

# ТЕХНОЛОГИЯ ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, СКЛОННЫХ К ДИНАМИЧЕСКИМ ПРОЯВЛЕНИЯМ

## TECHNOLOGY OF MINING DEPOSITS PRONE TO DYNAMIC MANIFESTATIONS

*V. Berkovich,*

*candidate of technical sciences,  
associate professor;*

*N. Valiev,*

*doctor of technical sciences,  
head of the Mining Department;*

*V. Propp,*

*candidate of technical sciences,  
professor;*

*S. Shokhov,*

*research engineer;*

*V. Startsev,*

*candidate of technical sciences,  
associate professor,  
the Ural State Mining University,  
Yekaterinburg.*

Investigate the possibility of working out powerful gentle and inclined successful ore deposits by the chamber system of development with a recess of stocks under artificial roofs with a laying of developed space with hardware mixtures. The proposed technology can be used in the development of ore deposits, prone to dynamic manifestations. Its application will allow: improve the safety of work; reduce the volume of mining and preparatory work per unit of products; Reduce the dedication of the mined ore and generally increase the efficiency of mining.

**Keywords:** successful ore deposits, artificial roofing, solid mixtures, carrying a set, dynamic manifestations.

Развитие подземной добычи руд, как в нашей стране, так и за рубежом, связано с опусканием горных работ на большие глубины. При эксплуатации месторождений на значительных глубинах повышается опасность производства горных работ и ухудшаются технико-экономические показатели добычи руды. Вследствие возрастания горного давления породы переходят в предельное состояние, характеризующееся значительным снижением устойчивости пород и возможностью возникновения горных ударов — наиболее опасной формы динамического разрушения массива. В большинстве случаев системы разработки, применяемые на небольшой глубине, в указанных условиях непригодны.

Проблема борьбы с проявлениями горного давления на рудных месторождениях занимает важное место в теории и практике горного дела в связи с постоянным увеличением глубины подземных работ, возрастанием концентрации при-

*В.Х. Беркович,*

*кандидат технических наук,  
доцент;*

*Н. Валиев,*

*доктор технических наук,  
заведующий кафедрой;*

*В.Д. Пропп,*

*кандидат технических наук,  
профессор;*

*С.О. Шохв,*

*инженер-исследователь;*

*В.А. Старцев,*

*кандидат технических наук,  
доцент,*

*Уральский государственный горный университет,  
г. Екатеринбург.*

**Ключевые слова:** удароопасные рудные месторождения, искусственная кровля, твердеющие смеси, несущий свод, динамические проявления.

родных и техногенных напряжений вокруг горных выработок. В связи с этим вопросы прогнозирования форм и интенсивности проявлений горного давления приобрели особое значение при проектировании глубоких горизонтов новых и эксплуатируемых горнодобывающих предприятий. Не менее важными при этом являются разработка и выбор практических методов и технических средств для прогнозирования напряженности и оперативной оценки удароопасности массивов горных пород [1-10].

Важнейшим процессом при любой системе разработки является способ управления горным давлением, под которым понимается частичное или полное обрушение руд и пород, либо закладка либо поддержание выработанного пространства целиками.

Под влиянием разного рода факторов разрушение пород происходит в качественно различных формах (статической или динамической). Статическая форма характеризуется спокойным, растянутым во времени разрушением пород в виде образования заколов, шелушения и осыпания пород по контуру выработок, обрушений пород кровли, пластического деформирования. К динамической форме относятся протекающие практически мгновенно разрушения пород при стрельаниях, микроударах, толчках и горных ударах.

Теоретические представления о статических и динамических формах проявления горного давления находят подтверждение в практике горных работ. Исследования по разработке горнотехнической модели разрушения пород в статической и динамической формах позволили сформулировать требования к ударобезопасной технологии. Они заключаются в том, что при конструировании ударобезопасных вариантов систем разработки, кроме горно-геологичес-

ких факторов (мощности, угла падения, формы залегания рудного тела и др.) и технологических требований (ориентирование забоев по направлению действия максимальных напряжений, общего развития фронта очистных работ и расположения подготовительных выработок), в первую очередь, необходимо учитывать геомеханический режим нагружения горных пород. При *жестком (статическом)* — подработанный массив не обрушен и находится в устойчивом состоянии на оставленных целиках или поддерживается крепью, а при *мягком (динамическом)* — подработанный массив характеризуется активным процессом сдвижения пород с формированием зоны опорного давления в массиве. Иначе говоря, изменениями конструктивных элементов системы отработки удароопасного месторождения можно влиять на геомеханическое состояние горного массива [5, 6, 11, 12].

