

УДК 622.268.6:622.834

doi:10.20998/2413-4295.2019.02.03

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЛИЯНИЯ ЗАКЛАДОЧНЫХ МАССИВОВ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ БОКОВЫХ ПОРОД В ОТКАТОЧНЫХ ШТРЕКАХ

А. Э. КИПКО¹, В. Б. ГОГО¹, Д. А. ЧЕПИГА¹, Ю. И. СИМОНОВА^{1*}, Е. С. ПОДКОПАЕВ¹,
Г. Э. БОЙЧЕНКО²

¹ГВУЗ «ДонНТУ» МОН Украины, г. Покровск, УКРАИНА

²ООО «Шахта «Свято-Покровская №3», УКРАИНА

*e-mail: yulii.simonova@donntu.edu.ua

АННОТАЦИЯ Цель исследований – определить на оптических моделях, имитирующих угленосный массив с выработками, закономерности распределения напряжений в боковых породах при охране откаточных штреков закладочным массивом. В работе используется комплексный метод, включающий анализ и обобщение условий охраны и поддержания участков подготовительных выработок при разработке крутонаклонных и крутых угольных пластов, физическое моделирование с оптическими материалами и обработку экспериментальных данных. В результате выполненных исследований устойчивости участков подготовительных выработок, при их охране податливыми сооружениями, установлено влияние закладочного массива на напряженное состояние боковых пород. Зафиксировано, что с увеличением жесткости надштрековой охранной полосы из дробленой породы ограниченных размеров, наибольшие касательные напряжения концентрируются в области контура выработки и у верхней границы бутовой полосы. Размещение закладочного массива в отработанной части лавы, на высоту этажа, обеспечивает плавный прогиб боковых пород по всей площади выработанного пространства и равномерное распределение напряжений в боковых породах. Напряженно-деформированное состояние боковых пород в угленосном массиве, вмещающем выработку, зависит от жесткости охранных сооружений, физико-механических свойств боковых пород и длины участка в породах кровли, который поддерживается охранным сооружением. Влияние закладочного массива на напряженное состояние боковых пород, оценивается с помощью коэффициента, учитывающего уровень концентрации напряжений в породах кровли и почвы разрабатываемого пласта, величина которого зависит от жесткости охранных сооружений, расположенных над штреком, изгибной жесткости боковых пород и длины участка в породах кровли, который поддерживается охранным сооружением. В условиях глубоких шахт, при разработке крутонаклонных и крутых угольных пластов, эксплуатационное состояние участков подготовительных выработок, когда для их охраны используются надштрековые бутовые полосы или закладка выработанного пространства при ведении очистных работ, обеспечивается с учетом оптимального гранулометрического состава дробленой породы, влияющего на величину жесткости охранных сооружений.

Ключевые слова: горное давление; обрушения; изгибные колебания; динамические нагрузки; податливая опора; закладка выработанного пространства

REGULARITIES OF THE INFLUENCE OF LAYING ARRAYS ON THE STRESSED STATE OF THE LATERAL ROCKS IN THE ROLLING SHTRES

A. KIPKO¹, V. GOGO¹, D. CHEPIGA¹, Y. SIMONOVA¹, Y. PODKOPAYEV¹, H. BOICHENKO²

¹Public higher education institution «Donetsk National Technical University», Pokrovsk, UKRAINE

