

ВЛИЯНИЕ КОНФИГУРАЦИИ ОЧИСТНЫХ КАМЕР НА ФОРМИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В РАЗНОМОДУЛЬНОМ МАССИВЕ

М. Петлеваний^{1*}

¹Кафедра подземной разработки месторождений, Национальной горной университет, Днепропетровск, Украина

*Ответственный автор: e-mail petlyovany@ukr.net, тел. +380963194577

INFLUENCE OF CONFIGURATION CHAMBERS ON THE FORMATION OF STRESS IN MULTI-MODULUS MASS

M. Petlovanyi^{1*}

¹Underground Mining Department, National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine

*Corresponding author: e-mail petlyovany@ukr.net, tel. +380963194577

ABSTRACT

Purpose. Detecting unstable areas in the filling mass taking into account configuration of the adjacent mineable chambers to improve its formation.

Methods. The research into stress state of multi-modulus mass consisting of ore, rocks and filling was conducted using SolidWorks 2011 software with the full compliance of their physical and mechanical properties.

Findings. Computer simulation allowed to reveal unstable areas in the filling mass of the first stage chamber under the influence of the development of the second stage chamber. It was found that the vertical stress component forms an area of compressive stresses in the filling mass of the first stage chamber at the junction of its exposure to the roof of filling chamber with dimensions: depth of the mass – up to 50 m, vertical outcrop – 9.8 m, the maximum value of stress reaching 89 MPa. The horizontal stress component also forms an area of tensile stress, but with a lower value of 65 MPa. The horizontal stress component generates in the filling mass of the first stage chambers the area of tensile stresses on the substage level 775 – 810 m with dimensions: depth of the mass – up to 7 m, vertical exposure – 10 m, and the maximum stress value – up to 4 MPa.

Originality. Analytical assessment of the filling mass stability allowed to conclude that: at the junction of its exposure to the roof of filling chamber, the compressive stress exceeds the strength of filling mass 1.8 times, in the center of filling mass on the outcrop, the tensile stress exceeds the strength of filling 1.3 times. Vertical stresses exceed horizontal stresses 1.35 times in the areas of filling destruction.

Practical implications. The obtained findings related to the stress state of the filling mass can be used in issuing passports for stopes in choosing the filling mode and composition of the filling mixture.

Keywords: stress state, strength, filling mass, chamber, chamber configuration

1. ВВЕДЕНИЕ

При разработке рудных месторождений в сложных горно-геологических условиях или с высоким качеством руды запасы исчерпываются, их становится меньше, а горные работы переносятся в глубину недр. Образовавшиеся полости в недрах заполняются закладочными смесями.

В системах разработки крутопадающих рудных залежей с закладкой выработанного пространства вопросы устойчивости массива и горных пород являются актуальными независимо от глубины ведения горных работ. Находясь в контакте между собой, руда и закладочный массив обладают разными физико-

механическими свойствами. С каждым годом эксплуатации месторождения объем возводимого искусственного массива возрастает относительно рудных запасов. Затем наступает переломный момент эксплуатации месторождения, когда они становятся соизмеримыми и начинают превышать рудные запасы.

Применение вяжущих веществ в закладочной смеси для создания монолитности и увеличения прочностных свойств искусственного массива требует временных параметров, обеспечивающих целесообразность ведения очистных работ по критерию разубоживания. Временной фактор для достижения необходимой прочности искусственным

массивом и горное давление, которое меняется с возрастанием глубины разработки, создает окружающую среду в месте разработки рудной залежи и горный массив с разными модулями деформации. Следовательно, напряженно-деформированное состояние этого массива зависит не только от величины горного давления (глубины разработки), но и технологическими и конструктивными особенностями системы разработки. На величину напряжений также влияют прочностные свойства окружающих пород и закладочного массива, находящихся на разных временных отрезках изменения структуры и твердения. Поэтому при исследовании напряженного состояния горнорудного массива (руда, порода, закладка), находящегося на контакте с элементами системы разработки, следует представлять, как состоящего из разных значений модуля упругости, т.е. разномодульным.

