

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

УДК 622.831.1

С.А. Неверов, А.А. Неверов

МАГАЗИНИРОВАНИЕ РУДЫ ПРИ ПОДЭТАЖНОМ ОБРУШЕНИИ

ВВЕДЕНИЕ

Разработка рудных месторождений на современном этапе развития горных работ характеризуется постоянным выбыванием из эксплуатации богатых участков залежей и вовлечением в отработку все более бедных руд, высокой капиталоемкостью и минимальным воспроизводством минерально-сырьевой базы на действующих предприятиях. Непрерывное понижение горизонта выемки сопровождается ухудшением горнотехнических и геомеханических условий разработки, возникают трудности в выборе рациональных параметров выемки и обеспечении сохранности выработок горизонтов выпуска.

На сегодняшний день, в борьбе за повышение показателей извлечения некоторые геотехнологии требуют дополнительных материальных средств и трудовых ресурсов, что ставит под сомнение целесообразность их применения. Сложившаяся ситуация в горнодобывающей отрасли обусловлена несовершенством применяемых систем разработки и неспособностью последних, с учетом используемых технических средств, обеспечить добычу минерального сырья на конкурентоспособном уровне.

Одним из перспективных направлений выемки руд средней ценности и рядового качества является освоение и широкое внедрение различных вариантов системы подэтажного обрушения, когда в качестве экономического критерия выбора способа разработки целесообразно принимать максимум прибыли или минимум приведенных затрат на 1 т балансовых запасов при некотором ухудшении показателей извлечения. В условиях постоянного удорожания материалов и энергии для этой технологии характерны предельное упрощение схем подготовки и очистной выемки, высокая интенсивность горных работ, минимальный объем фонда оборотных средств и способность к автоматизации основных и вспомогательных процессов добычи. Анализ технической литературы и практика работы известных крупных горнорудных компаний [1-3] показывают неоспоримые и очевидные преимущества систем подэтажного обрушением перед другими равнозначными геотехнологиями, как более экономичного и прогрессивного способа разработки.

Целью данного исследования является обос-

нование перспективного варианта подэтажного обрушения и устойчивое развитие концепции его управляемости с точки зрения взаимосвязи рациональных параметров отбойки по условиям выпуска руды и устойчивости горных конструкций, при которых обеспечиваются полнота выемки и безопасность работ.

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОГО СПОСОБА ДОБЫЧИ

За основу создания более совершенной системы разработки принят эталон шведской технологии с торцовым выпуском руды, достоинства которой доказаны многочисленными исследованиями [1-4]. В качестве главного критерия дальнейшего развития этой технологии выступает увеличение высоты подэтажа, и как следствие, конструктивное и функциональное изменение некоторых процессов добычи.

В связи выше изложенным, практический интерес представляет система разработки подэтажным обрушением с частичным магазинированием отбитой руды (рис.1). Наиболее близким аналогом по технической сущности и совокупности существенных признаков является вариант выемки рудных месторождений подэтажным обрушением с ромбовидными панелями (рис. 2) и площадно-торцовым выпуском руды [3-5].

Предлагаемая технология реализуется следующим образом.

Весь комплекс подготовительно-нарезных работ выполняют в пределах одного подэтажа, подготовка которого идентична известному способу разработки [3-5].

Кратко напомним конструкцию горизонта выпуска. Представленная система подэтажного обрушения включает в себя проходку доставочного штрука, буро-доставочных ортов, погрузочных заездов и вентиляционного штрука. Количество погрузочных заездов, находящихся одновременно в очистной выемке регламентировано и недолжно превышать более двух выработок. Проветривание очистных забоев осуществляется за счет общешахтной депрессии с выбросом загрязненной струи воздуха в вентиляционный штруек, преимущество которого раскрыто в работе [3].

