарации следует отнести: возможность обогащения материала широкого диапазона крупности (от 300 до 1 мм и менее), высокую селективность, низкие эксплуатационные расходы, а также безопасность для окружающей среды.

В целом, процесс сепарации выглядит следующим образом (рис. 1).

Подготовленный материал подается в зону возбуждения, далее регистрируется сигнал, который поступает на блок анализа данных. При превышении сигналом заданного граничного значения блок ана-

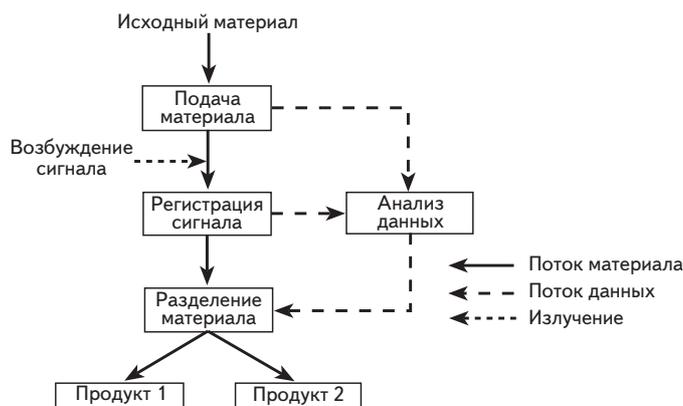


Рис. 1. Принципиальная схема работы радиометрических сепараторов

* Кобзев Алексей Сергеевич — главный специалист по переработке минерального сырья, канд. техн. наук.

лиза подает сигнал на исполнительный механизм, который разделяет материал на два и более потока.

Краткая характеристика методов сепарации и задач, которые они позволяют решать, приведена в таблице. Отметим, что указанные технологические задачи наиболее часто встречающиеся и не учитывают некоторых специфических целей сепарации, что будет рассмотрено ниже на примере обогатительной фабрики «Палабора».

Краткая характеристика методов радиометрической сепарации и области применения

Метод	Свойства сырья, используемые для разделения	Сырье	Технологические задачи
Авторадиометрический	Естественная радиоактивность	Урановые руды, руды редких металлов	Предварительное обогащение. Разделение руды по технологическим сортам
Фотометрический	Оптические свойства	Большинство видов твердого минерального сырья при наличии оптической контрастности	Предварительное обогащение. Разделение руды по технологическим типам и сортам. Получение товарного продукта
Рентгено-радиометрический	Характеристическое излучение, возбуждаемое рентгеновскими лучами	Большинство видов твердого минерального сырья	То же
Рентгено-абсорбционный	Поглощение рентгеновского излучения	То же	— « —
Рентгенолюминесцентный	Люминесцентное свечение	Флюорит, шеелит, алмазы	Предварительное обогащение
Ближнеинфракрасный	Отражение ближнеинфракрасного излучения	Нерудное сырье (тапк, гипс, кальциты)	Предварительное обогащение. Разделение руды по технологическим типам и сортам. Получение товарного продукта
Инфракрасный	Теплоемкость	Руды черных металлов	То же
Резонансные	Электропроводные и магнитные свойства	Медно-никелевые руды. Руды со значительной долей сульфидов	— « —

До сих пор не существует единого мнения о том, кому принадлежит идея радиометрического обогащения минерального сырья. По мнению зарубежных исследователей, еще в 1898 году для отделения картофеля от грунта был разработан аппарат «Carbo-score», принцип действия которого был основан на различии в поглощении рентгеновского излучения (рентгеноабсорбционный метод). В 1960-х годах данный аппарат был адаптирован для отделения угля от вмещающей породы. В 1931 году американской компанией ESM был разработан фотометрический сепаратор для разделения бобов по цвету, а в 1953 году Национальной угольной ассоциацией Англии был разработан фотометрический сепаратор для сортировки угля [1, 2].

Отечественные исследователи придерживаются мнения, что идея сепарации минерального сырья принадлежит М. Е. Богословскому, который в 1939 году предложил рентгенолюминесцентный и

гамма-абсорбционные методы для извлечения алмазов [3].

Первое промышленное применение радиометрической сепарации датируется 1947 годом, когда на руднике «Порт Радиуми» (Канада) был испытан авторадометрический сепаратор для предварительного обогащения урановых руд [1].

