

Радиометрические методы обогащения золотосодержащих руд: задачи и актуальные проблемы

А.С. Кобзев — главный специалист по переработке минерального сырья, к.т.н., ИЕЕС (Группа IMC Montan)

Мировыми 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.

Вместе с тем, в золотодобывающей отрасли России, на фоне истощения богатых месторождений россыпного золота, отмечается увеличение доли коренного золота в структуре добычи металла.

Данные проблемы ставят перед горнодобывающими предприятиями задачу применения новых технологий переработки руды, 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 радиометрическими методами, которые уже на стадии крупного или среднего дробления позволяют вывести из процессов обогащения материал с оптимальным содержанием полезного компонента.

При радиометрической сепарации используется неравномерность рас-

пределения ценного компонента в отдельных кусках разделяемого материала. Достоинствами радиометрических методов сепарации являются: возможность обогащения материала широкого диапазона крупности (от 300 до 1 мм и менее), высокая селективность, низкие эксплуатационные затраты, 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 анализа подает сигнал на исполнительный механизм, который разделяет материал на два и более потока.

Из десятка методов радиометрической сепарации, при переработке золотосодержащих руд целесообразно применение фотометрического, рентгенорадиометрического и рентгеноабсорбционного методов сепарации.

Фотометрический метод сепарации (optical sorting) основан на разделении материала по оптическим свойствам, в частности цвету. Данный метод позволяет перерабатывать материал в диапазоне крупности от 300 до 0,5 мм. Первое промышленное внедрение фотометрической сепарации при пере-

работке золотосодержащих руд относится к 60-м годам XX века.

Рентгенорадиометрический метод (PPC, рентгенофлуоресцентный метод, XRF) основан на регистрации возбужденного рентгеновскими трубками характеристического излучения атомов определяемых элементов, входящих в состав горных пород. Аппаратура PPC для переработки минерального сырья выпускается лишь в России и в странах СНГ. Отличительной особенностью отечественных сепараторов является их низкая производительность, которая ниже в десятки раз чем у зарубежных моделей. Зарубежное оборудование предназначено для переработки вторичного сырья и не применимо для горной промышленности, однако работы по его адаптации идут. Минимальная крупность материала пригодного для PPC ограничивается 30–40 мм.

Рентгеноабсорбционный метод (PAM, XRT, рентгеновская трансмиссия) сепарации основан на различии в ослаблении потока рентгеновского излучения рудными и породными минералами. Данный метод применим для золотосодержащих руд, где золото генетически связано с сульфидами, при этом крупность зерен сульфидов более 1 мм, кроме того PAM позволяет выделять куски со скрытой рудной минерализацией. Крупность питания рентгеноабсорбционных сепараторов ограничивается диапазоном от 10 до 80 мм. В

ряде случаев, максимальная крупность может быть увеличена до 100 мм.

Применительно к золотосодержащему сырью радиометрические методы обогащения позволяют решать несколько технологических задач, наиболее распространенной из которых является удаление отвальных хвостов. В рамках данной задачи, из крупно- либо средне-дробленого материала удаляется пустая порода с отвальным содержанием полезного компонента, что снижает удельные затраты на последующие операции переработки и в конечном результате снижает себестоимость товарной продукции. Решение данной технологической задачи актуально при необходимости повышения качества материала поступающего на золотоизвлекательную фабрику, при этом к качеству отвальных хвостов предъявляются достаточно строгие требования. Наиболее применим данный подход для небольших месторождений с высокой себестоимостью переработки руды.

Решение подобной задачи реализовано на месторождении Кокпатас (Навоийский горно-металлургический комбинат, Узбекистан). Исходная руда, после крупноразмерной сортировки направляется на покусковую сепарацию, где из материала с содержанием золота 2,6 г/т выделяется концентрат, выход которого составляет около 50%, с содержанием золота около 4,6 г/т. Извлечение золота в концентрат составляет около 87%. Применение комбинированной технологии радиометрического обогащения позволило существенно увеличить срок эксплуатации месторождения за счет вовлечения в эксплуатацию забалансовых руд, а также дополнительно получить 17% товарной продукции [1]. Аналогичные комбинированные схемы радиометрического обогащения применяются на уранодобывающих предприятиях России и Украины [2, 3].

Схожей технологической задачей является выделение из материала с забалансовым содержанием золота богатой фракции, переработка которой экономически целесообразна. При решении данной задачи требования к отвальным хвостам предварительного обогащения не являются жесткими, так как исходный материал уже является забалансовым. Решение этой технологической задачи актуально для средних и крупных месторождений с не высоким исходным содержанием золота в руде.

