

Д.Р. Каплунов, В.А. Юков

ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВНОЙ ОТБОЙКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РУДНИЧНОГО ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОБОГАЩЕНИЯ

Показано, что изменение параметров буровзрывных работ превращает покусковую сепарацию в самодостаточное эффективное средство предварительного обогащения руды. Предложенное использование подземных передвижных дробильных установок переносит начало процесса предварительного обогащения на места ведения горных работ.

Ключевые слова: предварительное обогащение, параметры БВР, покусковая сепарация, передвижные дробильные установки.

При сложившейся практике ведения горных работ и применяемого оборудования процессы подземного обогащения: крупнопорционная сортировка, покусковая сепарация по отдельности и комбинированная схема, объединяющая сортировку и сепарацию, проигрывают традиционной схеме переработки руды. И требуют дополнения кучным выщелачиванием хвостов предобогащения. При этом дополнительно получаемый металл не только компенсирует затраты на строительство участка кучного выщелачивания, но и позволяет получить более высокие показатели [1].

В тоже время совершенствование горного производства, в частности изменение параметров буровзрывных работ, может повысить эффективность рудничного радиометрического предобогащения, основанного на покусковой сепарации.

Общее условие ведения БВР крепость руды $f = 12-13$ (диапазон 11–15). Расчеты выполнены для кондиционного куска 0,4; 0,3; 0,2 м и четырех видов 75 мм скважин. В относительно монолитных рудах с удельной трещиноватостью 1 шт/м, со средним размером отдельностей 1 м и длиной трещин 1 м применяют

параллельные скважины. При трещиноватых рудах с удельной трещиноватостью 2 шт./м, со средним размером отдельностей 0,5 м и длиной трещин 0,5 м применяют веерные скважины. При нарушенных рудах с удельной трещиноватостью 2–4 шт./м, со средним размером отдельностей 0,4–0,5 м применяют параллельно сближенные заряды. При сильно нарушенных рудах с удельной трещиноватостью 6–7 шт./м со средним размером отдельностей 0,3–0,4 применяют пучки скважин. Результаты сведены в табл. 1, где представлены только показатели, использованные в дальнейшем.

Возможность рентгенорадиометрической сепарации подтверждена испытаниями, проведенными на Гайском и Учалинском месторождениях. На установку подавали медную руду крупностью –300+40 мм. Выход хвостов сепарации составил 66% на первом месторождении и 42% на втором [2], следовательно, в дальнейшем процессе участвует вдвое меньший объем руды более высокого качества и соответственно сокращаются расходы.

Известно, что эффективность радиометрического обогащения повышается при снижении содержания, поскольку повышается выход крупнокусковых хвостов. Кондиционный кусок

Таблица 1

Расчетные параметры буровзрывных работ

| Показатели | Параллельные скважины | | | Веерные скважины | | | Парал. сбл. скв* | | Пучки скважин* | |
|-------------------------------------|-----------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|------------------|-------|----------------|------|
| | кондиционный кусок, м | | | кондиционный кусок, м | | | число скважин | | коэф. трещ. | |
| | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 3 | 2 | 0,85 | 0,9 |
| Линия наименьшего сопротивления, м | 2,6 | 2,4 | 2,2 | 2,8 | 2,6 | 2,3 | 5,2 | 5,0 | 2,4 | 2,2 |
| Длина скважин на 1 т, м | 0,085 | 0,107 | 0,133 | 0,100 | 0,108 | 0,118 | 0,106 | 0,074 | 0,079 | 0,09 |
| Удельный расход ВВ на отбойку, кг/т | 0,30 | 0,38 | 0,48 | 0,26 | 0,28 | 0,35 | 0,39 | 0,26 | 0,75 | 1,04 |
| Выход негабарита, % | 2,5 | 2,0 | 1,8 | 4,7 | 5,0 | 4,4 | | | 3,2 | 2,5 |
| Средний размер куска, см | 16 | 14 | 12 | 17 | 16 | 15 | 14 | 17 | 14 | 14 |

* Показатели для кондиционного куска 0,2 м.

0,2 м принят для использования на покусковой сепарации 4-х канальной рентгенорадиометрической установки с максимальным размером куска в 200 мм.

Рассматривается часть мощного медного месторождения. Запасы участка составляют 20 млн т. Его обрабатывает рудник с годовой производительностью 1 млн т. Применяемая система разработки – этажно-камерная с твердеющей закладкой.