Из всех структурных образований горнорудного массива наиболее негативное влияние на качество рудной массы оказывает составляющие закладочной смеси. Загрязнение руды закладочным материалом на 1% снижает извлечение металлов в концентраты на 0.8 – 1.0%, в то время как разубоживание вмещающими породами на тот же 1% – лишь на 0.15 – 0.20% (Golik, Gabaraev & Polukhin, 2014). Высокие показатели разубоживания отмечаются на многих рудниках, в частности на Заполярном (17.4%), Гайском (11.0%), Орловском (6.7%), Текелийском (14.0%) и др. (Kunanbaev, Zelentsov & Makarov, 2001; Boguslavskiy & Minaev, 2005; Volkov, Sokolov & Smimov, 2009). На рудниках Кривбасса же среднее разубоживание по рудникам составляет 8.7% (Chetverik, 2012).

Вопрос минимального засорения руды пустыми породами и закладкой остается постоянно актуальным для рудников. Рыночные цены на железную руду устанавливаются за 1% содержания в ней железа и для успешного экспорта необходимо выдерживать качественные характеристики во избежание потери ее конкурентоспособности. На протяжении многих лет на рудниках прочность закладочного массива выработанного пространства рассматривается, в большинстве случаев, только на сжатие. Но изменение геометрических размеров и конфигурации очистных камер, а также ухудшение горно-геологических условий отработки рудной залежи оказывает существенное влияние на распределение растягивающих напряжений (Kuz'menko, Petlyovanu & Stupnik, 2013).

При этих условиях закладочный массив должен сохранять устойчивость к обнажению на контакте с ним. Данное явление происходит при отбойке руды взрывом в очистных камерах второй очереди отработки и выпуске руды из них. Исходя из этих соображений, системы разработки рудных месторождений с твердеющей закладкой требуют постоянного совершенствования составов закладочных смесей, обеспечения качества формирования закладочного массива по изложенным выше причинам и экономически обоснованы для поддержания конкретности на рынке рудного сырья.

2. АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Вопросы влияния очистного пространства камер на формирование напряженного состояния горных пород и искусственного массива рассматривались в работах (Kononenko, 2010; Khomenko, Kononenko, & Netecha, 2016). Авторы исследовали зону влияния очистного пространства на устойчивость и расположение нарезных выработок выемочного блока и охранных целиков. В работе (Russkikh, Yavors'kyu, Zubko & Chistyakov, 2013) рассмотрено влияние очередности отработки камер на состояние пород всячего бока залежи, а в работе (Kaplenko & Tsarikovskiy, 2005) приведены результаты влияния формы очистных камер на напряженное состояние рудопородного массива и устойчивость обнажения. Однако, в этих работах не нашли отражение вопросы, связанные с устойчивостью искусственного массива и установлением областей, склонных к разрушению, что является важным для прогнозирования величины засорения рудной залежи при системах разработки с твердеющей закладкой.

В первом приближении объемы разрушения разномодульного массива вокруг обрабатываемой камеры второй очереди можно оценить по показателям разубоживания добытой руды. Под влиянием очистных работ контуры обнажения пород и закладки склонны к деформированию с последующим обрушением в очистное пространство. На Рисунке 1 представлены средние показатели разубоживания железных руд при отработке запасов Южно-Белозерского месторождения в этаже 640 – 740 м.

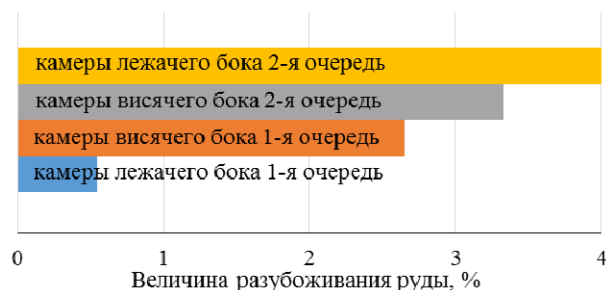


Рисунок 1. Показатели разубоживания руды в зависимости от порядка отработки и расположения очистных камер

Из информации, представленной на Рисунке 1, можно сделать вывод, что наибольшее разубоживание руды наблюдаются при ее добыче из камер лежачего бока второй очереди, а более подробные исследования изложены в работе (Kuz'menko & Petlevanuu, 2014).

В данном случае высокой долей вероятности можно утверждать, что основным разубоживающим материалом является компоненты закладки камер первой очереди. Закладочный массив расположен в боках очистной камеры и в кровле обрабатываемой камеры.

