

Methodology. Irreversible movement of the ground has been monitored with special gages, which provide registration of the normal and radial relatively center of the roadway displacements of the surrounding rocks. These gages were calibrated to determine the ground pressure that loads supporting the roadway frames. Nearest neighbor statistic and Skellam factor have been employed to analyze spatial variance of the load.

Findings. The roadway and surrounding rock mass acts as an open thermodynamic system that might create dissipative structures, which scatter the potential energy of rock mass deformation. The dissipative structures were detected through gradient of the load vectors distribution. It turned out that the dissipative structures are the most active at the beginning of the irreversible development of the collapsed zone around the underground roadway. The more the sizes of this zone the less intensive dissipation of the ground pressure energy was. In spite of the fact that variance of the load steadily increased as development of collapsed zone was progressing, the dissipative structures subsided their activity, that was proven with Skellam factor, which diminished magnitude from 400 down to 230 dimensionless units.

Originality. It was in the first time when the fact of the dissipative structures subsidence has been proven using quantitative data. In addition, nobody proposed to control the dissipative structures before.

Practical implications. Controlling the dissipative structures provides new opportunities to enhance stability of the underground roadways.

Keywords: *ground pressure, irreversible ground movement, dissipative structures, Skellam factor.*

УДК 622.273.217.4

© А.М. Кузьменко, М.В. Петлёванный

РАЗРУШЕНИЕ ЗАКЛАДОЧНОГО МАССИВА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕХНОЛОГИИ ЕГО ВОЗВЕДЕНИЯ

© А. Kuzmenko, M. Petlovanyi

BACKFILLING MASSIF FAILURE DEPENDENT ON CONSTRUCTION TECHNOLOGY

Приведены результаты аналитических исследований причин разрушения закладочного массива в зависимости от технологии его формирования. Установлено, что распределение прочности закладки в заложеной камере имеет нелинейный характер, а области вывала совпадают с выпуклостью графика наименьших значений распределения прочности. Выявлено, что разрушению закладочного массива способствует отклонение некоторых свойств закладочной смеси от технологии и появлением на его контуре опасных растягивающих напряжений, значения которых могут превосходить прочность закладки на растяжение, что вызвано неоднородной прочностной характеристикой закладочного массива по высоте камеры.

Наведено результати аналітичних досліджень причин руйнування закладного масиву в залежності від технології його формування. Встановлено, що розподіл міцності закладки в

камері має нелінійний характер, а області вивалу збігаються з опуклістю графіка найменших значень розподілу міцності. Виявлено, що руйнуванню закладного масиву сприяє відхилення властивостей закладної суміші від технології і появою на його контурі небезпечних розтягуючих напружень, значення яких можуть перевищувати міцність закладки на розтяг, що викликано неоднорідною міцнісною характеристикою закладного масиву по висоті камери.

Актуальность работы. Подземная разработка залежей железных руд с высоким содержанием ценного компонента осуществляется как правило с закладкой выработанного пространства. При этом распространение получила твердеющая закладка, что обусловлено высокой прочностью формируемого массива и сравнительно незначительной его усадкой (до 4%) [1]. Мощные крутопадающие рудные залежи обычно отрабатывают по этажно-камерной системе разработки с твердеющей закладкой. При таких системах разработки извлечение рудных запасов по площади шахтного поля чередуется с закладочными работами, отстающими от очистных камер первой очереди на время, необходимое для затвердения искусственного массива. Очистные камеры второй очереди разработки рудных запасов находятся в окружении руды и закладки выработанного пространства камер первой очереди.

Применение высоких очистных камер с большими объемами отбиваемой руды сопровождается увеличением площади обнажения искусственно-возведенного массива, который находится в напряженном состоянии, отличающимся разной степени напряженности по контуру очистной камеры. По мере отбойки камерных запасов руды площадь обнажения увеличивается, изменяя напряженное состояние массива и его устойчивость к сейсмическому воздействию во времени. При недостаточной устойчивости закладочный массив склонен к обрушению в очистное пространство отрабатываемых камер, вызванное неоднородностью структуры при его возведении, что приводит к загрязнению руды и снижению содержания ценного компонента.

