



В. И. Голик /д. т. н./

ФГБОУ ВПО «Северо-Кавказский  
государственный технологический университет»,  
г. Владикавказ (PCO – Алания), РФ  
e-mail: v.i.golik@mail.ru  
ГП «УкрНИПИИпромтехнологии»,  
г. Желтые Воды, Украина  
e-mail: vi\_lyashenko@mail.ru

В. И. Ляшенко /к. т. н./

## Повышение безопасности комбинированной разработки сложноструктурных скальных месторождений

V. I. Golik /Dr. Sci. (Tech.)/

FGBOU «North-Caucasian State Technological  
University», Vladikavkas (RSO – Alanij), RF  
e-mail: v.i.golik@mail.ru

V. I. Lyashenko /Cand. Sci. (Tech.)/

HP «Ukrainian scientific-research and design-  
prospecting Institute of industrial technology»,  
Zhelytye Vody, Ukraine  
e-mail: vi\_lyashenko@mail.ru

## Improved safety combined development of complex rock deposits

**Цель.** Повышение безопасности комбинированной разработки сложноструктурных скальных месторождений на основе обоснования безопасных параметров искусственной кровли (потолочины) при подземных и открытых горных работах.

**Методика.** Комплексная, включающая анализ работ в области повышения безопасности подземных горных работ при разработке скальных месторождений, их геомеханического мониторинга, шахтные и лабораторные экспериментальные исследования, математическое и физическое моделирование, а также теоретический анализ и обобщение полученных результатов по стандартным методикам.

**Результаты.** Установлено, что в процессе строительства сплошной искусственной потолочины для обеспечения полноты закладки выработанного пространства выемка руды осуществляется наклонными (6–9°) заходками. Для снижения влияния взрывов на почве заходок оставляется предохранительная рудная подушка толщиной 0,3–0,5 м. Предложено, что на уложенные с шагом 3 м лежни укладывается сетка типа «рабица» и металлические стержни 6А – II – 10 или другая арматура с равновеликой суммарной площадью сечения и сопротивлением растяжению, причем сетка и стержни укладываются внахлестку на 0,2 м. Для обеспечения совместной работы и однородности закладочного массива в бортах первичных заходок и искусственной кровле устанавливаются железобетонные штанги диаметром 16 мм длиной 1,5 м на глубину 0,75 м с шагом 1 м.

**Научная новизна.** Описана математическая модель расчетов сплошной искусственной потолочины, которую принимают в виде монолитной толстой плиты, жестко защемленной во вмещающих породах и изгибаемой под собственным весом и внешней нагрузкой в двух направлениях по длинной и короткой стороне.

**Практическая значимость.** Рекомендовано для создания облегченной искусственной потолочины в бортах заходок с шагом 1 м устанавливать железобетонные штанги диаметром 30 мм длиной 2 м, а на их почве укладывать арматуру. Длина погашаемой секции не превышает 20 м, суммарное количество отмучиваемых тонкодисперсных частиц цемента, золы, шлака и глины должно быть не менее 400 кг/м<sup>3</sup>. (Ил. 5. Табл. 3. Библиогр.: 8 назв.)

**Ключевые слова:** сложноструктурные месторождения, комбинированная разработка, математическое моделирование, искусственная кровля (потолочина).

**Введение.** Скальные массивы сложной структуры характеризуются неоднородностью горно-геологических условий, что в значительной мере определяет устойчивость пройденных

в них выработок [1]. Зоны разломов различной мощности, сложенные интенсивно раздробленными вмещающими породами, могут пересекать очистные камеры. В совокупности

