

ГАНБААТАР З. (ГОК «Эрдэнэт»)

МОРОЗОВ В.В. (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»)

ДЭЛГЭРБАТ Л. (ГОК «Эрдэнэт»)

ДУДА А.М. (ГОК «Эрдэнэт»)

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ОБОГАЩЕНИЯ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ РУД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

При обогащении руд весьма эффективно применение открытых контуров управления, в которых в качестве входного параметра используют качество руды. Для определения качества руды проводится оперативный анализ ее вещественного и минерального состава, вкрапленности ценных компонентов. На основании результатов анализа производится формирование рудопотоков на обогатительной фабрике и выбираются эффективные режимы переработки.

Современные системы визиометрического анализа руды создают основу для эффективного автоматизированного управления процессами обогащения, построенного на принципе опережающего контроля сортности руды. Для повышения точности измерения минерального состава руды разработана специальная установка, обеспечивающая очистку руды от шламов. Установка позволяет достичь высокой точности анализа минералогического состава руды.

Испытания системы визиометрического анализа сортности руды, проведенные на медно-молибденовых рудах ГОКа «Эрдэнэт», показали высокую надежность и эффективность.

Ключевые слова: обогащение руд, флотация, определение сортности руды, визиометрический анализ, автоматическое управление, адаптивный алгоритм, оптимизация.

Введение

Эффективным решением задачи повышения эффективности обогатительных процессов является использование опережающей информации о сортности руды [1, 2]. Необходимым условием является оперативное измерение параметров состава руды и продуктов обогащения, в т.ч. массовых долей отдельных минералов.

Оценка сортности руды возможна при оперативном измерении параметров минерального состава, таких как степень окисленности руды и соотношение основных минеральных форм [3, 4].

Оперативный анализ сортности руды может быть реализован как на основе непрерывного измерения минерального состава непосредственно в технологическом потоке, так и в результате анализа специально отобранных от этого потока проб руды [5, 6].

Управление процессами обогащения на основе формирования потоков руды с заданными технологическими свойствами

Управление качеством руд является традиционным подходом для повышения эффективности обогащения на ГОКах с существенными колебаниями состава и свойств перерабатываемых руд [7, 8].

Первой стадией контроля качества руд является отбор пробы и проведение минералогического анализа руды непосредственно

на стадии горных работ. На ГОКе «Эрдэнэт» в качестве критериев качества руды используются показатели «окисленности руды» и «первичности руды». Критерий «окисленности руды» численно соответствует доле меди, находящейся в форме окисленных минералов (азурита, куприта, малахита, хризоколлы). Добываемая в карьере ГОКа «Эрдэнэт» медно-молибденовая руда (рис. 1) характеризуется весьма резкими колебаниями окисленности (от 0 до 50 %).

Критерий «первичности руды» рассчитывается как доля меди, находящейся в форме минерала халькопирита (первичного сульфидного минерала меди). В зависимости от значений указанного параметра формируют потоки окисленной руды, направляемой на выщелачивание, первичной и смешанной руды, направляемых на обогащение.

Первый рудопоток (рис. 2) формируется из первичных массивных руд и бедных пиритистых руд. Обоснованием является наименьший отрицательный синергетический эффект при совместной переработке таких руд, обусловленный близкими физико-механическими свойствами и вкрапленностью минералов ценных компонентов. Окисленность руды не более 6 % (в среднем 3,5 %), первичность руды – от 35 до 60 %.