Вывалы закладочного массива различной формы происходили во всех обрабатываемых этажах шахты "Эксплуатационная" Запорожского железорудного комбината (Kuz'menko & Usatuu, 2010). В этаже 715 – 840 м в камере 1/15ю произошел вывал закладки из кровли выше заложеной камеры и пород всячего бока в объеме 19 тыс. т вблизи гор. 775 м (Рис. 2).

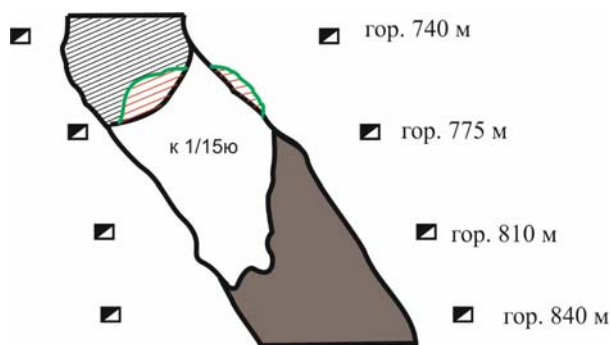


Рисунок 2. Области вывалов закладки с кровли и пород висячего бока в камере 1/15ю

Это привело не только к снижению качества руды, но и увеличению объема закладки для заполнения отработанной камеры и образовавшейся полости.

Анализ устойчивости горных пород и закладочно-го массива при обнажениях послужил основой для исследований геомеханических процессов в разномодульном массиве вокруг обрабатываемой камеры второй очереди, где возможен наибольший показатель разубоживания.

Таким образом, необходимо установить причины, способствующие формированию зон напряжений в породном и закладочном массиве путем проведения вычислительных экспериментов на базе современных компьютерных программ моделирования поведения горного массива.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Компьютерное моделирование геомеханических процессов формирования напряжений вокруг высокой очистной камеры выполнялось для условий отработки запасов железных руд в этаже 740 – 840 м Южно-Белозерского месторождения, где активно ведется горные работы. Для моделирования выбрана центральная часть рудной залежи вкрест простирания, горно-геологические условия которой учитывают, как особенности южного, так и северного крыла месторождения. Модель состояла из четырех блоков:

- структура и механические характеристики вмещающих пород лежачего и висячего бока в пределах воздействия горного давления, вызванного отработкой камеры второй очереди;
- механические характеристики закладочного массива камер первой очереди в этаже 740 – 840 м и в кровле обрабатываемой камеры (выше заложный этаж 640 – 740 м);
- механические характеристики разрабатываемой рудной залежи в этаже 740 – 840 м;
- технологические параметры ведения очистных работ (геометрические параметры камер, глубина ведения горных работ, очередность отработки камер, расположение горных выработок и др.).

По каждой из блоков модели проведено обоснование параметров элементов рассматриваемой геомеханической системы для максимально реального отображения процессов, возникающих в горном массиве при отработке камер второй очереди.

В первом блоке рассматривались механические характеристик пород висячего и лежачего боков, необходимые для достоверного моделирования геомеханических процессов в окрестности очистных камер. В пределах этажа 740 – 840 м вмещающие породы лежачего бока представлены сланцами хлорит-серицитового состава с прослоями метопесчаников мощностью от 5 до 15 – 20 м крепость сланцев колеблется в пределах $f = 6 - 7$ до $f = 7 - 9$, средней трещиноватости и устойчивости. Вмещающие породы висячего бока представлены сланцами кварц-хлорит-серицитового состава крепостью от $f = 6 - 8$ до $f = 8 - 10$ и гематито-мартитовыми, серополосчатыми, тонко-среднеслоистыми кварцитами средней трещиноватости и устойчивости крепостью $f = 14 - 16$.

Вмещающие породы висячего и лежачего бока представляют собой монолитный массив. При моделировании учитывались модуль упругости пород и коэффициент Пуассона.

Во втором блоке модели установлено, что закладочный массив камер первой очереди отработки в этаже 740 – 840 м обладает прочностью на сжатие 8 МПа. Искусственный массив данной прочности приравнивается к прочности горного массива с коэффициентом $f = 5$ по шкале проф. М.М. Протоdjeяконова и соответствует прочности на сжатие 50 МПа. Закладочный массив этажа 640 – 740 м по устойчивости также соответствует пределу прочности на сжатие 50 МПа.