Для оценки реализуемости намеченных вариантов использован адаптированный метода принятия решений в условиях неопределенности. Под условиями неопределенности понимается колебание исходных данных и показателей, приведенных в табл. 2.

Суть метода состоит в сравнении двух показателей окупаемости инвестиций: минимального r_m , при котором проект безу-

Таблица 2

Исходные данные сравниваемых вариантов

| Показатели, (обозначение) | Варианты | | | |
|---|-----------|--|---------------------|-------------|
| | ед. изм. | базовый | измен. БВР+ПС | оцениваем.1 |
| Геологические запасы, (X_1) | млн. т | 20 | | 20 |
| Среднее содержание условной меди, (X_2) | % | 1,5 | | 1,5 |
| Применяемая система разработки | | Этажно-камерная с твердеющей закладкой | | |
| Общее извлечение, (X_3) | % | 85 | | 85 |
| Общие эксплуатационные расходы, (X_4) | долл./т | 39,7 | | 34,0 |
| в т. ч. добыча | | 17,3 | 0,4+ 0,7+ 1,0 = 2,1 | 19,4 |
| обогащение | | 15,6 | - 7,8 | 7,8 |
| металлургический передел | | 6,8 | | 6,8 |
| Общие капвложения | млн долл. | 108,5 | +1,5 | 110 |
| в т. ч. рудник | | 68,2 | +1,5 | 69,7 |
| обогащение | | 24,1 | | 24,1 |
| металлургический передел | | 16,2 | | 16,2 |
| Цена условной меди, (X_5) | долл./т | 10 660 | | 10 660 |

быточен, и возможного для данного проекта r_1 . Причем используется значение прибыли до выплаты налогов. Инвестиционные затраты, эксплуатационные расходы и ценовые показатели (при 1 долл. = 30 руб.) приняты согласно работе [1] для длительно стабильно работающего предприятия.

Оценка выполняется на основе ограниченного набора существенно влияющих внешних (цена продукции, ставка дисконтирования) и внутренних (запасы, содержание, технология переработки) факторов.

Отклонения всех учитываемых переменных от средней величины приняты равными 10%. Цена условной меди принята средней за 5 лет в 10 660 долл./т.

Случайная переменная, описывающая общую прибыль на начало проекта до выплаты налогов имеет вид:

$$F = \overline{X_1 X_2} (\overline{X_3 X_5} - \overline{X_4}).$$

Уравнение общей прибыли (Π) и функцию ее отклонения $\text{Var}_{(\Pi)}$ получаем разложением в ряды Тейлора. Стандартное отклонение прибыли равно корню квадратному из величины колебания. В последующих шагах методики дважды учитывается величина капложений на осуществление каждого варианта при определении параметров масштаба и формы. Результаты представлены на рис. 1.

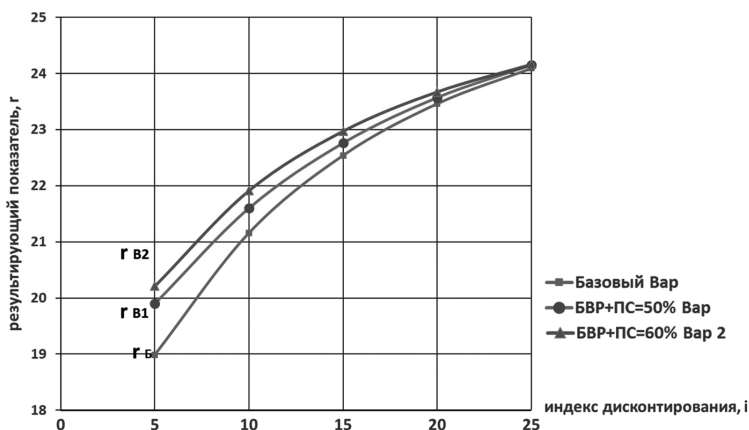


Рис. 1. Реализация технологий предварительного обогащения при изменении параметров БВР и кусковой сепарации (ПС): i – норма дисконта; r – показатель окупаемости инвестиций по вариантам: r_B – базовый; r_{B1} – при изменении параметров БВР и ПС = 50%; r_{B2} – при изменении параметров БВР и ПС = 60%

Кривая r_m предопределяет границу безубыточности проектов при разной норме дисконта. Отметим, что в рассматриваемом диапазоне дисконтирования 5–25% значения кривой безубыточности r_m изменяются от 1,6 до 5,05, поэтому на рисунке не приведена. Результирующие кривые r_i , описывающие оцениваемые варианты, располагаются значительно выше кривой безубыточности r_m , что свидетельствует о высокой эффективности применяемых технологий.