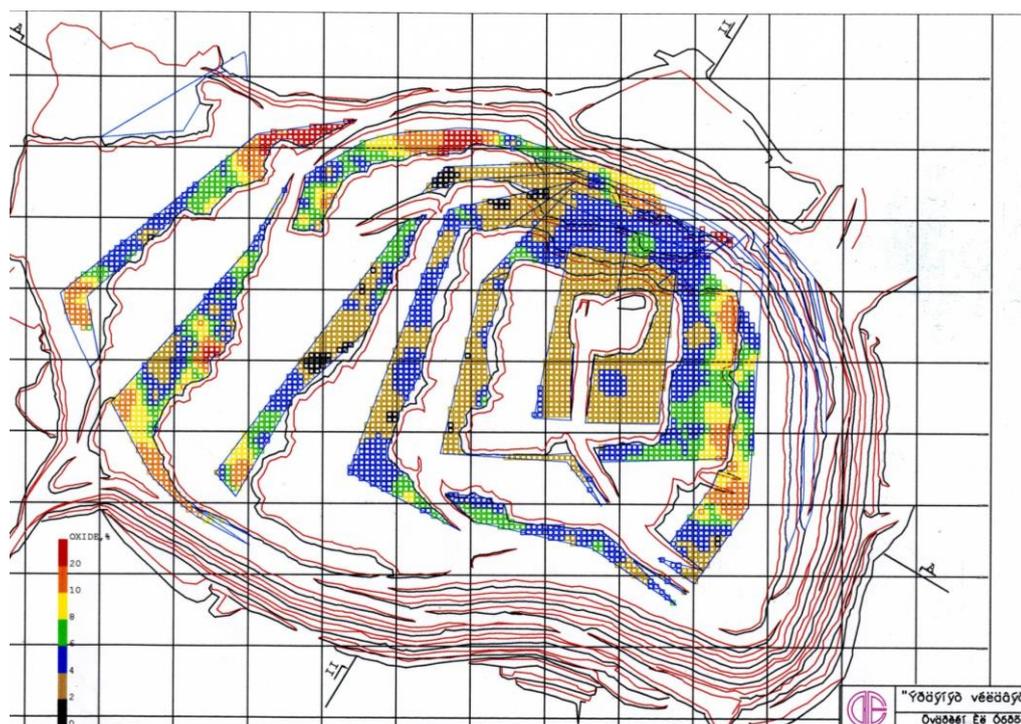


Рис. 1. Изменчивость относительной доли меди в окисленной форме («окисленность руды») в рабочей зоне рудника открытых работ

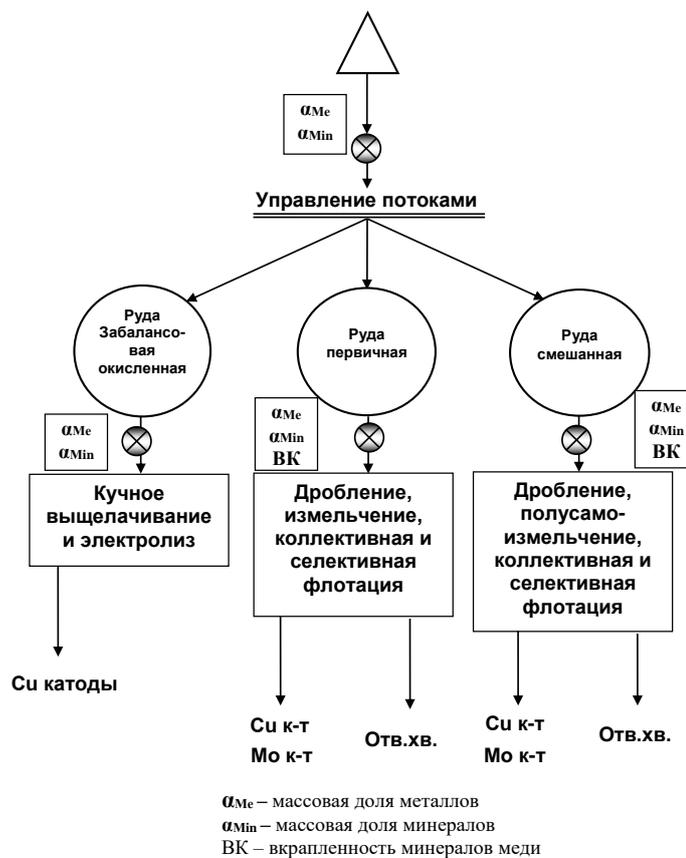


Рис. 2. Принципиальная схема формирования потоков руды трех технологических сортов и расположения точек опробования технологических продуктов



Второй рудопоток формируется из смешанных руд (окисленных, вторичных и серитизированных). Эти руды характеризуются близкой вкрапленностью ценных компонентов, повышенной адсорбционной способностью относительно флотационных реагентов и близкими физико-механическими свойствами. Окисленность руды составляет не более 15 % (в среднем 6,5 %), Первичность – менее 35 %. Первый поток направляется на схему рудоподготовки, включающую операции крупного, среднего и мелкого дробления и шарового измельчения.

Поток смешанных руд направляется на схему рудоподготовки, включающую операцию крупного дробления и операцию полусамозмельчения и классификации (рис. 2). Измельченная руда обеих секций проходит стадию коллективной флотации на отдельных секциях с объединением получаемых коллективных концентратов и разделением на медный и молибденовый концентрат на общей секции. При проведении операций измельчения и флотации поддерживаются специально подобранные режимы, обеспечивающие рациональное вскрытие минеральных комплексов и флотацию.

Третий поток (забалансовых окисленных руд) формируется из руд с окисленностью более 15 % (в среднем 35 %). Руда направляется на установку кучного выщелачивания (рис. 1). Выщелачивание руды проводится серной кислотой. Из богатых растворов выщелачивания с применением экстракционно-электролизной технологии получают медные катоды.

Руда каждого отдельного технологического потока также подвержена относительно сильным колебаниям состава и технологических свойств. Это обусловлено как ограниченностью маневрирования потоками руды вследствие общих ограничений по производительности отдельных технологических цепочек, так и погрешностями опробования массы добытой руды. Нестабильность состава и свойств руды, поступающей на фабрику по одному технологическому потоку, обуславливает необходимость непрерывной оценки ее сортности и выбора режима процессов измельчения и флотации.

2. Методика визиометрического анализа сортности руды

Достоверное раздельное определение минералов и в руде возможно с использованием современных форматов распознавания цветного изображения [9, 10]. Для первичной обработки цветного изображения наиболее подходящим является формат RGB, комбинирующий любой цвет в виде комбинации красного, зеленого и синего цветов. Другие параметры, наиболее важными из которых являются спектральные характеристики, насыщенность и яркость (HSV), определяются на основе этих трех базовых параметров.