В третьем блоке модели принято горизонтальную мощность рудной залежи равной 100 м. В моделируемой области очистной камеры мощность рудной залежи по падению составляет в среднем 30 м. По горизонтам она меняется и соответственно составляет 50 – 60 м на гор. 740 м, на гор. 775 м – 35 – 50 м, на гор. 810 м – 18 – 35 м и на гор. 840 м – 6 – 10 м. Средневзвешенный коэффициент крепости руды шкале проф. М.М. Протоdjeяконова составляет $f = 6$.

В четвертом блоке модели обоснованы технологические параметры ведения очистных работ. Исследование формирования полей напряжений в массиве горных пород выполнено на примере среднестатистической очистной камерой этажа 740 – 840 м. Данный выбор обусловлен активным ведением горных работ по добыче руды в сравнении с другими выше обрабатываемыми этажами. Приняты усредненные геотехнические условия (глубина размещения очистной камеры $H = 840$ м, угол падения залежи $\alpha = 67^\circ$, горизонтальная мощность обрабатываемой залежи $m = 90$ м, высота камеры – 100 м, ширина – 30 м, длина – 50 м).

Обоснование моделируемых механических характеристик горного массива выполнено по данным горно-геологического прогноза средней части рудной залежи 740 – 840 м и сведены в Таблице 1. Очистная камера располагалась вкрест простирания и рассматривалась на заключительной стадии отработки, контактируя с закладочным массивом. К модели прикладывалась нагрузка от давления пород покрывающей толщи равная 20 МПа, эквивалентная глубине ведения очистных работ 790 м.

Таблица 1 – Характеристика моделируемого горного массива вокруг камер второй очереди отработки на глубине 840 м

Параметр	Породы висячего бока	Породы лежачего бока	Рудный массив	Закладочный массив
Плотность, т/м ³	3500	2700	3900	2300
Модуль Юнга, МПа	15000	8000	6000	600
Коэффициент Пуассона	0.25	0.25	0.25	0.15
Прочность на растяжение, МПа	12.0	22.5	5.5	5.0
Прочность на сжатие, МПа	120	90	55	50

Прочность рудного, породного и искусственного массива определялась в зависимости от их крепости по методике, изложенной в работе (Chistyakov, Kulish, Moshinskiy & Zubko, 2011), а упругие свойства – по данным физико-механических испытаний лаборатории комбината.

Расчетная схема (Рис. 3) для исследования напряженного состояния разномодульного массива включала следующие элементы: массив горных пород висячего и лежачего боков, рудный массив и закладочный массив, состоящий из заложённых камер вышеотработанного этажа и камеры висячего бока.

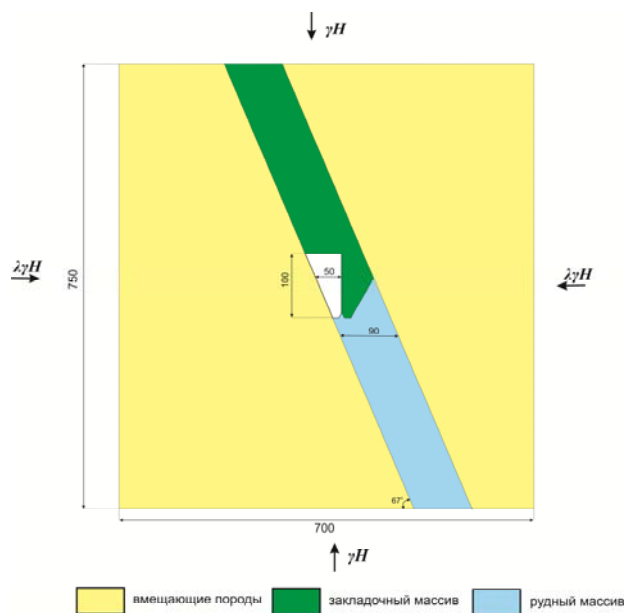


Рисунок 3. Расчетная схема нагрузок разномодульного массива вокруг обрабатываемой очистной камеры второй очереди

Для исключения влияния краевого эффекта на формирование напряжений вокруг камеры соблюдены граничные условия. Вертикальный размер модели принят 750 м, а горизонтальный размер области исследований составил более 750 м, что соответствует не менее трехкратного размера исследуемого объекта (камеры).