**Методика исследований.** Исследования проводились для условий пологих и наклонных мощных рудных месторождений, где ежегодно регистрируются сейсмические явления с энергией, достигающей 108 Дж. При этом учитывалась принятая схема подготовки блоков и применяемое на руднике погрузочно-доставочное и буровое оборудование [2, 3]. Были изучены горно-геологические и геомеханические факторы, влияющие на выбор технологии очистных работ в удароопасных условиях, в частности: морфология рудных тел (угол падения, мощность, форма залегания); прочностная и деформационная характеристики руд и вмещающих пород; структурно-тектонические особенности рудных тел и породных массивов; параметры тензора напряжений в массиве; глубина залегания рудных тел.

Комплексным учетом влияния перечисленных факторов определены выбор класса систем подземной разработки месторождений и параметры конструктивных элементов систем разработки (площадь устойчивых обнажений кровли, размеры целиков и потолочин, конструктивные особенности схемы подготовки рудных тел и очистной выемки, нормативная прочность закладки выработанного пространства).

**Результаты исследований и их обсуждение.** Для условий пологих и наклонных месторождений, склонных к динамическим явлениям, было рекомендовано несколько вариантов камерной системы разработки с закладкой. Несмотря на некоторые конструктивные различия вариантов их характеризует один общий принцип, который отличает их от других вариантов этой системы разработки. Он заключается в том, что выемка основных запасов руды в камерах ведется под искусственной кровлей.

Понятие «искусственная кровля» охватывает различные конструкции покрытий, создаваемых при добыче полезного ископаемого. Они могут быть выполнены из дерева, металла или бетона (твердеющей закладки) [2, 7, 8, 9, 13, 14]. и применяться порознь, в сочетании друг с другом или совместно с другими материалами. Для создания 1м<sup>3</sup> искусственной кровли из твердеющей закладки необходимо расходовать до 100 кг цемента, 400-600 кг гранулированного доменного шлака, до 1200 кг гравийной смеси и до 400 л воды.

При конструировании вариантов систем разработки нормативная прочность искусственной кровли при всех составах твердеющей смеси не должна быть ниже 4 МПа.