Первоначально в базу данных созданной системы вносятся видеоизображения всех основных минералов месторождения. Путем программной обработки создаются компьютерные образы (эталонные) основных минералов [11, 12]. Спектральные характеристики минералов в видимом диапазоне волнового излучения являются источником информации (базой данных) при проведении визиометрического анализа минерального состава руды (рис. 3, а). Спектральные характеристики минералов становятся более разрешимыми при использовании трехпараметрической системы распознавания Цвет – яркость – насыщенность в формате HSV (рис. 3, б). При использовании возможностей формата HSV в полном объеме вероятность определения минералов существенно возрастает и достигает 0,95 даже для таких сложных систем, как халькопирит – пирит или халькозин – ковеллин – борнит.

Повышению точности распознавания способствует использование специального алгоритма распознавания. В программе используются простые интервальные ограничения энергий RGB единичного объекта снимка (пиксела). Первоначально формируются 3D-области интервалов энергий исследуемых минералов цвета и общей энергии элемента изображения по двумерным вероятностным областям (ареалам) присутствия различных минеральных продуктов в системе HSL. Распознавание происходит по трехмерным вероятностным областям пар цветов единичных пикселов минеральных продуктов в системе HSL с использованием методов нейронных сетей с обучением системы [13, 14].



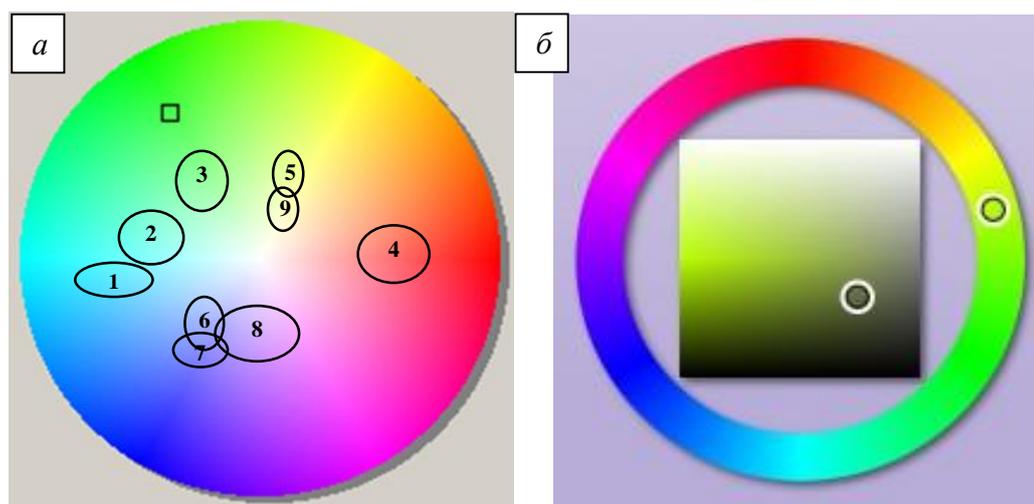


Рис. 3. Цветовые характеристики минералов в формате HSV:

a – характеристики цвет – насыщенность: 1 – азурит; 2 – бирюза; 3 – малахит; 4 – куприт; 5 – халькопирит; 6 – халькозин; 7 – борнит; 8 – ковеллин; 9 – пирит; *б* – характеристики цвет – яркость халькопирита

На рис. 4 представлены исходное изображение сростка халькопирита с борнитом и ковеллином (*a*) и результаты распознавания

(*б*). Методика визуализации в принципе не отличается от общепринятой, изложенной в работах [15, 16]

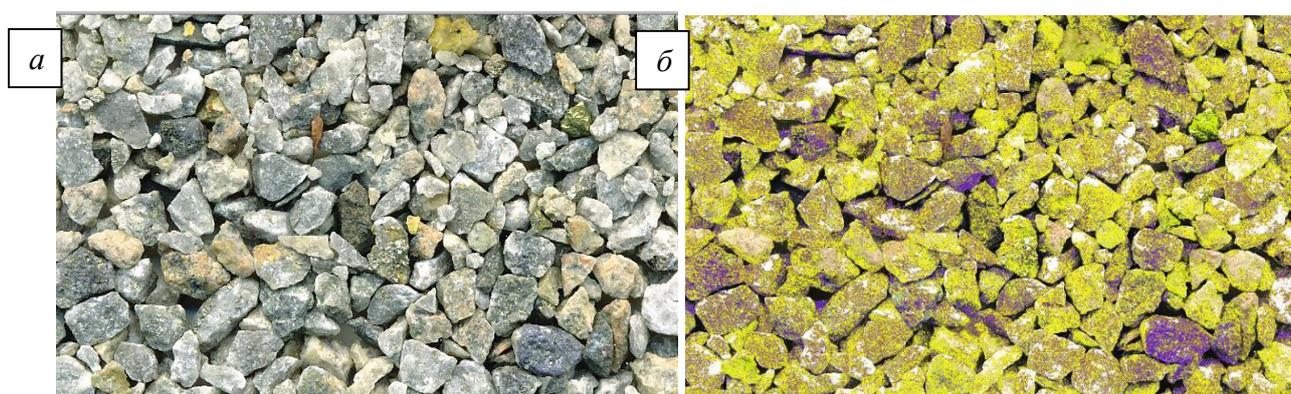


Рис. 4. Изображение (*a*) и результаты распознавания (*б*) медно-молибденовой руды: зеленым – халькопирит; синим и голубым – окисленные минералы меди; фиолетовым – вторичные сульфиды меди; желтым и коричневым – породные минералы

На основе спектрального минералогического анализа производится определение массовой доли окисленных минералов, первичных и вторичных сульфидов меди, пирита, кварца, серицита, слюды и других минералов, присутствие и соотношение которых характеризует сортность руды.