с интенсивной трещиноватостью и мелкими разрывами такие зоны являются главной причиной обрушения пород. В массиве выделяют зону активного сдвижения с перемещением блоков пород размерами более 200 мм и зону пассивного сдвижения с перемещением блоков пород менее 200. Наличие в зонах сдвижения по наклонным разломам раздробленных и сильно нарушенных пород определяет необходимость осуществления специальных мероприятий, повышающих устойчивость горного массива для создания безопасных условий труда горнорабочих. Нагрузка распределяется неравномерно и составляет: в зоне активного сдвижения около 80 % и в зоне пассивного – 60 % от массы пород, слагающих зону сдвижения. Высота развития зон сдвижения, как правило, не превышает 30 м. Углы падения трещин и тектонических разрывов, по которым наблюдаются подвижки блоков пород, изменяются от 70 до 80°. При комбинированной отработке месторождений одновременно открытым и подземным способом эта опасность проявляется в зоне контакта открытых и подземных работ. Применение охранных целиков при их мощности не менее 40 м экономически неэффективно. Это обусловлено тем, что они располагаются в приповерхностной зоне рудного тела с повышенным содержанием металлов, которые теряются или вынимаются с высоким разубоживанием [2]. Поэтому *повышение безопасности комбинированной разработки сложноструктурных скальных месторождений на основе обоснования безопасных параметров искусственной кровли (потолочины) при подземных и открытых горных работах*, – важная научно-практическая задача, требующая решения [3].

**Методика исследований** – комплексная, включающая анализ работ в области повышения безопасности подземных горных работ при разработке скальных месторождений, их геомеханического мониторинга, шахтные и лабораторные экспериментальные исследования, математическое и физическое моделирование, а также теоретический анализ и обобщение полученных результатов по стандартным методикам.

**Обсуждение и оценка результатов исследований.** Реальным мероприятием, обеспечивающим безопасность горных работ, является создание комбинированной искусственной кровли над участком работ по одному из вариантов: инъецированные цементным раствором породы; сплошная несущая потолочина; облегченная потолочина (рис. 1). Сплошная несущая потолочина создается системой горизонтальных слоев с твердеющей закладкой для предотвращения сдвижения и обрушения пород по зоне

наклонного разлома. Перед началом проходки заходок для возведения искусственной потолочины существующие выработки погашают закладкой твердеющими смесями. В дальнейшем образованный искусственный массив используют в качестве элемента потолочины, который увеличивает ее несущую способность и повышает устойчивость пород в зонах активного и пассивного сдвижения пород по наклонному разлому. Облегченная искусственная потолочина (типа «заходка – целик») возводится путем заполнения существующих очистных выработок твердеющими смесями. Нагрузка на искусственную потолочину определяется массой пород в пределах свода естественного равновесия над выработкой [4].

Комбинированная искусственная потолочина включает элементы: инъецированную цементным раствором зону обрушенных пород; сплошную несущую потолочину в виде железобетонной плиты из заходок, заложенных высокопрочной твердеющей смесью и армированных железобетонными штангами; сплошную несущую потолочину из железобетонных балок, образованных высокопрочной твердеющей смесью из очистных выработок, связанных железобетонными штангами с вмещающим горным массивом и ниже расположенными заходками; облегченную потолочину (типа «заходка – целик»), образованную высокопрочной твердеющей смесью и связанную с вмещающим массивом и между собой железобетонными штангами. Для расчетов сплошную искусственную потолочину принимают в виде монолитной толстой плиты, жестко заземленной во вмещающих породах и изгибаемой под собственным весом и внешней нагрузкой в двух направлениях по длинной и короткой стороне. Изгибаемая плита достигает предельного состояния после об-

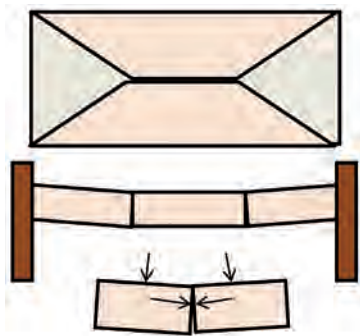


Рис. 1. Схема размещения искусственного перекрытия для разделения открытых (1) и подземных (2) горных работ

разования пластических шарниров возле опор и в середине пролета [5]. Породно-бетонная конструкция создается посредством инъецирования пород цементным раствором путем бурения скважин, в которые нагнетаются цементные растворы. Скважины бурят по контуру свода с расстоянием между веерами 3 м и между концами скважин в веере не более 4 м.