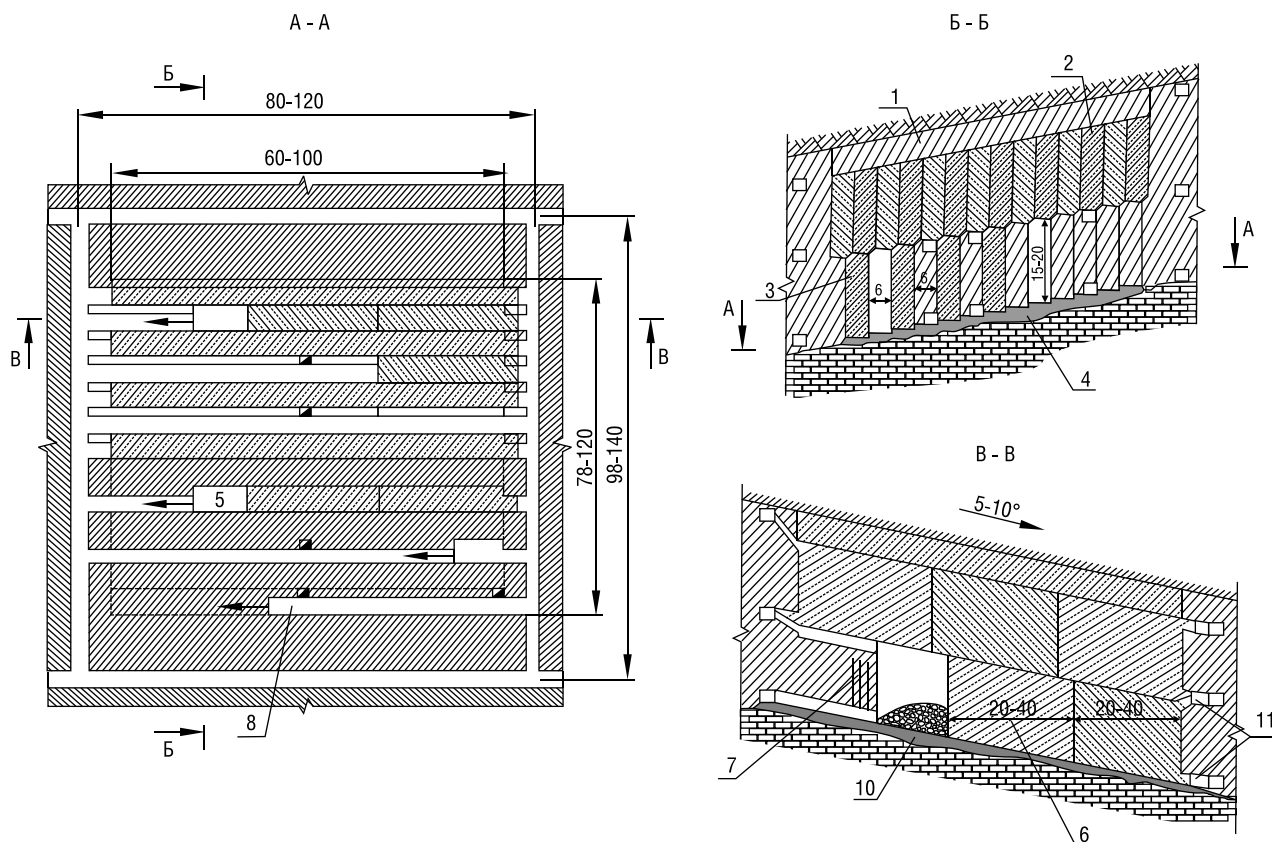


Рис. 1. Многостадийная камерная выемка запасов руды под искусственной кровлей с последующей закладкой выработанного пространства:

1 - искусственная кровля; 2 - закладочный массив первого подэтажа; 3 - закладочный массив камер первой очереди второго подэтажа; 4 - рудный массив; 5 - камера в стадии выемки; 6 - шаг закладки камер; 7 - взрывные скважины; 8 - камера в стадии нарезки; 9 - закладочный трубопровод; 10 - отбитая руда; 11 - изолирующая перемычка.

**Многостадийная камерная выемка запасов руды под искусственной кровлей с последующей закладкой выработанного пространства**

Система разработки предназначена для отработки рудных тел мощностью более 15 м при неустойчивых налегающих породах. Месторождение разделяется на блоки. Длина блока изменяется от 100 до 140 м, ширина от 60 до 100 м. По высоте блоки делятся на подэтажи. Высота подэтажа принимается 15–20 м. Подэтажи обрабатываются камерами первой и второй очереди. Подготовительно-нарезные работы заключаются в проведении транспортных, вентиляционных, закладочных и вентиляционно-закладочных выработок, буровых штреков, вентиляционных и отрезных восстающих (рис. 1).

После выемки руды в камерах первой очереди их закладывают твердеющей смесью. Когда смесь наберёт нормативную прочность и сформируется искусственная кровля, приступают к отработке запасов руды в камерах второй очереди. По мере отработки камер их также закладывают твердеющими смесями.

Выемка нижележащих подэтажей осуществляется аналогично верхнему подэтажу, за исключением того, что камеры второй очереди нижнего подэтажа заполняют более дешевой гидравлической закладкой. Отбойка руды производится путём взрывания вееров скважинных зарядов, а погрузка и доставка отбитой горной массы осуществляется погрузочно-доставочными машинами с дистанционным управлением, за счёт чего достигается безопасность работ. Закладка выработанного пространства обеспечивает наибольшую полноту выемки камерных запасов руды.

Такой порядок ведения работ позволяет в границах блока, за счёт постадийной закладки камер, организовать многозабойную выемку руды одновременно на двух-трёх подэтажах.

Данный вариант камерной системы разработки позволяет получить высокие технико-экономические показатели: производительность труда забойного рабочего без учёта затрат на закладочные работы достигает 48 т/чел. см.; потери руды – 2–3 %; разубоживание – 5 %.