Методы радиометрической сепарации развиваются с высокой динамикой. Как показало исследование, выполненное по заказу Американского химического совета (American Chemistry Council), если на рынке переработки отходов пластмасс в 2006 году было отмечено лишь восемь производителей подобного оборудования, которые выпускали 23 различные модели сепараторов, то в 2010 году количество производителей составило 18, а число выпускаемых моделей возросло до 52 [4].

Расширяется также перечень свойств минерального сырья, используемых для радиометрической сепарации. Если до 1990-х годов в промышленных условиях были опробованы лишь авторадометрический, рентгено-радиометрический (рентгенофлюоресцентный), рентгенолюминесцентный и фотометрический методы сепарации, то в настоящее время освоено выпуск оборудования для резонансного, ближнеинфракрасного, инфракрасного и рентгеноабсорбционного методов, которое еще 15 лет назад было представлены только в виде лабораторных макетов.

Характерной особенностью развития радиометрических методов является увеличение их производительности и селективности, что обусловлено улучшением качества и удешевлением детекторов и вычислительных машин.

Радиометрические методы обогащения позволяют решать несколько технологических задач, наиболее распространенной из которых является удаление отвальных хвостов. В рамках данной задачи из крупно- либо среднедробленого материала удаляется пустая порода с отвальным содержанием полезного компонента, что снижает удельные затраты на последующие операции переработки и в конечном результате себестоимость товарной продукции. Схожей технологической задачей является повышение качества сырья, направляемого на последующую переработку. При этом из материала с забалансовым содержанием полезного компонента извлекается часть сырья, переработка которого экономически целесообразна. Решение указанных технологических задач возможно для большинства видов минерального сырья.

Задача разделения руды на технологические сорта позволяет получить продукты, переработка которых эффективна по различным последующим техно-

логическим схемам. Применение данной технологии целесообразно при обработке месторождений, где руды представлены несколькими типами, например окисленные и сульфидные золотосодержащие либо медные руды, мало- и высокофосфористые марганцевые руды.

При переработке руд черных металлов, например марганца и хрома, угля и нерудного сырья (тальк, гипс, кальциты) также возможно получение крупнокускового концентрата либо товарной продукции без применения традиционных схем «мокрого» обогащения.

Необходимо отметить, что если раньше процессы радиометрического обогащения было принято считать технологической операцией на стыке добычного и обогатительного переделов, то в настоящее время рассматриваются варианты применения данного цикла как составной части процессов обогащения. В качестве примера можно привести испытания комбинированного резонансно-фотометрического метода сепарации на месторождении полиметаллических руд Палабора [5].

Действующая схема рудоподготовки (рис. 2) включает дробление материала в гирационной дробилке до крупности – 300 мм и измельчение руды в мельнице самоизмельчения. Измельченный материал направляется на грохочение, где выделяется материал критической крупности, который возвращается в питание мельницы. Значительную долю в циркулирующей нагрузке мельницы составляют диабазы с отвальным содержанием полезного компонента.

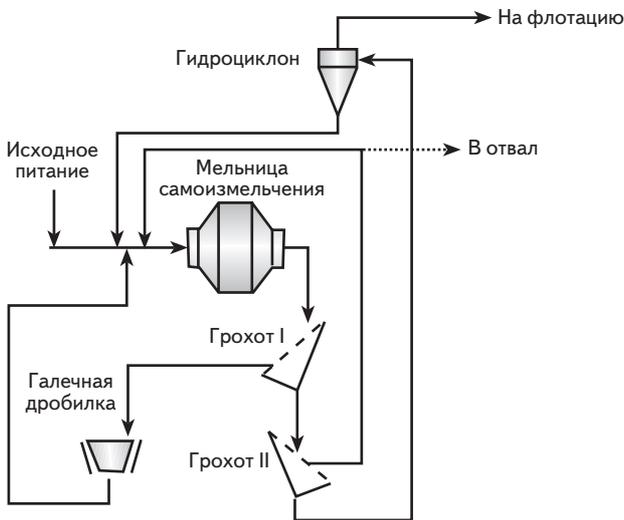


Рис. 2. Действующая схема рудоподготовки на фабрике «Палабора»

Для решения указанной проблемы после проведения промышленных испытаний была предложена схема (рис. 3), включающая грохочение критического класса крупности с выделением материала + 15 мм и его сепарацию с выделением диабазов. Было установлено, что данная операция позволит увеличить производительность мельницы с 500 до 800 т/ч.