В результате выполненных расчетов получена эпюра вертикальных σ_y напряжений, представленная на Рисунке 4.

Как видно из Рисунка 4, вдоль верхней и нижней границ модели компоненты σ_y , соответствующие напряжению (γH) нетронутого массива (18.4 – 22 МПа) распределены равномерно. В боках очистной камеры возмущения σ_y затухает на расстоянии гораздо меньшем боковых границ модели.

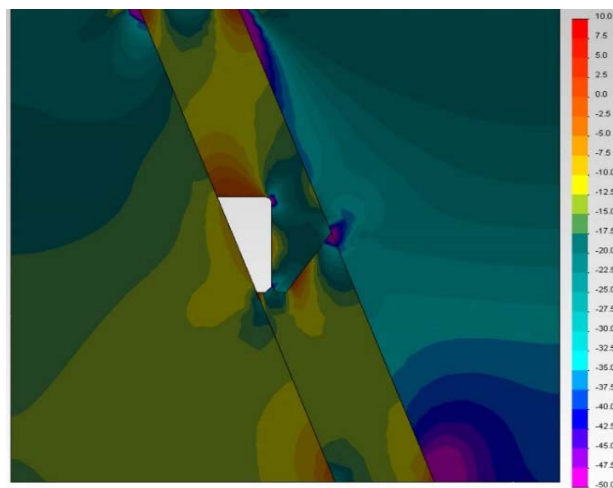


Рисунок 4. Эпюры распределения вертикальных σ_y напряжений вокруг очистной камеры

Характер распределения поля напряжений показывает, что основные области их концентрации находятся в породах лежачего бока, представленными массивами руды и закладки, что связано с конфигурацией камер в принятой системе разработки.

Область небольших сжимающих напряжений расположена в породах лежачего бока в центральной части очистной камеры и ее протяженность составляет 37.5 м. Максимальные сжимающие напряжения составляют 8 – 11 МПа.

Форма зоны – вихреобразная. Сжимающие напряжения имеют место и в массиве закладки камеры первой очереди отработки. Они располагаются на сопряжении ее обнажения с кровлей обрабатываемой камеры на глубину до 50 м (зона напряжений, превосходящих предел прочности на сжатие, распространяется до 5 м). Максимальная величина концентрации напряжений в закладочном массиве составляет 89 МПа, что в 1.8 раз превышает ее предел прочности на сжатие. Очевидно, что в данных областях происходит разрушение закладочного массива. Размер зоны максимальных сжимающих напряжений по вертикали обнажения составляет 9.8 м. Форма зоны – волнообразная. Повышенные напряжения на сопряжении кровли с боком камеры влекут за собой трещинообразование и вывалообразование закладочного материала. Породы лежачего бока находятся в устойчивом состоянии. Вывалообразование в этой зоне прослеживается довольно редко.

Область небольших сжимающих напряжений (3.3 – 8.5 МПа) расположена в кровле камеры в массиве закладки. Ее размеры составляют 70 м. На контуре камеры растягивающие напряжения составляют 0.3 МПа, распространяясь на глубину массива до 3 м. Также, растягивающие напряжения располагаются

непосредственно в днище камеры в породах лежачего бока и рудном массиве. Область распространения данных напряжений достигает 15 м при их максимальном значении 5 МПа. Данная область представлена эллипсоидной формой. Эпюра горизонтальных σ_x напряжений, представлена на Рисунке 5.