²LLC Mine Svyato-Pokrovskaya No. 3 Mine, UKRAINE

ABSTRACT The purpose of the research is to determine on the optical models that simulate a coal-bearing massif with workings, the patterns of stress distribution in the side rocks while guarding the return drifts by the filling array. A complex method is used in the work, including analysis and generalization of the conditions for the protection and maintenance of local preparatory workings in the development of steeply inclined and steep coal seams, physical modeling with optical materials and processing of experimental data. As a result of the studies of the stability of local preparatory workings, when they are protected by compliant structures, the influence of the filling mass on the stress state of the lateral rocks is established. It has been recorded that with increasing rigidity of the over-track guard strip of crushed rock of limited size, the greatest tangential stresses are concentrated in the area of the output contour and at the upper boundary of the rubble strip. Placing a filling mass in the worked-out part of the lava, to the height of the floor, provides a smooth deflection of the lateral rocks over the entire area of the worked out space and a uniform distribution of stresses in the lateral rocks. The stress-strain state of the side rocks in the coal-bearing massif containing the mine depends on the rigidity of the security structures, the physical and mechanical properties of the side rocks and the length of the section in the roof rocks, which is supported by the security structure. The influence of the stowage massif on the stress state of the side rocks is estimated using a coefficient that takes into account the level of stress concentration in the rocks of the roof and soil of the developed formation, the value of which depends on the rigidity of the security structures located above the drift, the bending stiffness of the side rocks and the length of the section in the roof rocks, which supported by a security structure. In deep mines, in the development of steeply inclined and steep coal seams, the operational condition of local preparatory workings, when over-run rubble strips are

used for their protection or the laying of the mined-out space during the treatment works, is provided taking into account the optimal particle size distribution of crushed rock, which affects the amount of hardness of the guard facilities.

Keywords: rock pressure; crushing; bending vibrations; load response; foil bearing; goaf stowing

Введение

Опыт эксплуатации шахт Донбасса, разрабатывающих крутонаклонные и крутые угольные пласты показывает, что с ростом глубины горных работ, в массиве осадочных горных пород, при ведении очистных и подготовительных работ, начинает проявляться негативный фактор – расслоение боковых пород, оказывающий существенное влияние на состояние горных выработок.

В реальных условиях разработки крутонаклонных и крутых угольных пластов, при традиционных способах управления кровлей в очистном забое, в силу специфических особенностей их разработки, связанных с углами падения, превышающих углы внутреннего трения пород, под действием сил гравитации, расслоившиеся боковые породы верхней части лавы обрушаются и неконтролируемо перемещаются вниз [1,2]. Во многих случаях, обрушения расслоившихся боковых пород, распространяются на призабойное пространство лавы и сопровождаются завалом очистного забоя и откаточного штрека.

Неудовлетворительное состояние горных выработок, повышает уровень травматизма горнорабочих, а значит, разработка эффективных мероприятий, направленных на поддержание выемочных штреков в эксплуатационном состоянии, будет отвечать требованиям безопасного ведения горных работ.

Анализ исследований и публикаций

Анализ исследований показывает, что проявления горного давления в выработках, зависят от совокупного влияния многих горно-геологических факторов, к которым первостепенно следует относить напряженное состояние осадочных горных пород и их физико-механические свойства. Особенность углепородного массива, вмещающего выработки, состоит в том, что во всех случаях контакт между породными слоями, представлен глинистыми разностями. В зонах разгрузки, глинистые породы увеличиваясь в объеме во времени, способствуют отрыву слоев более прочных пород и формируют условия обрушения, что является причиной ухудшения устойчивости горных выработок и травмирования горнорабочих [2].

Эффективность отработки угольных пластов и безопасность ведения горных работ в глубоких угольных шахтах, зависит от способа управления кровлей в очистном забое. Изучение процесса сдвижений и деформаций горных пород [3,4], указывает на то, что наиболее интенсивно процесс сдвижения под- и надработанной толщи развивается при полном обрушении кровли или удержании кровли

на кострах, наименее интенсивно – при полной закладке выработанного пространства [3].

Изучение механизма взаимодействия блочной структуры расслоившихся пород кровли, при полном обрушении или удержании кровли на кострах, показывает, что без эффективного поддержания нависающей толщи, геомеханическая обстановка в окрестности очистной выработки резко ухудшается [5]. Внезапность обрушений расслоившихся боковых пород, приводящая к возможным завалам горных выработок, обуславливается, прежде всего горно-геологическим фактором, когда при ведении очистных работ, в призабойном пространстве лавы, происходит последовательное отделение слоев и их прогиб по нормали к напластованию, подобно балке, имеющей опоры [2,3]. Во избежание сложившейся ситуации, необходимо поддержание пород кровли закладочным массивом.