Следовательно, сохранение устойчивости плоскости обнажения закладочного массива на контакте с отрабатываемой камерой при ведении очистных работ является весьма актуальным вопросом для горной науки, так как уровень технико-экономических показателей по системе разработки определяется именно показателями извлечения и разубоживания.

Анализ публикаций и постановка задачи. Вопросам устойчивости рудопородного и закладочного массива при освоении железорудных месторождений занимались многие ученые-специалисты горной науки. В работах [2, 3] приведены результаты влияния формы очистных камер на напряженное состояние рудопородного массива и устойчивость обнажения. Вопросам влияния сейсмического воздействия на закладочный массив, а также выявление зон потери устойчивости закладочного массива посвящены работы зарубежных ученых [4, 5]. Исследованию влияния очистного пространства камер на формирование напряженного состояния массива горных пород посвящены также работы [6-8], а порядку отработки очистных камер на показатели засорения руды работа [9]. Результаты исследования количественных параметров напряженного состояния

массива, что позволило характеризовать состояние массива в зоне ведения или влияния горных работ авторами приводятся в работе [10].

Несмотря на проведенные многочисленные исследования, вопросы формирования напряженного состояния закладочного массива скорее является следствием особенностей формирования закладочного массива и технологических аспектов извлечения руды из камер. Вопросам детального технологического и научного анализа горной ситуации, сложившейся при нарушении сплошности закладочного массива и его последующему обрушению в очистное пространство камер недостаточно уделено внимания. В Украине значительный опыт ведения горных работ с твердеющей закладкой накоплен при отработке Южно-Белозерского месторождения богатых железных руд ЧАО «Запорожский железорудный комбинат» (далее ЗЖРК), где также фиксируются случаи обрушений закладочного массива.

Целью работы является установление причин разрушения закладочного массива при ведении очистных работ на примере камеры второй очереди отработки 1/10 ю в этаже 605-740 м в условиях ЗЖРК, где было зафиксировано обрушение закладочного массива из заложеной камеры 1/11 ю.

Результаты исследований. Отработка запасов железных руд в этаже 605-740 м залежи «Главная» Южно-Белозерского месторождения в отличии от этажей 480-548 и 548-640 м спроектирована с применением высоких очистных камер (высотой более 100 м), что позволило оконтуривать больше запасов железной руды и значительно сократить объемы нарезных выработок (м/1000 т). Но вместе с этим значительно увеличились вертикальные площади обнажения, как и рудного, так и искусственного массива до 4000 м², а при отработки сдвоенных этажей (высота камер до 180 м) и вовсе до 6000 м². Это привело к появлению случаев обрушения закладочного массива, который извлекался в окружении закладочного массива.

В настоящее время отработано более 75% запасов руды в этаже 605-740 м, а по результатам анализа шахтной документации и маркшейдерских съемок очистных пространств камер (2006-2015 г.) случаев обрушения закладки зафиксировано не менее чем в 18 камерах, причем основными зонами вывалов является кровля и бока камер. Кровля отрабатываемой камеры представлена закладочным массивом заложеной камеры предыдущего этажа отработки, а бока – закладочный массив заложеной соседней камеры.

При отработке камеры 1/10ю в этаже 605-740 м с южной стороны, где расположен закладочный массив отработанных камер 1/11ю и 2/11ю произошло обрушение закладки в объеме 18 тыс. т, при этом разубоживание руды по камере 1/10ю достигло 5%. Вывал закладки охватил область с г. 665 до 715 м, но основной объем разрушения массива пришелся на гор. 690 м. Камера 1/10ю с запасами 350 тыс. т имела следующие параметры в процессе ее отработки: высота – 105 м; средняя ширина – 26 м, средняя длина – 38 м. Горизонтальная мощность рудной залежи на участке, отрабатываемом камерой 1/10ю, составляла в среднем 33 м. Падение руды северо-восточное под углом 68°-75°. Камера 1/10ю граничила с ранее отработанными и заложеными камерами: в этаже 605-640м