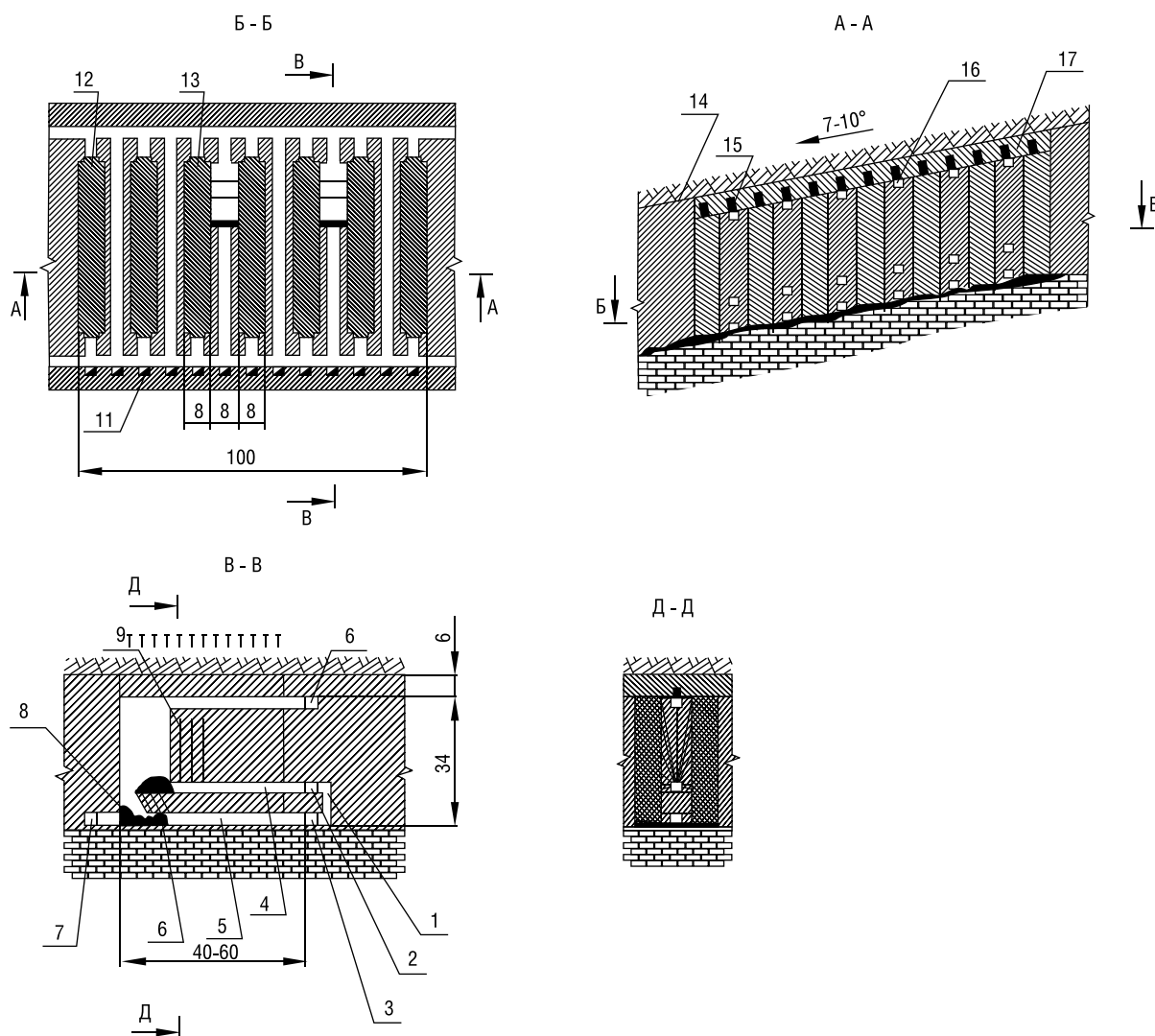


Рис. 2. Камерная выемка под искусственной кровлей с горизонтом выпуска отбитой руды:

1, 11 – пальцевый восстающий; 2 – вентиляционная выработка; 3, 7 – транспортная выработка; 4 – буровой орт; 5 – погрузочно-доставочный орт; 6 – погрузочно-доставочная машина; 8 – отбитая руда; 9 – глубокие скважины; 10 – вентиляционно-закладочная выработка; 12 – изоляционная перемычка; 13 – заложённая камера; 14 – налегающие породы; 15 – штанговая крепь; 16 – вентиляционно-закладочный орт; 17 – искусственная кровля; 18 – потери руды на лежащем боку; 19 – почва; 20 – отрезной восстающий.

### Камерная выемка под искусственной кровлей с горизонтом выпуска отбитой руды

Параметры выемочных блоков следующие: длина 100 м, ширина 40-60 м (рис. 2).