Исследованиями ДонУГИ и ДонНТУ было установлено, что закладочный массив предотвращает развитие сдвижений боковых пород в окрестности выработок и создает зоны устойчивости пород позади очистного забоя. Механизм взаимодействия закладочного массива с оседающими породами висячего бока, заключается в закрытии над закладочным массивом трещин разлома в породах кровли угольного пласта [6]. Из этого следует, что существенно изменить геомеханическую обстановку в углепородном массиве, вмещающем выработки, можно за счет применения закладки выработанного пространства, что будет способствовать не только сохранению устойчивости боковых пород и эксплуатационного состояния горных выработок, но и повышению безопасности труда горнорабочих.

Постановка задачи

Определить влияние закладочного массива на напряженно-деформированное состояние боковых пород в массиве осадочных горных пород, вмещающем выработки, для сохранения их эксплуатационной устойчивости, применяя лабораторные исследования на моделях из оптических материалов.

Материалы и результаты исследований

В комплексе технических решений по охране участков подготовительных выработок принят закладочный массив. Для оценки закладочного массива, как средства ограничивающего деформации боковых пород, выполнены лабораторные исследования на моделях из оптически-активных материалов. В качестве оптически-активного материала, при проведении исследований использовали игдантин [7].

Исследование моделей производилось на поляризационной установке ППУ-4, известным способом сопоставления цветов и полос распределения касательных напряжений [8,9]. Критерии подобия, упругие и оптические константы моделей, определены в соответствии с методикой, разработанной в ИГД им. А.А. Скочинского [8].

Модели, приняты в виде параллелепипедов, размером 300x300 мм, толщиной 20 мм, загружались по схеме, когда вертикальная нагрузка соответствовала глубине $H=1200$ м, а горизонтальная нагрузка, создавалась отпором боковых стенок.

Исследования проводились в два этапа. На первом этапе изучалось распределение касательных напряжений в боковых породах в окрестности очистной выработки при способе управления кровлей закладкой выработанного пространства. При этом жесткость закладочного массива, соответствовала $c=30$ Н/м и $c=90$ Н/м. Мощность пород непосредственной кровли и почвы, соответствовала $2m$, где m – мощность разрабатываемого угольного пласта, (м). Мощность пород основной кровли – $4m$. Отставание закладочного массива от груди очистного забоя $l=8m$. Было отработано 4 модели. В моделях мощность угольного пласта соответствовала $m=1,0$ м. Геометрический масштаб $M1: 50$.

На втором этапе исследований, изучаемые модели имитировали пластовый штрек с охраной надштрековой бутовой полосой размером $6m$ или закладочным массивом, который разместили по всей высоте этажа. Распределение напряжений изучалось в окрестности откаточного штрека, пройденного по угольному пласту мощностью $m=1,0$ м. Штрек арочной формы (высота 2,5 м, ширина 2,5 м).

Исследования проводились на моделях со слоями, которые принимались как непосредственная и основная кровля и почва угольного пласта, мощность которых соответствовала $2m$ и $4m$. Жесткость надштрековой бутовой полосы или закладочного массива, соответствовала, в одном случае $c=30$ Н/м, в другом $c=90$ Н/м. Угол падения пласта равен $\alpha = 60^\circ$. Масштаб моделирования $M1:100$.

При анализе статического поля касательных напряжений в углеродном массиве, вмещающем выработку, учитывалось положение о том, что объемное напряженное состояние боковых пород, по мере удаления от контура выработки, изменяется от состояния близкого к обобщенному растяжению, до обобщенного сжатия в глубине массива [10].

Исследуем модели, которые имитировали очистную выработку с закладкой выработанного пространства. На рис. 1 представлена схема моделей статического поля касательных напряжений в области очистной выработки, при способе управления кровлей закладкой выработанного пространства и разной жесткости закладочного массива.