Процессы очистной выемки имеют существенные различия в сравнении с существующим аналогом. Выемку рудных панелей осуществляют

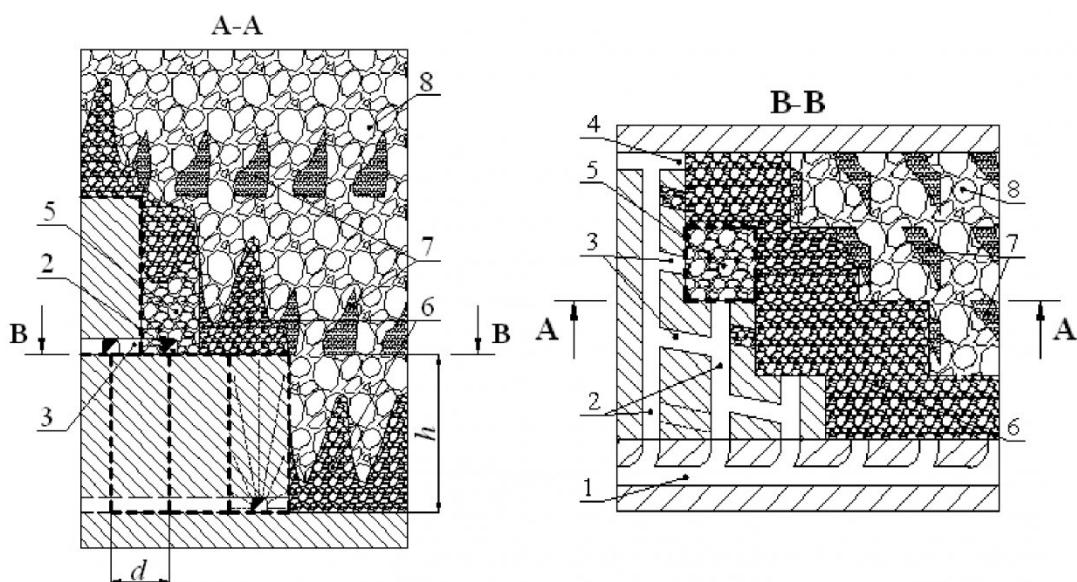


Рис. 1. Подэтажное обрушение с магазинированием руды: 1 – доставочный штрек; 2 – буро-доставочный орт; 3 - погрузочный заезд; 4 – вентиляционный штрек; 5 – отбитый слой руды; 6 – замагазинированная руда; 7 – потери; 8 – обрушенные породы

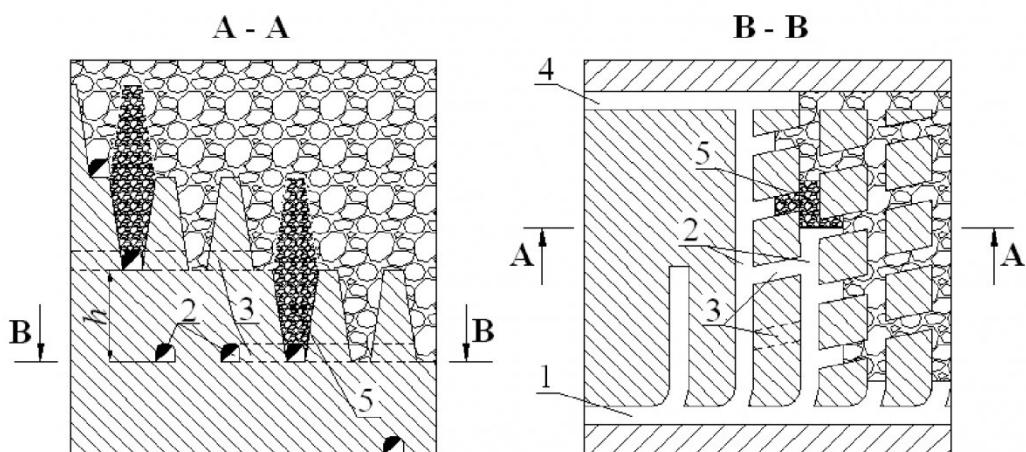


Рис. 2. Подэтажное обрушение с площадно-торцовым выпуском руды

слоями прямоугольной формы. Отбойку руды в слоях выполняют в зажатой среде веерами скважин, пробуренных из буро-доставочных ортов. Послойный выпуск руды ведут в две стадии одновременно или поочередно через торцы буро-доставочных ортов и погрузочных заездов с элементами магазинирования. Первая стадия характеризуется выпуском руды до предельного разубоживания в последней дозе, что составляет 60-75% от запасов вынимаемого слоя. Во вторую стадию выпускают оставшуюся замагазинированную часть руды (25-40%) совместно с отработкой слоев нижележащего подэтажа через доставочные выработки вышеупомянутого подэтажа.