Из откаточного штрека, расположенного на границе блока, на длину камер проходят транспортные орты. В каждой камере из штрека проходят пальцевый восставший, который сбивается с вентиляционной выработкой, расположенной на буровом горизонте. Из вентиляционной выработки проходят буровые орты для каждой камеры. Над погрузочно-доставочным ортом оставляется предохранительный целик толщиной 5 м. Руда в камере отбивается путём взрывания глубоких скважин. Высота камеры составляет около 23 м.

Выпуск отбитой руды из камеры осуществляется порциями путём «подрывки» предохранительного целика мелкошпуровой отбойкой.

При отработке рудных тел в удароопасных условиях при неустойчивых породах предложенной технологией достигается следующие положительные эффекты: повышается безопасность работ за счет опережающей отработки висячего бока рудного тела; увеличиваются основные камерные запасы, обрабатываемые под искусственной кровлей, снижаются объемы горно-подготовительных работ на единицу продукции, повышается эффективность добычи полезного ископаемого за счет снижения разубоживания руды.

При данной системе разработки также получены высокие

показатели интенсивности выемки камерных запасов. Так производительность труда забойного рабочего составила 54 т/чел. см., потери руды – 2-3 %, разубоживание – 5-10 %. Система разработки применима при условии, что отбитая руда не слеживается.

### Камерная выемка основных запасов руды под сводом искусственной кровли

Особенность предлагаемой технологии разработки пологих и наклонных удароопасных рудных месторождений связана с формированием свода искусственной кровли из твердеющей закладочной смеси с последующей выемкой под ней основных камерных запасов полезного ископаемого [4, 6]. Повышение эффективности и безопасности горных работ при создании искусственной кровли и выемка камерных запасов под кровлей осуществляется за счет:

- ✧ придания искусственной кровле большей устойчивости (прочности) вследствие формирования несущего слоя кровли в виде монолитной сводчатой конструкции и армирования закладочного массива кровли анкерами;
- ✧ снижения уровня действующих напряжений в рудном теле вследствие опережающей отработки висячего бока;
- ✧ снижения объемов горно-подготовительных работ на единицу продукции вследствие существенного увеличения основных камерных запасов, обрабатываемых под искусственной кровлей;
- ✧ исключения затрат на крепление кровли камер, обрабатываемых под искусственной кровлей, и снижения показателя разубоживания руды закладочным материалом при очистной выемке;

