

УДК 504.55.054:622(470.6)

ИСКУССТВЕННЫЕ ПОТОЛОЧИНЫ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧЕ РУД КАК АЛЬТЕРНАТИВА РУДНЫМ ЦЕЛИКАМ

Голик Владимир Иванович¹,
v.i.golik@mail.ru

Разоренов Юрий Иванович¹,
yiri1963@mail.ru

Лукьянов Виктор Григорьевич²,
lukyjanov@tpu.ru

¹ Северо-Кавказский государственный технологический университет,
Россия, 362021, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44.

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, 634050, пр. Ленина, 30.

Актуальность работы обусловлена необходимостью минимизации потерь руды в оставляемых для различных целей целиках, как условия удовлетворения неуклонно возрастающей потребности в сырье для производства металлов при ухудшении условий разработки рудных месторождений.

Цель работы: обоснование технической возможности и экономической целесообразности использования дифференцированных по прочности и функциям искусственных бетонных потолочин взамен рудных целиков.

Методы исследования: анализ теоретического наследия российской и зарубежной геомеханических школ, передового опыта разработки сложноструктурных месторождений и проектные проработки на основе теории жестко защемленной в опорах плиты с максимальной нагрузкой в опорах и шарнирах. На примере разработки месторождения Северного Казахстана системой подэтажных ортов в пределах структурно-неоднородного горного массива описана возможность комбинирования конструкций и технологий возведения потолочин: сплошной несущей потолочины и сопряженной с ней «облегченной» потолочины над остальной частью блока; упрочнение замагазинированной руды подачей на нее твердеющей смеси, с получением экономического эффекта.

Результаты. Предложены варианты искусственной потолочины на основе твердеющих бетонных смесей, дифференцированно учитывающие механизм проявления горного давления в разрабатываемых участках рудного поля. Доказано, что искусственные потолочины способны конкурировать с рудными целиками, особенно при разработке ценных металлических руд.

Выводы. При отработке запасов ценных руд в геологически нарушенных и дезинтегрированных массивах строительство искусственных потолочин, как альтернативы рудным целикам, является способом уменьшения опасности горных работ и повышения качества извлекаемых руд, что является резервом оздоровления экономики современного горного производства.

Ключевые слова:

Порода, массив, потолочина, выработка, твердеющая смесь, бетон, руда, platform, прочность.

Введение

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 рудомещающих массивов с использованием искусственных потолочин [1].

Искусственная потолочина является одним из вариантов использования прогрессивной технологии с закладкой техногенных пустот твердеющими смесями, позволяющей решать ряд экономических и экологических задач, актуальность которых повышается 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 неизвлекаемых или извлекаемых с потерями запасов целиков [2].

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: защита выработок от критических напряжений и предотвращение примешивания пород к добываемой руде [3].

Большинство мощных металлических месторождений разрабатывают подземным способом системами с подэтажной выемкой [3]. Слагающие их рудные тела локализованы в структурно-неоднородных напряженно-деформированных массивах, ослабленных процессами дезинтеграции. Такие массивы характеризуются геологической нарушенностью, выветрелостью и дезинтеграцией на верхних горизонтах.

Объекты и методы исследования

Месторождение Северного Казахстана разрабатывали системой поэтажных ортов в пределах структурно-неоднородного горного массива [4]. Очистная выемка сопровождалась обрушением пород кровли и боков с развитием процессов сдвижения.

Для разрешения неблагоприятной геомеханической ситуации применили комбинацию технологических операций: инъецирование обрушенных пород в секциях; строительство на уровне горизонта искусственной комбинированной кровли из сплошной несущей потолочины и сопряженной с ней «облегченной» потолочины над остальной частью блока; упрочнение замагазинированной руды подачей на нее твердеющей смеси.

В массиве выделены зоны активного сдвижения с перемещением блоков пород более чем на 200 мм, зоны пассивного сдвижения с перемещением блоков пород до 200 мм и зоны в разной степени нарушенных пород различной мощности и ориентировки.

