

УДК 622.7

**З. Ганбаатар, Ч. Лодойравсал, Л. Дэлгэрбат,
О.М. Дуда, В.В. Морозов**

ОБОГАЩЕНИЕ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ РУД С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЛЕКСНОГО РАДИОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СОРТНОСТИ РУДЫ

Разработан метод радиометрического анализа сортности руды базе способов рентгенофлюоресцентного анализа вещественного состава и минералогического «видео-имидж анализа». Способ «видео-имидж анализа» обеспечивает оценку минералогического состава руды на основе обработки цифровых изображений руды в видимой части спектра.

Ключевые слова: обогатительные фабрики, процессы флотации, диагностика руды, радиометрический анализ.

Современные системы управления технологическими процессами переработки руд основаны на дискретном или непрерывном экспресс-анализе элементного состава руды и продуктов обогащения.

Задачи оперативного мониторинга элементного состава руды и продуктов обогащения решаются на большинстве предприятий с применением рентгенофлюоресцентных анализаторов. Для небольших обогатительных фабрик применяются системы централизованного экспресс-анализа пульповых проб (АР-31Н) или полученных после операций фильтрации, сушки и доизмельчения сухих проб (СРМ-25) [1]. Для средних и больших обогатительных фабрик целесообразен анализ продуктов непосредственно в технологических потоках с применением поточных рентгенофлюоресцентных анализаторов [2]. Результаты элементного анализа твердой фазы измельченной руды и продуктов обогащения используются технологическим персоналом и автоматизированными системами.

Новым направлением решения задачи управления обогатительными процессами на основе радиометрической информации о сортности руды, является применение использование изображений руды или продуктов обогащения в видимой части спектра. Важным преимуществом таких способов является возможность измерения непосредственно параметров минерального состава руды, в т.ч. массовых долей отдельных минералов. Наибольшее распространение в настоящее время получили системы и способы управления процессом флотации на основе измерения и анализа изображений пенного слоя флотационных машин [3]. Такие системы позволяют регулировать реагентный режим процесса флотации, достигая требуемого минерального состава пенного продукта и структурных характеристик пены.

Однако регулирование по параметрам пенного продукта часто является не эффективным вследствие того, что мониторинг пенного слоя от-

ражает уже прошедший процесс флотационного разделения. Кроме того, наблюдаемая часть пенного слоя не отражает свойства всего пенного продукта.

Поэтому, при разработке систем «видео-имидж анализа» процесса обогащения, нами был выбран принцип непрерывного опережающего анализа сортности руды, поступающей на переработку в операцию измельчения и флотации. Ранее проведенными исследованиями была установлена возможность оценки сортности перерабатываемой руды на основе результатов измерений вещественного состава исходной руды и продуктов ее флотационного обогащения [4]. Однако существенным недостатком испытанной системы, являлась невысокая точность определения степени окисленности руды. Повышение точности определения сортности руды может быть достигнуто на основе применения комплексных методов, предполагающих одновременное измерение минерального и вещественного состава руды.

На обогатительной фабрике ГОКа «Эрдэнэт» разработана новая система опережающей диагностики руды на базе способа «видео-имидж анализа», основанная на использовании интегрированного цифрового видеоизображения, формирующегося с помощью современных телеметрических и программно-технических средств. Система «COLOR» позволяет получить информацию в реальном времени о минералогическом составе руды и о типе руды со степенью точности, достаточной для принятия адекватных решений по настройке измельчительного и флотационных переделов. Система так же позволяет получить данные по гранулометрическому составу руды, поступающей в операцию измельчения.



Рис. 1. Общий вид установки «COLOR» для получения видеоизображения анализируемой руды

Система «видео-имидж анализа» «COLOR» включает установленные над лентой транспортера источники освещения и считывающую цифровую видеокамеру (рис. 1).