Кривая r_b отражает функционирование базового варианта рудника (без рудоподготовки) в рассматриваемых условиях. Она далеко отстоит от границы безубыточности, что обусловлено ценой металлов (Cu + Zn) в добываемом сырье.

Снижение кондиционного куска до 0,2 м возможно за счет более плотной сетки скважин, что влечет за собой увеличение расхода ВВ на отбойку и длины взрывных скважин. Их величины для двух наиболее распространенных видов скважин приведены в табл. 3.

Расходы на ПС невелики – 15–25 руб./т исходной руды [3], что в пересчете, с учетом инфляции, составляет 0,75–1,23 долл./т. В расчетах принято 1 долл./т. Для всего объема руды, поступающей на ПС, требуется 8 сепараторов типа СЦМ-1. Общие капитальные затраты на ПС составят 1,5 млн долл.

Таблица 3

Дополнительные расходы при изменении параметров БВР

| Увеличение расхода ВВ, кг/т | | | |
|--|---|---------------------------|---------------------------------|
| Показатели | При кондиционном куске 0,2 м по отношению к | | Дополнительные расходы, долл./т |
| | Параллельные скважины | кондиционному куску 0,4 м | |
| кондиционному куску 0,3 м | | 0,1 | 0,23 |
| Веерные скважины | кондиционному куску 0,4 м | 0,09 | 0,21 |
| | кондиционному куску 0,3 м | 0,07 | 0,16 |
| Увеличение длины взрывных скважин, м/т | | | |
| Показатели | При кондиционном куске 0,2 м по отношению к | | Дополнительные расходы, долл./т |
| | Параллельные скважины | кондиционному куску 0,4 м | |
| кондиционному куску 0,3 м | | 0,026 | 0,34 |
| Веерные скважины | кондиционному куску 0,4 м | 0,018 | 0,24 |
| | кондиционному куску 0,3 м | 0,01 | 0,13 |

Кривая r_{B1} представляет вариант, где учтены наибольшие дополнительные расходы на ВВ и длину взрывных скважин (см. табл. 3) при 50% выходе хвостов сепарации.

Кривая r_{B2} представляет вариант, где учтены наименьшие дополнительные расходы на ВВ и взрывные скважины при 60% выходе хвостов сепарации.

Обе эти кривые расположены выше базовой, что свидетельствует о более высокой эффективности двух рассматриваемых вариантов.

Кроме того, не учтены следующие положения, повешающие эффективность предлагаемой схемы:

- снижение расходов на обогащение руды с более высоким содержанием металла;
- снижение расходов на транспорт при организации самотечного транспорта в комплексе предобогащения;
- высвобождение площадей на обогатительной фабрике в корпусе крупного дробления и частично среднего дробления;
- снижение расходов на отопление высвобождаемых площадей;
- частично снижение расходов на выдачу на поверхность отсортированной пастой породы.

Предварительная оценка показало, что остаточная экономия на обогащении (за вычетом дополнительных расходов на БВР и ПС) в 5,7 долл./т в первом варианте и 8,1 долл./т во втором не только компенсируют дополнительные 1,5 млн долл. капвложений на приобретение оборудования для ПС, но и обеспечивают окупаемость общих инвестиций в проект. Последнее служит основанием для более детальной проектной проработки предложенной технологической схемы.

Хвосты сепарации могут быть использованы по нескольким направлениям, рис. 2:

- при малом содержании металла, ниже уровня хвостов флотационного обогащения, (после экономического обоснования) сразу направляются в закладку;
- при более высоком содержании металла выдаются на поверхность для кучного выщелачивания;
- при наличии свободной устойчивой камеры от очистных работ размещают в ней и организуют выщелачивание металла на месте. (При наличии практики подземного выщелачивания на предприятии).