Изменения технологических процессов очистных работ направлены, в основном, на увеличение высоты подэтажа ширины и толщины вынимаемых слоев, и как следствие, на создание предпосылок освоения мощного горного оборудования.

В целях обеспечения высоких показателей извлечения панели и слои отбитой руды нижнего подэтажа располагают в шахматном порядке относительно панелей и слоев выпущенной руды верхнего подэтажа со смещением в плане на $\frac{1}{4}$ площади отбойки.

Элемент магазинирования совместно с правильным выбором режима выпуска обеспечивают возможность качественного регулирования выдержанности контакта «отбитая руда – обрушенная порода», а следовательно, и наилучшие показатели выпуска. Обосновано предположить, что такой подход в функциональной цепочке добычи создает благоприятные условия для расширения диапазона рациональных параметров технологии и оптимального управления ими.

Рудные панели прямоугольной формы дают возможность действовать в очистной выемке один подэтаж против двух подэтажей с ромбовидной конфигурацией отбиваемых слоев. Это об-

стоятельство позволяет увеличить высоту подэтажа в 2 раза и сократить объем подготовительно-нарезных работ на 20-30% при прочих равных условиях, а также исключить необходимость в погашении погрузочных заездов после выпуска руды из каждого слоя. С точки зрения полноты и качества извлечения минерального сырья ромбовидная форма панелей является наиболее рациональной и обеспечивает приемлемые потери и разубоживание руды. Вместе с тем, при строгом исполнении технологии с магазинированием и соблюдении порядка выемки панелей прямоугольной формы значительная часть остатков отбитой руды может быть извлечена при отработке нижележащего подэтажа с незначительным ухудшением качества горной массы, не оказывая существенного влияния на технико-экономические показатели добычи.

В результате геометрического моделирования процесса выпуска руды с учетом использования алгоритма [4] определены рациональные параметры технологии. Ключевыми факторами, изменяющими состояние всей системы, были приняты показатель сыпучести и предельное разубоживание. Истечение руды предполагается из фигур по форме и объему, напоминающих эллипсоиды вращения.

Объем вертикального сегмента эллипсоида выпуска (рис. 3):

$$V_s = \pi H \left(\frac{\rho H}{3} - \sqrt{\frac{\rho H}{2} \left(L - \frac{2L^3}{3\rho H} \right)} \right), \text{ м}^3 \quad (1)$$

где ρ – показатель сыпучести отбитой руды, м;

H – высота фигуры выпуска, м;

L – расстояние от оси эллипсоида до отсекаемого сегмента, м;

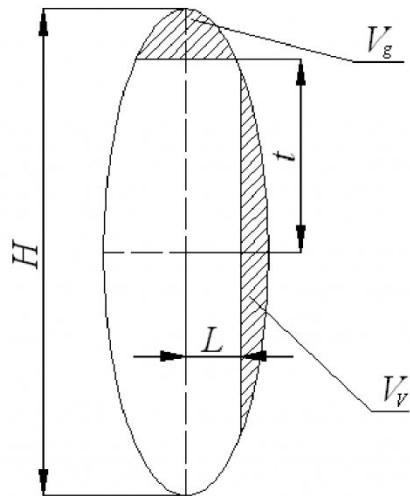


Рис. 3. Основные параметры эллипсоида выпуска

$$L = \frac{1}{4} \left(\pi - \frac{H}{t \cos \alpha} \right), \text{ м} \quad (2)$$

α – угол наклона эллипсоидов выпуска, град

Объем горизонтального сегмента эллипсоида выпуска (рис. 3):

$$V_g = \frac{\pi \rho H^3}{6} - \frac{\pi \rho H}{2} \left(t - \frac{4L^3}{3H^2} \right), \text{ м}^3 \quad (3)$$

где t – расстояние от центра фигуры выпуска до отсекаемого сегмента, м;

$$t = h - \frac{H}{2}, \text{ м} \quad (4)$$

h – высота подэтажа, м.