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 анализа производится определение соотношения первичных (халькопирита) и вторичных (борнита, халькозина, ковеллина) сульфидных минералов меди. Одновременно фиксируется наличие и измеряется массовая доля талька, слюды, сланцев, серицита и других минералов, присутствие которых оказывает влияние на процесс флотации.



ОБОГАЩЕНИЕ, ПЕРЕРАБОТКА МИНЕРАЛЬНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

Существенным преимуществом визиометрического анализа является возможность анализа вкрапленности минералов в породе. Другие физические методы не решают данную задачу. Использование визиометрической информации (рис. 5) позволяет оценить

размер зерен ценных минералов, распределение их в породных минералах и степень ассоциативности распределения полезных минералов между собой, определяющую вероятность появления сростков.

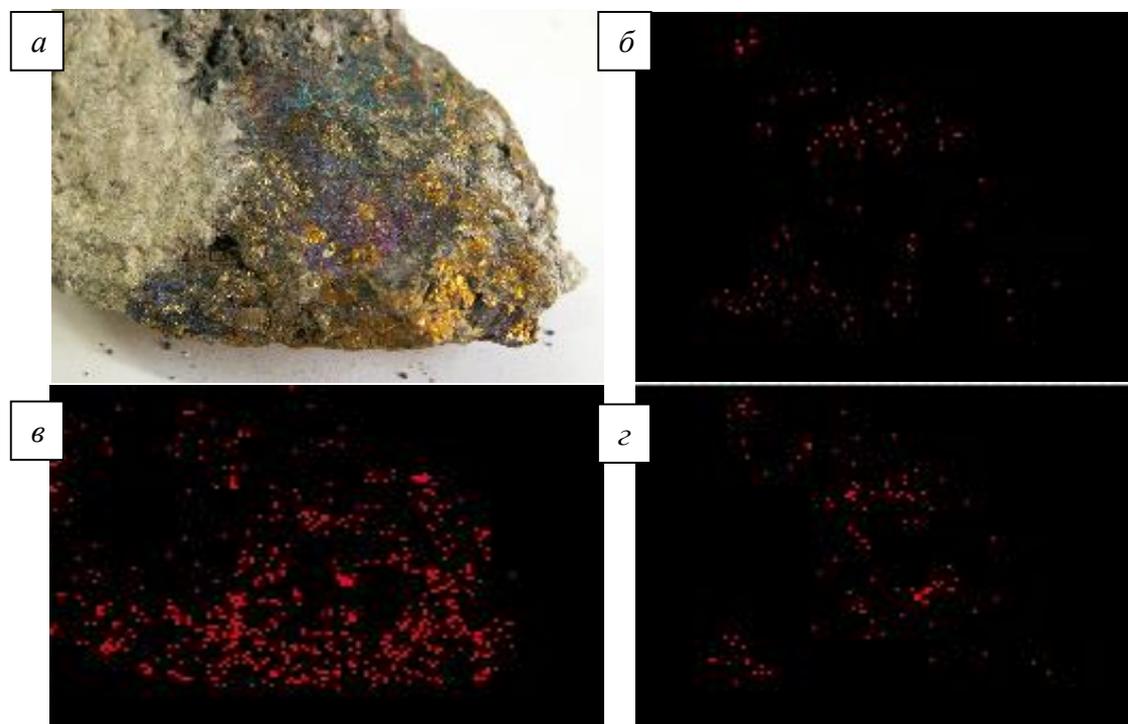


Рис. 5. Пример идентификации и геометризация минеральных форм меди: *a* – изображение куска руды; *б* – распределение окисленных минералов; *в* – распределение халькопирита; *г* – распределение вторичных сульфидов меди

Задача определения сортности поступающей на переработку руды состоит в определении ее схожести с основными технологическими типами руд [1]. Конечная задача определения сортности руды состоит в определении ее состава – долей в ней основных технологических типов руд. В качестве первичной информации системы анализа используются показания рентгенофлюоресцентных анализаторов вещественного состава и показания датчиков видео-имидж-анализа.

Расчет сортности руды осуществляется с применением многокритериального метода расчёта принадлежности. Область нахождения искомого решения в нашей задаче представлена образцами типовых руд. Руда представляется в виде смеси пяти типов руд, при этом в руде определяется доля каждого типа руды. Математическая часть системы обеспечивает расчет сортности поступившей руды по шести или более значимым параметрам

руды (например, по содержанию меди, молибдена и железа в руде, массовой доле окисленных минералов меди, вторичных сульфидных минералов меди в руде, первичных минералов меди и серицита). Повышению точности анализа способствует расширение исходной базы данных. Можно использовать такие параметры, как гранулометрический состав, дробимость или измельчаемость руды [18].