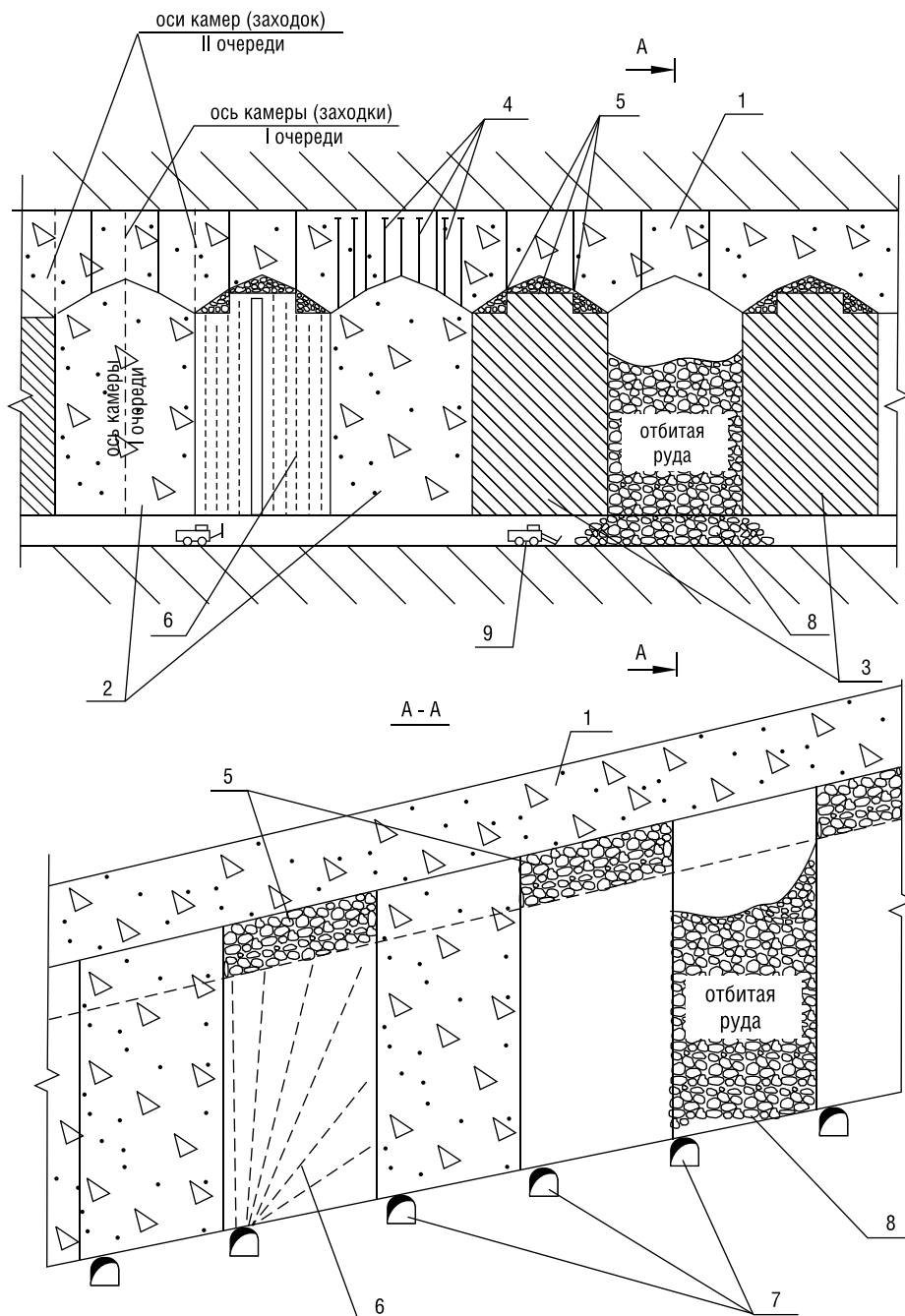


Рис. 3. Выемка основных камерных запасов руды под сводом искусственной кровли:

1 - искусственная кровля; 2 - первичные выемочные камеры; 3 - вторичные выемочные камеры; 4 - анкерная крепь; 5 - оставленная на почве камер-заходок отбитая руда; 6 - веера скважинных зарядов; 7 - панельные штреки; 8 - выпуск отбитой горной массы из камеры; 9 - погрузочно-доставочная машина.



❖ оставления на почве выработок, пройденных на контакте с вмещающими породами на уровне кровли залежи, слоя отбитой руды для смягчения разрушительного воздействия энергии взрыва при скважинной отбойке основных камерных запасов руды.

Сущность технологии разработки рудных месторождений с неустойчивыми вмещающими породами (рис. 3) определяется созданием искусственной кровли в форме несущего свода путем проходки на контакте с вмещающими породами параллельных разновысоких камер-заходок первой и второй очередей и закладки выработанного пространства камер-заходок твердеющими смесями. При этом устойчивость (прочность) искусственной кровли, сформированной закладкой, значительно повышается за счет придания ей формы близкой к фигуре свода обрушения. Это позволит исключить из очистного цикла крепление кровли камер, обрабатываемых под искусственной кровлей, и сократить до минимума разубоживание руды закладочным материалом.

Отрицательным моментом в технологии создания искусственной кровли является то, что она получается слоистой. Поскольку закладка большого объема пустот без технологических перерывов практически невозможна, то слои, получающиеся между промежутками, когда закладочная смесь в камеры не подается, оказываются несвязанными между собой и при обрушении отслаиваются. Для предотвращения ослабления искусственной кровли за счет ее слоистости (чем тоньше слои и чем их больше, тем менее устойчива кровля) она нуждается в дополнительном укреплении, что возможно на основе применения анкерной крепи или установления металлической арматуры. При этом анкеры 4 устанавливают в искусственной кровле 1 до начала ее возведения, т.е. до начала подачи закладки в верхний подсечной слой. Для этого бурят короткие шпуров глубиной 10-15 см, в них устанавливают металлические анкеры длиной 1,5-2,0 м, на другом конце которых закрепляют металлические шайбы размером 15×15 см. Чтобы во время подачи закладки штанги оставались в вертикальном положении в верхней части их связывают проволокой. После затвердения закладочного массива анкера оказываются уже установленными в нем, а присоединение металлических шайб к ним препятствует их «сползанию».

