

УДК 622.012: 658.5: 622.68

В.А. АЗАРЯН, канд. техн. наук, доц., Криворожский национальный университет

МОБИЛЬНЫЙ ДРОБИЛЬНО-СОРТИРОВОЧНЫЙ РАДИОМЕТРИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС КАК ЧАСТЬ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ РУДОПОТОКОВ КАРЬЕРА

Цель. Целью данной работы является обоснование использования мобильного дробильно-сортировочного радиометрического комплекса как части технологии управления качеством рудопотоков при открытой добыче железной руды и разработка функциональной и технологической схемы его применения.

Методы исследований. Статистические исследования свидетельствуют, что наибольший процент потерь и разубоживания руд приходится на отработку добычных блоков карьеров, расположенных в приконтактных зонах «руда-пустая порода». По данным Горного департамента ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», средний показатель величины разубоживания в карьере составляет 2,0–3,5 %, а в блоках приконтактной зоны – до 18 %. Одним из способов стабилизации качества в рудопотоке является повышение качества в забоях с наибольшим показателем разубоживания и минимизация амплитуды колебаний. Это возможно при использовании различных видов сепарации (сортировки), заключающейся в отсечении некондиционной части от общего потока добытой рудной массы.

Научная новизна. Основной технологической целью управления качеством рудопотоков является обеспечение устойчивого планового качества руды, поступающей из карьера в целом, и минимизации амплитудных и временных колебаний содержания полезного компонента в потоке в гарантированных границах заданного интервала путем интеграции всех элементов системы. Решение проблемы стабилизации качества в общекарьерном рудопотоке является весьма актуальным для современной железорудной отрасли.

Практическое значение. Разработаны функциональная и технологическая схема, а также общая схема формирования общекарьерного рудопотока с использованием мобильного дробильно-сортировочного радиометрического комплекса как части технологии управления качеством рудопотоков карьера. Мобильный дробильно-сортировочный комплекс радиометрической сортировки, являющийся частью технологии управления качеством рудопотоков карьеров и отсекающий некондиционную горную массу в приконтактной зоне «руда-порода» по установленному критерию бинарности среды исходя из значений эффективного атомного номера, позволяет получить технологический, экологический, энергосберегающий и экономический эффект.

Результаты. Технологический эффект заключается в повышении качества рудного потока из забоев приконтактных зон карьера на 5 % по содержанию общего железа и в снижении амплитуды колебаний качества в рудном потоке. Экологический эффект заключается в снижении общего объема породных отвалов за счет возможности размещения хвостов сепарации во внутрикарьерном отвале. Энергосберегающий эффект от применения мобильного дробильно-сортировочного радиометрического комплекса состоит в снижении себестоимости обогащения на 1,0–1,5 % за счет получения дополнительного объема концентрата.

Ключевые слова: мобильный дробильно-сортировочный радиометрический комплекс, технология управления качеством рудопотоков, амплитуда колебаний содержания полезного компонента, приконтактная зона «руда-порода».

Проблема и ее связь с основными научными и практическими заданиями. Основной технологической целью управления качеством рудопотоков является обеспечение устойчивого планового качества руды, поступающей из карьера в целом, и минимизации амплитудных и временных колебаний содержания полезного компонента в потоке в гарантированных границах заданного интервала путем интеграции всех элементов системы.

Анализ исследований и публикаций. Известно, что наибольший процент потерь и разубоживания руд приходится на отработку добычных блоков приконтактных зон месторождений. Граница «руда - пустая порода» не может быть однородной в забое после применения буровзрывных работ. Руда, поступающая из таких забоев, отличается низким качеством и высоким показателем амплитуды колебаний содержания полезного компонента. По данным Горного департамента ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», средний показатель величины разубоживания в карьере составляет 2,0–3,5 %, а в блоках приконтактной зоны – до 18 %.

Постановка задачи. Одним из способов стабилизации качества в рудопотоке является повышение качества в забоях с наибольшим показателем разубоживания и минимизация амплитуды колебаний. Это возможно при использовании различных видов сепарации (сортировки), заключающейся в отсечении некондиционной части от общего потока добытой рудной массы.