Нагрузка налегающих пород на искусственную потолочину составляла: на участке активного сдвига – около 80 %, а на участке пассивного сдвига – 60 % от массы зоны сдвига. Максимальная высота развития зон сдвига не превышала 30 м. Углы падения систем трещин и тектонических разрывов изменялись от 70 до 80°. Плотность пород – 2,7 т/г<sup>3</sup>. Радикальная нейтрализация влияния ослабляющих структур и улучшение всех показателей очистных работ обеспечивается созданием комбинированной искусственной кровли, включающей элементы: инъецированные цементным раствором породы; сплошная бетонная конструкция; облегченная бетонная конструкция в комбинации с анкерной крепью [6]. Комбинированная потолочина включала элементы: инъецированные цементным раствором обрушенные породы; сплошную бетонную потолочину, в основе которой или железобетонная плита из заложённых высокопрочной твердеющей смесью и связанных друг с другом железобетонными штангами заходок, или железобетонные балки из заложённых высокопрочной твердеющей смесью ортов и расщек между ними, связанных железобетонными штангами; облегченную потолочину из заполненных высокопрочной твердеющей смесью и связанных с массивом и между собой железобетонными штангами заходок.

Для расчетов сплошную искусственную потолочину представляют в форме монолитной толстой плиты, жестко заземленной во вмещающих породах и изгибаемой под собственным весом и внешней нагрузкой, с достижением предельного состояния возле опор и в середине пролета (рис. 2) [7].



**Рис. 2. Схема к расчету предельного состояния искусственной потолочкины**

Породно-бетонная конструкция создается посредством инъецирования пород цементным раствором по скважинам, пробуренным по контуру свода с расстоянием между веерами 3 м и не более 4 м между концами скважин в веере.

Высота пород, подлежащая инъекции:

$$h = \frac{a + H \operatorname{ctg} \frac{90 + \varphi_{\phi}}{2}}{\operatorname{tg} \varphi_{\kappa p}}, \quad (1)$$

где  $H$  – высота камеры, м;  $a$  – полупролет камеры, м;  $\varphi_{\phi}, \varphi_{\kappa p}$  – углы внутреннего трения пород в бортах и кровле камеры.

Пролет инъециционной зоны определяется согласно формуле:

$$B_{ин} = B_{\kappa} + 2l, \quad (2)$$

где  $B_{\kappa}$  – пролет камеры, принимается 15 м;  $l$  – расстояние от контура камеры до границы зоны инъецирования определяется согласно формуле:

$$l = H \operatorname{ctg} \frac{90 + \varphi_{\phi}}{2}. \quad (3)$$

Необходимое количество вееров определяется согласно формуле:

$$N = \frac{l_c + 2l}{3}, \quad (4)$$

где  $l_c$  – длина обрабатываемой секции камеры.

Общая длина скважин на секцию камеры определяется согласно формуле:

$$\sum h = N \sum l_{скв}, \quad (5)$$

где  $\sum l_{скв}$  – суммарная длина скважин в веере, м.

Расход скважин на 1 м<sup>3</sup> конструкции определяется согласно формуле:

$$\gamma = \frac{h}{V}, \quad (6)$$

где  $V$  – объем камеры, м<sup>3</sup>.

Конструкция искусственной потолочкины без армирования и с армированием приведена на рис. 3. Несущая способность искусственной потолочкины зависит от способности железобетонных анкеров и прочности пород, входящих в ее конструкцию (табл. 1).