Особенностью системы видеоанализа руды является отсутствие сложных средств отбора проб и их доставки в анализатор, что исключает сопутствующие при этом технические проблемы и повышает надёжность работы системы в целом. Для исключения влияния на качество видеоизображений внешних факторов (пыль, влага, и др.) и приведения его к однотипным условиям, над конвейером устанавливается дождевальная установка слабой интенсивности. Сканирование руды на конвейере осуществляется непрерывно. Получаемая от системы «COLOR» информация (200 видеоизображений в каждые 3 секунды) обрабатывается и усредняется за заданный промежуток времени (1- 30 мин.) и выдается конечный результат анализа. С помощью специальной программно-методической обработки (LabView) формируется усредненный видеоряд пробы, по которому проводится дальнейший анализ.

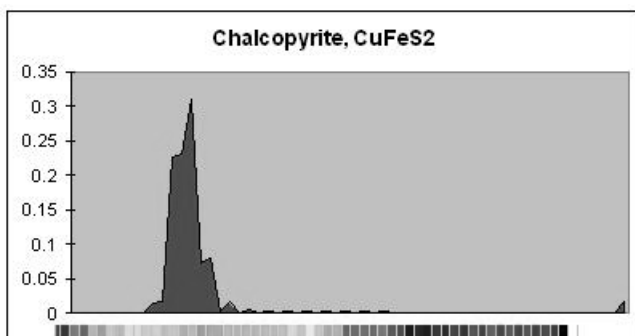


Рис. 2. Спектральная характеристика – видеообраз халькопирита

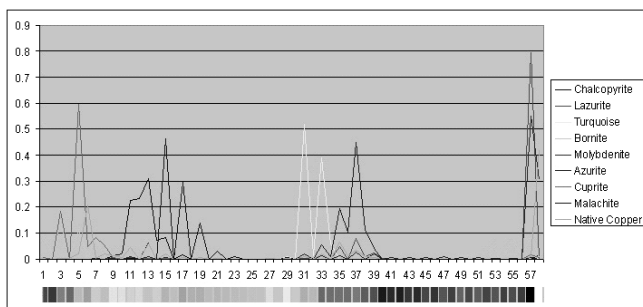


Рис. 3. Цветовой спектр различных минералов медно-молибденовых руд (в видимой области спектра)

Сутью метода «видео-имидж анализа», является проведение минералогического анализа и оценки сортности руд на основе обработки изображений руды в видимой части спектра. Современные средства получения видеоизображений в цифровом формате и компьютерные средства обработки позволяют сделать это с довольно высокой эффективностью. Первоначально в базу данных созданной системы были внесены видеоизображения всех известных минералов месторождения «Эрдэнэтийн – Овоо». Путем специальной программной обработки были созданы компьютерные образы (эталон) этих минералов. Пример спектральной характеристики халькопирита (так назы-

ваемый эталон минерала в видимом диапазоне волнового излучения), представленный на рис. 2, является источником информации при проведении «видео-имидж анализа».

Дальнейшим шагом было создание спектральных характеристик - видеообразов основных технологических сортов руд, перерабатываемых на обогатительной фабрике. Благодаря свойству аддитивности цифровых изображений, видеообраз руды может быть представлен как средневзвешенное от спектральных характеристик составляющих минералов (рис. 3).

Наиболее эффективен такой подход при оценке степени окисленности руды, рассчитываемой как отношение интегральной интенсивности спектральных характеристик окисленных минералов к общей интенсивности спектральных характеристик всех медных минералов. Степень окисленности руды может определяться как соотношение массовой доли меди в окисленных минералах к общей массовой доле меди. Аналогичным образом на основе спектрального минералогического «видео-имидж анализа» производится определение соотношения первичных и вторичных сульфидов меди, фиксируется наличие и массовая доля талька, слюды, сланцев и других минералов, присутствие которых оказывает влияние на процесс флотации.