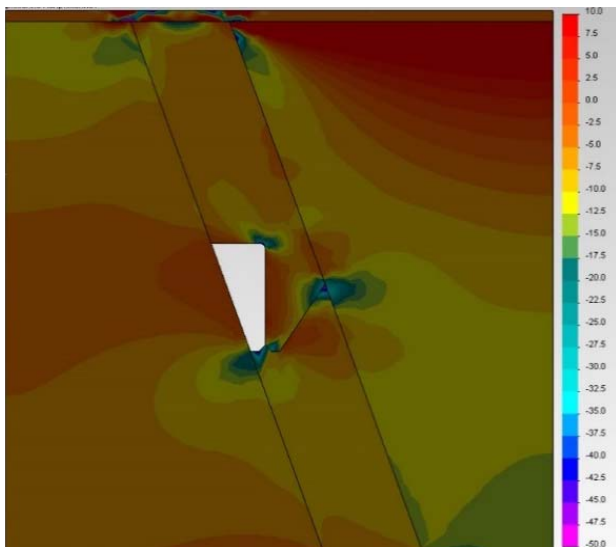


Рисунок 5. Эпюры горизонтальных напряжений σ_x вокруг очистной камеры

Характер распределения горизонтальных напряжений вокруг камеры второй очереди отработки показывает, что области слабых сжимающих напряжений формируются со стороны лежачего бока, распространяясь вглубь массива на 45 м. Величина напряжений фактически равна 0 и колеблется от 0.1 до 2.3 МПа. Форма – эллипсоидная. В закладочном массиве область растягивающих напряжений распространяется на высоту подэтажа 775 – 810 м, имея максимальные значения 4 МПа. Область распространяется в массив закладки на расстояние 7 м. Форма – трапециевидная. В данной области вероятно разрушение закладочного массива.

Горизонтальная компонента растягивающих напряжений σ_x способствует проявлению сжимающих напряжений в краевых частях очистной камеры.

В днище очистной камеры область данных напряжений имеет треугольную форму и распространяется вглубь рудного массива на 15 м, имея максимальные напряжения 45 МПа. Горный массив днища камеры находится в упругом состоянии, что благоприятно сказывается на отработке нижележащих камер.

На сопряжении кровли камеры с вертикальным обнажением массива закладки имеет место концентрация сжимающих напряжений, представленная трапециевидной формы, распространяясь на глубину до 13 м. Величина максимального напряжения достигает 65 МПа, что превышает предел прочности закладочного массива на одноосное сжатие и является причиной их разрушения. Установленные области концентрации сжимающих и растягивающих напряжений, приводящих к разрушению закладочного массива, хорошо согласуется с исследованиями (Kalinichenko, 2006; Khomenko, Kononenko & Petlyovanyu, 2014; Tiwari & Rao, 2004).

В краевой части очистной камеры на сопряжении кровли с ее боком сформировалась область сжимающих напряжений, значения которых в 1.8 раз превосходят прочность закладки на сжатие.

В закладочном массиве область растягивающих напряжений располагается на уровне подэтажа 775 – 810 м, а их значения в 1.3 раза превосходит прочность закладки на растяжение. При этом вертикальные напряжения превосходят горизонтальные в областях разрушения закладки в 1.35 раз.

В результате моделирования установлено, что закладочный массив, окружающий очистную камеру, имеет неустойчивые зоны к обнажению. Следовательно, между гор. 775 и 810 м, а также в подкровельной части очистной камеры необходимо возводить упрочняющие слои твердеющей закладки. Реализация предложенного решения находится в обосновании и подборе состава компонентов твердеющей закладки, обладающей повышенной прочностью.

4. ВЫВОДЫ

Проведенные исследования устойчивости разномодульного горного массива вокруг очистной камеры второй очереди отработки позволили сформулировать следующие научные и практические результаты:

- в краевой части камеры на сопряжении кровли с боком камеры формируется область вертикальных повышенных сжимающих напряжений, превосходящие в 1.8 раз прочность закладки на сжатие;
- горизонтальная компонента напряжений формирует области сжимающих напряжений в том же месте, что и при вертикальной компоненте;
- в закладочном массиве на уровне подэтажа 775 – 810 м располагается область растягивающих напряжений, превосходящих в 1.3 раза прочность закладки на растяжение.

Таким образом, можно отметить, что устойчивость обнажений искусственного массива зависит от рассматриваемых геометрических параметров очистной камеры и ее конфигурации. Снижение разубоживания отбитой рудной массы можно достичь при применении закладочных смесей, которые создают монолитный массив с высокими прочностными свойствами.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Автор выражает благодарность техническим руководителям шахты “Эксплуатационная” ЧАО “Запорожский железорудный комбинат” за предоставленную информацию по обрушениям закладочного массива.