Необходимо отметить эффект, который дает применение радиометрических методов сепарации.

Применение данной технологии позволяет увеличить производительность фабрики по сырой руде с

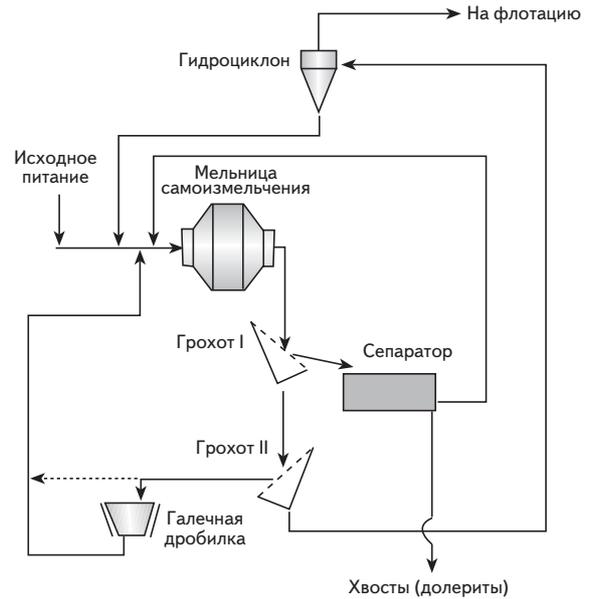


Рис. 3. Перспективная схема рудоподготовки на фабрике «Палабора»

сохранением объемов и повышением качества материала, направляемого на последующие переделы, что в конечном счете дает возможность увеличения выхода конечной продукции без наращивания производственных мощностей. При этом стабилизируется качество сырья, поступающего на обогатительный передел, что положительно сказывается на технологических показателях.

При радиометрических методах сепарации выделяются сухие крупнокусковые хвосты, не требующие возведения хвостохранилищ, что сокращает отчуждаемые площади и снижает капитальные затраты на гидротехнические сооружения.

Выделение отвальных хвостов в первых циклах переработки снижает общие эксплуатационные расходы за счет уменьшения потребления электроэнергии, материалов и реагентов в последующих переделах.

При обработке месторождений либо отдельных участков, удаленных от обогатительной фабрики, выделение отвальных хвостов вблизи места добычи сокращает объем материала, требующий транспортировки.

Кроме того, предварительная концентрация позволяет вовлекать в переработку руды, которые ранее считались забалансовыми, так как обогащение традиционными методами было экономически нецелесообразным.

Подтверждением тому может служить золоторудное месторождение Кокпатас (Навоийский горно-металлургический комбинат, Узбекистан) где реализована комбинированная схема предварительного обогащения — крупнопорционная сортировка и кусковая сепарация.

Сначала отбитая горная масса в самосвалах проходит через рудоконтролирующую станцию (РКС), где из руды контура балансовых запасов выделяется материал с отвальным содержанием золота, выход которого составляет около 20 %. Из забалансовой руды извлекается материал с кондиционным содержанием

золота, выход которого составляет около 50 % от данного типа руды. Товарная руда РКС направляется на грохочение, где выделяются классы крупности, пригодные для рентгенорадиометрической сепарации (около 55 %). Материал, непригодный для сепарации, направляется на гидрометаллургический передел. В результате сепарации из «машинных» классов выделяется около 50 % отвальных хвостов с потерями золота около 12 %. Применение комбинированной технологии радиометрического обогащения позволило существенно увеличить срок эксплуатации месторождения за счет вовлечения в переработку забалансовых руд, а также дополнительно получить 17 % товарной продукции [6]. Аналогичные комбинированные схемы радиометрического обогащения применяются на уранодобывающих предприятиях России и Украины [7, 8].

Однако, рассматривая вопросы технологии радиометрического обогащения, необходимо отметить и проблемы, которые во многом актуальны для России. По опыту сотрудников IMC Montan, таковыми являются:

- плохая информированность специалистов горных предприятий о возможностях радиометрических технологий;
- слабое методическое сопровождение выполняемых работ при проведении испытаний;
- отсутствие компаний, проводящих полный цикл исследований и испытаний.