Зона наклонного разлома мощностью 4–6 м, сложенная интенсивно раздробленными вмещающими породами, падала под углами 40° – 50° , пересекая камеры. Она стала причиной обрушения пород со скоростью около 7,5 м/с на высоту 30 м от уровня горизонта. Одновременно с формированием свода обрушения в массиве происходило сдвижение пород различной интенсивности по зоне наклонного разлома (рис. 1).

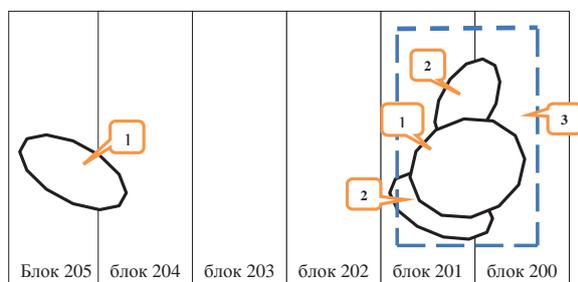


Рис. 1. Расположение участков массива с различной нарушенностью: 1 – зона активного сдвижения пород; 2 – зона пассивного сдвижения пород; 3 – контур искусственной потолочины

Fig. 1. Arrangement of array sections with different fracturing: 1 is the area of active rock displacement; 2 is the area of passive rock displacement; 3 is the loop of faux ceiling

Нагрузка налегающих пород на искусственную потолочину составляла: на участке активного сдвижения – около 80 %, а на участке пассивного сдвижения – 60 % от массы зоны сдвижения. Максимальная высота развития зон сдвижения не превышала 30 м. Углы падения систем трещин и тектонических разрывов изменялись от 70° до 80° . Объемный вес пород – 2,7 т/м³.

Радикальная нейтрализация влияния ослабляющих структур и улучшение всех показателей очистных работ обеспечивается созданием комби-

нированной искусственной кровли, включающей элементы: инъецированные цементным раствором породы; сплошную бетонную конструкцию; облегченную бетонную конструкцию в комбинации с анкерной крепью [5].

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 расщечек 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) [6].

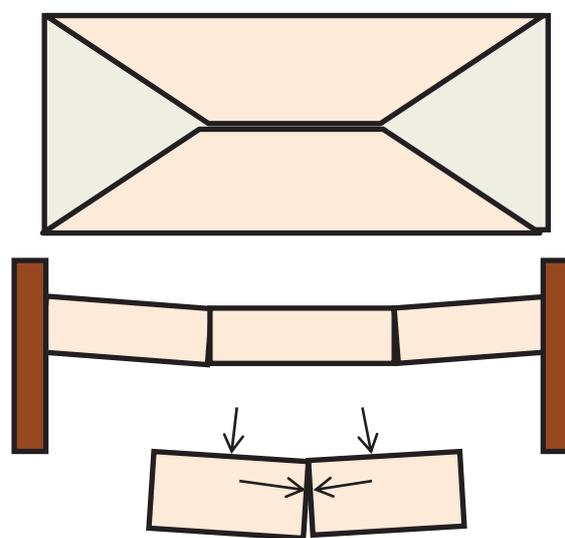


Рис. 2. Схема к расчету предельного состояния искусственной потолочины

Fig. 2. Diagram for calculation of the limit state of the faux ceiling

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.

Искусственная потолочина без несущей арматуры обеспечивает несущие функции преимущественно за счет прочности бетона (рис. 3).

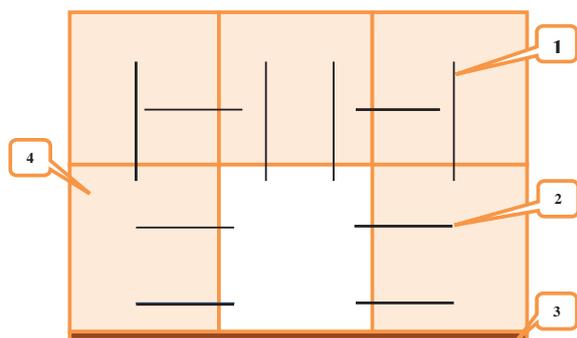


Рис. 3. Конструкция искусственной потолочины без армирования: 1 – вертикально расположенные анкеры; 2 – горизонтально расположенные анкеры; 3 – породная подушка; 4 – заложённая очистная выработка

Fig. 3. Design of the faux ceiling without reinforcement: 1 is the vertically arranged anchor; 2 is the horizontally arranged anchor; 3 is the rock cushion; 4 is the filled slope

Искусственная потолочина с несущей арматурой отличается использованием для упрочнения бетона железных конструкций (рис. 4).