Сравнение исходных картин статического поля касательных напряжений моделей показывает, что

при применении закладки выработанного пространства, распределение напряжений в боковых породах происходит равномерно (рис. 1 а, б). Самый высокий уровень напряжений, приводящий к деформациям боковых пород, во всех рассматриваемых случаях, приурочен к кромке очистного забоя, из-за прогиба кровли на закладочный массив.

При размещении в выработанном пространстве закладочного массива с жесткостью $c=90$ Н/м, уровень касательных напряжений на кромке очистного забоя несколько выше, чем при использовании для поддержания пород кровли закладочного массива, с жесткостью $c=30$ Н/м (рис. 1 а, б). Однако, во всех исследованных моделях, непосредственная кровля угольного пласта, опирающаяся с одной стороны на массив угля, а с другой – на закладочный массив, подвержена сжимающим усилиям, проявляющимся в плоскости напластования (рис. 1 а, б). Исходя из этого, при расположении выемочного откаточного штрека между целиком угля и закладочным массивом, при расстоянии между ними $l \leq 8m$, можно создать условия, в которых сохраняется эксплуатационная устойчивость подготовительных выработок.

Исходя из этого, проанализируем модели, имитирующие откаточный штрек с надштрековой бутовой полосой ограниченных размеров или закладкой выработанного пространства.

На рис. 2 представлены схемы статического поля касательных напряжений в углеродном массиве, при охране откаточного штрека надштрековой бутовой полосой размером $h=6m$. Сравнивались два варианта охраны штрека бутовой полосой. В одном случае, жесткость бутовой полосы соответствовала $c=30$ Н/м, а в другом $c=90$ Н/м.

Анализ статического поля напряжений в моделях, дает основание для утверждения о том, что при охране пластового откаточного штрека бутовой полосой, высотой $h=6m$, имеем максимальную концентрацию напряжений в окрестности откаточного штрека (рис. 1 а). Увеличение жесткости бутовой полосы в 3.0 раза, когда $c=90$ Н/м, несколько видоизменяет характер распределения напряжений в подошве штрека, по сравнению с концентрацией напряжений в кровле, обусловлена разной кривизной контура выработки.

Сравнение модельных картин распределений напряжений в области откаточного штрека при охране бутовой полосой, указывает, что при увеличении жесткости полосы, наибольшие касательные напряжения концентрируются вблизи контура выработки и в месте изгиба пород кровли и почвы разрабатываемого пласта, у верхней границы бутовой полосы.

Из анализа моделей следует, что характер распределения напряжений в боковых породах и в области откаточного штрека, качественно изменяется при использовании для охраны пластовой выработки закладки выработанного пространства (рис. 3).