Плохая информированность специалистов горных предприятий во многом обусловлена тем, что в учебных программах отечественных вузов по специальности «Технология минерального сырья» методы радиометрического обогащения рассматриваются лишь как составная часть курса «Специальные методы обогащения».

Между тем, в Рейн-Вестфальском технологическом университете (Германия, г. Аахен) на постоянной основе производится обучение студентов по направлению «радиометрическая сепарация» со специализациями «переработка отходов — рециклинг» и «переработка минерального сырья».

Следующей проблемой, которая косвенно связана с первой, является несоблюдение большинством исследователей, которые зачастую являются и поставщиками оборудования, методических рекомендаций ИСОМТИ и РосГео и требований ГКЗ. В результате заказчики работ не могут объективно оценить, каким образом был получен результат, на каких свойствах материала он основан, какие имеются риски при промышленном применении данной технологии и как их можно избежать. В конечном счете это отрицательно сказывается на мнении заказчиков как о радиометрическом обогащении, так и перспективах его применения.

Вместе с тем необходимо отметить, что указанные методики базируются на устаревших возможностях оборудования (например односторонний осмотр для фотометрической сепарации) и, следовательно, требуют корректировки. Распространенное мнение, что лучшей методикой проведения исследований обладает производитель оборудования, в случае радиометрической сепарации является заблуждением. Производители оборудования зачастую не готовы про-

дуть трудоемкие исследования, которые могут продолжаться от месяцев до года. При этом даже устаревшие отечественные методические рекомендации являются более совершенными по сравнению, например, с работами Университета Британской Колумбии (Канада) [9] или Эксетерского университета (Великобритания) [10, 11], в которых рассматриваются лишь вопросы оптимизации исследований и прикладные задачи сепарации. Несмотря на то, что зарубежные методические работы базируются на современном оборудовании, до настоящего времени они не достигли лаконичности, объективности и однозначности интерпретации полученных результатов отечественных методик. Также необходимо отметить, что зарубежные исследователи не занимаются процессом радиометрической порционной сортировки.

Не менее остро стоит вопрос проведения испытаний. В настоящий момент в России не существует полноценных испытательных центров, где возможно проведение укрупнено-лабораторных либо полупромышленных испытаний с использованием всех либо большинства методов сепарации. Выполнение подобных работ за границей вызывает существенные трудности, обусловленные проблемами таможенного оформления руд цветных и благородных металлов, что усугубляется требуемыми объемами материала для исследований — от десятков килограммов до тонн. Наряду с этим, организации, разрабатывающие технологические схемы переработки сырья, не рассматривают технологии радиометрического обогащения, несмотря на то, что это предписано требованиями ГКЗ РФ при утверждении кондиций. Это приводит к тому, что после проведения полного цикла исследований и испытаний традиционными методами переработки требуется повторное проведение испытаний с целью определения технико-экономических показателей при применении радиометрических методов в начале технологической схемы.

Несмотря на приведенные выше проблемы, можно надеяться, что методы радиометрического обогащения получат более широкое распространение в ближайшем будущем и займут устойчивое положение в системе управления качеством сырья.

Список литературы / References

1. Salter J. D., Wyatt N. P. G Sorting in the minerals industry: past, present and future // Minerals Engineering. 1991. Vol. 4, № 7 – 11. P. 779 – 796.
2. Wymen R. A. Selective electronic mineral sorting to 1972. Mines Branch Monograph № 878, Dept. of Energy, Mines and Resources. Ottawa, 1972. P. 65.
3. Мокроусов В. А., Лилеев В. А. Радиометрическое обогащение нерадиоактивных руд. М.: Недра, 1979. 192 с.
Mokrousov V. A., Lileev V. A. Radiometricheskoye obogashcheniye neradioaktivnykh rud (Radiometric processing of non-radioactive ores). Moscow, Nedra, 1979, 192 p.
4. Demingling the mix: An assessment of commercially available automated sorting technology. Portland: www.4RSustainability.com. April 2010.
5. Seerane K., Rech G. Investigation of sorting technology to remove hard pebbles and recover copper bearing rocks from an autogenous circuit // 6th Southern African Base Metals Conference 2011. The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2011. P. 123 – 136.

6. Санакулов К. С., Руднев С. В. Комплекс рентгенорадиометрического обогащения сульфидных руд месторождения Кокпатас // Горный вестник Узбекистана. 2010. № 1. С. 3–6.