Расчеты параметров потолочины позволяют дифференцировать ее конструкцию в зависимости от горно-геологической ситуации и размеров очистных выработок (рис. 5).

При строительстве сплошной искусственной потолочины выемка руды осуществляется наклонными (6° – 9°) секциями длиной не более 20 м. В боках заходок и искусственной кровле устанавливают железобетонные штанги с шагом 1 м [7].

При создании облегченной искусственной потолочины в бортах заходок с шагом 1 м устанавливают железобетонные штанги диаметром 30 мм, длиной 2 м, а на почве заходок укладывается арматура. Длина погашаемой секции не превышает 20 м, суммарное количество отмучиваемых тонко-

дисперсных частиц цемента, золы, шлака и глины – не менее 400 кг/м^3 . Нормативная прочность закладочной смеси 6–7 МПа.

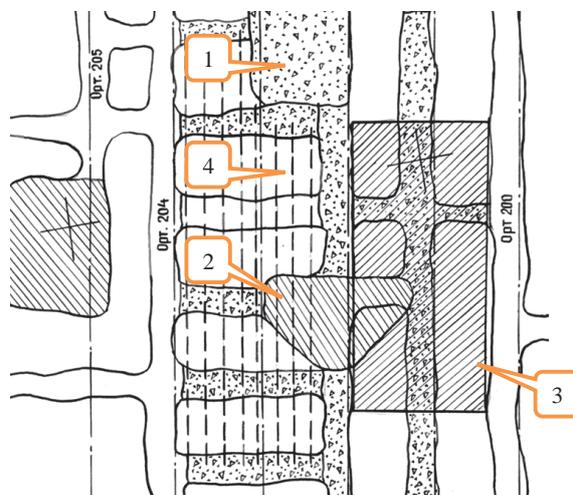


Рис. 5. Комбинированная искусственная потолочина: 1 – твердеющие смеси; 2 –инъекцированные породы; 3 – сплошная железобетонная потолочина; 4 – облегченная потолочина с железобетонными штангами

Fig. 5. Combined faux ceiling: 1 are the hardening mixtures; 2 are the injected rocks; 3 is the solid reinforced-concrete ceiling; 4 is the lightweight ceiling with reinforced-concrete bars

Вариант строительства потолочины путем подачи твердеющих смесей на отбитую руду может быть востребован при недостаточно устойчивой кровле. Искусственная потолочина в этом случае создается секциями длиной до 12 м. Отбойка руды производится взрыванием «в зажиме».

Подача закладочной смеси на замагазинированную руду осуществляется в две стадии. На пер-