Поскольку общие потери металла при предобогащении достигают 6% [4, 5], то для их снижения и возвращения металла в

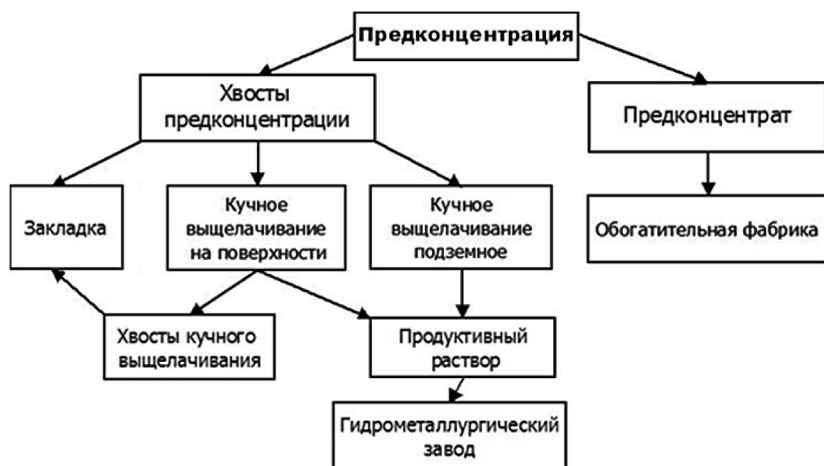


Рис. 2. Использование хвостов предварительного обогащения

дальнейшую переработку (также как и в урановой промышленности) нужно кучное выщелачивание. Получаемая в результате дополнительная прибыль, как показано в [1], резко повышает показатели и позволяет не только компенсировать дополнительные затраты на сооружение участка выщелачивания, но и обеспечивает преимущество новых сценариев по сравнению с базовым. Поэтому в проекте рудника, включающего покусковую сепарацию, в качестве самостоятельного эффективного процесса предварительного обогащения, добываемой руды, необходим участок кучного выщелачивания, позволяющий обеспечить полный цикл комплексного освоения и тем самым лучшие показатели эксплуатации недр.

Расположение рентгенометрической станции возможно по нескольким вариантам:

1. У скипового ствола перед дозаторной в камере подземного дробления, рис. 3.

Размещается с учетом поступления материала самотечным транспортом. Надрешетный продукт с виброгрохота 3 подается в щековую дробилку пластинчатым питателем 5. Современная схема улавливания металлических предметов из руды, подаваемой в дробилку состоит из двух металлоискателей с мощным подвесным электромагнитом между ними. Негабаритные куски для грохота 7, отсеивающего куски, превышающих размеры приемного отверстия щековой дробилки 8, разбиваются бутобоем 6. Дробленный материал от щековой дробилки 4 воз-

вращается на виброгрохот 3 для деления на классы покусковой сепарации, а мелочь направляется в рудный бункер 11.

Подрешетный продукт направляется на РРС 4. Обойма виброгрохота позволяет разделить поступающую рудную массу на узкие классы крупности для покусковой сепарации. Например, 25–50; 50–100; 100–150; 150–200 мм. Отсев мелочи -0–25 мм, не подлежащей дроблению и переработке на РРС, направляется в рудный бункер 11.

С уменьшением крупности кусков руды производительность сепараторов снижается. Эффективность радиометрического обогащения руд повышается при снижении содержания металла, поскольку повышается выход крупнокусковых хвостов.

Такое расположение предпочтительно, поскольку: сокращает объем передаваемой далее обогащенной руды; поступающий после БВР более мелкий материал, кондиционный кусок 200 мм, сокращает площади на обогатительной фабрике для крупного и частично для среднего дробления; сокращает обогреваемые площади на обогатительной фабрике.

2. На поверхностной площадке рудника в надшахтном здании или рядом с расчетом подачи рудной массы самотеком.

3. На обогатительной фабрике в корпусе среднего дробления или его части. При сниженном кондиционном куске площадь корпуса, по-видимому, не увеличится.