Sanakulov K. S., Rudnev S. V. *Gornyy Vestnik Uzbekistana*, 2010, No. 1, pp. 3–6.

7. Копанев А. В., Новиков В. И., Соловий А. В. Радиометрическое оборудование для контроля технологических процессов переработки геоматериалов техногенного уранового месторождения // Геотехническая механика: сб. тр. / Институт геотехнической механики им. Н. С. Полякова НАН Украины. Днепропетровск, 2007. Вып. 73. С. 281–289.

Kopanev A. V., Novikov V. I., Soloviy A. V. *Radiometricheskoye oborudovaniye dlya kontrolya tekhnologicheskikh protsessov pererabotki geomaterialov tekhnogennogo uranovogo mestorozhdeniya* (Radiometric equipment for control of technological processes of technogenic uranium deposit geomaterials treatment). *Geotekhnicheskaya mekhanika. Sbornik*

trudov (Geotechnical mechanics. Collection of papers). Institute of geotechnical mechanics of the National Academy of Science of Ukraine. Dnepropetrovsk, 2007, Iss. 73, pp. 281–289.

8. Совершенствование технологии радиометрического обогащения руд / В. Г. Литвиненко, Р. А. Суханов, А. В. Тирский, Д. Г. Тупиков // Горн. журн. 2008. № 8. С. 54–58.

Litvinenko V. G., Sukhanov R. A., Tirskiy A. V., Tupikov D. G. *Gornyi Zhurnal — Mining Journal*, 2008, No. 8, pp. 54–58.

9. Bamber A. S. Integrated mining, pre-concentration and waste disposal systems for the increased sustainability of hard rock metal mining: Thesis for the degree of Doctor of Philosophy / University of British Columbia. Vancouver, April 2008.

10. Fitzpatrick R. The Development of a Methodology for Automated Sorting In the Minerals Industry: PhD Thesis in Earth Resources / The University of Exeter. Exeter, Sept. 2008.

11. Udoudo O. B. Modeling the efficiency of an automated sensor-based sorter: Thesis for the degree of Doctor of Philosophy / The University of Exeter. Exeter, Sept. 2010. 

TRENDS OF DEVELOPMENT AND PROBLEMS RELATED TO SENSOR-BASED MINERAL SORTING

KOBZEV ALEKSEY SERGEEVICH, Chief Specialist on Mineral Raw Materials Processing, Ph. D. in Technical Sciences (Russia).

The article presents a review of preliminary beneficiation technology of mineral raw materials – sensor-based mineral sorting. Main trends of sensor-based sorting are defined, the equipment operation principle is described. The history of development of sensor-based sorting methods is briefly reviewed. Processing tasks are presented, that may be solved by application of preliminary beneficiation technology, based on sensor-based sorting. The results of sensor-based sorting application for solution of various processing tasks are presented. An effect, achieved through introduction of these beneficiation methods in mineral raw materials beneficiation technology, is noted. Main problems of sensor-based sorting development in Russia are defined.

Key words: preliminary beneficiation, sensor-based sorting methods, sensor-based sorting, large-batch sorting, raw materials grade control.

КОНСАЛТИНГОВЫЕ УСЛУГИ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

www.imcmontan.ru

 **IMC Montan** - МЕЖДУНАРОДНАЯ
КОНСАЛТИНГОВАЯ ГРУППА

высококвалифицированные услуги горнодобывающим компаниям
в диагностике, анализе и практическом решении управленческих и
производственных задач.

Чем мы отличаемся от других компаний?

- × 20-летним опытом работы в горнодобывающей отрасли на российском рынке
- × успешной реализацией около 300 проектов
- × командой лучших экспертов в горной, геологической, экономической, финансовой и др. областях
- × работой в соответствии с международными стандартами

Просто мы
другого
масштаба!

Наше представительство в РФ

Адрес: 125047, г. Москва,
ул. Чайнова 22 стр. 4
Тел.: 8 (499) 250-67-17
Факс: 8 (499) 251-59-62
E-mail: consulting@imcgroup.ru

- × ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АУДИТ
- × ОЦЕНКА РЕСУРСОВ/ЗАПАСОВ
- × ОТЧЕТ КОМПЕТЕНТНОГО ЛИЦА
- × ИНЖЕНЕРНЫЙ КОНСАЛТИНГ
- × СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ
- × ПРОЧИЕ УСЛУГИ

Реклама