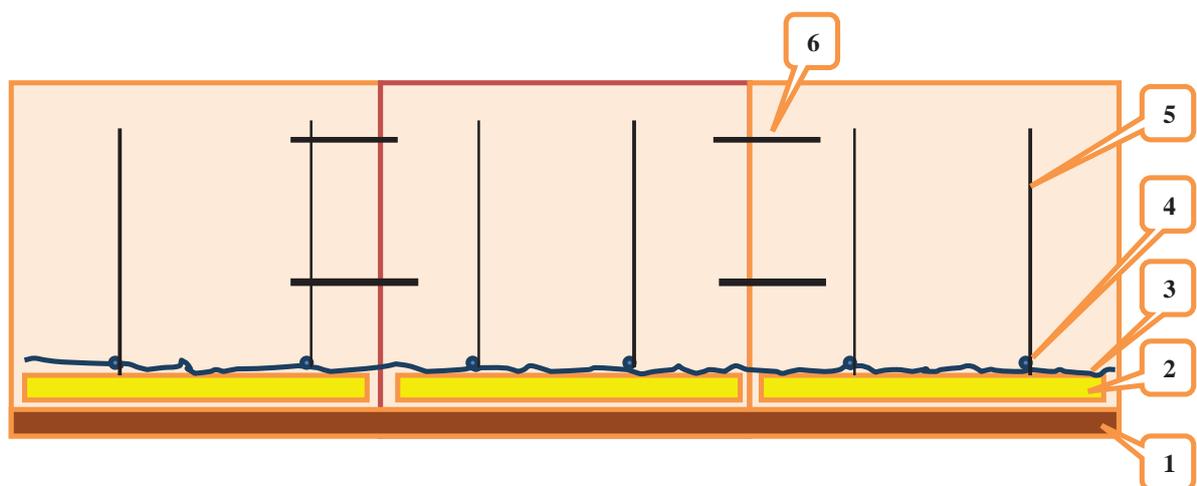


Рис. 4. Искусственная потолочина с несущей арматурой: 1 – породная подушка; 2 – лежень; 3 – сетка; 4 – горизонтальные анкеры; 5 – вертикальные анкеры; 6 – железобетонные анкеры

Fig. 4. Faux ceiling with bearing reinforcement: 1 is the rock cushion; 2 is the sill; 3 is the grid; 4 are the horizontal anchors; 5 are the vertical anchors; 6 are the reinforced-concrete anchors

вой стадии подается порция закладки с повышенным (до 300 кг/м³) количеством цемента при минимальном количестве воды для образования на поверхности замагазинированной руды цементной корки, препятствующей проникновению цементного раствора в руду. На второй стадии в потолочину укладывается основной объем твердеющей смеси [8].

Прочность твердеющих бетонных смесей при строительстве потолочин в зависимости от их функции по управлению состоянием массива сведена в таблицу.

Таблица. Прочность твердеющих смесей в потолочинах
Table. Strength of hardening mixtures in ceiling

Параметры/Options	Единицы Units	Площадь, м ² Area, m ²		
Длина и ширина потолочины Ceiling length and width	м/м	6×6	12×12	18×18
Эквивалентный пролет кровли Equivalent roof span		3	6	9
Потолочина без армирования Ceiling without reinforcement	МПа/MPa	6	8	10
Потолочина с армированием Ceiling with reinforcement		3	4	5
Облегченная конструкция Lightweight construction		2	3	4
Инъектирование руды Injected ores		3	4	5

Выработанное пространство камеры на подэтажах изолируется перемычками, а устье закладочного трубопровода располагается в высшей точке камеры. В нижней части камеры укладывается слой закладки, нормативную прочность которой рассчитывают аналогично расчету монолитной бетонной плиты без несущей арматуры [9].

Основной объем камеры заполняется твердеющей смесью с пониженным расходом вяжущего, нормативная прочность которой рассчитывается из условия устойчивого вертикального обнажения искусственного массива.

В рассматриваемом рудном массиве породная масса в секции 205-1 инжектируется цементным раствором на высоту камеры, а в секции 202-1 – выше добычного горизонта. Одновременно с инжектированием устанавливаются железобетонные штанги и заполняются твердеющими смесями орты, расщелки между ними, а также другие выработки.

Затем проходят заходки для создания сплошной несущей потолочины. Выпуск горной массы из секции производится в два этапа: I – до уровня 600 м³ с подачей твердеющей смеси на замагазинированную руду; II – с полной закладкой твердеющей смесью.

Очистная выемка производится системой подэтажных ортов со сплошным порядком отработки секций от камер 202-1 и 205-1 к флангам рудного тела.

Отбойка секций камеры 205 начинается после инжектирования обрушенных пустых пород в ин-

тервале 236–176 м камеры 205-1. В блоке камер 200–204 в первую очередь отрабатывается камера 201, затем камера 202, камеры 200 и 203, а в последнюю очередь – камера 204.

Очистные работы под искусственной потолочиной начаты после инжектирования горной массы выше горизонта, выпуска руды и заполнения секций 202-1 твердеющей закладкой. Отбойка секций в камере 201 начата после набора прочности искусственной потолочины не менее 6,0 МПа.

Экономическое сравнение вариантов монолитного и железобетонного перекрытия для одного из рудников обнаруживает преимущество варианта с железобетонной основой: по стоимости – на 40 %, по трудоемкости – на 16 % [10].