REFERENCES

- Boguslavskiy, E.I., & Minaev, D.Yu. (2005). Tekhnologiya voskhodyashchey obrabotki mestorozhdeniy na bol'shikh glubinakh. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*, (2), 161-165.
- Chetverik, M.S. (2012) Perspektivnye napravleniya dobychi rud v glubokikh kar'yerakh i shakhtakh Krivbassa. *Geotekhnichna mekhanika*, (104), 51-60.
- Chistyakov, E.P., Kulish, S.A., Moshinskiy, V.I., & Zubko, A.N. (2011). *Instruktsiya po opredeleniyu parametrov ochistnoy vyemki pri sistemakh razrabotki s tverdeyushchey zaklad-*

- koy na zaporozhskom zhelezorudnom kombinatе. Kryvyi Rih: GP "NIGRI".
- Golik, V.I., Gabaraev, O.Z., & Polukhin, O.N. (2014). Utilizatsiya otkhodov dolomita v gornom proizvodstve. *Sukhie stroitel'nye smesi*, (5), 14-16.
- Kalinichenko, V.A. (2006). Issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya kombinirovannykh iskusstvennykh massivov. *Stalyi rozvytok hirnycho-metalurhiinoi promyslovosti*, 155-156.
- Kaplenko, Yu.P., & Tsarikovskiy, V.V. (2005). Vliyanie napryazhennogo sostoyaniya gornogo massiva i gorno-geologicheskikh usloviy na parametry obnazheniy i formu ochistnykh kamer. *Razrabotka rudnykh mestorozhdeniy*, (88), 11-24.
- Khomenko, O., Kononenko, M., & Netecha, M. (2016). Industrial research into massif zonal fragmentation around mine workings. *Mining of Mineral Deposits*, 10(1), 50-56. <http://dx.doi.org/10.15407/mining10.01.050>
- Khomenko, O., Kononenko, M., & Petlyovanyy, M. (2014). Investigation of stress-strain state of rock massif around the secondary chambers. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, 241-245. <http://dx.doi.org/10.1201/b17547-43>
- Kononenko, M.M. (2010). Doslidzhennia napruzhenno-deformovanoho stanu masyvu navkolo ochysnykh kamer. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (4), 51-53.
- Kunanbaev, N.S., Zelentsov, S.N., & Makarov, A.B. (2001). Issledovanie prochnostnykh i deformatsionnykh svoystv zakladochnogo massiva. *Gornyy zhurnal*, (5), 36-38.
- Kuz'menko, A.M., & Usaty, V.V. (2010). Modelirovaniye ustoychivosti formy vysokikh ochistnykh kamer pri sistemakh razrabotki zhelezorudnykh mestorozhdeniy s tverdeyushchey zakladkoy. In *Shkola pidzemnoi rozrobky* (pp. 30-38). Dnipropetrovsk: Natsionalnyi hirnychiy universytet.
- Kuz'menko, A.M., & Petlevanyy, M.V. (2014). Vliyanie struktury gornogo massiva i poryadka otrabotki kamernykh zapasov na razubozhivaniye rudy. *Heotekhnichna Mekhanika*, (118), 37-45.
- Kuz'menko, O., Petlyovanyy, M., & Stupnik, M. (2013). The influence of fine particles of binding materials on the strength properties of hardening backfill. *Mining of Mineral Deposits*, 45-48. <http://dx.doi.org/10.1201/b16354-10>
- Russkikh, V., Yavors'kyy, A., Zubko, S., & Chistyakov, Y. (2013). Study of rock geomechanical processes while mining two-level interchamber pillars. *Mining of Mineral Deposits*, 149-152. <http://dx.doi.org/10.1201/b16354-26>
- Tiwari, R., & Rao, K. (2004). Physical modeling of a rock mass under a true triaxial stress state. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, (41), 396-401. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrmms.2004.03.073>
- Volkov, Yu.V., Sokolov, I.V., & Smirnov, A.A. (2009). Opreddenie effektivnogo sootnosheniya pokazatelya poter' i razubozhivaniya dlya usloviy Gayskogo podzemnogo rudnika. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*, (1), 380-384.

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Цель. Установление неустойчивых областей закладочного массива при влиянии отработки запасов руд в смежной камере посредством компьютерного моделирования для разработки путей повышения его устойчивости.