Традиционно подземные дробилки располагают в камере у подъемного скипового ствола с расчетом использования само-

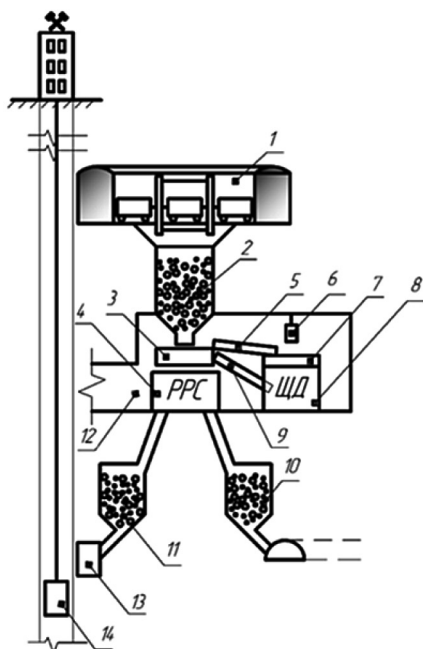


Рис. 3. Расположение станции предварительного обогащения: 1 – опрокид, 2 – рудный бункер, 3 – виброгрохот, 4 – рентгенорадиометрическая станция, 5 – питатель дробилки, 6 – гидравлический бутобой, 7 – грохот, 8 – щековая дробилка, 9 – питатель, 10 – бункер хвостов обогащения, 11 – бункер предконцентрата, 12 – камера дробления и предобогащения, 13 – дозатор, 14 – скип

течного транспорта вплоть до дозаторной. В последнее время наметилась тенденция использования участковых дробильных комплексов. На Узельгинском и Учалинском рудниках внедряют участковые дробильные комплексы на базе импортной дробилки С-125В (Китай). Они заменяют стационарные комплексы металло- и энергоемкого отечественного оборудования, которые размещают в камерных выработках очень больших размеров [6]. Такое техническое решение позволяет избежать трудоемких и опасных процессов дробления негабаритных кусков руды на решетках рудоспусков.

При кондиционном куске руды в 0,2 м возможно внедрение небольших передвижных (перемещаемых) дробильных установок. Основой служит щековая дробилка малого типоразмера с грохотом и буферной емкостью в виде небольшого бункера. За прототип может быть принята «мобильная щековая станция» Yifan типа PP600 (Китай), предназначенная для открытых горных работ, рис. 4.

Для подземных горных работ передвижная установка должна быть модернизирована:

- оснащена щековой дробилкой с размером приемного отверстия 200×400 мм или 380×600 мм;
- снабжена небольшим бункером емкостью 2–2,5 м³;
- снабжена «буксировочным пальцем» малой длины.

Причем производительность передвижной дробильной установки согласовывается с производительностью очистных работ. На очистных работах широко применяют комплексы, состоящие из буровой установки Соло-1008 и погрузочно-доста-

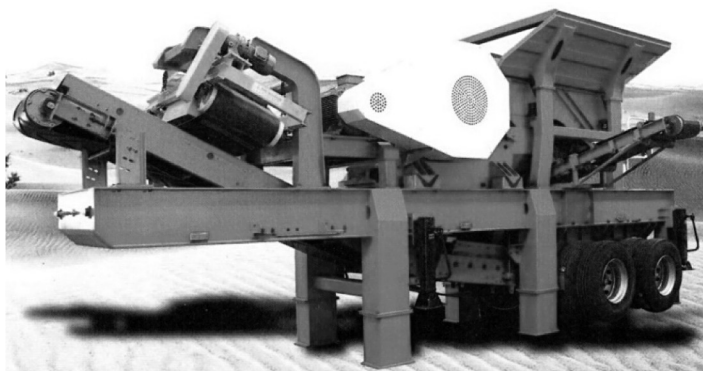


Рис. 4. Дробилка PP600 как прототип подземной передвижной дробильной установки

вочной машины Торо-200 или Торо-350. Первый обеспечивает годовую производительность 180–200 тт/год, второй – 330–350 тт/год. Совместно в 500 тт/год. На руднике с производительностью 1 млн т/год достаточно иметь в работе 4 комплекса.

Расчетный выход негабарита во всех рассчитанных диапазонах, 0,4–0,2 м, не превышает 5% с отклонением в большую сторону +12%, средний диаметр куска колеблется от 12 до 17% (см. табл. 1).