Ширина отбиваемых слоев (d) пропорцио-

Сравнительные технико-экономические показатели

Показатели	Система разработки подэтажным обрушением		
	Шведский вариант с торцовыми выпусками руды	Вариант с отбойкой руды ромбовидными панелями и площадно-торцовой схемой выпуска	Вариант с элементами магазинирования руды
Высота подэтажа, м	10.0 – 20.0	15.0 – 25.0	20.0 – 40.0
Расстояние между буродоставочными ортами, м	8.0 – 13.0	9.0 – 14.0	12.5 – 16.5
Толщина отбиваемых слоев, м	3.2 – 4.7	8.0 – 12.0	14.0 – 18.0
Удельный расход ПНВ, м/1000т	1.7 – 2.1	1.8 – 2.3	1.5 – 1.7
Потери, %	11.5 – 13.1	7.8 – 8.1	7.4 – 10.1
Разубоживание*, %	14.8 – 18.7	13.8 – 15.6	14.1 – 20.4
Период воспроизводства запасов, мес.	2.2 – 2.4	2.6 – 2.8	1.7 – 2.0
Сравнительная себестоимость 1 т добываемой рудной массы по системе разработки (относительно шведского варианта), д. ед..	1.0	1.1	0.81
Сравнительная прибыль на 1 т погашаемых балансовых запасов, %	100.0	108.1	116.8

* при коэффициенте рудоносности 1.

нальна высоте подэтажа (h) и определялась из следующего выражения:

$$d = k \sqrt{ph} + K_p \sqrt{h}, \text{ м} \quad (5)$$

где k – коэффициент, зависящий от предельного разубоживания в последней дозе выпуска отбитой руды ($k = 1,1 \div 1,25$);

K_p – коэффициент разрыхления замагазинированной руды, д. ед.;

Важнейшим параметром системы разработки является толщина отбиваемого слоя (n), определяющая расстояние между погрузочными заездами:

$$n = \eta d, \text{ м} \quad (6)$$

где η – коэффициент, учитывающий высоту и область влияния фигуры выпуска в зависимости от предельного разубоживания, д. ед.

$$\eta = \frac{3K_n \sqrt{1 - R^l}}{2}, \text{ д. ед.} \quad (7)$$

где K_n – коэффициент пропорциональности между разрыхленной и замагазинированной рудой, ($K_n = 1,05 \div 1,2$);

R^l – предельное разубоживание в последней дозе выпуска, д. ед.

Вышеприведенные формулы (1) и (2) справедливы для условия $-h \geq 24.0$ м.

При равнозначности ширины (d) и толщины (n) выпускаемых слоев наибольший эффект от реализации технологии обеспечивается равномерно-последовательным режимом выпуска руды одинаковыми дозами из погрузочного заезда и буро-доставочного орта.

Предварительные расчеты по определению показателей извлечения выполнялись применительно к отработке мощной кругопадающей залежи, представленной железными рудами. Предельное весовое разубоживание составляло 60% ($R^l = 0.6$), показатель сыпучести принимался на уровне $\rho = 1.1 \div 1.2$ м. Высота подэтажа изменялась от 20 до 40 м. Процесс магазинирования являлся обязательным и неотъемлемым элементом системы разработки.

Результаты проведенных исследований представлены в сравнительной таблице.

Анализ результатов моделирования позволил установить следующее.