с юга – камера 4/11ю; с севера – камера 4/10ю (днище камер); в этаже 640-735м с юга – камера 1/11ю, 2/11ю; с севера – камера 1/9ю и камера 2/9ю в этаже 690-715м. Следовательно, очистная камера во время отработки имела 4 контакта с разномодульным массивом – на западе контакт с породами всячего бока, на востоке с рудным массивом (будущая камера 2/10 ю), на севере и юге два контакта с закладочным массивом.

Вмещающими породами всячего бока являются кварциты гематит-мартитовые, среднеслоистые, $f = 14$, с прослоями сланцев кварц-мартит-хлоритовых, кварц-серицит-хлоритовых, среднерассланцованных, окварцованных серым кварцем, $f = 8-9 \div 10-12$, породы средней трещиноватости, по трещинам встречается кварц-карбонатный материал, устойчивость средняя.

Руда будущей камеры 2/10ю по составу и свойствам аналогична руде камеры 1/10ю: по составу гематит-мартитовая, мартит-гематитовая, гематитовая, гематит-железослюдко-мартитовая, от тонко- до грубослоистой, комковатая, плейчатая, полосчатая, местами сланцеватой текстуры, на гор. 690м в отдельных интервалах массивная, по напластованию часто с белым карбонатным материалом, по крепости неравномерная от $f=3-5$ до $f=7-8$, трещиноватость от слабой до средней, трещины взаимопересекающиеся, часто открытого типа, устойчивость в основном средняя.

Закладочный массив камеры 1/11ю, откуда произошло обрушение в очистное пространство камеры 1/10ю возведен за 30 дней (с 23.06.07 по 23.07.07), а спустя 2 месяца произведена дозакладка оставшихся пустот. Объем уложенной закладочной смеси в выработанное пространство камеры 1/11ю составил 64,6 тыс. м³ (запасы камеры составляли 258 тыс. т). Для возведения закладочного массива камеры 1/11ю использовался одинаковый состав твердеющей закладки: молотый доменный гранулированный шлак – 17,6 %, отсев флюса – 44,2%; дробленая горная порода – 22%, вода – 16,2%. Подвижность закладочной смеси находилась в пределах 11,4-11,7 см.

Устойчивость вертикальных обнажений закладочного массива зависит от качества сформированного закладочного массива, главным показателем которого следует считать его однородность по нормативной прочности. Для установления распределения прочности закладки по высоте камеры 1/11ю проанализированы следующие параметры закладочных работ: производительность комплекса, время работы шаровых мельниц, подвижность смеси, состав закладочной смеси, прочность закладочной смеси перед подачей в камеру в возрасте 90 и 180 дней твердения, контроль тонкости измельчения вяжущего материала. По графической документации установлены фактические контуры, форма и параметры очистной камеры 1/11ю. Были рассчитаны объем и высота каждого слоя твердеющей закладки, которые образуются при остановке закладочного комплекса в процессе укладки закладочной смеси в камере. Учитывая, как параметры закладочных работ, так и параметры очистного пространства рассматриваемой камеры аналитическим способом воспроизведена история его формирования (рис. а, б).