3. Модернизация системы визиометрического анализа руды на конвейере

Система визиометрического анализа обеспечивает получение цифрового видеоизображения руды с помощью современных телеметрических и программно-технических средств. Система позволяет получить информацию в реальном времени о минералогическом составе руды и типе руды, а также данные по гранулометрическому составу руды,



ОБОГАЩЕНИЕ, ПЕРЕРАБОТКА МИНЕРАЛЬНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

поступающей в операцию измельчения, и характеру вкрапленности минералов [13].

Сканирование руды на конвейере осуществляется непрерывно. Получаемая от системы информация обрабатывается и усредняется. Далее по описанному выше алгоритму проводится распознавание сортности и крупности руды. Наилучшие результаты анализа получены при использовании специального режима подготовки руды к анализу,

предполагающего сочетание процессов отмывки и подсушивания руды. Необходимые условия подготовки пробы для анализа минерального состава руды создаются в процессе ее транспортирования в технологическом переделе дробление–грохочение. Как видно из фотографий на рис. 6, применение этих операций принципиально изменяет внешний вид руды и делает задачу ее визиометрического анализа вполне разрешимой.

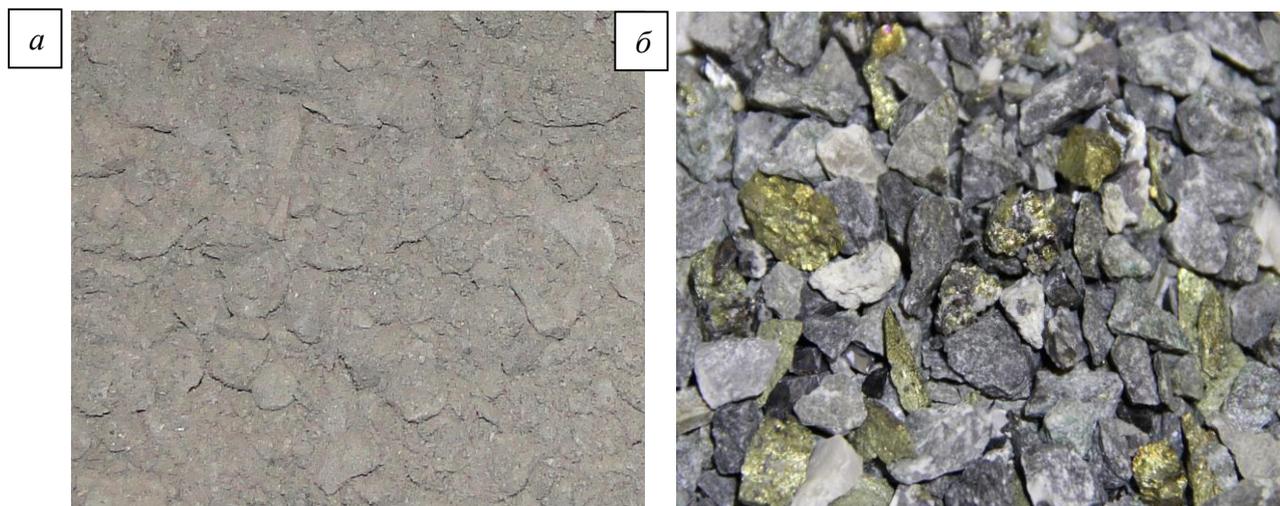


Рис. 6. Внешний вид руды на конвейере (а) и пробы руды после использования (б) систем отмывки и подсушки

В процессе обработки входного сигнала о цветовых параметрах руды с использованием специальной программы получали информацию о массовых долях и соотношении основных минеральных форм медных минералов (первичных и вторичных сульфидных минералов, окисленных минералов). Полученная информация использовалась для регулирования процесса флотации, в частности, для расчета оптимальных расходов флотационных реагентов в зависимости от степени окисленности медных минералов, а также режима измельчения в зависимости от крупности вкрапленности ценных минералов в руде.

4. Управление процессами обогащения на основе информации о сортности руды

Процесс управления качеством руды осуществляется на стадиях хранения, перемещения, измельчения и флотации руды. Входными данными являются информация о параметрах обогатительного процесса за предыдущий интервал времени и данные измерений вещественного и минерального состава руды, поступающей на переработку (рис. 5).





Рис. 5. Общая схема управления технологическими процессами измельчения и флотации с использованием опережающей информации о сортности руды

Для расчета параметров оптимальных режимов измельчения и флотации различных сортов руды проводились исследования на наиболее ярко выраженных пробах типовых руд и составлялись режимные карты процессов их измельчения и флотации. Учитывая невозможность получения проб, представляющих руду заданного сорта (на 100 %), проводилась статистическая обработка результатов и моделирование режимов обогащения выделенных для ГОКа «Эрдэнэт» основных типов руд: массивных первичных руд; смешанных вторично сульфидизированных руд; бедных пиритизированных руд; смешанных серитизированных руд и смешанных окисленных руд [11].

