УДК 622.27

Л.А. Крупник, Ю.Н. Шапошник, С.Н. Шапошник

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОБНАЖЕНИЙ ЗАКЛАДОЧНОГО МАССИВА НА РУДНИКАХ КАЗАХСТАНА

Приведена методика определения категории устойчивости кровли, представленной закладочным массивом, при нисходящей слоевой системе разработки на подземных рудниках ТОО «Kaz Minerals», а также дана оценка ее «надежности», которая определяется величиной коэффициента запаса прочности. Представлены способы поддержания искусственной кровли в зависимости от категории устойчивости. Приведены схемы армирования искусственного массива. Установлено, что в условиях исходного, близкого к равнокомпонентному полю напряжений, действующего в рудопородном массиве Орловского месторождения, в выработке, расположенной в закладочном массиве, наибольшим разрушениям подвержены ее борта, чем кровля. На основании опыта работы горнодобывающих предприятий в аналогичных условиях предложено при определении категории устойчивости закладочных массивов учитывать ряд дополнительных факторов: недозаклад слоевых выработок и усадку закладки; расположение отрабатываемых и впоследствии закладываемых заходок относительно уже заложенных заходок вышерасположенного очистного слоя; влияние взрывных работ при отбойке руды на устойчивость искусственных обнажений; излишнюю обводненность, приводящую в дальнейшем к вымыванию вяжущего в формируемом закладочном массиве и повышенной слоистости массива из-за перерывов в подаче закладки и не соблюдении требований по отводу воды от закладываемой камеры или слоя при промывке става бетоновода; схему и параметры армирования несушего слоя закладочного массива; длительную прочность и др.

Ключевые слова: прочность закладочного массива, способ поддержания искусственной кровли.

На подземных рудниках Восточного Казахстана при применении систем разработки с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями очистные выработки проходят под закладочным массивом, на границе с ним и в самом массиве. При этом прочностные характеристики формируемых закладочных массивов на подземных рудниках не всегда соответствуют нормативным значениям. Так на Орловском руднике,

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 3. С. 319–327.
© 2017. Л.А. Крупник, Ю.Н. Шапошник, С.Н. Шапошник.

Таблица 1

Прочность контрольных образцов закладки из зоны обрушения

Номер образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Прочность, МПа	1,6	0,7	1,8	2,1	2,0	2,5	2,5	1,4	2,0	1,4	1,5	1,9

при использовании при выемке запасов руд системы разработки нисходящих горизонтальных слоев с твердеющей закладкой, в 1997 г. произошло обрушение искусственной кровли на высоту трех вышележащих слоев по всей ширине очистной заходки на протяжении 25 м (по длине заходки). В ходе ликвидации аварии из обрушенной закладки были взяты образцы, которые испытаны в лаборатории на сжатие. Результаты испытаний контрольных образцов приведены в табл. 1.

По результатам испытаний среднее значение прочности закладки в кровле составило 1,78 МПа, т.е. фактическая прочность закладки в искусственной кровле очистной заходки была в 2,2 раза ниже, чем проектная, что позволило реализоваться обрушению в данном месте.

В работах, выполненных ранее на Орловском руднике, было установлено, что при достигнутой полноте заполнения выработанного пространства и низкой жесткости закладки в ранние сроки твердения конвергенция кровли и почвы слоя при его отработке в три стадии достигает 200 мм, что приводит к существенному снижению устойчивости искусственной кровли и необходимости крепления очистных выработок и проведения дополнительных мероприятий по увеличению жесткости связи искусственной кровли с возводимым закладочным массивом. Максимальные смещения породных массивов наблюдаются в центральных частях наклонных пролетов подработки висячего и лежачего боков, там же достигают максимума величины сжатия искусственного массива. Отмечено, что в раздавленном искусственном массиве в верхней части отработанного рудного тела смещения выходят за пределы упругих, т.е. раздавленный горным давлением искусственный массив деформируется в режиме пластического течения.