Отношение площади сечения анкеров к шагу их установки определяется так (табл. 2):

$$\frac{F_a}{a} = \left( \frac{ql_2^2}{12} - \frac{K_0 \cdot R_p h^2}{6} \right) \cdot \frac{1}{R_a(\zeta h)}. \quad (7)$$

Прочность бетона в заходках определяется согласно формуле и приведена в табл. 3:

$$\sigma_{сж.обр.} = \frac{M_{внешн.}^{11}}{\lambda W}. \quad (8)$$

где  $M_{внешн.}^{11} = \frac{ql_2^2}{12}$  – изгибающий момент на опорах потолочкины;  $\lambda$  – коэффициент ослабления

Прочность твердеющих смесей в потолочинах

Наименование	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Длина и ширина потолочины, м	6 × 6	12 × 12	18 × 18
Эквивалентный пролет кровли, м	3	6	9
Потолочина без армирования, МПа	6	8	10
Потолочина с армированием, МПа	3	4	5
Облегченная конструкция, МПа	2	3	4
Инъектирование руды, МПа	3	4	5

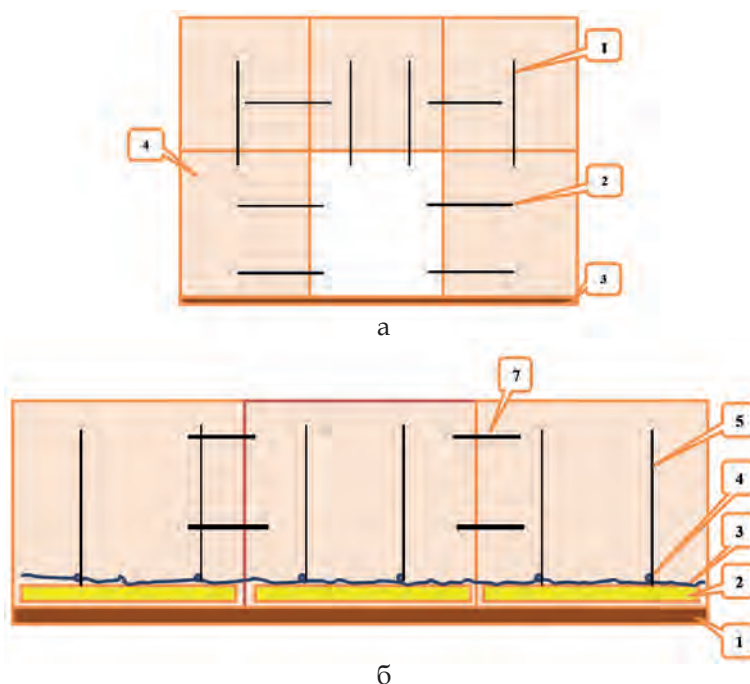


Рис. 3. Конструкция искусственной потолочины:

а – без армирования: 1, 2 – соответственно, вертикально и горизонтально расположенные анкеры; 3 – породная подушка; 4 – заложенная очистная выработка; б – с армированием: 1 – породная подушка; 2 – лежень; 3 – сетка; 4, 6 – соответственно, горизонтальные и вертикальные анкеры; 5 – твердеющая закладка; 7 – железобетонные анкеры

Таблица 2

Шаг установки железобетонных анкеров

Наименование	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
A × B, м	12 × 6	12 × 9	12 × 12
$l_{эквр}$ , м	5,4	7,2	8,5
Соотношение, F a/a, м	0,00073	0,00161	0,00240

искусственного массива, 0,3;  $W = \frac{h^2}{6}$  – момент сопротивления сечения опор.

Таблица 3

Прочность бетона в заходках

Наименование	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
A × B, м	15 × 6	15 × 9	15 × 12
$l_{эквр}$ , м	5,6	7,8	9,4
$\sigma_{сж,л}^{обр.}$ , МПа	1,5	2,8	4,1

Расчеты параметров потолочины позволяют дифференцировать ее конструкцию в зависи-

мости от горно-геологических условий и размеров очистных выработок (рис. 4).