Наряду со способом сложения спектральных характеристик составляющих руду минералов, возможно прямое получение спектральных ха-

рактических характеристик видеообраза (эталона) руды как суммы спектров видеоизображений образцов данного типа (сорта) руды. Полученное изображение руды несет в себе также информацию о морфологических характеристиках минеральных комплексов, в т.ч. данные о характере вкрапленности рудных минералов. Такая информация позволяет дать рекомендации о целесообразной крупности измельчения руды, обеспечивающей оптимальное раскрытие минеральных сростков [4].

Конечная задача определения сортности поступающей на переработку руды состоит в определении ее состава, как смеси основных технологических типов руд. В отличие от ранее разработанных систем оценки сортности руд, основанных на показаниях рентгенофлуоресцентных датчиков вещественного состава, система «видео-имидж анализа» дает достоверную информацию о степени окисленности руды, соотношения первичных и вторичных сульфидных минералов меди и т.д. Наиболее перспективным является применение расширенной информационной базы, создаваемой по результатам комплексного радиометрического мониторинга вещественного и минерального состава руды.

Базовая настройка технологического процесса производится на основе оценки сортности перерабатываемой руды, производимой по показаниям анализаторов элементного состава и анализаторов минерального состава. В качестве первичной информации используются показания рентгенофлуоресцентных радиометрических анализаторов вещественного состава руды и показания датчиков «видео-имидж анализа» (в видимой части диапазона излучения).

При анализе сортности руды предполагается использование спек-

тральных характеристик минералов для расчета массовых долей минералов в руде. Расчет массовых долей минералов осуществляется с использованием одного из численных методов, применяемых в «видео-имидж анализе» [4]. Расчет сортности руды осуществляется с применением одного из методов Парето – графоаналитического метода расчёта долей принадлежности.

При поступлении руды на флотацию необходимо определить вклад (массовую долю) каждого типа руды в поступившую руду. Математическая модель задачи обеспечивает расчет принадлежности поступившей руды по шести значимым параметрам руды: содержанию меди в руде, содержанию молибдена в руде, содержанию железа в руде, доле окисленных минералов меди в руде, доле вторичных минералов меди в руде, доле первичных минералов меди (халькопирита) в руде.

При наличии достоверной информации от системы «видео-имидж анализа» о типе руды, можно использовать комплексные параметры: степень окисленности руды, степень вторичности руды, степень первичности руды.

Графоаналитический метод заключается в нахождении доли принадлежности полученной точки к определённым точкам на плоскости (двумерное пространство) или в любом другом «пространстве». Суть расчёта долей принадлежности руды к определённому типу состоит в том, что для поступившей руды можно определить «сходство» каждому из известных 4-х типов руды, и пропорционально этому «сходству» установить доли, которые каждый из 4-х типов руды составляет в поступившей на переработку руде [5]. Для этого сначала определяется удаленность от точки, координаты которой соответствуют параметрам руды, поступившей на пе-

переработку, до каждой из точек, координаты которых соответствуют типам руд, выделенных технологами в качестве базовых. Затем при помощи расчетных уравнений, после проведения операций нормирования и оценки значимости параметров, определяются искомые значения массовых долей типовых руд в руде, поступающей на переработку [5].

Управление последующими обогатительными процессами может осуществляться в автоматическом или полуавтоматическом режиме и предполагает выбор оптимальных решений на основе обработки информации о сортности руды. Выбор оптимальных технологических режимов производится на основе обработки технологической информации за предшествующие промежутки времени, в которых перерабатывалась руда схожего состава. В массив расчетных данных включены расходы реагентов, переработка руды, крупность измельчения и т.д. В наиболее простом случае упрощенные уравнения для расчета расходов реагентов, учитывающие сортность перерабатываемой руды, имеют следующий вид [5]:

Расход извести:

$$LD = d_1LD_1 + d_2LD_2 + d_3LD_3 + d_4LD_4 \quad (1)$$

Расход собирателя:

$$CD = d_1CD_1 + d_2CD_2 + d_3CD_3 + d_4CD_4, \quad (2)$$

Расход вспенивателя:

$$FD = d_1FD_1 + d_2FD_2 + d_3FD_3 + d_4FD_4, \quad (3)$$

где LD_1, LD_2, LD_3, LD_4 - расход извести для руды типа 1,2,3,4, $CD_1,$

$CD_2, CD_3, CD_4,$ - расход собирателя для руды типа 1,2,3,4, FD_1, FD_2, FD_3, FD_4 - расход вспенивателя для руды типа 1,2,3,4, d_1, d_2, d_3, d_4 - доля руд типа 1,2,3,4 в руде текущей добычи.