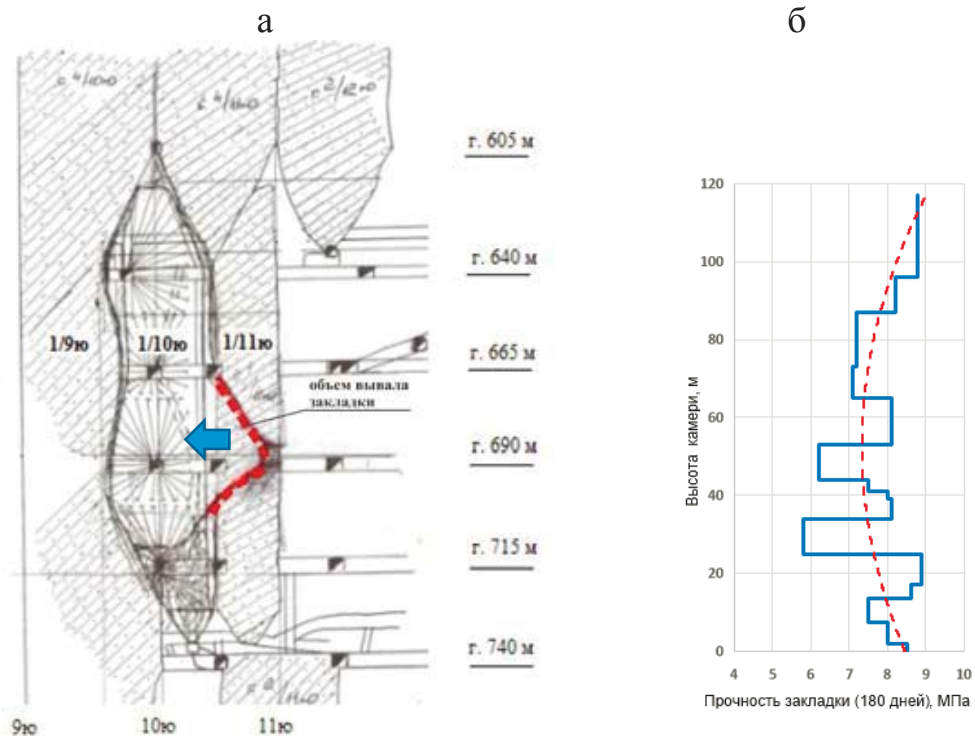


Рис. Область вывала закладочного массива по прочности и высоте заложенной камеры 1/11ю: а – выкопировка из плана горных работ с фиксацией области вывала закладки; б – распределение прочности закладки по высоте камеры.

Сопоставив в масштабе закладочный массив с указанием области вывала (рис. а) и распределение прочности в очистной камере, можно констатировать, что разрушение закладочного массива произошло по причине его неудовлетворительной прочностной характеристики в определенном интервале. Под действием горного давления произошло выдавливание слоев пониженной прочности в открытое очистное пространство обрабатываемой камеры.

Анализ распределения (рис. б) объема вывала по высоте камеры свидетельствует о том, что прочность закладочного массива распределяется нелинейно и наиболее точно описывается кривой второго порядка, а ее колебание по слоям камеры достигает 3 МПа или 35 % от максимального значения 8,8 МПа. Установлено, что область вывала закладки из камеры 1/11ю в очистное пространство камеры 1/10ю (по данным маркшейдерской съемки) находится в интервале 665 – 700 м и совпадает с наименьшими значениями распределения прочности закладки в камере. В этом месте расположены закладочные слои с наименьшим значением прочности (5,8 и 6,2 МПа) При этом нормативное значение прочности закладки в этаже 640-740 м должно составлять не менее 7-8 МПа.

Установить причину снижения прочности закладочного массива в интервале подэтажей гор. 665 и 690 м достаточно сложно, поскольку количество влияющих факторов (как очистных, так и закладочных) достаточно велико. Но, тем не менее, анализ данных лабораторного контроля свойств закладочной смеси

показывает, что при измельчении доменного гранулированного шлака в шаровых мельницах отмечается непостоянство тонкости помола доменного граншлака. По нормативным требованиям к закладочной смеси тонкость помола вяжущего вещества должна составлять не менее 55% частиц крупностью $-0,074$ мм. Фактически же процент этих частиц составляет 49-55%, с преобладанием 50-52%.

Усиливает эффект разрушения закладочного массива также появление на его контуре опасных растягивающих напряжений, значения которых могут превосходить прочность закладки на растяжение в 1,3 и более раз [7]. Кроме того, слабоустойчивые области вертикальных обнажений закладочного массива делают его неоднородным и способствуют формированию концентраций напряжений на его контуре, ориентируют направления вывалов закладочного массива в очистное пространство.