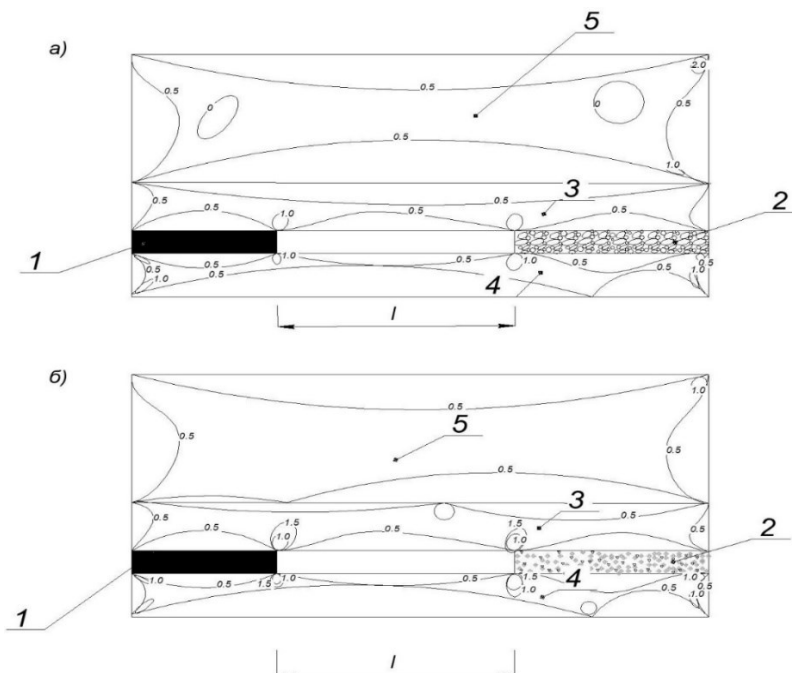


Рис.1 – Схемы моделей статического поля касательных напряжений в области очистной выработки при способе управления кровлей закладкой выработанного пространства и различной жесткости закладочного массива c (Н/м): а) $c=30$ Н/м; б) $c=90$ Н/м; l – отставание закладочного массива от груди забоя, (м); 1 – угольный пласт; 2 – закладочный массив; 3 – непосредственная кровля; 4 – почва угольного пласта; 5 – основная кровля

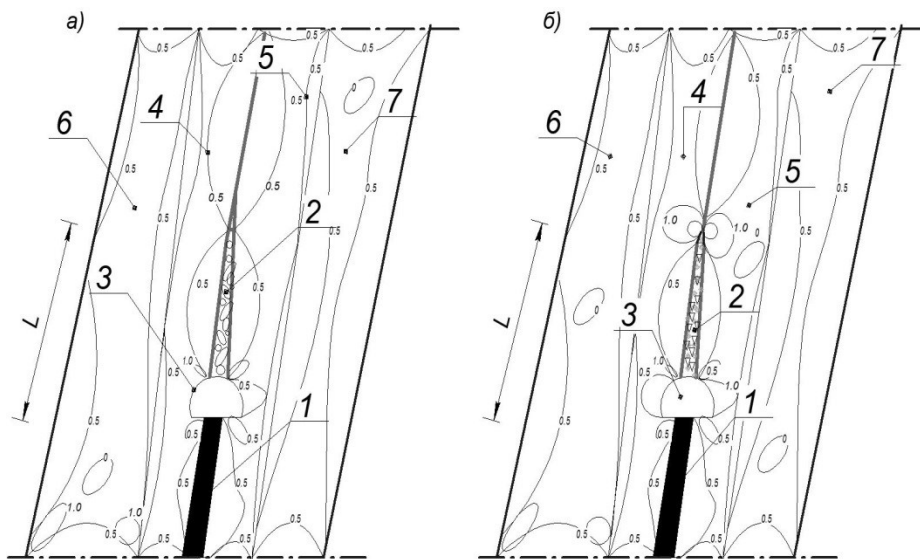


Рис.2 – Схемы моделей статического поля касательных напряжений в области откаточного штрека при охране бутовой полосой из дробленой породы высотой $h=6$ м: а) жесткость бутовой полосы $c=30$ Н/м; б) жесткость бутовой полосы $c=90$ Н/м; L – длина поддерживаемого участка кровли бутовой полосой, м; t – мощность угольного пласта, м; 1 – угольный пласт; 2 – надштрековая бутовая полоса; 3 – откаточный штрек; 4 – непосредственная кровля; 5 – почва угольного пласта; 6 – основная кровля; 7 – почва

Размещение закладочного массива по всей длине отработанной части лавы (позади очистного забоя), обеспечивает плавный прогиб боковых пород (рис. 3 а). При этом площадь фактического касания оседающих пород с закладочным массивом прирастает, в сравнении с охраной выработок надштрековыми бутовыми полосами. В случае

увеличения жесткости закладочного массива, повышения уровня напряжений в боковых породах практически не наблюдается. При этом происходит только перераспределение напряжений на границе контакта пород кровли и почвы с закладочным массивом (рис. 3 б).