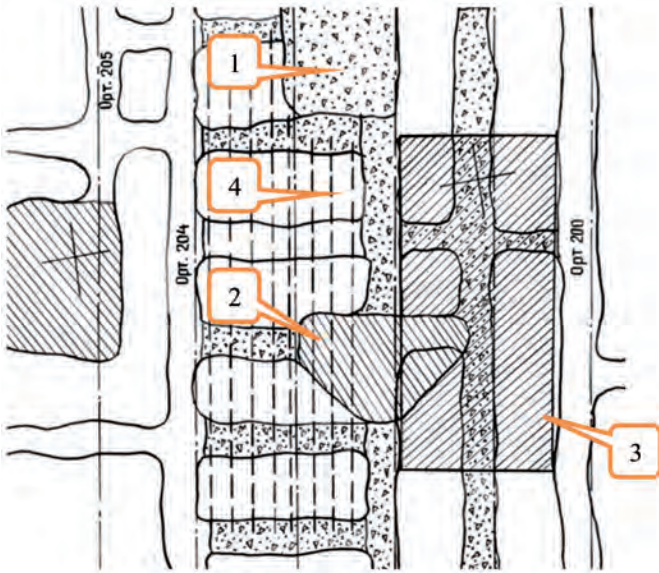
Нормативная прочность закладки, укладываемой на замагазинированную руду, зависит от параметров погашаемого пространства:

– при  $\frac{B}{h} \geq 3$  (изгиб плиты):  $\sigma_{сж.}^{обр.} = \frac{\beta \gamma_3 l_a^2}{3,5 \lambda h} K_3$ , (9)

– при  $\frac{B}{h} \geq 3$  (срез плиты):  $\sigma_{сж.}^{обр.} = \frac{2 \gamma_3 l_a \cos \rho}{\lambda (1 - \sin \rho)} K_3$ , (10)

где  $h$  – мощность слоя закладки, м;  $\rho$  – угол внутреннего трения закладки, 30–35°.