Данная проблема весьма актуальна на сегодняшний день для подземных рудников, использующих для выемки запасов руд камерные системы разработки с закладкой выработанного пространства. Так в конце 2014 г. на Малеевском руднике при отработке запасов руд подэтажно-камерной системой разработки со сплошной выемкой произошел несчастный случай

со смертельным исходом из-за обрушения вертикального обнажения закладочного массива. Кроме того, недостаточная прочность закладочного массива (ниже нормативной), хотя это встречается довольно редко, и его расслоение приводят к повышенному разубоживанию рудной массы бетонной закладкой, что негативно сказывается на процессе обогащения руды и снижает безопасность горных работ.

Устойчивость кровли, представленной закладочным массивом, при нисходящей слоевой системе разработки по предложению «ВНИИцветмет» РГП «НЦ КПМС РК» [1, 2] для подземных рудников ТОО «Kaz Minerals» оценивается ее «надежностью», которая определяется величиной коэффициента запаса прочности ($K_з$):

$$K_з = \sigma_{ф.з} / \sigma_з,$$

где $\sigma_з$ – необходимая прочность массива (без учета запаса прочности), МПа; $\sigma_{ф.з}$ – фактическая прочность закладочного массива в несущем слое, МПа.

При значении коэффициента запаса прочности $K_з \geq 5$ – закладочный массив считать устойчивым (I категория); при $5 > K_з > 2{,}5$ массив считать средней устойчивости (II категория); при $K_з \leq 2{,}5$ закладочный массив считать неустойчивым (III категория).

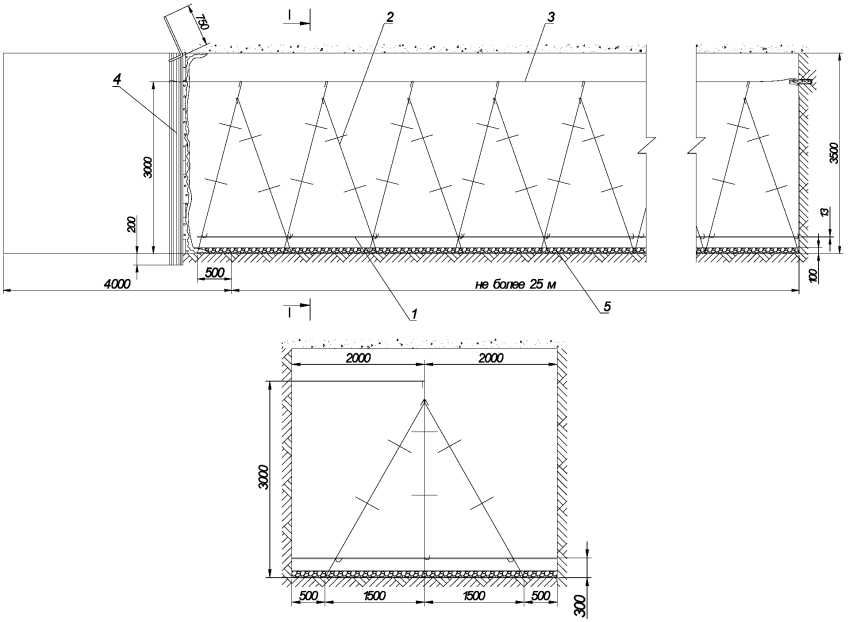
Крепление искусственного массива на руднике принимают в соответствии с табл. 2.

Армирование искусственного массива является элементом крепления и снижает требования к прочности несущего слоя (рисунок).

Таблица 2

Способ поддержания искусственной кровли в зависимости от категории устойчивости

Категория устойчивости	Способ поддержания искусственной кровли
I категория (устойчивая)	без крепления
II категория (средней устойчивости)	без крепления, с организацией контроля за состоянием кровли сигнальными стойками
III категория (неустойчивая)	рамная деревянная или металлическая крепь с шагом 2 м с затяжкой кровли с отставанием от груди забоя не более 4 м



Типовой проект на армировку закладочного массива на Орловском руднике: 1 – армировочная сетка с ячейками 200×200 мм (катанка диаметром 6,5); 2 – арматура диаметром 10 мм; 3 – катанка диаметром 6,5 мм; 4 – рудстойка диаметром 220–240 мм; 5 – подсыпка из рудной мелочи высотой 100 мм

Категория устойчивости кровли, представленной закладочным массивом, при нисходящей слоевой системе разработки для наиболее характерных условий Орловского рудника (ширина обнажения кровли 4 м, высота несущего слоя 1,0–1,5 м, отработка заходок в три очереди) определяется «Технологическим регламентом...» [3] по данным табл. 3.