Реализация технологии с заменой рудных целиков искусственными потолочинами может быть востребована на предприятиях депрессивных горнодобывающих регионов, например Северного Кавказа, где назрела необходимость технологической конверсии горного производства на основе инновационных ресурсосберегающих технологий [11].

Увеличение объема использования твердеющих смесей открывает перспективы утилизации неограниченных запасов хвостов переработки руд, которые могут быть вовлечены в производство после извлечения из них металлов методами инновационной технологии механохимической активации с выщелачиванием в дезинтеграторах [12]. Активированные отходы горно-металлургического производства могут использоваться как в качестве инертных заполнителей, так и в качестве вяжущих при комбинировании разнопрочных составов бетонной смеси [13].

Кроме повышения безопасности трудящихся на подземных горных работах комбинированные искусственные кровли способствуют увеличению качества добываемого минерального сырья за счет разделения выпускаемых руд и налегающих пород, что особенно актуально для выживания горных предприятий в период технологической диверсификации [14]. Повышение качества сырья существенно повышает конкурентоспособность товарной продукции горных предприятий и в определенных условиях обеспечивает финансовое благополучие [15]. Это относится в первую очередь к месторождениям с большим сроком эксплуатации, типа Садонских рудников, в недрах которых в прежние годы в целиках были оставлены руды с содержанием металлов, намного превосходящим сегодняшнее плановое содержание [16].

Использование искусственных потолочин представляет интерес в первую очередь как альтернатива оставлению рудных целиков с омертвлением значительной части запасов нередко ценных руд. Рудные потолочины считаются эффективным способом разработки водообильных месторождений, предотвращая прорывы воды и плывунов в горные выработки.

На Коробковском месторождении Курской магнитной аномалии руду добывают этажно-камерной системой разработки в пределах одного выемочного этажа под защитой предохранительной рудной потолочины, опирающейся на междукамерные целики. Потери руды в целиках составляют 60 %, что не может отвечать концепции рационального использования недр.

Работы, направленные на обеспечение эффективности и безопасности подземной разработки в обводненных массивах под рудными потолочинами на упругом основании из междукамерных целиков, не могут быть эффективными, потому что добываемые комплексные руды по извлекаемой ценности многократно превышают стоимость затрат на строительство искусственных потолочин на основе специальных бетонов.

Эффективность и безопасность добычи руд под защитой потолочин во многом определяется надежностью применяемых способов прогноза и управления состоянием конструктивных элементов систем разработки как следствия природных и техногенных геомеханических процессов.

Для оценки состояния твердых дискретных пород используется гипотеза балок, усовершенствованная трудами В.Д. Слесарева, А.А. Борисова, С.В. Ветрова, В.И. Борщ-Компанийца и др.

В работах Д.М. Казикаева, Г.Г. Суржина, Б.А. Фомина предохранительная потолочина рассматривается как однородная изотропная пластина, шарнирно опертая по контуру, что не совсем корректно учитывает геологическую нарушенность массива.

Кроме геомеханической компоненты использованию рудных потолочин присуща технологическая особенность. Со временем происходит уменьшение ее размеров вследствие природной дезинтеграции, механического влияния взрывных работ, извлечения особо ценных руд и т. п., что не может быть компенсировано в процессе эксплуатации.

Устойчивость металлической крепи в рудном массиве, подвергшемся горному удару, рассмотрена в работе [17, 18]. Оценка устойчивости массивов рудных месторождений на стадии проектных работ выполнена В. Dold и L. Weibel [19]. Рекомендации по совершенствованию технологий анкерного упрочнения природно-техногенных массивов даны в трудах S. Fiscor [20].

Проблема уменьшения опасности горных работ и повышения качества извлекаемых руд превратилась в глобальную проблему современного горного производства, и любые шаги в этом направлении имеют важное значение, особенно для предприятий, которые оказались неготовыми к работе в условиях рынка [21].

Выводы

При отработке запасов ценных руд в геологически нарушенных и дезинтегрированных массивах снижение качества извлекаемых руд может быть предотвращено строительством искусственных потолочин как альтернативы рудным целикам.