Объем подготовительно нарезных работ по системе разработки составил $1.5 \div 1.7$ м/1000 т, что позволило повысить интенсивность выемки панелей на уровне подготовки подэтажей. В свою очередь это привело к сокращению нормативов подготовленных и готовых к выемке запасов, вы свобождению части оборотных средств, и как следствие, уменьшению себестоимости добычи в сравнении с технологиями данного класса более чем в 1.2 раза.

Ширина d и толщина n отбиваемого слоя в зависимости от высоты подэтажа изменились от 12.5 до 16.5 м и 14.0 до 18.0 м соответственно.

Извлечение руды составило $89.6 \div 92.8\%$, выпуск горной массы – $106 \div 120\%$ от погашаемых балансовых запасов.

Минимальные значения потерь и разубоживания руды соответствовали $d = 13.5$, $n = 14.0$ м при высоте подэтажа $h = 30$ м и $d = 15.7$, $n = 16.4$ м – при $h = 40$ м. В границах этих параметров потери руды варьировались на уровне 7.4 – 10.1%, разубоживание изменялось от 14.1 до 20.4%.

На основе проведенных исследований (рис. 4) построены графики зависимости показателей извлечения от высоты подэтажа, при которой параметры отбойки и выпуска руды отвечают выше представленным выражениям (1) и (2).

Нарушение последовательности выемки и шахматного расположения панелей и слоев нижнего подэтажа относительно верхнего на 10 – 20% провоцируют снижение показателей извлечения: потери и разубоживание руды возрастают соответственно более чем в 2.0 и 1.4 раза.

По укрупненным расчетам предпочтительным является вариант с высотой подэтажа 35.7 м и объемом магазинирования отбитой руды 34% от запасов слоя, обеспечивающими равносценность показателей извлечения с системами разработки подэтажного обрушения (табл.). Наибольший успех, как было сказано выше, может быть достигнут только при жестком соблюдении параметров выемки в соответствии с принятыми технологическими особенностями.

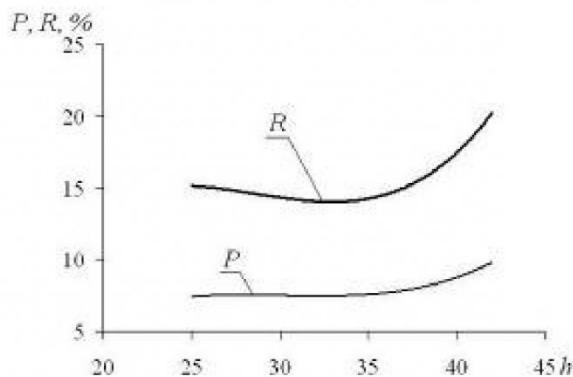


Рис. 4. Зависимости потерь P и разубоживания R от высоты подэтажа

В работе [6] приводится сравнительная геомеханическая оценка систем подэтажного обрушения с торцовыми и площадно-торцовыми выпусками руды. За исследуемые области принимались рабочие выработки подэтажа. Результаты численного моделирования показывают конструкционную приемлемость подэтажных технологий к отработке месторождений с развитыми тектоническими полями напряжений на больших глубинах. Возникающие касательные напряжения, в окрестностях очистной выемки, не превышают предельных значений сопротивления пород на сдвиг с учётом структурного ослабления массива. Наименьшая устойчивость характерна для кровли вы-