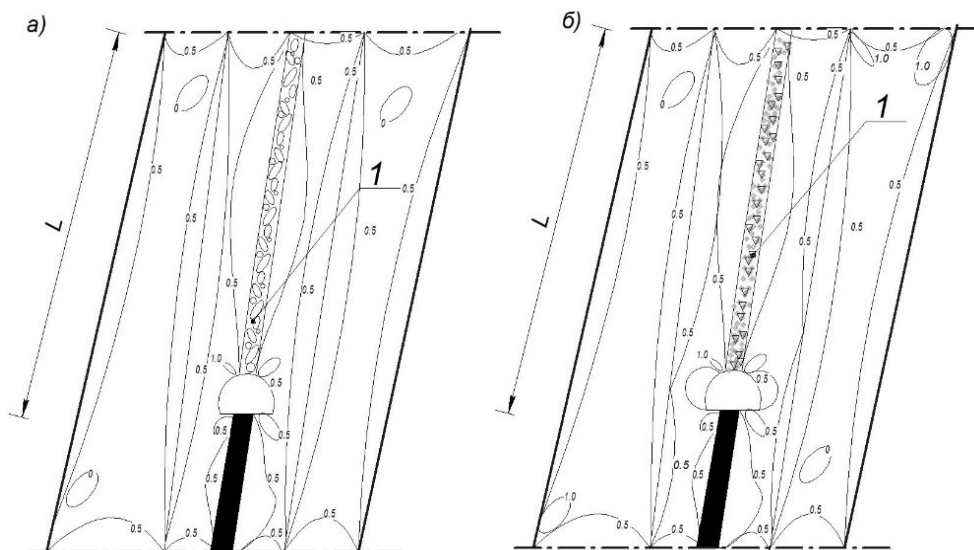


Рис. 3 – Схемы моделей статического поля касательных напряжений в области откаточного штрека при способе управления горным давлением полной закладкой выработанного пространства: а) жесткость закладочного массива $c = 30 \text{ Н/м}$; б) жесткость закладочного массива $c = 90 \text{ Н/м}$; L – длина поддерживаемого участка кровли закладочным массивом, м

В реальных условиях разработки угольных пластов крутонаклонного и крутого падения, при разных способах управления кровлей в лаве и охране штреков, сохранность подготовительных выработок обеспечивается за счет устойчивости пород кровли, как основного грузонесущего элемента подземного сооружения.

Исследование напряженно-деформированного состояния боковых пород, в т.ч. пород кровли угольного пласта, основывается на применении теории упругости, основные положения которой изложены в [11–16]. Используя экспериментальные данные и основные положения теории упругости и размерностей [11,12], оценим влияние закладочного массива на напряженное состояние боковых пород в углепородном массиве, вмещающем выработку, с помощью коэффициента, учитывающего изгибную жесткость боковых пород при различных способах охраны.

Основными величинами, характеризующими поведение боковых пород в пределах очистного пространства в моделируемой геомеханической системе, являются: жесткость охранного сооружения

c (Н/м); длина участка в породах кровли, который поддерживается охранным сооружением L (м); мощность пород непосредственной кровли h (м); толщина модели b (м); модуль упругости E (Н/м²), модуль сдвига G (Н/м²) для пород непосредственной кровли разрабатываемого пласта.

Для решения сформулированной задачи, имеем шесть фундаментальных переменных, а общее уравнение может быть записано в виде функциональной связи

$$k_M^{\pm} = f(c, l, h, b, E, G). \quad (1)$$

Построим таблицу размерностей и единиц измерения основных величин (табл. 1).

На основании данных табл. 1 составим матрицу размерностей, полученную из показателей формул размерностей (табл. 2).

Функциональное соотношение (1), можно выразить через безразмерные комбинации величин. Предположим, что между этими величинами существует соотношение

$$k_M^{\pm} = f(c^{k^1}, l^{k^2}, h^{k^3}, b^{k^4}, E^{k^5}, G^{k^6}). \quad (2)$$