Несущий слой закладки считается монолитным, если отсутствуют признаки расслоения и сегрегации заполнителей по длине слоя и исключена возможность образования горизонтальной слоистости по высоте несущего слоя (например, при прерывистом режиме закладки).

В «Руководстве ...» [4] коэффициент запаса прочности закладочного массива подсчитывают по формуле:

$$K_з = K_{з1}\, K_{з2}\, K_{з3}\, K_{з4},$$

где $K_{з1}$ – коэффициент, учитывающий вариации прочностных свойств твердеющей закладки ($K_{з1}$ = 1,3); $K_{з2}$ – коэффициент,

Таблица 3

Категория устойчивости закладочного массива

Категория устойчивости массива	Высота несущего слоя	Коэффициент запаса прочности, $K_з$	Прочность искусственного массива, МПа	
			без армирования	с армированием
I (устойчивая)	1,0 1,2 1,5	более 5	не менее 3,7 не менее 3,1 не менее 2,5	не менее 2,5 не менее 2,1 не менее 1,7
II (средней устойчивости)	1,0 1,2 1,5	от 3 до 5	от 2,2 до 3,7 от 1,9 до 3,1 от 1,5 до 2,5	от 1,5 до 2,5 от 1,3 до 2,1 от 1,0 до 1,7
III (неустойчивая)	1,0 1,2 1,5	менее 3	не менее 2,2 не менее 1,9 не менее 1,5	не менее 1,5 не менее 1,5 не менее 1,5

учитывающий влияние взрывных работ при отбойке полезного ископаемого на устойчивость искусственных обнажений (при шпуровой отбойке $K_{з2} = 1$, при скважинной $K_{з2} = 1,2$); $K_{з3}$ – коэффициент, учитывающий влияние на устойчивость обнажения его высоты, а также присутствия горнорабочих в очистной выработке (при $h_н \leq 4$ м $K_{з3} = 1$; при $h_н > 4$ м и при присутствии горнорабочих в очистной выработке $K_{з3} = 1,5$; то же, но при «безлюдной» выемке $K_{з3} = 1,2$); $K_{з4}$ – коэффициент неучтенных факторов ($K_{з4} = 1,3$).

Величину коэффициента длительной прочности принимают в зависимости от времени стояния обнажения $l_{об}$: при $l_{об} \leq 0,5$ года $K_д = 1$; $0,5 < l_{об} < 1$ года $K_д = 0,7$; $l_{об} > 1$ года $K_д = 0,5$.

Влияние длительной прочности в зависимости от срока службы выработки и гидрогеологических условий рассмотрено в работе [5]. В результате лабораторных испытаний закладки в условиях Яковлевского рудника установлено влияние длительного водонасыщения (48 суток) на следующие физико-механические характеристики закладочного массива: прочность на одноосное сжатие – снижение на 57%; сцепление – снижение на 41%; угол внутреннего трения – снижение на 23%; модуль деформации – снижение на 21% [6].

Характер развития процесса сдвижений закладочного массива на руднике «Интернациональный» АК «Алроса» при слоевой системе разработки с выемкой запасов руд в нисходящем

порядке свидетельствует об отсутствии проскальзывания на контакте закладки с вмещающими породами, что приводит к образованию пустот на границе смежных слоев в этой зоне (за счет усадки и недозаклада), а его центральной части – к образованию плоского дна мульды сдвижения, т.е. смыканию смежных слоев [7].

Систематическая недозакладка может свести на нет должный эффект применения твердеющей закладки. В результате закладочный массив будет состоять из несвязанных между собой и несовместно деформирующихся слоев, управлять поведением которых весьма затруднительно [4].

С целью оценки устойчивости горных выработок были выполнены расчеты по установлению напряженно-деформированного состояния (НДС) рудного и закладочного массивов вокруг горных выработок. Результаты численных оценок были представлены в виде картин распределения главных σ_1, σ_3 и максимальных касательных τ_{max} напряжений, а также отрисованных зон возможных разрушений рудного и закладочного массивов по критериям Кулона-Мора, растягивающим усилиям и Друкера-Прагера.