Таким образом на основании проведенных исследований представляется возможным прогнозировать области вывалов закладочного массива, оптимизировать технологический процесс закладочных работ для формирования однородного по прочности закладочного массива, а также корректировать параметры отбойки рудного массива на контакте с закладочным массивом для предотвращения сейсмического воздействия.

Выводы. В результате проведенных исследований на фактическом примере закладочного массива камеры 1/11ю установлены причины его разрушения с последующим вывалообразованием в очистное пространство отработываемой камеры, а именно:

– прочность закладочного массива по его высоте от днища до кровли распределяется нелинейно, а колебания прочности слоев по анализируемой камере достигают 3 МПа или 35 % от максимального значения;

– выявлено, что область вывала закладки из камеры 1/11ю в очистное пространство камеры 1/10ю находится в интервале 665 – 700 м и доказано, что область вывала совпадает с выпуклостью графика распределения прочности, где возведены закладочные слои с наименьшим значением прочности (5,8 и 6,2 МПа) в той же самой области по высоте камеры;

– отклонение свойств закладочной смеси от некоторых технологических требований, а именно широкий непостоянный диапазон тонкости помола вяжущего вещества и времени остановки подачи закладки для прекращения дренажа воды из камеры;

– эффект разрушения закладочного массива усиливается появлением на его контуре опасных растягивающих напряжений, значения которых могут превосходить прочность закладки на растяжение, что вызвано неоднородной прочностной характеристикой закладочного массива по высоте камеры.

Перечень ссылок

1. Колоколов О. В. Технология закладки выработанного пространства в шахтах и рудниках: учебник для студ. горных вузов и фак., / О. В. Колоколов. - Днепропетровск: Сич, 1997. - 135 с.

- Кузьменко А.М. Распределение напряжений в горном массиве вокруг высоких очистных камер при разработке рудных месторождений с твердеющей закладкой / А.М. Кузьменко, В.В. Усатый // Геотехническая механика. – 2010. – Вып. 94. – С. 105-133.
- Капленко Ю.П. Влияние напряженного состояния горного массива и горно-геологических условий на параметры обнажений и форму очистных камер / Ю.П. Капленко, В.В. Цариковский // Разработка рудных месторождений. – 2005. – Вып. 88. – С. 11-24.
- Emad, M. Z, H. S. Mitri, J.G. Henning (2012). Effect of blast vibrations on the stability of cemented rockfill. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment* 26(3): 233-243.
- Yu T. R. (1992). Mechanisms of fill failure and fill strength requirements. In: Kaiser P K and McCreath D R (Eds.) *Proceedings of the 16th Canadian Rock Mechanics Symposium*, Sudbury, ON, Canada, pp. 43 – 46.
- Khomenko, O., Kononenko, M., & Netecha, M. (2016). Industrial research into massif zonal fragmentation around mine workings. *Mining of Mineral Deposits*, 10(1), 50-56. <https://doi.org/10.15407/mining10.01.050>
- Petlovanyi, M. (2016). Influence of configuration chambers on the formation of stress in multi-modulus mass. *Mining of Mineral Deposits*, 10(2), 48–54. <https://doi:10.15407/mining10.02.048>
- Калиниченко В.А. Исследования напряженно-деформированного состояния комбинированных искусственных массивов / В.А. Калиниченко // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції „Сталий розвиток гірничо-металургійної промисловості – 2006”. Додатковий випуск. – Кривий Ріг, 2006. – С. 155–156.
- Кузьменко А.М. Влияние структуры горного массива и порядка отработки камерных запасов на разубоживание руды / А.М. Кузьменко, М.В. Петлеваний // Геотехническая механика. – 2014. Вып. 118. – С. 37 – 45.
- Chistyakov, E., Ruskh, V., & Zubko, S. (2012). Investigation of the geomechanical processes while mining thick ore deposits by room systems with backfill of worked-out area. *Geomechanical Processes During Underground Mining*, 127–132. <https://doi:10.1201/b13157-23>

ABSTRACT

Purpose. Substantiation into reasons of the filling massif destruction during mining operations with the example of the second stage quarrying of south chamber 1/10 in the floor of 605-740 m in the conditions of the ZZHRK, where it was recorded that the filling massif was collapsed from the enclosed south chamber 1/11.