Использование возможности повышения устойчивости горного массива и связанного с этим качества добываемой руды путем применения описанных в статье методов является резервом оздоровления экономики современного горного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голик В.И., Ермоленко А.А., Лазовский В.Ф. Организационно-экономические проблемы использования природных ресурсов Южного федерального округа. – Краснодар: ЮИМ, 2008. – 328 с.
2. Гурьев Г.Т., Воробьев А.Е., Голик В.И. Человек и биосфера: устойчивое развитие. – Владикавказ: Терек, 2001. – 474 с.
3. Ляшенко В.И. Совершенствование добычи полезных ископаемых комбинированными способами выщелачивания // Горный журнал. – 2001. – № 1. – С. 9–14.
4. Актуальные вопросы добычи цветных, редких и благородных металлов / В.К. Бубнов, В.И. Голик, А.М. Капканщиков, А.Е. Воробьев, З.М. Хадонов, И.В. Поляцкий, Н.К. Руденко, А.В. Югай, О.З. Габараев, Т.В. Чекушина. – Акмола: Жана-Арка, 1995. – 601 с.
5. Голик В.И., Алборов И.Д. Охрана окружающей среды утилизацией отходов горного производства. – М.: Недра, 1995. – 125 с.
6. Ляшенко В.И., Колоколов О.В. Совершенствование технологии подземного выщелачивания при разработке рудных месторождений сложной структуры // Науковий вісник НГУ. – 2006. – № 7. – С. 11–17.
7. Извлечение золота из хвостов золотоизвлекательной фабрики с использованием процесса агломерационной флокуляции / Н.К. Алгебраистова, А.В. Макшанин, Е.А. Бурдакова, А.С. Маркова // ГИАБ. – 2013. – № 12. – С. 98–106.
8. Терентьев Б.Д., Мухин С.Е. Перспективы развития добычи и использования антрацитов Восточного Донбасса // ГИАБ. – 2013. – № 12. – С. 56–77
9. Теория и практика добычи полезных ископаемых для комбинированных способов выщелачивания / В.К. Бубнов, Э.К. Спирин, А.М. Капканщиков, В.И. Голик, Ю.Н. Смирнов, А.Е. Воробьев, А.М. Сытников, Л.И. Евсеев, В.И. Пигульский, С.П. Заборцев, Н.К. Руденко, В.М. Береза, В.А. Шамонин. – Акмола: Жана-Арка, 1992. – 545 с.
10. Маслеников С.А., Шинкарь Д.И., Прокопенко К.Д. Экономический эффект от применения крепи с управляемым режимом работы // Труды Междунар. научно-практ. конф. «Перспективы развития горного дела и подземного строительства». – Киев: Підприємство УВОІ «Допомага», 2013. – С. 12–17.
11. Дребенштетт К. Ответственное использование и защита литосферы // Материалы 6-го горного коллоквиума / Фрайбергская горная академия. – Фрайберг, 2012. – С. 69–77.
12. Белова А.Г., Корнилов С.В. О технологической платформе «Твердые полезные ископаемые» // Горный журнал. – 2012. – № 1. – С. 34–40.
13. Ермолович Е.А., Шок И.А. Техногенные отходы в составе складочных композиционных материалов // Горный журнал. – 2012. – № 9. – С. 78–84.
14. Архипов Г.И. Горнорудная промышленность в экономике Дальневосточного региона // Горный журнал. – 2013. – № 2. – С. 104–108.

15. Хашева З.М. Функции внутренней среды региональных экономических систем. Экономика и предпринимательство. – 2013. – № 4 (33). – С. 75–77.
16. Ракишев Б.Р. Комплексное использование руды на предприятиях цветной металлургии Казахстана // Горный журнал. – 2013. – № 7. – С. 78–85.
17. Gu Beiserner Schachttubbingensaulenausbau – Historie, Schadensarten und Reparaturvarianten // Report. – 1999. – P. 12–16.
18. Large scale field tests of hightensile steel wire mesh in combination with dynamic rock bolts subjected to rock burst loading / R. Bucher, M. Cala, A. Zimmermann, C. Balg, A. Roth // 7th Int. Symp. on Ground Support in Mining and Underground construction. – Australia, 2013. – P. 56–64.
19. Dold B., Weibel L. Biogeometallurgical pre-mining characterization of ore deposits: an approach to increase sustainability in the mining process // Environmental Science and Pollution Research. – 2013. – № 11. – P. 7777–7786.
20. Fisor S. Roof bolting technology // Coal Age. – 2012. – V. 117. – № 5. – P. 26–30.
21. Плешко М.С., Насонов А.А. Внедрение эффективных геотехнологий на основе комплексного мониторинга всех стадий жизненного цикла горнодобывающего предприятия // ГИАБ. – 2013. – № 11. – С. 69–76.