Результаты расчетов показывают, что категория закладки оказывает влияние на характер распределения напряжений как в рудном, так и искусственном массивах. Расчетами установлено, что чем выше прочность (более высокий модуль упругости) закладки, тем большие напряжения в ней возникают. При этом следует отметить, что действующие главные напряжения в более прочном закладочном массиве являются сжимающими, что положительно сказывается на ее устойчивости. Использование менее прочной закладки обусловливается, во-первых, зарождением в ней растягивающих усилий и, во-вторых, формированием более высокого уровня НДС в окружающем закладку массиве горных пород и в особенности высокой концентрацией напряжений на краевых участках зоны отработки, что свидетельствует о более высоком опорном давлении на этих участках.

Таким образом, применение при нисходящей слоевой выемке закладки I категории устойчивости, в общем, позволяет обеспечить более безопасные условия ведения горных работ в заходках, а также существенно снизить опорное давление на краевых (флангах) участках зоны отработки. Однако применительно непосредственно к выработкам (заходкам) использование закладки I, II и III категорий устойчивости требует принятия дополнительных мероприятий по их креплению.

Также установлено, что на глубине 830 м в условиях исходного, близкого к равнокомпонентному полю напряжений, действующего в рудопородном массиве Орловского месторождения, в выработке, расположенной в закладочном массиве, наибольшим разрушениям подвержены ее борта, чем кровля. Поэтому в выработках, сооружаемых в закладочном массиве на больших глубинах необходимо использовать крепь для предотвращения обрушений закладки, в основном, со стороны боков выработки.

Как было отмечено выше, устойчивость кровли сформированного закладочного массива на рудниках ТОО «Kaz Minerals» делится на три категории. Однако, на основании опыта работы горнодобывающих предприятий в аналогичных условиях необходимо при определении категории устойчивости закладочных массивов учитывать ряд дополнительных факторов, таких как:

- недозаклад слоевых выработок и коэффициент усадки закладки;
- расположение отрабатываемых и впоследствии закладываемых заходок относительно уже заложенных заходок вышерасположенного очистного слоя;
- влияние взрывных работ при отбойке руды на устойчивость искусственных обнажений (например, для условий ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель» значение коэффициента, учитывающего влияние взрывных работ при отбойке руды на устойчивость искусственных обнажений принимается равным 1,0 при шпуровой отбойке и 1,2 – при скважинной отбойке);
- излишнюю обводненность, приводящую в дальнейшем к вымыванию вяжущего в формируемом закладочном массиве и повышенной слоистости массива из-за перерывов в подаче закладки и не соблюдении требований по отводу воды от закладываемой камеры или слоя при промывке става бетоновода;
- схему и параметры армирования несущего слоя закладочного массива;
- длительную прочность (в зависимости от времени стояния обнажений) и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Инструкция* по выбору типа и параметров крепи горных выработок в условиях Орловского рудника. – Усть-Каменогорск, 2013.

2. *Инструкция* по выбору типа и параметров крепи горных выработок в условиях Артемьевского рудника. – Усть-Каменогорск, 2012.

3. *Технологический* регламент производства закладочных работ на шахте «Орловская». – Усть-Каменогорск: ВНИИцветмет, 2015.

4. *Руководство* по определению нормативной прочности твердеющей закладки на рудниках цветной металлургии. – ВНИМИ, 1993.

5. *Методика* расчета параметров крепления нарезных и подготовительных выработок вне зоны влияния и в зоне влияния очистных работ для рудников ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель». – Новосибирск: ИГД СО РАН, 2012.

6. *Клямко А.С.* Организационно-техническое обеспечение конкурентоспособности железорудной горнодобывающей компании (на примере Яковлевского рудника). Автореф. ... канд. техн. наук. – СПб., 2013.

7. *Барышников Д. В.* Контроль вертикальных сдвижений закладочного массива при нисходящей разработке крутопадающих рудных тел // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 6. – С. 171–175. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Крупник Леонид Андреевич – доктор технических наук, профессор, e-mail: leonkr38@mail.ru,
Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева, Казахстан,
Шапошник Юрий Николаевич – доктор технических наук, профессор, e-mail: shaposhnikyury@mail.ru,
Институт горного дела СО РАН им. Н.Н. Чинакала,
Шапошник Сергей Николаевич – доктор технических наук, профессор, e-mail: shaposhniksergey@mail.ru,
Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, Казахстан.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 3, pp. 319–327.