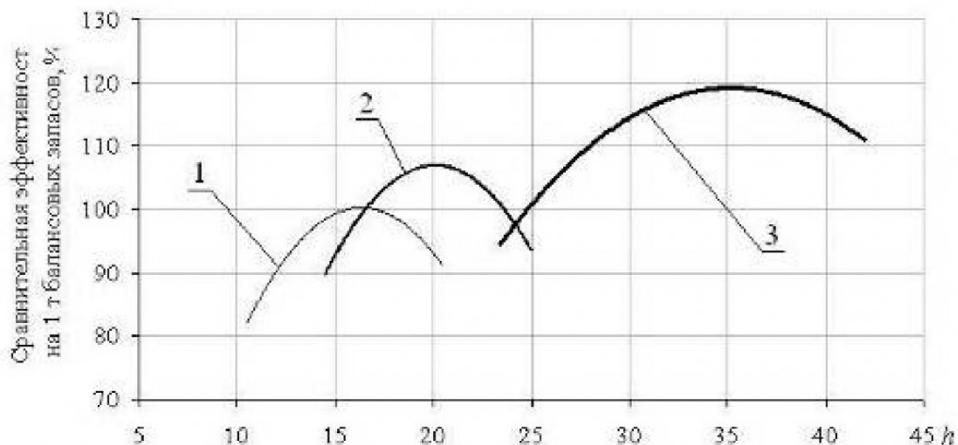


Рис. 5. Сравнительная эффективность вариантов систем подэтажного обрушения: 1 – технология с торцовым выпуском; 2 – с площадно-торцовым выпуском; 3 – с магазинированием руды

работок горизонта выпуска, сохранность которых определяется скоростью отработки панели и способами их поддержания.

Установленные рациональные параметры отбойки по условию обеспечения устойчивости горных выработок соответствуют достижению максимальных показателей извлечения руды на выпуске.

В нашем случае, объективно допустить, что высокая интенсивность подготовки залежей, малый срок эксплуатации нарезных выработок, погашаемых по мере развития очистных работ, принятые условия отбойки и выпуска руды благоприятно скажутся на безопасности отработки залежей при освоении системы подэтажного обрушения с магазинированием. Это связано в первую очередь с увеличением высоты подэтажа и расстояний между буро-доставочными выработками с сохранением послойного извлечения руды малыми взрывами.

Прогнозная эффективность технологии при ранжировании параметров h , d и n определялась по величине получаемой прибыли на 1 т погашаемых балансовых запасов (рис. 5) относительно базового варианта путем прямого счета:

$$\Pi = \Pi' - (c + \kappa) - (Y_n + Y_r), \text{ руб./т.} \quad (8)$$

где Π' – стоимость конечного продукта, отнесенная на 1 т балансовых запасов, руб./т;

c – показатель, соответствующий величине переменных затрат на добычу и переработку горной массы, приходящийся на извлечение 1 т балансовых запасов, руб./т;

κ – постоянные затраты на добычу и переработку 1 т товарной руды с учетом потери качества при обогащении, руб./т;

Y_n и Y_r – соответственно экономический ущерб от потерь и разубоживания руды, руб./т.;

$$Y_n = \frac{P(\Pi' - \kappa)}{100}, \text{ руб./т.} \quad (9)$$

$$Y_r = \frac{R \left(\kappa - \Pi' \times \frac{b}{a} \right)}{100}, \text{ руб./т} \quad (10)$$

где P и R – соответственно потери и разубоживание руды, %;

a и b – соответственно содержание полезного компонента в рудной массе и во вмещающих породах, %.

В качестве базовой системы разработки, прибыль которой на 1 т балансовых запасов составляет по безразмерному показателю 100, принято подэтажное обрушение с торцовым выпуском руды ($h = 15.7$ м, $d = 12.0$ м и $n = 3.9$ м). Сравнительные технико-экономические решения (табл.) выполнены применительно к особенностям разработки железорудных месторождений Горной Шории при постоянной мощности рудных тел (60 м) и однотипности применяемого горно-шахтного оборудования.

Как видно из таблицы и рис. 5 незначительный рост прибыли в условиях рассматриваемого способа обеспечивается за счет снижения объемов проходческих работ и повышения качества выпуска руды. Вместе с тем, эти показатели не являются абсолютными в связи с тем, что трудно спрогнозировать как себя поведет система разработки с магазинированием при отработке залежей с различной степеньюрудоносности.

Аккумулирование части отбитой руды верхнего подэтажа создает трудности в выделении и оставлении в недрах включений и прослоев пустых пород при выемке нижнего подэтажа. Следовательно, неизбежен неоправданный рост потерь руды, величина которых может достигать 40 и более %. В этом смысле предлагаемый к освоению вариант добычи имеет ограниченную область использования.