Поступила: 26.01.2016 г.

Информация об авторах

Голик В.И., доктор технических наук, профессор Северо-Кавказского государственного технологического университета.

Разоренов Ю.И., доктор технических наук, профессор, ректор Северо-Кавказского государственного технологического университета.

Лукьянов В.Г., доктор технических наук, профессор Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDC 504.55.054:622(470.6)

FAUX CEILING AT UNDERGROUND MINING AS AN ALTERNATIVE TO ORE PILLAR

Vladimir I. Golik¹,
vigolik@mail.ru

Yuri I. Razorenov¹,
yiri1963@mail.ru

Victor G. Lukyanov²,
lukyanov@tpu.ru

¹ North-Caucasian State Technological University,
44, Nikolaev street, Vladikavkaz, 362021, Russia.

² National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

Relevance of the research is caused by the necessity to minimize ore losses in pillars, left for different purposes, for meeting a steadily increasing demand for raw materials to produce metals when ore field development conditions deteriorate.

The aim of the research is to study the feasibility and economic viability of using strength and function differentiated faux concrete ceiling instead of ore pillars.

Methods: analysis of theoretical heritage of Russian and foreign geomechanical schools, advanced experience in developing complex fields and design studies based on the theory of a plate clamped rigidly with maximum load in the bearings and hinges. The paper describes the possibility of combining ceiling construction design and technologies: solid carrier ceiling and "lite" ceiling conjugated to the latter over the rest part of the block by the example of the Northern Kazakhstan field development by the system of axes sublevel within the structurally inhomogeneous rock mass; hardening the left in store ore by feeding hardening mixture to it for obtaining economic benefits.

Results. The authors have proposed the variants of faux ceiling based on hardening concrete mixtures, taking into account the mechanism of rock pressure in the developed areas of the ore field. It is proved that the faux ceiling can compete with the ore pillars, especially at development of valuable metal ores.

Conclusions. When developing the valuable ore reserves in geologically disturbed and disintegrated arrays the construction of faux ceiling, as an alternative to ore pillars, is a way to reduce the risk of mining operations and improve the quality of the extracted ore. This is the reserve of economic recovery in current mining.

Key words:

Breed, array, ceiling, development, hardening mixture, concrete, ore, stove, strength.