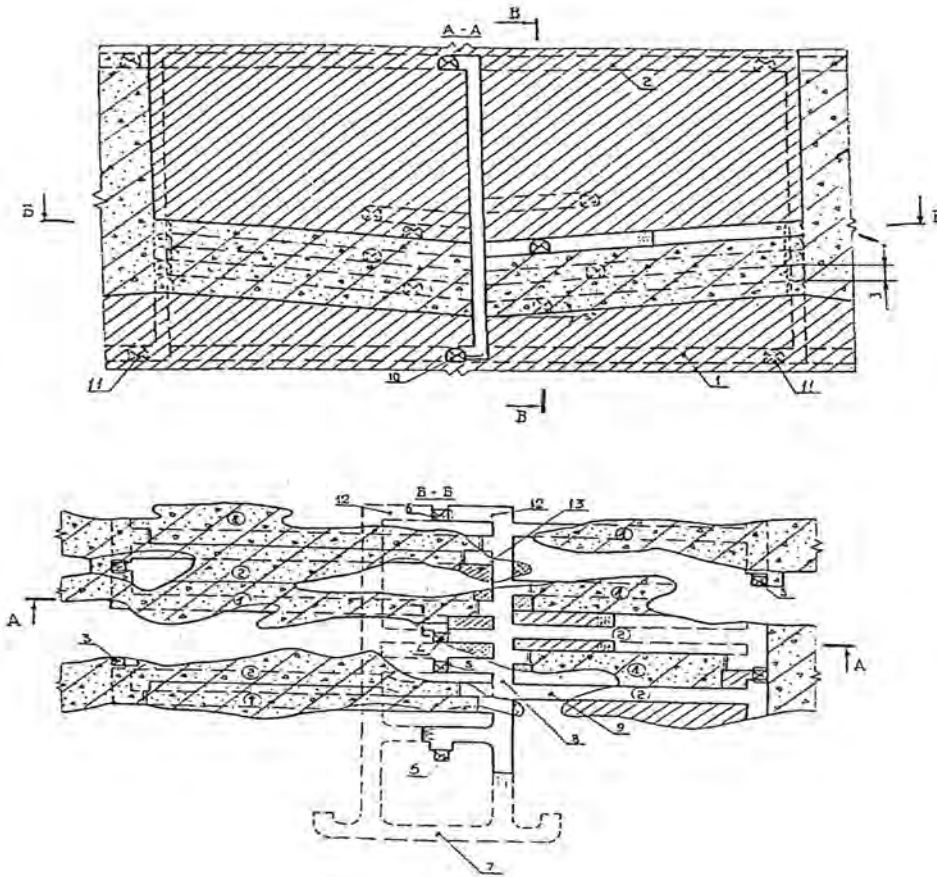




**Рис. 4. Комбинированная искусственная потолочина:**

1 – твердеющая смесь; 2 – инъецированные породы;  
 3, 4 – соответственно, сплошная железобетонная потолочина и облегченная с железобетонными штангами

**Методика и результаты внедрения.** Основными положениями выбора систем разработки месторождений сложной структуры являются: требования к состоянию поверхности над отработанным месторождением; горно-геологические характеристики залежей и их условия залегания; геомеханические свойства руд и вмещающих пород, их устойчивость. Кроме этого, учитывается ряд определяющих технологических требований: безопасность работ и обеспечение необходимых санитарно-гигиенических условий; недопущение сверхнормативных потерь и разубоживания полезного ископаемого; минимальные издержки производства и максимальная производительность труда на добыче руды; обеспечение установленных объемов добычи руды по ее количеству и качеству; возможность усреднения качества рудной массы при ее переработке. Основными системами разработки, применяемыми на шахтах Украины, являются системы с закладкой выработанного пространства, к которым относятся камерные и слоевые с восходящим и нисходящим порядком отработки (рис. 5).



**Рис. 5. Конструкция системы разработки горизонтальными слоями с закладкой:**

1, 2 – откаточные и вентиляционные штреки; 3, 4, 5, 6 – соответственно, вентиляционно-закладочный, рудоперепускной, породоперепускной и вентиляционно-ходовой восстающий с материальным отделением; 7 – спиральный съезд; 8, 9 – слоевые орт и штрек; 10, 11 – откаточный и тупиковый вентиляционный орты; 12 – сбойки; 13 – целики, отрабатываемые перед закладкой;  
 ①, ② – заходки первой и второй очереди

При недостаточно устойчивой кровле, искусственная потолочина создается секциями длиной от 3 до 12 м и более. Отбойка запасов камеры в этом случае производится взрыванием скважинных зарядов «в зажиме». Очистные работы начинаются с проходки отрезного восстающего и образования отрезной щели. Для создания компенсационного пространства перед каждым взрывом производится частичный выпуск до 30 % от отбитой руды [8]. На первой стадии подается порция закладки с повышенным содержанием цемента (до 300 кг/м<sup>3</sup>) и минимальным количеством воды для образования на поверхности замагазинированной руды цементной корки, препятствующей проникновению цементного раствора в руду. На второй – укладывается основной объем твердеющей смеси.

Таким образом, расчеты параметров прочности искусственной потолочкины позволяют дифференцировать ее конструкцию в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий месторождений сложной структуры. Кроме повышения безопасности трудящихся на подземных горных работах, комбинированные искусственные кровли способствуют увеличению качества добываемого минерального сырья за счет разделения отбитых руд и налегающих пород, что особенно актуально для продления сроков эксплуатации месторождений в условиях рыночных отношений. Экономическое сравнение вариантов монолитного и железобетонного перекрытия показывает преимущество второго варианта: по стоимости на 40 %, по трудоемкости на 16 %. При изменении экономической системы хозяйствования приобрели актуальность поиски собственных резервов для выживания горных предприятий. Одним из них является повышение качества добываемого минерального сырья и снижение опасности обрушения пород путем управления состоянием напряженно-деформированных рудовмещающих массивов использованием искусственных потолочин. Искусственная потолочина является одним из вариантов использования прогрессивной технологии с закладкой техногенных пустот твердеющими смесями, позволяющей решать ряд экономических и экологических задач, актуальность которых увеличивается с уменьшением запасов месторождений и увеличением объема добычи сырья при снижении содержания полезных компонентов. Деятельность горных предприятий оценивается корректностью извлечения запасов из недр. Важным направлением оптимизации является уменьшение объема руд, оставляемых в недрах для обеспечения сохранности массива. Это относится, в первую очередь, к проблеме потерянных или извлекаемых с по-