Изложение материала и результаты. Отсечение некондиционной горной массы позволяет стабилизировать содержание полезного компонента в потоке руды из данного забоя. Чем ближе к зоне добычи произойдет исключение части горной массы из дальнейшего процесса транспортировки и переработки, тем больше будет эффект от сортировки. Поэтому функцио-

нальная схема и алгоритм работы мобильного дробильно-сортировочного радиометрического комплекса должны строиться таким образом, чтобы процесс отсечения некондиционной горной массы происходил в точке, наиболее приближенной к забою, на стадии добычи.

Ранее известные варианты мобильных дробильно-сортировочных комплексов в составе технологии предварительного обогащения железных руд в карьерах предполагали только магнитную сепарацию. На сегодня предусмотрено опциональное оснащение серийных мобильных дробильных комплексов «Terex Finlay» и «Lokotrack» магнитными сепараторами, позволяющими предобогащать железную руду, связанную с магнетитом.

При обосновании технологии предобогащения в условиях открытой разработки следует учитывать, что не ко всем разновидностям железных руд применимы магнитные методы: руды, не обладающие магнитной составляющей, как правило, инертны к воздействию на них магнитных сепараторов.

Основным преимуществом радиометрической сортировки является то, что прошедшая через сепаратор рудная масса имеет показатель содержания общего железа согласно величине установленного порога сортировки .

Существующие на сегодняшний день разработки дробильно-сортировочных комплексов с радиометрической сортировкой для применения в условиях карьеров имеют стационарное размещение, поэтому после экскавации рудной массы ее необходимо транспортировать до приемного бункера комплекса, а затем продукты сепарации также перемещать дополнительным транспортным звеном. Эффект от повышения качества в рудном потоке в этом случае заметно снижается вследствие как капитальных, так и текущих затрат.

Предлагаемый вариант мобильного дробильно-сортировочного радиометрического комплекса (МДСРК) является по сути синергией мобильного дробильного комплекса и радиометрического сепаратора, суммирующий эффект которой заключается в возможности осуществлении сепарации в наиболее приближенной к забою зоне по установленному порогу сортировки, на основании признаки бинарности рудной массы.

Основным технологическим преимуществом МДСРК является его мобильность, которая позволяет ему перемещаться вслед за подвиганием добычного забоя, экскавируемая рудная масса загружается непосредственно в приемный бункер комплекса, а отсортированный промпродукт загружается в одно из транспортных средств, обслуживающих экскаватор в штатном режиме.

При этом не требуется дополнительное транспортное звено, снижаются капитальные затраты за счет отсутствия необходимости в подготовленной площадке и капитальных сооружениях, в которых обычно размещается стационарный комплекс радиометрической сортировки .

Функционально мобильный дробильно-сортировочный комплекс состоит из приемного бункера 1, вибропитателя 2, дробилки 3, виброгрохота 4, конвейера 5, источника ионизирующего излучения 6, датчика излучения 7, блока обработки сигнала 8, исполнительного устройства (шибера) 9, рудного отсека бункера 10, породного отсека бункера 11, рудного конвейера 12, породного конвейера 13, смонтированных на общем шасси в виде единого агрегата - серийной мобильной дробилки (рис. 1).

Взорванная горная масса экскаватором загружается в приемный бункер, вибропитателем подается в дробилку, мелкий класс удаляется с помощью грохота (4), по конвейеру (5) надрешетный материал подается в зону измерения, где рудная масса подвергается воздействию гамма-излучения.

Рассеянное гамма-излучение регистрируется датчиком (7), сигнал с которого поступает в измерительный блок, где формируется командный импульс для управления разделительным устройством (шибер 9). Шиберное устройство разделяет исходную горную массу на продукты обогащения: промпродукт и хвосты и направляет в соответствующие бункера (10, 11).

Промпродукт отгружается в одно из транспортных средств, обслуживающих экскаватор в данном забое, а хвосты могут либо транспортироваться во внешний отвал, либо, при недостаточных габаритах рабочей площадки уступа, расположенного на граничном контуре карьера, складироваться в зоне нижней бровки в виде внутреннего отвала.

При варианте внутреннего отвалообразования, т.е. формирования хвостов сортировки на граничном контуре карьера в выработанном пространстве в определенном стационарном объе-

ме, применение мобильного дробильно-сортировочного радиометрического комплекса приносит экологический эффект.