Примером решения подобной задачи является опыт фотометрической сепарации забалансовых руд месторождения Witwatersrand, фабрика Kloof Gold. В результате разделения, из руды с содержанием золота 0,25–0,32 г/т был получен концентрат, выход

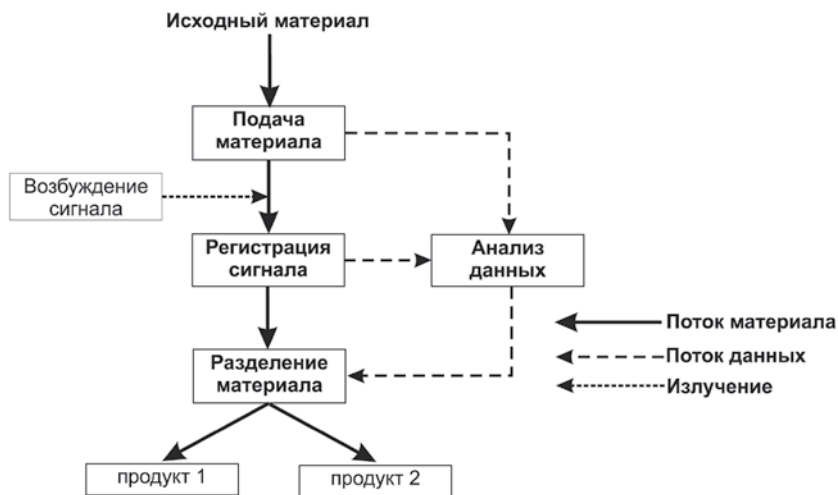


Рис. 1. Принципиальная схема работы радиометрических сепараторов.

которого составил менее 10%, с содержанием золота 3–5 г/т при извлечении Au около 70%.

Задача разделения руды на технологические сорта позволяет получить продукты, переработка которых эффективна по различным последующим технологическим схемам. Данная технология актуальна при отработке месторождений, где руды представлены несколькими типами, например окисленные и сульфидные золотосодержащие руды.

Необходимо отметить, что если раньше было принято считать процессы радиометрического обогащения как технологическую операцию на стыке добычного и обогатительного передела, то в настоящее время рассматриваются варианты применения данного цикла как составной части процессов обогащения.

На одной из обогатительных фабрик компании Transvaal Gold Mining Estates (ЮАР) при обогащении золото-сульфидного типа руд для перечистки хвостов тяжелосредней сепарации применяется рентгено-абсорбционная сепарация. На рентгено-абсорбционную сепарацию направляется материал крупностью $-35+10$ мм с содержанием золота 1,3 г/т. В результате разделения выделяются отвальные хвосты, выход которых составляет 70%, с содержанием золота 0,2 г/т и концентрат с содержанием золота 3,8 г/т.

На обогатительной фабрике Палабора, перерабатывающей полиметаллические руды была опробована схема с радиометрической сепарацией материала критической крупности мельницы полусамоизмельчения с целью выделения упорных к измельчению включений диабазов [4]. По результатам испытаний было установлено, что данная схема позволяет увеличить производительность мельницы с 500 т/ч до 800 т/ч.

Необходимо отметить эффект, который дает применение радиометрических методов сепарации.

Применение радиометрической сепарации позволяет увеличить производительность фабрики по сырой руде с сохранением объемов и повышением качества материала, направляемого на последующие переделы, что в конечном итоге дает возможность увеличения выхода конечной продукции без наращивания производственных мощностей. Вместе с тем, стабилизируется качество сырья, поступающего на обогатительный передел, что положительно сказывается на технологических показателях.

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

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

При отработке месторождений, либо отдельных участков, удаленных от обогатительной фабрики, выделение отвальных хвостов вблизи добычных участков позволяет сократить объем транспортируемого материала.

Кроме того, предварительная концентрация позволяет вовлекать в переработку руды, которые ранее считались забалансовыми, так как обогащение традиционными технологиями считалось экономически неоправданным. ▶

Анализ рынка оборудования для радиометрической сепарации показывает, что методы радиометрической сепарации развиваются с высокой динамикой. Только в период с 2006 по 2010 гг количество производителей радиометрических сепараторов для переработки вторсырья увеличилось с 8 до 18. Также расширяется перечень свойств минерального сырья, используемых для радиометрической сепарации. Если до 90-х годов XX века в промышленных условиях были опробованы лишь авторадиметрический, рентгено-радиометрический (рентгенофлуоресцентный), рентгенолюминесцентный и фотометрический методы сепарации, то в настоящее время освоен выпуск оборудования для резонансного, ближнеинфракрасного, инфракрасного и рентгено-абсорбционного методов, которые еще 15 лет назад были представлены только в виде лабораторных макетов.