На основании графиков, представленных на рис. 5 оптимальные значения параметров сравниваемых систем разработки соответствуют:

$$\Pi = f(h) \rightarrow \max , \quad (11)$$

Исследуя эти функции на экстремум, получим оптимальные значения высоты подэтажа, при которых обеспечивается достижение максимума прибыли:

базовый вариант

$$17.0 - 1.07h = 0; \quad (12)$$

площадно-торцовая технология

$$22.0 - 1.16h = 0; \quad (13)$$

система с магазинированием

$$12.5 - 0.35h = 0. \quad (14)$$

В этих условиях отчетливо прослеживаются сферы влияния систем разработки подэтажного обрушения. Так, для технологии с магазинированием руды высота подэтажа ограничивается возможностями применяемого бурового оборудования и должна составлять не менее 24 м. При меньших ее значениях становятся предпочтительными варианты с ромбовидными панелями.

Максимальная эффективность системы разработки обеспечивается при следующих параметрах: высоте подэтажа $h = 35.7$ м, ширине и толщине вынимаемых слоев $d = 15.1$ м и $n = 15.5$ м. Увеличение высоты подэтажа, например, с 36.0 до 42.0

м приводит к снижению прибыли на 5 ÷ 10% за счет роста разубоживания на 3.8 ÷ 6,3% (абсолютных). Уменьшение высоты подэтажа до 20 – 24 м также снижает эффективность разработки на 10 ÷ 22%. Последнее обстоятельство объясняется ростом затрат на подготовительно-нарезные работы, которые не окупаются повышением качества извлекаемой горной массы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Освоение технологии подэтажного обрушения с элементами магазинирования позволяет, в сравнении с системами разработки данного класса:

- ✓ снизить объем подготовительно-нарезных работ в 1.3 ÷ 1.4 раза и, соответственно, повысить интенсивность выемки месторождений;
- ✓ обеспечить по прогнозным оценкам безопасность отработки за счет меньшей изрезанности массива горными выработками;
- ✓ увеличить эффективность добычи руды более чем на 20% при равнозначности показателей извлечения.

Однако с учетом всех достоинств этой технологии область ее применения ограничивается выемкой мощных рудных залежей с выдержаными элементами залегания и равномерной степенью рудоносности при строгом соблюдении параметров отбойки и режима выпуска руды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Именитов В.Р. Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений. Учебное пособие для вузов, 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1984.
2. Современные способы разработки рудных залежей с обрушением на больших глубинах / А.М. Фрейдин, А.А. Неверов, С.А. Неверов, П.А. Филиппов; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Институт горного дела. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. — 151 с.
3. Перспективы технического перевооружения подземных рудников Западно-Сибирского металлургического комплекса / А.М. Фрейдин, П.А. Филиппов, С.П. Гайдин, Э.Н. Кореньков, С.А. Неверов. // ФТПРПИ. — 2004. — № 3.
4. Фрейдин А.М. Моделирование площадно-торцовой технологии выпуска руды под обрушенными породами / А.М. Фрейдин, С.А. Неверов. // ФТПРПИ. — 2005. — № 5.
5. Патент РФ № 2301335. Способ разработки рудных месторождений подэтажным обрушением / Неверов С.А., Фрейдин А.М., Неверов А.А.
6. Устойчивость горных выработок при системе разработки подэтажного обрушения / А.М. Фрейдин, А.А. Неверов, С.А. Неверов, П.А. Филиппов // ФТПРПИ. — 2008. — № 1.

□ Авторы статьи:

Неверов
Сергей Алексеевич
- канд.техн.наук, научный сотрудник
Института горного дела Сибирского
отделения РАН
(г. Новосибирск),
телефон (383) 217-09-52,
e-mail: neverovaa_79@mail.ru

Неверов
Александр Алексеевич
- канд.техн.наук, научный сотрудник
Института горного дела Сибирского
отделения РАН
(г. Новосибирск),
e-mail: neverovaa_79@mail.ru