Результаты моделирования были рекомендованы в качестве базовых параметров для процессов измельчения и флотации каждого отдельного сорта руды. Полученные модельные значения были использованы для расчета рекомендуемых параметров процессов измельчения и флотации на обогатительной фабрике ГОКа «Эрдэнэт».

Модельные значения оптимальных параметров процессов измельчения и флотации были использованы для определения функций-задатчиков SF локальных автоматизированных систем автоматического регулирования [17]. После установки значений входных параметров, выбранных в соответствии с определенной сортностью руды, проводилось регулирование процесса.

Значение целевой функции SF для каждого параметра технологического процесса было рассчитано как взвешенное среднее значений этих параметров для каждого стандартного сорта руды (SF_i) с учетом вклада данного сорта в смеси руд по уравнению

$$SF = \sum \gamma_i SF_i, \quad (1)$$

где γ_i – относительная массовая доля руды i -го типа в поступающей на переработку смеси руд.

В массив расчетных данных включены расходы реагентов, переработка руды, крупность измельчения и т.д. В наиболее простом случае (при использовании уравнения (1) уравнения для расчета расходов реагентов,



учитывающие сортность перерабатываемой руды, имеют следующий вид:

расход извести:

$$LD = d_1LD_1 + d_2LD_2 + d_3LD_3 + d_4LD_4 + d_5LD_5; \quad (2)$$

расход собирателя:

$$CD = d_1CD_1 + d_2CD_2 + d_3CD_3 + d_4CD_4 + d_5CD_5; \quad (3)$$

расход вспенивателя:

$$FD = d_1FD_1 + d_2FD_2 + d_3FD_3 + d_4FD_4 + d_5FD_5, \quad (4)$$

где

$LD_1, LD_2, LD_3, LD_4, LD_5$ – расход извести для руды типа 1, 2, 3, 4, 5;

$CD_1, CD_2, CD_3, CD_4, CD_5$, – расход собирателя для руды типа 1, 2, 3, 4, 5;

$FD_1, FD_2, FD_3, FD_4, FD_5$ – расход вспенивателя для руды типа 1, 2, 3, 4, 5;

d_1, d_2, d_3, d_4, d_5 – доля руд типа 1, 2, 3, 4, 5 в руде текущей добычи.

При расчете расходов реагентов учитываются эффекты влияния при совместной переработке руд различных технологических типов [17].

Предустановленные функции были использованы в качестве базового уровня в локальных системах автоматического регулирования процесса измельчения и флотации. Использование систем регулирования процессов измельчения и флотации с применением алгоритма определения сортности руды обеспечивает поддержание оптимальной степени измельчения и расхода реагентов при флотации руд текущей добычи, увеличение извлечения меди и молибдена в концентраты и снижает расходы реагентов на 1–3 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате совместных исследований технологи и ученые ГОКа «Эрдэнэт» и НИТУ «МИСиС» получили дальнейшее развитие схемы, системы и алгоритмы управления рудопотоком и технологическими процессами обогащения основе опережающей оценки сортности перерабатываемой руды. Реализованы эффективные схемы управления качеством в потоках добываемых медно-молибденовых руд. Модернизированы установки и устройства для подготовки руды к визиометрическому анализу минерального состава руды в процессе ее транспортирования в тех-

нологическом переделе дробление–измельчение. Разработанный алгоритм адаптивно-детерминированного управления использует данные о сортности руды и накопленную информацию об оптимальных параметрах технологических режимов измельчения и флотации. Внедрение разработанной системы обеспечивает снижение потерь ценных компонентов и расходов реагентов.

Библиографический список

1. Морозов В.В. Управление процессами обогащения на основе измерения параметров сортности руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 7. – С. 316-319.
2. Ганжаргал С. Методы разделения рудопотоков по качеству при планировании горных работ при открытой разработке месторождения «Эрдэнэтийн-Овоо» // Маркшейдерия и недропользование. – 2006 г. – № 4. – 29-31 с.
3. Ziyadanogulları R., Aydın F., A New Application for Flotation of Oxidized Copper Ore // Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering. – 2005. – Vol. 4, No. 2. Pp. 67-73.
4. Козин В.З. Опробование минерального сырья. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2011. — 316 с.
5. Волков А.И., Алов Н.В. Автоматизированные системы для определения химического состава сыпучих и кусковых материалов на конвейере (обзор) // Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2011. – № 2. – С. 75-88.
6. Hulbert D.G. Simulation, Control and Modeling of Mineral Processing // proceedings of XXII International Mineral Processing Congress, Cape Town, South Africa, 2003. – Pp. 116-126.
7. Отгонбилэг Ш. Управление рудной массой. – М.: Недра. – 1996. – 173 с.
8. Петрович С.И., Мукушева А.С., Файзулин М.А. Метод диагностики обогатительных процессов при одновременной переработке различных типов руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. – № 3. – С. 231-233.
9. Majid Memarian Sorkhabi. Computer Vision for Estimating Cooper Density by Optical Microscope Images // American Journal of Computing Research Repository, 2014. – Vol. 2, No. 4, 61-65.
10. Agoston, Max K. Computer Graphics and



ОБОГАЩЕНИЕ, ПЕРЕРАБОТКА МИНЕРАЛЬНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

Geometric Modeling: Implementation and Algorithms. London: Springer. – 2005. Pp. 300–306. ISBN 1-85233-818-0.