Methods. To determine the distribution of the backfill strength on the height of the chamber, the following parameters of the backfilling operations were analyzed: the productivity of the backfilling complex, the operating time of the grinding mills, the mobility of the mixture, the composition of the filling mixture, the strength of the backfilling mixture before feeding into the chamber at the age of 90 and 180 days of hardening, and the control of the mog of the cementitious matter. The volumes and heights of each layer of hardening layer are calculated and the history of its formations is reproduced. Analysis of the mine documentation allowed to establish the actual contours, shape, and parameters of the backfilling massif of the south chamber 1/11.

Findings. The strength of the backfilling massif is determined from the bottom to the roof, it is distributed nonlinearly, and the strength of the layers along the analyzed chamber reaches 3 MPa or 35% of the maximum value. It was revealed that failure area of the backfilling massif from the chamber south 1/11 into the extraction chamber of the south chamber 1/10 is in the interval 665-700 m and it is proved that the region of the collapse coincides with the convexity of the graph where the laying layers with the lowest strength (5.8 and 6.2 MPa) in the same region by the height of the

chamber. The deviation of the properties of the filling mixture from certain technological requirements has been established, namely a wide non-constant range of the fineness grinding of the cementitious matter and the stoppage time of the filling mixture feed for stopping the drainage of water.

Originality. It is established that the strength of the backfilling massif in the extraction chamber varies nonlinearly with the concentration of dips on the convexities of its strength distribution curve. Taking into account the established dependence in determining the technological parameters of the filling mixture allows reducing the formation of the filling massif, to increase its resistance to the outcropping and to reduce clogging of the ore.

Practical implications. On the basis of the conducted researches, it is possible to predict the areas of dumping of the backfilling massif, to optimize the technological process of backfilling operations to form a homogeneous in the strength of the backfilling massif, and also to adjust the parameters of the ore breaking on contact with the backfilling massif to prevent seismic action.

Keywords: filling massif, ore deposits, filling mixture, failure area

УДК 622.831.24.001

© О.Є. Хоменко, М.М. Кононенко

ФЕНОМЕН КАПСУЛЮВАННЯ ПІДЗЕМНОЇ ВИРОБКИ: ВИЯВЛЕННЯ, МОДЕЛЮВАННЯ, ВИКОРИСТАННЯ

© О. Khomenko, M. Kononenko

PHENOMENON OF UNDERGROUND WORKING ENCAPSULATION: IDENTIFICATION, MODELING & APPLIANCE

Розкрито, описано та використано феномен зонального капсулювання підземних виробок шляхом розробки та використання синергетичних методів дослідження, системного урахування енергетичних чинників і описання механізмів формування запобіжних капсул, що дозволило створити технології розробки рудних родовищ, які використовують до 86% геоенергії та заощаджують до 37% ресурсів.

Раскрыт, описан и применен феномен зонального капсулирования подземных выработок путем разработки и использования синергетических методов исследования, системного учета энергетических факторов и описания механизмов формирования предохранительных капсул, что позволило создать технологии разработки рудных месторождений, использующих до 86% геознергии и экономящих до 37% ресурсов.

Вступ. Глобалізація світової економіки висуває жорсткі вимоги, які передбачають збереження енергії в системі виробництва і споживання, що оптимізує використання сировинних ресурсів планети за принципами міжнародної інтеграції. За таких умов прибуток держави визначається ефективністю й обсягами видобутку корисних копалин. Так розвідані запаси рудних родовищ ставлять