REFERENCES

- Golik V.I., Ermolenko A.A., Lozovskiy V.A. *Organizatsionno-ekonomicheskie problem ispolzovaniya prirodnykh resursov Yuzhnogo federalnogo okruga* [Organizational and economic problems of using natural resources in the Southern Federal District]. Krasnodar, YuIM Publ., 2008. 328 p.
- Guriev G.T., Vorobiev A.E., Golik V.I. *Chelovek i biosfera: ustoychivoe razvitiye* [Man and biosphere: sustainable development]. Vladikavkaz, Terek Publ., 2001. 474 p.
- Lyashenko V.I. Improving mining by the combined leaching. *Mining journal*, 2001, no. 1, pp. 9–14. In Rus.
- Bubnov V.K., Golik V.I., Kapkanschchikov A.M., Vorobyev A.E., Hadonov Z.M., Polyatsky I.V., Rudenko N.K. Yugay A.V., Gabaraev O.Z., Chekushina T.V. *Aktualnye voprosy dobychi tsvetnykh metallov* [Topical issues of producing non-ferrous, rare and precious metals]. Akmola, Zhana-Arka Publ., 1995. 601 p.
- Golik V.I., Alborov I.D. *Okhrana okruzhayushchey sredy utilizatsiy otkhodov gornogo proizvodstva* [Environmental protection by mining waste recycling]. Moscow, Nedra Publ., 1995. 125 p.
- Lyashenko V.I., Kolokolov O.V. Sovershenstvovanie tekhnologii podzemnogo vyshchelachivaniya pri razrabotke rudnykh mestorozhdeniy slozhnoy struktury [Improvement of underground leaching technology in development of ore deposits of complex structure]. *News of NSU*, 2006, no. 7, pp. 11–17.
- Algebraistova N.K., Makshanin A.V., Burdakova E.A., Markova A.S. Gold recovery from the tailings gold recovery plant using flocculation sintering process. *GIAB*, 2013, no. 12, pp. 98–106. In Rus.
- Terentyev B.D., Mukhin S.E. Prospects of development of anthracite production and use in Eastern Donbass. *GIAB*, 2013, no. 12, pp. 56–77. In Rus.
- Bubnov V.K., Spirin E.K., Kapkanschchikov A.M., Golik V.I., Smirnov Yu.N., Vorobiev A.E., Sytnikov A.M., Evseev L.I., Pigulsky V.I., Zabortsev S.P., Rudenko N.K., Bereza V.M., Shamoin V.A. *Teoriya i praktika dobychi poleznykh iskopaemykh dlya kombinirovannykh sposobov vyshchelachivaniya* [Theory and practice of mining for combined leaching techniques]. Akmola, Zhana-Arka Publ., 1992. 545 p.
- Maslennikov S.A., Shinkar D.I., Prokopenko K.D. Ekonomichesky effect ot primeneniya krepki s upravlyаемym rezhimom raboty [Economic effect of application of a timber with a controlled mode of operation]. *Trudy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Perspektivy razvitiya gornogo dela i podzemnogo stroitelstva* [Proc. of the Intern. Scient. Conf. Prospects for development of mining and underground construction]. Kiev, Dopolomoga Publ., 2013. pp. 12–17.
- Drebenshtedt K. Otvetstvennoe ispolzovanie i zashchita litosfery [Responsible use and protection of lithosphere]. *Materialy shestogo gornogo kollokviuma* [Materials of the 6th Mining Colloquium]. Freiberg, 2012. pp. 69–77.
- Belova A.G., Kornilkov S.V. The technology platform «Solid Minerals». *Mining journal*, 2012, no. 1, pp. 34–40. In Rus.

13. Ermolovich E.A., Shock I.A. Technogenic waste as a part of filling composites. *Mining journal*, 2012, no. 9, pp. 78–84. In Rus.
14. Arkhipov G.I. Mining in the economy of the Far Eastern region. *Mining journal*, 2013, no. 2, pp. 104–108. In Rus.
15. Khasheva Z.M. Functions of internal media of regional economic systems. *Journal of Economy and Entrepreneurship*, 2013, no. 4 (33), pp. 75–77. In Rus.
16. Rakishev B.R. Complex use of ore at the enterprises of nonferrous metallurgy of Kazakhstan. *Mining journal*, 2013, no. 7, pp. 78–85. In Rus.
17. Gu Beiserner Schachttubbingaulenausbau – Historie, Schadenarten und Reparaturvariante. *Report*, 1999, pp. 12–16.
18. Bucher R., Cala M., Zimmermann A., Balg C., Roth A. Large scale field tests of hightensile steel wire mesh in combination with dynamic rock bolts subjected to rock burst loading. *7th Int. Symp. on Ground Support in Mining and Underground construction*. Australia, 2013, pp. 56–64.
19. Dold B., Weibel L. Biogeometallurgical pre-mining characterization of ore deposits: an approach to increase sustainability in the mining process. *Environmental Science and Pollution Research*, 2013, no. 11, pp. 7777–7786.
20. Fiscor S. Roof bolting technology. *Coal Age*, 2012, vol. 117, no. 5, pp. 26–30.
21. Pleshko M.S., Nasonov A.A. Introduction of the effective geotechnologies based on comprehensive monitoring of all stages of the mining enterprise lifecycle. *GLAB*, 2013, no. 11, pp. 69–76. In Rus.

Received: 26 January 2016.

Information about the authors

Vladimir I. Golik, Dr. Sc., professor, North-Caucasian State Technological University.

Yuri I. Razorenov, Dr. Sc., professor, rector, North-Caucasian State Technological University.

Victor G. Lukyanov, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.