терями запасов целиков. Практика показывает, что снижение величины ущерба от потерь руды при строительстве искусственных потолочин вместо оставления рудных целиков компенсирует увеличение затрат на них. Потолочина решает одновременно две задачи горного производства: защиты выработок от критических напряжений и предохранение примешивания пород к добываемой руде.

### Выводы

1. *Установлено*, что в процессе строительства сплошной искусственной потолочкины для обеспечения полноты закладки выработанного пространства выемка руды осуществляется наклонными (6–9°) заходками. Для уменьшения влияния взрывов на почве заходок оставляется предохранительная рудная подушка толщиной 0,3–0,5 м.

2. *Предложено* на уложенные с шагом 3 м лежни укладывать сетку типа «рабица» и металлические стержни 6А – II – 10 или другую арматуру с равновеликой суммарной площадью сечения и сопротивлением растяжению, причем сетка и стержни укладываются внахлестку на 0,2 м. Для обеспечения совместной работы и однородности закладочного массива в бортах первичных заходок и искусственной кровле устанавливаются железобетонные штанги диаметром 16 мм длиной 1,5 м на глубину 0,75 м с шагом 1 м.

3. *Рекомендовано* при создании облегченной искусственной потолочкины в бортах заходок с шагом 1 м устанавливать железобетонные штанги диаметром 30 мм длиной 2 м, а на их почве укладывать арматуру. Длина погашаемой секции не превышает 20 м, суммарное количество отмучиваемых тонкодисперсных частиц цемента, золы, шлака и глины должно быть не менее 400 кг/м<sup>3</sup>. Нормативная прочность закладочной смеси составляет 6–7 МПа.

*Работа выполнена по материалам доклада с участием авторов на XXIV Международной научно-практической конференции «КАЗАНТИП-ЭКО-2016», «Инновационные пути решения актуальных проблем базовых отраслей, экологии, энерго- и ресурсосбережения», 6–10 июня 2016 г., г. Харьков. (Харьков: ГП «УкрНТЦ «Энергосталь», 2016. – С. 284–297).*

### Библиографический список / References

1. Протождяконов М. М. Давление горных пород и рудничное крепление. Ч. 1: Давление горных пород / М. М. Протождяконов. – 3-е изд., испр. – М.: Изд. ГНТГИ, 1933. – 128 с.

Protod'jakonov M. M. (1933). *Davlenie gornykh porod i rudnichnoe kreplenie. Ch. 1: Davlenie gornykh porod* [The pressure of rocks and miner mount



Part 1: Pressure rocks]. Moscow, GNTGI, 128 p. (in Russian).

2. Слесарев В. Д. Определение оптимальных размеров целиков различного назначения / В. Д. Слесарев. – М.: Углетехиздат, 1948. – 57 с.

Slesarev V. D. (1948). *Opredelenie optimal'nykh razmerov celikov razlichnogo naznachenija* [Determination of the optimal size of the pillars of various purpose]. Moscow, Ugletekhizdat, 57 p. (in Russian).

3. Ветров С. В. Допустимые размеры обнажений горных пород при подземной разработке руд / С. В. Ветров. – М.: Наука, 1975. – 223 с.

Vetrov S. V. (1975). *Dopustimye razmery obnazhenij gornyh porod pri podzemnoj razrabotke rud* [Acceptable sizes of outcrops of rocks in underground mining of ore]. Moscow, Nauka, 223 p. (in Russian).