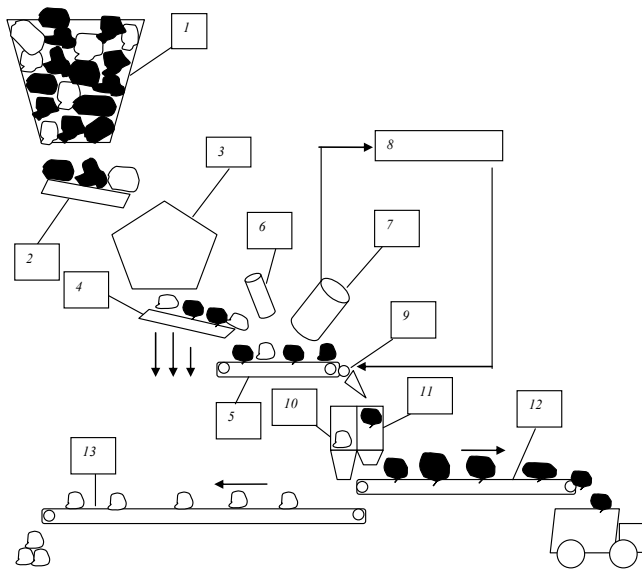


Рис. 1. Функциональная схема мобильного дробильно-сортировочного радиометрического комплекса

Мобильный дробильно-сортировочный радиометрический комплекс может быть применен как составная часть технологии управления качеством рудопотоков карьера.

Технологическая схема обработки добычного забоя приконтактной зоны карьера с применением мобильного дробильно-сортировочного радиометрического комплекса показана на рис. 2. Организация работ в забое при этом выглядит следующим образом: расчетные параметры рабочей площадки обеспечивают размещение выемочного оборудования с учетом габаритов мобильного дробильно-сортировочного радиометрического комплекса и схемой подачи транспорта под погрузку.

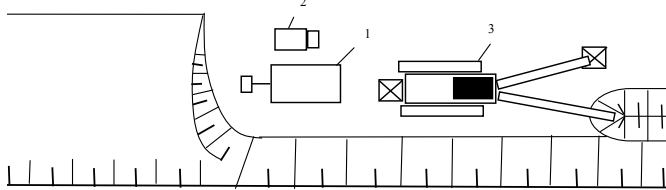


Рис. 2. Схема обработки рудного забоя с применением мобильного дробильно-сортировочного радиометрического комплекса

бильно-сортировочного радиометрического комплекса и схемой подачи транспорта под погрузку.

части забоя, где показатели содержания полезного компонента в пределах нормы ведется в обычном режиме, а при обмене транспорта экскаватор не простаивает, а производит загрузку бункера мобильного дробильно-сортировочного радиометрического комплекса из той части забоя, где разубоживание имеет максимальные показатели. При этом коэффициент использования экскаватора возрастает, поскольку при обмене автосамосвалов выемочное оборудование продолжает работать, загружая бункер мобильного комплекса.

Процесс сепарации в мобильном дробильно-сортировочном радиометрическом комплексе идет непрерывно.

Под разгрузочной консолью комплекса находится рудный бункер, из которого периодически, по мере его заполнения, производится погрузка отсепарированной рудной массы в те же автосамосвалы, которые обслуживают данный забой. При этом содержание полезного компонента в промпродукте после сепарации возрастает.

Для мобильного дробильно-сортировочного радиометрического комплекса определены две основные технологические задачи.

Первой технологической задачей мобильного дробильно-сортировочного радиометрического комплекса является отсечение некондиционной горной массы с целью исключения ее дальнейшей транспортировки, дробления, измельчения и участия в процессе обогащения. При этом мобильный дробильно-сортировочный радиометрический комплекс сепарирует не весь объем рудной массы из заходки, а лишь только ту часть, что находится в приконтактной зоне «руда-порода». Хвосты сепарации складываются по возможности во внутренних отвалах, на граничном контуре карьера.

Второй технологической задачей мобильного дробильно-сортировочного радиометрического комплекса является повышение содержания полезного компонента в рудной массе и стабилизация амплитуды колебаний качества в потоке за счет установленного порога сортировки на основании критерия бинарности среды.

Общая схема формирования рудопотока карьера с использованием мобильного дробильно-сортировочного комплекса показана на рис. 3.