На практике, при расчете расходов реагентов, следует учитывать эффекты влияния при совместной переработке руд различных типов, вследствие чего уравнения 1-3 имеют более сложный вид.

Первым блоком, представленной на рис. 4 блок-схемы реализованного в АСУТП обогатительной фабрике ГОКа «Эрдэнэт» алгоритма интеллектуального управления процессами из-

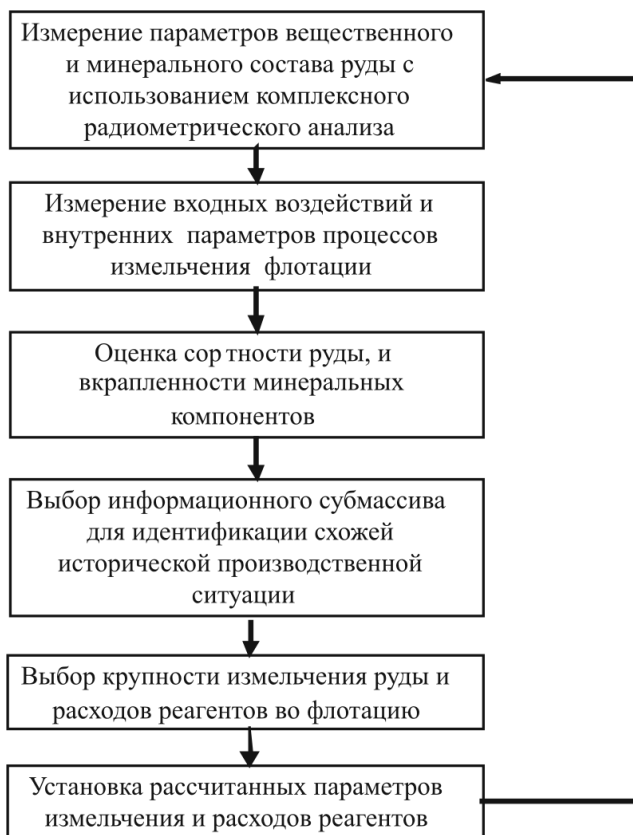


Рис. 4. Блок-схема алгоритма интеллектуального управления режимом измельчения и коллективной флотации

Технико-экономические показатели флотации медно-молибденовой руды с использованием системы управления «Sinus»

№	Условия испытаний	Извлечение меди в конц-т; %	Извлечение молибдена в конц-т; %	Содержание меди в конц-те; %	Содержание молибдена в конц-те; %
3	Промышленные испытания без управления	83,1	36,8	22,0	48,0
4	Промышленные испытания с управлением	84,5	38,8	22,2	49,5

мельчения и коллективной флотации, обеспечивается опережающий мониторинг параметров вещественного состава руды с применением метода рентгенофлюоресцентного анализа и параметров минерального состава руды с применением «видео-имидж анализа».

Второй блок обеспечивает прием и анализ информации от датчиков измерения параметров процессов измельчения и флотации: крупности измельчения, плотности пульпы, степени загрузки барабана мельницы, расхода электроэнергии, расхода реагентов, уровней пульпы во флотомашинах и зумпфах и др. параметров.

Алгоритм управления предусматривает автоматическую регистрацию и хранение технологической информации истории процесса за 2 года. При создании массива данных записываются данные входного параметрического поля - параметров питания флотации и текущих технологических параметров и данные соответствующего выходного поля данных о технологических показателях.