Кроме расширения свойств сырья, используемых при сепарации, характерной особенностью радиометрических методов является увеличение производительности и селективности, что обусловлено улучшением качества и удешевлением детекторов, а также удешевлением вычислительных машин.

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

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

Плохая информированность специалистов горных предприятий заключается в том, что многие до сих пор воспринимают технологии радиометрического обогащения как экзотику.

Во многом эта проблема обусловлена учебными программами отечественных ВУЗов по специальности «Технология минерального сырья», где методы радиометрического обогащения рассматриваются лишь как составная часть курса «Специальные методы обогащения». В то время, как в Рейн-Вестфальском технологическом университете (RWTH Германия, г. Аахен) на постоянной основе производится обучение студентов по направлению радиометрическая сепарация со специали-

зациями по переработке минерального сырья и рециклинг.

Следующей проблемой, которая косвенно связана с первой, является несоблюдение большинством исследователей, которые зачастую являются и поставщиками оборудования, утвержденных методических рекомендаций НСОМТИ, РосГео и требований ГКЗ. В результате, заказчики работ не могут объективно оценить каким образом был получен результат, на каких свойствах материала он базируется, какие имеются риски при промышленном применении данной технологии и как их можно избежать. В конечном итоге 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, одностронний осмотр для фотометрической сепарации), и, следовательно, требуют корректив. Распространенное мнение, что лучшей методикой проведения исследований обладает производитель оборудования, в случае радиометрической сепарации является заблуждением. Вместе с тем, даже устаревшие отечественные методические рекомендации, являются более совершенными по сравнению, например, с работами Университета Британской Колумбии (The University of British Columbia, Канада) [5] и Эксетерского Университета (The University of Exeter, Великобритания) [6, 7] 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 той лаконичности, объективности и однозначности интерпретации полученных результатов, которые следуют при проведении исследований согласно отечественным методикам.

Характерной особенностью проведения исследований обогатимости золотосодержащих руд методами радиометрической сепарации является их продолжительность. Так, полный цикл исследований: от лабораторных до полупромышленных, может длиться от полугода до года. При этом, значительную долю времени занимает продолжительность пробирного анализа. В связи с этим, собственники месторождений зачастую не готовы ждать результатов испытаний.

Не менее остро стоит вопрос проведения испытаний. В настоящий момент в России не существует полноценных испытательных центров, где возможно проведение укрупненно-лабораторных либо полупромышленных испытаний с использованием всех, либо большинства методов сепарации. Проведение подобных работ за границей вызывает существенные трудности, обусловленные проблемами таможенного оформления руд цветных и благородных металлов, что усугубляется требуемыми объемами проб для исследований — от десятков килограмм до тонн. Наряду с этим, организации выполняющие работы по разработке технологических схем переработки сырья не рассматривают технологии радиометрического обогащения, несмотря на то, что это положение прописано в требованиях ГКЗ РФ при утверждении кондиций.

Специалисты компании IMC Montan могут предложить квалифицированно разработать план работ по проведению исследований и испытаний, оценить перспективность применения радиометрического обогащения по данным геологического опробования с определением прогнозных технологических показателей для действующих и проектируемых горнодобывающих предприятий.

По нашему мнению следует ожидать, что методы радиометрического обогащения в ближайшем будущем получат широкое применение. ♦



1. Санакулов К.С., Руднев С.В. Комплекс рентгенорадиометрического обогащения сульфидных руд месторождения Кокпатав // Горный вестник Узбекистана — 2010. — № 1 — С. 3–6.
2. Копанев А.В., Новиков В.И., Соловьев А.В. Радиометрическое оборудование для контроля технологических процессов переработки геоматериалов техногенного уранового месторождения // в сб. тр. Геотехническая механика. Вып. 73. Днепропетровск: институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины — 2007 — С. 281–289
3. Литвиненко В.Г., Суханов Р.А., Тирский А.В., Туликов Д.Г. Совершенствование технологии радиометрического обогащения руд // Горный Журнал — 2008. — № 8. — С. 54–58.
4. 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, pp. 123–136.
5. 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
6. Fitzpatrick, R. The Development of a Methodology for Automated Sorting in the Minerals Industry. PhD Thesis in Earth Resources. The University of Exeter, Exeter. September 2008
7. Udouo, O. B. Modeling the efficiency of an automated sensor-based sorter. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy. The University of Exeter, Exeter. September 2010