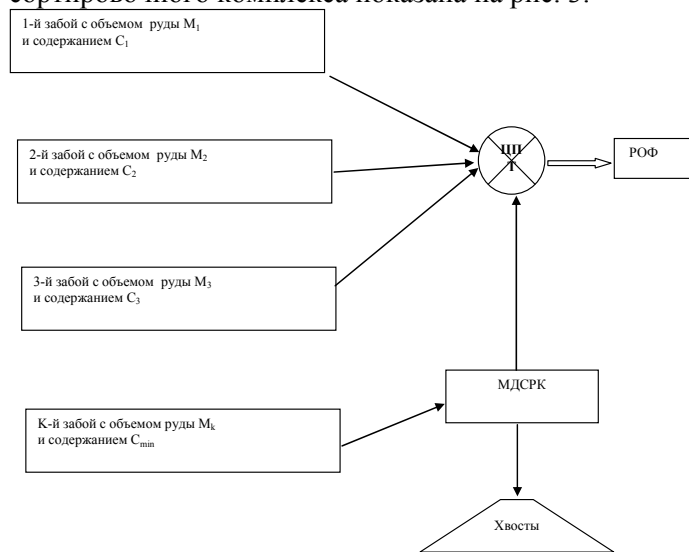


Рис. 3. Общая схема формирования рудопотока карьера с использованием мобильного дробильно-сортировочного радиометрического комплекса

В свою очередь, согласно технологическим требованиям, содержание полезного компонента в руде после усреднения должно соответствовать заданной величине, то есть имеет место равенство по качеству в добытой руде и в рудопотоке

$$\sum_{k=1}^N c_k m_k = m_o \cdot c_o, \quad (1)$$

где c_o - заданное содержание полезного компонента в руде после усреднения.

Естественным требованием являются также ограничения объемов руды, доставляемых транспортом из забоев

$$0 \leq m_k \leq \bar{m}_k, \quad (k = 1, 2, \dots, N), \quad (2)$$

где \bar{m}_k - максимально возможный объем руды, доставляемый транспортом из k -го забоя, т.

Формулы (1,2) представляют математическую модель, входящую в систему управления формирования рудопотока в карьере.

Вместе с тем, возможна и другая формулировка математической модели, в которой условие (1) заменяется ограничениями на диапазон колебаний содержания железа в руде после усреднения, т.е. формирования рудопотока

$$c_{\min} m_o \leq \sum_{k=1}^N c_k m_k \leq c_{\max} m_o, \quad (3)$$

где c_{\min} , c_{\max} - наименьшая и наибольшая допустимые величины содержания полезного компонента в сформированном рудопотоке.

Для функционирования системы управления выдвигаются определенные требования, к которым относятся наблюдаемость, управляемость и достижимость.

Мобильный дробильно-сортировочный комплекс радиометрической сортировки, являющийся частью технологии управления качеством рудопотоков карьеров и отсекающий некондиционную горную массу в приконтактной зоне «руда-порода» по установленному критерию бинарности среды исходя из значений эффективного атомного номера, позволяет получить технологический, экологический, энергосберегающий и экономический эффект.

Технологический эффект от применения мобильного дробильно-сортировочного радиометрического комплекса заключается в повышении качества рудного потока из забоев приконтактных зон карьера на 5 % по содержанию общего железа, в снижении амплитуды колебаний качества в рудном потоке из забоев приконтактных зон и за счет этого общей стабилизации рудопотока карьера; в снижении на 1 % общего объема руды, направляемой на обогащение и уменьшении объема транспортировки пустых пород до внешних отвалов за счет возможности применения внутреннего отвалообразования на граничном контуре карьера.

Экологический эффект от применения мобильного дробильно-сортировочного радиометрического комплекса заключается в уменьшении общего объема породных отвалов на земной поверхности за счет возможности размещения хвостов сепарации во внутрикарьерном отвале на граничном контуре.

Энергосберегающий эффект от применения мобильного дробильно-сортировочного радиометрического комплекса состоит в общем сокращении расхода энергоресурсов в связи с уменьшением объема рудной массы, направляемого на обогащение. Известно, что затраты на измельчение составляют порядка 70 % от себестоимости обогащения, а процесс обогащения занимает не менее 60 % в структуре себестоимости горно-обогатительного комбината.

Экономический эффект от применения мобильного дробильно-сортировочного радиометрического комплекса заключается, в стабилизации процесса обогащения за счет формирования общекарьерного рудопотока с заданными качественными характеристиками, оптимизирующими технико-экономические показатели работы обогатительной фабрики и всего горно-обогатительного комбината. При этом наблюдается снижение себестоимости обогащения на 1,0-1,5 % за счет получения дополнительного объема концентрата вследствие стабилизации качества исходной руды обогатительного производства в заданном диапазоне.