Таблица 4

Технические параметры некоторых дробилок

| Марка | Размер приемного отверстия, мм | Максимальный размер куска, мм | Диапазон регулирования разгрузки, мм | Габариты (Д×Ш×В), м | Мощность, кВт | Производительность, т/ч | Вес, т |
|-------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|---------------------|---------------|-------------------------|--------|
| Щековые дробилки | | | | | | | |
| ЩДС 250×400 (Россия) | 250×400 | 220 | 20–60 | 2,03×1,12×1,63 | 18,5 | 9–51 | 3,0 |
| ВЩД 130×300 (Россия) | 130×300 | 110 | 20 | 1,6×1,36×1,2 | 2×11 | 1,5 | 1,5 |
| ВЩД 440×800 (Россия) | 440×800 | 350 | 45 | 2,7×2,47×2,32 | 2×30 | 35 | 17 |
| ВЩД 440×1200 (Россия) | 440×1200 | 350 | 50 | 4,0×3,1×2,5 | 2×45 | 50 | 20 |
| ВЩД 600×800 (Россия) | 600×800 | 500 | 70 | 3,02×2,23×2,85 | 2×37 | 55 | 20 |
| SAES C-40 (Китай) | 250×400 | | 20–80 | | 15 | 40 | |
| SAES C-60 (Китай) | 380×600 | | 30–100 | | 30 | 80 | |
| SAES C-90 (Китай) | 650×900 | | 50–150 | | 75 | 180 | |
| PP 600 Мобильн. станция | 400×600 | | 100–400 | 8,6×2,52×3,27 | | 10–35 | 15,24 |

Для кондиционного куска в 0,2 м выход негабарита колеблется от 1,8 до 4,4% при среднем диаметре куска в 12–15 см. Рассматриваем неблагоприятный вариант, что на практике выход негабарита удвоится и достигнет 10%, что соответствует 100 тт/год. Следовательно, передвижная подземная дробильная установка должна обеспечить дробление не менее 100 тт/год при куске порядка 20 см. Большой размер представляет надрешетный продукт и разбивается бутобоем. Отечественная щековая дробилка ЩДС 250×400 позволяет дробить 160–170 тт./год, коэффициент запаса производительности 1,6–1,7 раз к расчетному. Размеры загрузочного отверстия 250×400 мм позволяют пропускать куски в 22 см в исходном питании, а весит 3 т (см. табл. 4).

Подобные показатели обеспечивает и дробилка SAES С-40 китайского производства. При необходимости может быть выбрана более мощная (и более тяжелая) дробилка SAES С-60.

Вибрационная щековая дробилка ВЩД 400×800 способна принимать куски руды в 350 мм в исходном питании при размерах приемного отверстия 440×800 мм при той же годовой производительности. Однако, примерно в 6 раз тяжелее и имеет в 4 раза большую установленную мощность электродвигателей (2 мотора по 30 кВт вместо одного в 15–18 кВт).

Передвижные подземные дробильные установки размещают:

- под общим рудоспуском при групповой подготовке нескольких очистных блоков;
- в камере под блок при больших его запасах.

Двух (трех) передвижных дробильных установок достаточно для обеспечения нужной производительности рудника.

Применение подземных передвижных дробильных установок позволяет:

- избежать дробления негабарита над рудоспуском (как и для участковых дробилок);
- в ряде случаев значительно сократить количество рудоспусков в рудном поле;
- уменьшить затраты на проходку рудоспусков, монтаж люковых устройств и ремонт в процессе эксплуатации;
- позволяет без дополнительных затрат и наиболее технологично доставлять руду до установки предварительного обогащения и подъемных сосудов скипового ствола.
- в околоствольных выработках (меньшего размера) размещать не стационарные дробилки, а оборудование для подземного предварительного обогащения руды.

При проектировании подземного рудника с использованием описанных дополнений в технологическую схему следует ориентироваться на проходку околоствольных камер меньших размеров для размещения установок покусковой сепарации, а при проведении групповых, межблоковых, блоковых рудоспусков предусматривать соответствующие ниши для передвижных дробильных установок вместо стационарных люковых устройств.

Снижение кондиционного куска руды до 0,2 м за счет ступенчатости сетки скважин и увеличения расхода ВВ на отбойку повышает эффективность покусковой сепарации и превращает ее в самодостаточное эффективное средство предварительного обогащения, а дополнение его передвижными дробильными установками перемещает начало процесса предобогащения на места ведения горных работ. Последующее доизвлечение потеряннного в хвостах сепарации металла только увеличивает преимущество.