11. Morozov V., Davaasambuu D., Ganbaatar Z., Delgerbat L., Topchaev V., Sokolov I., Stolyarov V. Modern systems of automatic control of processes of grinding and flotation of copper-molybdenum ore. In: 16th IFAC Symposium on Control, Optimization and Automation in Mining, Minerals and Metal Processing, Volume 15, Part1, IFAC (ed.), 2013. – Pp. 166-171.

12. Обогащение медно-молибденовых руд с применением комплексного радиометрического анализа сортности руды / В.В. Морозов, З. Ганбаатар, Ч. Лодойравсал в др. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 12. – С. 176-182.

13. V. Morozov, V. Shek, Y. Morozov, Z. Ganbaatar, L. Delgerbat Improvement of Optical Methods of Ore Grade Analysis // 17th IFAC Symposium on Control, Optimization and Automation in Mining, Mineral and Metal Processing, August 31 - Sept 2, 2016, Vienna, Austria.

14. Шек В.М., Морозов В.В., Литвинов А.Г. Распознавание объектов в минеральных про-

дуктах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 11. – С.330-336.

15. Pérez-Barnuevo, L. Ensayo Metodológico para la Caracterización Automatizada de Menas Metálicas Mediante Análisis Digital de Imagen. Aplicación Geometalúrgica. Master's Thesis, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Spain, 2008. – Pp. 213-218.

16. Catalina, J.C.; Sagundo, F.; Brea, C.; Pérez-Barnuevo, L.; Samper, J.; Espí, J.A.; Sánchez, L.; Castoviejo, R. Use of multi-spectral analysis for automatic identification of ores. Geogaceta 2009, 46, Pp. 47–50.

17. . Совершенствование интеллектуальных методов управления процессами обогащения на основе визиометрического анализа сортности руды. / В.В. Морозов, В.М. Шек, Ю.П. Морозов и др. // Горные науки и технологии. –2016 – № 2. – С. 31-42.

18. Улитенко К.Я. Управление процессами рудоподготовки и обогащения на основе непрерывного анализа сортности руды / В.М. Авдохин, В.В. Морозов, З. Ганбаатар и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – Т. 1. – № 12. – С. 569-583.

“Gornye nauki i tehnologii”/ “Mining science and technology”, 2017, No. 1, pp. 40-48

| | |
|-----------------|--|
| Title: | Control of copper-molybdenum ore beneficiation processes with applying advanced quality control |
| Author 1 | Name&Surname: Zorigt Ganbaatar Company: Erdenet Mining Corporation Address: Friendship Square, Bayan-Undur soum, Orkhon province, 61027, Mongolia Scientific Degree: Dr. Sci. (Tech.) Work position: Deputy General Director Contacts: ganbaatar@erdenetmc.mn |
| Author 2 | Name&Surname: Valery V. Morozov Company: The National University of Science and Technology MISiS Address: 119991, Moscow, Leninsky Prospect, 4 Scientific Degree: Dr. Sci. (Tech.), Prof. Work position: Professor Contacts: dchmgu@mail.ru |
| Author 3 | Name&Surname: Delgerbat Lodoy Company: Erdenet Mining Corporation Address: Friendship Square, Bayan-Undur soum, Orkhon province, 61027, Mongolia Work position: Chief specialist for process control systems Contacts: delgerbat@erdenetmc.mn |
| Author 4 | Name&Surname: Alexandr M. Duda |