Выводы. Применение мобильного дробильно-сортировочного радиометрического комплекса как составной части технологии управления качеством рудопотоков в условиях открытых горных работ позволит получить технологический, экологический, энергосберегающий и экономический эффект.

Список литературы

1. Бастан П.П. Смешивание и сортировка руд / П.П. Бастан, Н.К. Костина – М., : Недра, 1990. – 168 с.
2. Федоров М.Ю. Основные технические и конструктивные принципы рентгенорадиометрических сепараторов РАДОС / М.Ю. Федоров // Материалы 3 международной научно-технической конференции «Рентгенорадиометрическая сепарация минерального сырья и техногенных отходов». – Екатеринбург, 2007 г. – С. 70-79
3. Азарян В.А. Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference "The goals of the World Science 2017" (January 31, 2017, Dubai, UAE). № 2(18), Vol.1, February 2017 – С. 20–24.
4. Ломоносов Г.Г. Формирование качества руды при открытой добыче / Г.Г. Ломоносов // М.: Недра, 1975 – 224 с.5.
5. Пат. №85053 Украина, В07В 1/00. Мобильный дробильно-сортировочный радиометрический комплекс / А.А. Азарян, В.А. Азарян, Ю.Е. Цыбулевский – 2013. Бюл. № 21, опубл. 11.11.2013 г.
6. Арсеньев С.Я. Внутрикьерное усреднение железных руд / С.Я. Арсеньев, А.Д. Прудовский // М.: Недра, 1980 – 200 с.
7. Федосеев В.А. Экономика обогащения железных руд. / В.А. Федосеев // Изд-во «Наука», Ленингр. Отд., 1974 – 112 с.
8. Бызов В.Ф. Об усреднении качества руд при объединении грузопотоков / В.Ф. Бызов, Ю.Г. Вилкул И.И. Максимов // Металлургическая и горная промышленность, 1982. – №2. – С. 64-65.
9. Азарян В.А. Разработка мобильного дробильно-сортировочного радиометрического комплекса для железорудных карьеров, / В.А. Азарян // Черная металлургия: бюллетень научно-технической и экономической информации, Издательство: Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований черной металлургии // Москва ISSN: 0135-5910. – 2014. – №5 (1373). – С. 23 – 26.
10. Азарян В.А. Модель стабилизации колебаний содержания полезного компонента в рудопотоке карьера / В.А. Азарян // Европейская наука и технологии (European Science and Technology). Мюнхен, Германия, – 3-4 октября 2013 г.: Материалы 5 Международной научно-практической конференции. Мюнхен. – С. 331 – 336.

Рукопись поступила в редакцию 04.04.17.

УДК 622.7.092

А. А. АЗАРЯН, д-р техн. наук, проф., Д. В. ШВЕЦ, аспирант,
Криворожский национальный университет

В. Г. КУЧЕР, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, ООО «Рудпромгеофизика»

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЛАБОРАТОРНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ ПУЛЬПОВЫХ ПРОДУКТОВ МАГНЕТИТОВЫХ РУД

Цель. Целью данной работы является разработка новой конструкции лабораторного анализатора содержания магнитного железа (магнетита) в твердой фазе пульповых проб рудообогатительных фабрик, перерабатывающих магнетитовые руды. Обогащение руд и известные анализаторы содержания магнетита базируются на использовании пондеромоторного метода, когда ферромагнитная составляющая твердого пульпы притягивается к магниту, при этом сила притяжения характеризует содержание магнетита в контролируемом объеме.

Методы исследования. До последнего времени не рассматривались анализаторы содержания магнетита, построенные на измерении силы отрыва притянутой к постоянному магниту контролируемой пробы. Такой метод контроля момента отрыва пробы значительно упрощает конструкцию анализатора и повышает точность измерений.

Научная новизна. Решение данной задачи составляет актуальность работы. Ее целью является математическое обоснование сил отрыва, действующих на пробу, получаемых на поверхности постоянного магнита при измерении в пробе содержания магнетита.

Практическая значимость. Разработана конструкция предлагаемых лабораторных весов, установлена линейная зависимость силы отрыва пробы от содержания в ней магнетита при неизменном объеме пробы, а также зависи-