Таблица 1 – Таблица основных величин и размерностей

Название величины	Символ	Формула размерности	Единица измерения величины в системе СИ
Жесткость охранных сооружений	c	MT^{-2}	$1\text{Н/м}=1 \text{ кг/с}^2$
Длина поддерживаемого участка в породах кровли охранным сооружением	L	L	м
Мощность непосредственной кровли	h	L	м
Толщина модели	b	L	м
Модуль упругости	E	ML^{-1}T^2	$\text{Н/м}^2=1 \text{ кг/с}^2\text{м}$
Модуль сдвига	G	ML^{-1}T^2	$\text{Н/м}^2=1 \text{ кг/с}^2\text{м}$

Таблица 2 – Матрица размерностей

Определение параметров	c	L	h	b	E	G
Показатель степени	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6
[M]	1	0	0	0	1	1
[L]	0	1	1	1	-1	-1
[T]	-2	0	0	0	-2	-2

Тогда из полученной матрицы, выводим систему уравнений

$$\begin{cases} k_1 + k_5 + k_6 = 0, \\ k_2 + k_3 + k_4 - k_5 = 0, \\ -2k_1 - 2k_5 - 2k_6 = 0, \end{cases} \quad (3)$$

в которой для ее решения, необходимо задать значения трех параметров. Считаем такими параметрами k_4, k_5, k_6 . После решения системы (3) относительно переменных k_1, k_2 и k_3 , окончательно имеем

$$k_M^r = \frac{cL^3}{EI}. \quad (4)$$

где EI – изгибная жесткость боковых пород, ($H \cdot m^2$).

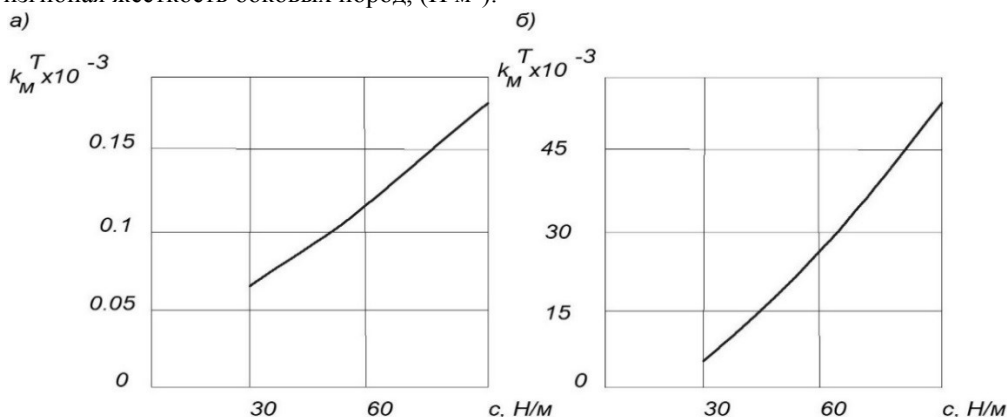


Рис. 4 – Графики изменений коэффициента k_M^r , учитывающего уровень напряженно-деформированного состояния боковых пород в модели от жесткости c , (H/m) охранного сооружения: а) при охране откаточного штрека надштрековой бутовой полосой (размер в модели $L=0.03$ м); б) при охране закладочным массивом (размер в модели $L=0.2$ м)

Из приведенных зависимостей видно, что минимальные значения исследуемого коэффициента k_M^r соответствуют минимальной жесткости закладочного массива в модели (рис. 4 а, б). При охране выработки надштрековой бутовой полосой, значения коэффициента k_M^r изменяются от $k_M^r = 0.07 \cdot 10^{-3}$ до $k_M^r = 0.18 \cdot 10^{-3}$, при увеличении жесткости бутовой полосы в 3 раза, от $c=30$ Н/м до $c=90$ Н/м (рис. 4 а). При применении закладки выработанного пространства, диапазон изменения исследуемого коэффициента находится в пределах $k_M^r = (1.8...53) \cdot 10^{-3}$, когда жесткость закладочного массива изменяется с $c=30$ Н/м до $c=90$ Н/м. При этом значение параметра L , (м) в модели, увеличивается (рис.4б).