Методика. Исследования напряженного состояния разномодульного массива, состоящего из руды, пород и закладки выполнены при помощи программного обеспечения SolidWorks 2011 с полным соответствием их физико-механических свойств.

Результаты. Посредством компьютерного моделирования выявлены неустойчивые области в закладочном массиве камеры первой очереди под влиянием отработки камеры второй очереди. Установлено, что вертикальная компонента напряжений формирует область сжимающих напряжений в массиве закладки камеры первой очереди отработки на сопряжении ее обнажения с кровлей отрабатываемой камеры со следующими размерами: вглубь массива – до 50 м, по вертикали обнажения – 9.8 м, а максимальная величина напряжений достигает 89 МПа. В этой же области горизонтальная компонента формирует также область сжимающих напряжений, но с меньшим значением в 65 МПа. Горизонтальная компонента напряжений формирует в закладочном массиве камер первой очереди область растягивающих напряжений на уровне подэтажа 775 – 810 м при размерах: вглубь массива – до 7 м, по вертикали обнажения – 10 м, а максимальная величина напряжения достигает 4 МПа.

Научная новизна. Дана аналитическая оценка устойчивости закладочного массива: на сопряжении его обнажения с кровлей отрабатываемой камеры – превышение сжимающих напряжений над прочностью закладки в 1.8 раз, в центре закладочного массива на обнажении – превышение растягивающих напряжений над прочностью закладки в 1.3 раза. Установлено, что вертикальные напряжения превосходят горизонтальные напряжения в областях разрушения закладки в 1.35 раз.

Практическая значимость. Полученные результаты исследования напряженного состояния закладочного массива могут использоваться при проектировании паспортов на закладку выемочных камер при выборе режима заполнения и состава закладочной смеси.

Ключевые слова: напряженное состояние, прочность закладочного массива, очистная камера, конфигурация камер

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Встановлення нестійких областей закладного масиву при впливі відпрацювання запасів руд у суміжній камері за допомогою комп'ютерного моделювання для розробки шляхів підвищення його стійкості.

Методика. Дослідження напруженого стану різномодульного масиву, що складається з руди, порід та закладки виконані за допомогою програмного забезпечення SolidWorks 2011 з повною відповідністю їх фізико-механічних властивостей.

Результати. За допомогою комп'ютерного моделювання виявлено нестійкі області у закладному масиві камери першої черги під впливом відпрацювання камери другої черги. Встановлено, що вертикальна компонента

напружень формує область стискаючих напружень у масиві закладки камери першої черги відпрацювання на сполученні її відслонення з покрівлею камери, що відпрацьовується, з наступними розмірами: вглиб масиву – до 50 м, по вертикалі відслонення – 9.8 м, а максимальна величина напружень сягає 89 МПа. У цій же області горизонтальна компонента формує також область стискаючих напружень, але з меншим значенням у 65 МПа. Горизонтальна компонента напружень формує у закладному масиві камер першої черги область розтягуючих напружень, на рівні підповерху 775 – 810 м при розмірах: вглиб масиву – до 7 м, по вертикалі відслонення – 10 м, а максимальна величина напруження сягає 4 МПа.

Наукова новизна. Дана аналітична оцінка стійкості закладного масиву: на сполученні його відслонення з покрівлею камери, що відпрацьовується, – перевищення стискаючих напружень над міцністю закладки у 1.8 разів, в центрі закладного масиву на відслоненні – перевищення розтягуючих напружень над міцністю закладки у 1.3 рази. Встановлено, що вертикальні напруження перевищують горизонтальні в областях руйнування закладки у 1.35 разів.

Практична значимість. Отримані результати дослідження напруженого стану закладного масиву можуть використовуватися при проектуванні паспортів на закладку виїмкових камер при виборі режиму заповнення та складу закладної суміші.

Ключові слова: *напружений стан, міцність закладного масиву, очисна камера, конфігурація камер*

ARTICLE INFO

Received: 17 February 2016

Accepted: 4 May 2016

Available online: 30 June 2016

ABOUT AUTHORS

Mykhailo Petlovanyi, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Underground Mining Department, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 4/57, 49005, Dnipropetrovsk, Ukraine. E-mail: petlyovany@ukr.net