4. Фисенко Г. Л. Предельное состояние горных пород вокруг выработок / Г. Л. Фисенко. – М.: Недра, 1976. – 272 с.

Fisenko G. L. (1976). *Predel'noe sostojanie gornyh porod vokrug vyrobotok* [Limit state of rock around workings]. Moscow, Nedra, 272 p. (in Russian).

5. Борисов А. А. Механика горных пород и массивов / А. А. Борисов. – М.: Недра, 1980. – 359 с.

Borisov A. A. (1980). *Mehanika gornyh porod i massivov* [Mechanics of rocks and arrays]. Moscow, Nedra, 359 p. (in Russian).

6. Хомяков В. И. Зарубежный опыт закладки на рудниках / В. И. Хомяков. – М.: Недра, 1984. – 224 с.

Homjakov V. I. (1984). *Zarubezhnyj opyt zakladki na rudnikah* [Mechanics of rocks and arrays]. Moscow, Nedra, 224 p. (in Russian).

7. Слепцов М. Н. Подземная разработка месторождений цветных и редких металлов / М. Н. Слепцов, Р. Ш. Азимов, В. Н. Мосинец. – М.: Недра, 1986. – 206 с.

Slepcev M. N., Azimov R. Sh., Mosinec V. N. (1986). *Podzemnaja razrabotka mestorozhdenij cvetnykh i redkih metallov* [Underground mining of non-ferrous and rare metals]. Moscow, Nedra, 206 p. (in Russian).

8. Добыча и переработка урановых руд: монография / под общ. ред. А. П. Чернова. – Киев: Адеф-Украина, 2001. – 238 с.

Chernov A. P. (ed.) (2001). *Dobycha i pererabotka uranovykh rud* [Mining and processing of uranium ores]. Kiev, Adef-Ukraina, 238 p. (in Russian).

**Purpose.** Improved safety combined development of complex rock deposits on the basis of sound justification roofing artificial settings (potolochiny) in underground and open cast mining.

**Methodology.** Complex, which includes analysis of the works in the field of improving the safety of underground mining in the development of rock deposits, their geomechanical monitoring, mine and laboratory experimental studies, mathematical and physical modeling, and theoretical analysis and generalization of the results obtained by standard methods.

**Findings.** It was found that in the process of building a solid artificial potolochiny to ensure completeness stowing ore excavation is carried out oblique (6–9 °) stope. For decrease impact of explosions on the basis of a safety left zahodok ore cushion thickness 0.3 to 0.5 m. It is suggested that arranged in increments of 3 m sleepers stacked grid of the “netting” and metal rods 6A – II – 10 or other fittings with equal total cross-sectional area, and tensile strength, the mesh and rods are stacked overlap by 0.2 m in order to ensure collaboration and ensure uniformity of filling mass in the sides of the primary zahodok and artificial roof installed reinforced concrete rods with a diameter of 16 mm to a depth of 1.5 m 0.75 m by 1 m.

**Originality.** The mathematical model calculations of continuous artificial potolochiny, which takes the form of a monolithic thick plate rigidly clamped in the surrounding rocks, and bending under its own weight and external load in two directions along the long and short side.

**Practical value.** It is recommended to create a lightweight artificial potolochiny in the sides zahodok steps 1 m installing reinforced concrete rods with a diameter of 30 mm long 2 m, and in their soil fit fittings. Redeemable section length is not more than 20 m, the total quantity of elutriated fine particles of cement, fly ash, slag and clay must be less than 400 kg/m<sup>3</sup>.

**Key words:** slozhnostrukturnykh field, combined development, mathematical modeling, artificial roof (potolochina).

Рекомендована к публикации  
д. т. н. М. С. Четвериком

Поступила 20.07.2016

Metallurgical and Mining  
Industry

www.metaljournal.com.ua