UDC 622.27

L.A. Krupnik, Yu.N. Shaposhnik, S.N. Shaposhnik

WAYS OF IMPROVING FILLING MASS OUTCROP STABILITY AT THE MINES OF KAZAKHSTAN

We have presented the methodology of determining the category of the roof stability presented by the filling mass using the development down layer system at the underground mines of «KazMinerals» LLP. We have also assessed its «reliability» which is determined by the safety factor coefficient. We have presented the ways of supporting the artificial roof depending on its stability category. The diagram of the artificial mass reinforcement has been presented. It has been stated that under the conditions of the original close to equal-component stress field operating in ore-rock mass of Orlovskiy deposit the walls of mining working located in the filling mass are more subjected to breaking than its roof. Based on the experience of mining enterprises operation under similar conditions we suggest to take into account several additional factors during the determining of the filling mass stability category: partial filling of slice mining and filling shrinkage; location of worked out and afterwards filled cuts relative to filled cuts of the upper wide layer; the effect of blasting during ore-breaking on the stability of

artificial exposures; excessive water cut further resulting in washing-out the binding agent in the shaped filling mass and increased mass lamination because of the filling discontinuity and not meeting the requirements for water drainage from the filling camera or the layer during the flush of the concrete pipe (tube) site; the outlay and parameters of the filling mass bearing layer reinforcement; continuous strength, etc.

Key words: filling massive strength, the way of supporting the artificial roof.

AUTHORS

Krupnik L.A., Doctor of Technical Sciences,
Professor, e-mail: leonkr38@mail.ru,
K.I. Satpaev Kazakh National Technical University,
050013, Almaty, Kazakhstan.
Shaposhnik Yu.N., Doctor of Technical Sciences, Professor,
N.A. Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch,
Russian Academy of Sciences, 630091, Novosibirsk, Russia,
e-mail: shaposhnikyury@mail.ru.
Shaposhnik S.N., Doctor of Technical Sciences, Professor,
D. Serikbaev East-Kazakhstan State Technical University,
070004, Ust Kamenogorsk, Kazakhstan,
e-mail: shaposhniksergey@mail.ru.

REFERENCES

1. *Instruktsiya po vyboru tipa i parametrov krepi gornykh vyrabotok v usloviyakh Orlovskogo rudnika* (The guidelines for selecting of the type and parameters of mine working support under orlovskiy mine conditions), Ust-Kamenogorsk, 2013.

2. *Instruktsiya po vyboru tipa i parametrov krepi gornykh vyrabotok v usloviyakh Artem'evskogo rudnika* (The guidelines for selecting of the type and parameters of mine working support under artemyevsky mine conditions), Ust-Kamenogorsk, 2012.

3. *Tekhnologicheskiy reglament proizvodstva zakladochnykh rabot na shakhte «Orlovskaya»* (Production procedures of filling works in «Orlovskaya» mine), Ust-Kamenogorsk,: VNIItsvetmet, 2015.

4. *Rukovodstvo po opredeleniyu normativnoy prochnosti tverdeyushchey zakladki na rudnikakh tsvetnoy metallurgii* (The guidelines for determining standard strength of the hardening filling at the non-ferrous mines), VNIMI, 1993.

5. *Metodika rascheta parametrov krepleniya nareznykh i podgotovitel'nykh vyrabotok vne zony vliyaniya i v zone vliyaniya ochistnykh rabot dlya rudnikov ZF OAO «GMK «Noril'skiy nikel'»* (Methodology of calculating the parameters of strengthening the bord gate and development opening in the effect site of second working for the mines of «SMC Norilsky Nickel» ZF LLP), Novosibirsk, IGD SO RAN, 2012.

6. Klyamko A.S. *Organizatsionno-tekhnicheskoe obespechenie konkurentosposobnosti zhelezorudnoy gornodobyvayushchey kompanii (na primere Yakovlevskogo rudnika)* (Logistical support of iron-ore mining company competitiveness (on the example of Yakovkevskiy mine)), Candidate's thesis, Saint-Petersburg, 2013.

7. Baryshnikov D.V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2010, no 6, pp. 171–175.