В третий блок алгоритма программы входят подпрограмма «Poliflot», обеспечивающая оценку сортности перерабатываемой руды и подпрограмма «Gransostav», оценивающая степень измельчения, необходимую для эффективного раскрытия минеральных комплексов.

Четвертым блоком алгоритма интеллектуальной системы «Sinus» осу-

ществляется подготовка массива исходных данных и сравнение «исторических» временных комбинаций входных и промежуточных технологических параметров для опознанного вещественно-минерального состава руды относительно текущих значений соответствующих параметров с целью выбора наилучшего режима работы.

Выбранный в пятом блоке алгоритма оптимальный технологический режим, определяет характеристики задания по управляемым параметрам процессов измельчения и классификации, а так же процесса флотации. Выбранные значения технологических параметров процессов измельчения и классификации передаются шестым блоком в локальные системы автоматического регулирования в виде функций – задатчиков.

В системе прямого цифрового управления, дозированием реагентов устанавливается иерархическая структура, в которой расчетные уравнения 1,2,3 используются для задачи базовых расходов, а подсистема «Sinus» выдает рекомендации по корректировке расходов реагентов с учетом сложившейся производственной ситуации.

Испытания разработанного способа управления процессом измельчения и коллективной флотации проводились на 5-й секции обогатительной фабрике ГОКа «Эрдэнэт» в 2010-2011 г.г. Результаты продолжительных испытаний показали эффектив-

ность разработанного способа и системы. Проведенными испытаниями показано, что разработанная система автоматизированного управления процессом коллективной флотации на основе комплексного радиометриче-

ского анализа руды, обеспечивает повышение извлечения меди на обогатительной фабрике ГОКа «Эрдэнэт» на 1,4 %, молибдена на 2,0 %, сокращение расхода собирателя и вспенивателя на 3-5%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козин В.З., Нестерова Т.В., Тюрина Г.Л. Опробование и автоматизация обогатительных фабрик // Изв. Вузов Горный журнал, 2002. -№2. - С. 54-57.

2. Каресвуори Я. Усовершенствованное управление процессами обогащения. // Обогащение руд–Цветные металлы. – 2001, №6. – С.21-24.

3. Bonifazi G., Serranti S., Volpe F., Zucchi R. Characterization of flotation froth color and

structure by machine vision”, Computers & Geosciences 27 (2001) 1111-1117.

4. Башлыкова Т.В. Оценка качества минерального сырья с использованием современного метода анализа изображений // Мир измерений. -2003. -№10. –С.4-11.

5. Морозов В.В. Управление процессами обогащения на основе измерения параметров сортности руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: МГГУ, 2005. -№7. -с. 316-319. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Ганбаатар З. – кандидат технических наук, докторант МГГУ, заместитель генерального директора Совместного Монголо-Российского предприятия «Предприятие Эрдэнэт»; ganbaatar@erdenetmc.mn, г. Эрдэнэт,

Лодойравсал Ч. – кандидат технических наук, директор департамента переработки минеральных ресурсов Монгольского национального университета, lodoyravsals@muis.edu.mn, г. Улан-Батор, Монголия,

Дэлгэрбат Л. – доктор технических наук, ведущий специалист по АСУП Совместного Монголо-Российского предприятия «Предприятие Эрдэнэт»; delgerbat@erdenetmc.mn, г. Эрдэнэт,

Дуда О.М. – заместитель начальника АСУП ОФ Совместного Монголо-Российского предприятия «Предприятие Эрдэнэт»; duda@erdenetmc.mn, г. Эрдэнэт,

Морозов В.В. – профессор, доктор технических наук, зав. кафедрой химии, Московский государственный горный университет, dchmggu@mail.ru



АФОРИЗМЫ «ГОРНОЙ КНИГИ»

Наибольшую пользу книга приносит автору: она расширяет его кругозор, обогащает знаниями, учит стилистике, тонкости мышления. Эта польза не сравнима с пользой от чтения.