В отдельных случаях, когда требуются дополнительные меры, на почве отработанного слоя монтируют металлическую арматуру или наряду с установкой штанг обычной длины 1,8 м устанавливают штанги длиной до 3-4 м. Их располагают по оси камеры на расстоянии 3-5 м одна от другой.

Выемка руды под искусственной кровлей ведется первичными и вторичными камерами 2 и 3, которые располагают через одну таким образом, чтобы их центральные оси совпадали с осями первичных камер-заходок, проходимых в стадии создания искусственной кровли, а их границы находились на осях вторичных камер-заходок.

Оставление на почве первичных и вторичных камер-заходок верхнего подсечного слоя навала отбитой руды 5, который забирается при отработке нижних камер, позволяет предотвратить разрушение искусственной кровли взрывными работами.

Другим решением вопроса сохранения устойчивости искусственной кровли является недобур скважин на 0,3-0,5 м

до закладки или отбойки верхней части руды в камере под искусственной кровлей мелкошпуровым методом.

Толщина кровли несущего свода, представляющего собой по виду слоистую разрезную балку, определяется по принципу расчета монолитной сводчатой конструкции с заданной нагрузкой от давления вышележащих слоев закладки и собственного веса несущего свода, а необходимая устойчивость (прочность) несущего свода, как сформированной шарнирной системы, обеспечивается при условии:

$$\sigma_{сж} = \frac{k(1 + k_n)\gamma_n l^2}{3h_n(1 - \xi b/h_n)}, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент, характеризующий степень концентрации напряжений, возникающих в несущем своде искусственной кровли;  $\xi$  – коэффициент, учитывающий механические свойства закладки;  $k_n$  – коэффициент пригрузки от веса (силы тяжести) вышележащих слоев закладки (определяется по графику, рис. 4);  $\gamma_n$  – объемный вес закладки, т/м<sup>3</sup>;  $l$  – пролет камеры, обрабатываемой под искусственной кровлей, м;  $h_n$  – толщина свода несущего слоя искусственной кровли, м;  $b$  – ширина свода несущего слоя, м.

Закладка выработанного пространства при создании искусственной кровли осуществляется составами, обеспечивающими нормативную прочность закладочного массива не менее 4 МПа. Этим прочностным характеристикам соответствуют составы закладочных смесей с применением в качестве вяжущего цемента и шлаков металлургического производства.

Расчёты показывают, что толщина искусственной кровли со сводчатым несущим слоем в месте расположения камер-заходок первой очереди при её создании может быть не более 3-х метров, а высота камер-заходок второй очереди больше высоты камер первой очереди на 1/2 суммарной ширины этих камер.

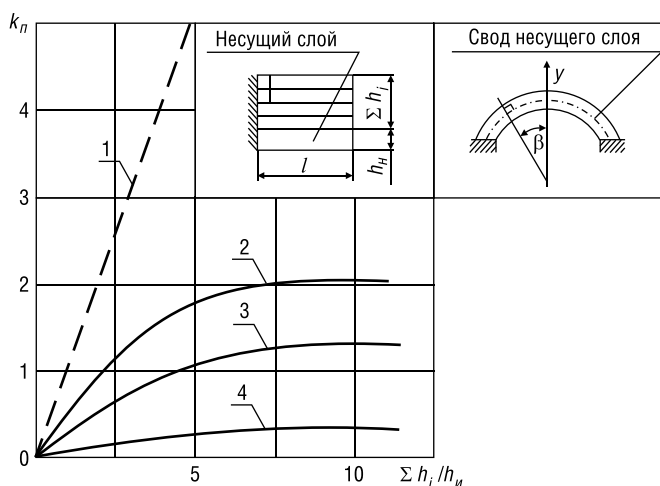


Рис. 4. График зависимости коэффициента пригрузки  $k_n$  от соотношения суммарной мощности вышележащих слоев закладки ( $\Sigma h_i$ ) к мощности (толщине) свода несущего слоя ( $h_n$ ):

1 – пригрузка соответствует силе тяжести максимального количества вышележащих слоев закладки; 2, 3 и 4 – пригрузка соответствует силе тяжести вышележащих слоев закладки, составляющей 0,25, 0,5 и 1,0 от  $\tan \beta$  (где  $\beta$  – угол между нормалью к средней линии свода несущего слоя в рассматриваемом сечении и вертикальной осью).