Организация подземного предварительного обогащения руды уменьшает риски реализации инвестиционных проектов за счет общего снижения совокупных эксплуатационных расходов, улучшения логистики перемещения и переработки объемов рудной массы и некоторого сокращения капиталоемкости горно-обогатительного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Каплунов Д. Р., Юков В. А.* Об условиях проектирования радиометрического обогащения при подземной добыче руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 9. – С. 84–91.
2. *Федоров Ю. О., Дементьев В. Е., Войлошников Г. И.* Управление качеством – необходимость и реальность / Современные процессы комплексной и глубокой переработки труднообогащаемого минерального сырья (Плаксинские чтения 2015). Материалы Международного совещания. Иркутск 21–25 сент. 2015 г. – Иркутск: Изд-во РИЭЛ, 2015. – С. 74–78.
3. *Татарников А. П., Асонова Н. И., Балакина И. Г. и др.* Радиометрическая сепарация руд цветных и редких металлов / Прогрессивные технологии комплексной переработки минерального сырья / Под ред. В. А. Чантурия. – М.: Руда и металлы, 2008. – С. 62–69.
4. *Кожиев Х. Х., Ломоносов Г. Г.* Рудничные системы управления качеством минерального сырья. – М.: Изд-во МГГУ, 2008. – 292 с.
5. *Лисиченко В. Г.* Подготовка рудного сырья. Т. 2. – М.: Изд-во МГГУ, 2010. – 187 с.
6. *Горное производство цветной металлургии Урала* / Под ред. В. С. Хохрякова. – Екатеринбург: Изд-во УГГА, 2004. – С. 129–190. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Каплунов Давид Родионович*¹ – чл.-корр. РАН,
главный научный сотрудник,
*Юков Владимир Александрович*¹ – кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
¹ Институт проблем комплексного освоения недр РАН,
e-mail: info@ipkonran.ru.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 9, pp. 172–184.

UDC 622.235:
622.7

D.R. Kaplunov, V.A. Yukov

MODIFICATION OF BLASTING PARAMETERS TO ENHANCE ORE PRE-TREATMENT EFFICIENCY

It shown that the control of the drilling and blasting parameters makes the one-pieces sorting an efficient and self-sufficient preconcentration method. The proposed use of underground mobile crushing plants take the beginning of the preconcentration process to the field of mining.

Key words: preconcentration, drilling and blasting parameters, one-piece sorting, mobile crushing plants.

AUTHORS

*Kaplunov D.R.*¹, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences,
Chief Researcher,

*Yukov V.A.*¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,

¹ Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources
of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia, e-mail: info@ipkonran.ru.

REFERENCES

1. Kaplunov D. R., Yukov V. A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2013, no 9, pp. 84–91.
2. Fedorov Yu. O., Dement'ev V. E., Voyloshnikov G. I. *Sovremennye protsessy kompleksnoy i glubokoy pererabotki trudnoobogatimogo mineral'nogo syr'ya* (Plaksinskie chteniya 2015). Materialy Mezhdunarodnogo soveshchaniya. Irkutsk 21–25 sent. 2015 g. (Advanced processes of integrated and deep conversion of rebellious minerals (Plaksin's Lectures 2015). International Conference Proceedings. Irkutsk, 21–25 September 2015), Irkutsk, Izd-vo RIEL, 2015, pp. 74–78.
3. Tatarnikov A. P., Asonova N. I., Balakina I. G. *Progressivnyye tekhnologii kompleksnoy pererabotki mineral'nogo syr'ya*. Pod red. V. A. Chanturiya (Advanced technologies of integrated mineral processing, Chanturiya V. A. (Ed.)), Moscow, Ruda i metally, 2008, pp. 62–69.
4. Kozhiev Kh. Kh., Lomonosov G. G. *Rudnichnye sistemy upravleniya kachestvom mineral'nogo syr'ya* (Mine systems of mineral quality control), Moscow, Izd-vo MGGU, 2008, 292 p.
5. Lisichenko V. G. *Podgotovka rudnogo syr'ya*. T. 2 (Crude ore pre-treatment, vol. 2), Moscow, Izd-vo MGGU, 2010, 187 p.
6. Gornoe proizvodstvo tsvetnoy metallurgii Urala. Pod red. V. S. Khokhryakova (Ferrous metallurgy mines in the Urals, Khokhryakov V. S. (Ed.)), Ekaterinburg, Izd-vo UGGA, 2004, pp. 129–190.