| | |
|--------------------|--|
| | <p>Company: Erdenet Mining Corporation Address: Friendship Square, Bayan-Undur soum, Orkhon province, 61027, Mongolia Work position: Deputy Head of Automation and Computer Engineering Department Contacts: duda@erdenetmc.mn</p> |
| DOI: | 10.17073/2500-0632-2017-1-40-48 |
| Abstract: | <p>In the process of ore beneficiation, applying open control loop systems using ore quality as input parameter, proves very effective. To determine the ore quality, on-line analysis of its material and mineralogical composition, impregnation of valuable components is carried out. Based on the analysis results, ore streams are formed at the processing plant, and effective processing conditions are selected.</p> <p>Modern systems of visual metering analysis of ore create the basis for efficient automated control of beneficiation processes, based on the principle of advanced control of ore grade. To improve the accuracy of determining the ore mineral composition, a special installation has been developed, which provides cleaning of ore from slurry. The installation enables achieving high accuracy of the ore mineralogical composition analysis.</p> <p>Tests of the ore grade visual metering analysis system, carried out using copper-molybdenum ores of the Erdenet GOK, have shown high reliability and efficiency of the system.</p> |
| Keywords: | ore beneficiation, flotation, ore grade estimation, visual metering analysis, automatic control, adaptive algorithm, optimization |
| References: | <ol style="list-style-type: none"> 1. Morozov V.V. Upravlenie processami obogashheniya na osnove izmerenija parametrov sortnosti rud [<i>Management of enrichment processes on the basis of measurement of ore grade parameters</i>]. Mining information-analytical bulletin. – 2005. – No. 7. – Pp. 316-319. In Russian. 2. Ganzhargal S. Metody razdelenija rudopotokov po kachestvu pri planirovanii gornyh rabot pri otkrytoj razrabotke mestorozhdenija «Jerdjenjetijn-Ovoo» [<i>Methods of separation of ore flows in terms of quality in the planning of mining operations with the open development of the Erdenetiin-Ovoo deposit</i>]. Mine surveying and subsoil use. – 2006. – No. 4. – Pp. 29-31. In Russian. 3. Ziyadanogulları R., Aydın F., A New Application for Flotation of Oxidized Copper Ore // Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering. – 2005. – Vol. 4, No. 2. Pp. 67-73. 4. Kozin V.Z. Oprobovanie mineral'nogo syr'ja [<i>Testing of mineral raw materials</i>]. – Ekaterinburg: UGSU Publishing House, 2011. – 316 p. In Russian. 5. Volkov A.I., Alov N.V. Avtomatizirovannye sistemy dlja opredelenija himicheskogo sostava sypuchih i kuskovyh materialov na konvejere [<i>Automated systems for determining the chemical composition of bulk and lump materials on a conveyor</i>] (review). Problems of ferrous metallurgy and materials science. – 2011. – No. 2. – Pp. 75-88. In Russian. 6. Hulbert D.G. Simulation, Control and Modelling of Mineral Processing // proceedings of XXII International Mineral Processing Congress, Cape Town, South Africa, 2003. – Pp. 116-126. 7. Otgonbileg Sh. Upravlenie rudnoj massoj [<i>Management of ore mass</i>]. Moscow: Nedra. – 1996. – 173 p. In Russian. 8. Petrovich S.I., Mukusheva A.S., Fajzulin M.A. Metod diagnostiki obogatitel'nyh processov pri odnovremennoj pererabotke razlichnyh tipov rud [<i>The method of diagnostics of dressing processes with simultaneous processing of various types of ores</i>]. Mining information-analytical bulletin. – 2002. – № 3. – Pp. 231-233. In Russian. 9. Majid Memarian Sorkhabi. Computer Vision for Estimating Cooper Density by Optical Microscope Images // American Journal of Computing Research Repository, 2014. – Vol. 2, No. 4, 61-65. 10. Agoston, Max K. Computer Graphics and Geometric Modeling: Implementation and Algorithms. London: Springer. – 2005. Pp. 300–306. ISBN 1-85233-818-0. 11. Morozov V., Davaasambu D., Ganbaatar Z., Delgerbat L., Topchaev V., Sokolov I., Stolyarov V. Modern systems of automatic control of processes of grinding and flotation of copper-molybdenum ore. In: 16th IFAC Symposium on Control, Optimization and Automation |



- in Mining, Minerals and Metal Processing, Volume 15, Part1, IFAC (ed.), 2013. – Pp. 166-171. In Russian.
12. Obogashhenie medno-molibdenovyh rud s primeneniem kompleksnogo radiometricheskogo analiza sortnosti rudy [*Enrichment of copper-molybdenum ores using complex radiometric analysis of ore grade*]. V.V. Morozov, Z. Ganbaatar, C. Lodoyravsall et. al. Mining Information and Analytical Bulletin. – 2011. – No. 12. – Pp. 176-182. In Russian.
13. V. Morozov, V. Shek, Y. Morozov, Z. Ganbaatar, L. Delgerbat Improvement of Optical Methods of Ore Grade Analysis // 17th IFAC Symposium on Control, Optimization and Automation in Mining, Mineral and Metal Processing, August 31 - Sept 2, 2016, Vienna, Austria.
14. Shek V.M., Morozov V.V., Litvinov A.G. Raspoznavanie ob#ektov v mineral'nyh produktah [*Recognition of objects in mineral product*]. – 2015. – No. 11. – Pp. 330-336. In Russian.
15. Pérez-Barnuevo, L. Ensayo Metodológico para la Caracterización Automatizada de Menas Metálicas Mediante Análisis Digital de Imagen. Aplicación Geometalúrgica. Master's Thesis, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Spain, 2008. – Pp. 213-218.
16. Catalina, J.C.; Sagundo, F.; Brea, C.; Pérez-Barnuevo, L.; Samper, J.; Espí, J.A.; Sánchez, L.; Castoviejo, R. Use of multi-spectral analysis for automatic identification of ores. *Geogaceta* 2009, 46, Pp. 47–50.
17. Morozov V.V., Shek V.M., Morozov J.P., Lodoy D. Improving the intelligent methods of management of processes of enrichment on the basis of visiometrics analysis of the grade of the ore. *Mining science and technology*. 2016;(2):31-42. (In Russ.) DOI:10.17073/2500-0632-2016-2-31-42.
18. Ulitenko K.Ja. Upravlenie processami rudopodgotovki i obogashhenija na osnove nepre-ryvnogo analiza sortnosti rudy [*Management of ore preparation and enrichment processes based on continuous ore grade*]. V.M. Avdokhin, V.V. Morozov, Z. Ganbaatar Mining information-analytical bulletin. – 2012. – T. 1. – No. 12. – Pp. 569-583. In Russian.