При проведении камерной выемки запасов под искусственной кровлей очистной блок подготавливается к очистной выемке системой панельных штреков 7. После создания искусственной кровли арочной формы отбойка основных камерных запасов блока производится путем взрывания веерообразных зарядов 6, а выпуск, погрузка и доставка отбитой горной массы из камер 8 осуществляется погрузочно-доставочными машинами с дистанционным управлением 9.

**Выводы.** Освоение предлагаемой технологии и внедрение ее при отработке мощных пологих и наклонных рудных тел в удароопасных условиях и неустойчивых вмещающих породах позволит:

- ✦ достичь высоких технико-экономических показателей, в частности, повысить уровень производительности труда забойного рабочего и показатели извлечения руды;
- ✦ значительно расширить область применения высокопроизводительной камерной системы разработки;
- ✦ повысить безопасность работ за счет снижения величины действующих напряжений в рудном теле вследствие опережающей отработки висячего бока;
- ✦ увеличить объемы основных камерных запасов, снизить удельный объем горно-подготовительных работ и повысить в целом эффективность добычи полезного ископаемого. ■

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Беркович В.Х., Дорошенко В.И., Дик Ю.А. Рациональная технология отработки удароопасных полиметаллических месторождений // Итоги науки и техники, серия «Разработка месторождений твердых полезных ископаемых», том 59, М., 1992, 65 с.
2. Беркович В.Х., Дорошенко В.И., Тарчевский Е.В. Рациональная технология отработки удароопасных месторождений // Известия вузов. Горный журнал. 1993. № 10. С. 102-120.
3. Осинцев В.А., Беркович В.Х., Шараев Д.В. Технология отработки удароопасных участков месторождения // М. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2008. № 6. С. 99-105.
4. Патент РФ № 2 761 226. 06.12.2021. Пропп В. Д. Беркович В. Х., Валиев Н.Г., Шохов С. О. Способ разработки мощных пологих и наклонных удароопасных рудных месторождений. 2021. Бюл. № 34.
5. Осинцев В.А., Беркович В.Х., Заборницын В.Н., Суровцев В.А. Отработка месторождений, склонных к динамическим явлениям // Известия вузов. Горный журнал. 2006. № 1. С. 5 - 13.
6. Пропп В.Д., Беркович В. Х., Валиев Н. Г., Шохов С.О. Технология разработки мощных пологих и наклонных удароопасных рудных месторождений. // Материалы XI Международной научно-технической конференции «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений». Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2022. С. 6-11.
7. Беркович В.Х., Максимов А.А. Исследование влияния класса системы подземной разработки на удароопасность горных работ при выемке рудных залежей, склонных к динамическим проявлениям // Известия вузов. Горный журнал.. 2017. № 4. С. 21-30.
8. Осинцев В.А., Беркович В.Х., Шараев Д.В. Технология отработки удароопасных участков месторождения // М. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2008. № 6. С. 99-105.
9. Осинцев В.А., Беркович В.Х., Шараев Д.В., Добыча руды в удароопасных условиях на шахтах СУБРа // Магнитогорск. МГМУ. ГИАБ. № 2 (22). 2008. С. 11-20.
10. Беркович В.Х., Дик Ю.А., Шукшина А.Н. Перспективы вовлечения в добычу и переработку потерянных запасов руд // Известия вузов. Горный журнал.. 2017. № 8. С.22 - 28.
11. Beesky M.L. The development and implementation of backfilling system for a deep level gold mine // The Mining Engineer. - 1986.- V. 186, .V- 299. PP. 122-127.
12. Proceedings of the IOth Canadian Rock Mechanics Symposium Vol. 1-2. - Kingston, 1975.
13. Hinton M. Pastefilli operations at Echo Bay's Lupin Mine. CIM, Edmonton, 1996.
14. Coastal Development Institute of Technology (CDIT). The deep mixing method, principle, design and construction, Japan, 2002, 152 p.



## МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ

### Информируем Вас

При содействии Международного союза машиностроителей в период 12-18 сентября 2022 г. в городе Севастополе (с проведением и проживанием в пансионате «Изумруд» в бухте Ласпи, на Южном берегу Крыма) состоится VIII Международный ФОРУМ «ТЕХНОСФЕРА - 2022», организованный техническими университетами Донецка, Луганска, Севастополя и других городов стран ЕАЭС и мира. Более детальная информация приведена на сайте: <http://tm.donntu.org>

## WWW.N-GN.RU