Полученные результаты исследований указывают на то, что использование в охране

Выражение (4) позволяет оценить влияние закладочного массива на напряженное состояние боковых пород в откаточных штреках с помощью коэффициента k_M^r , зависящего от жесткости охранных сооружений, расположенных над штреком, изгибной жесткости боковых пород и размеров участка пород кровли, поддерживаемого охранным сооружением.

На рис. 4 представлены графики изменений коэффициента k_M^r , учитывающего уровень напряженно-деформированного состояния боковых пород в модели от жесткости охранных сооружений, расположенных над штреком, с учетом размеров поддержания нависающей толщи в углепородном массиве.

участковых подготовительных выработок закладочного массива, размещенного в отработанной части лавы, приводит к снижению отрицательных проявлений горного давления в выработках и уменьшает уровень напряженно-деформированного состояния боковых пород в области откаточного штрека, в сравнении с традиционными способами охраны. Именно за счет изменения параметров L (м) и c (Н/м), входящих в выражение (4), происходит перераспределение напряжений на границе контакта боковых пород с закладочным массивом. Увеличение жесткости закладочного массива, способствует приросту уровня напряжений в кровле и почве угольного пласта. При увеличении площади поддержания пород нависающей толщи закладочным массивом, происходит их плавный прогиб боковых пород по всей длине лавы.

Выводы

Таким образом, знание закономерностей влияния закладочных массивов на напряженное состояние боковых пород в откаточных штреках и особенностей изучаемого процесса, способствует принятию обоснованных решений по применению способов, обеспечивающих эксплуатационное состояние горных выработок и разработке мероприятий, направленных на снижение уровня травматизма от обвалов и обрушений. При разработке угольных пластов крутонаклонного и крутого падения, наличие закладки выработанного пространства над откаточным штреком, оказывает существенное положительное влияние на формирование условий поддержания участков подготовительных выработок, их сохранность в рабочем состоянии. При этом необходимо учитывать оптимальный гранулометрический состав дробленой породы, влияющий на жесткость охранного сооружения.

Список литературы

1. Жуков, В. Е. Об одной стратегической ошибке в разрешении проблемы разработки крутых пластов / В. Е. Жуков // *Уголь Украины*. – 2001. – №7. – С. 6-10.
2. Николин, В. И. Снижение травматизма от проявлений горного давления / В. И. Николин, С. В. Подкопаев, А. В. Агафонов, Н. В. Малеев. – Донецк: Норд-Пресс, 2005. – 332 с.
3. Шашенко, А. Н. Геомеханика / А. Н. Шашенко, В. П. Пустовойтенко, Е. А. Сдвижикова. – К.: Новый друк, 2016. – 528 с.
4. Викторов, С. Д. Сдвигение и разрушение горных пород / С. Д. Викторов, М. А. Иофис, С. А. Гончаров. – Москва: Наука, 2005. – 277 с.
5. Селезень, А. Л. Поддержание подготовительных выработок при разработке крутых пластов / А. Л. Селезень, А. Г. Томасов, В. Ф. Андрушко. – М.: Недра, 1977. – 205 с.
6. Зборщик, М. П. Механизм повышения устойчивости кровли в лавах при применении закладки выработанного пространства / М. П. Зборщик, С. В. Подкопаев // *Уголь Украины*. – 1992. – № 5. – С. 20-23.
7. Методические указания по изготовлению моделей из оптически чувствительных материалов для исследования проявлений горного давления. – Л.: ВНИМИ, 1970. – 180 с.
8. Хаймова-Малькова, Р. И. Методика исследования напряжений поляризациино-оптическим методом / Р. И. Хаймова-Малькова. – М.: Наука, 1970. – 194 с.
9. Тимошенко, С. П. Механика материалов / С.П. Тимошенко, Дж. Гере. – СПб.: «Лань», 2002. – 672 с.
10. Баклашов, И. В. Деформируемость и разрушение породных массивов / И. В. Баклашов. – М.: Недра, 1988. – 271 с.
11. Тирский, Г. А. Анализ размерностей / Г. А. Тирский // *Соросовский образовательный журнал*. – 2001. – Т. 7, № 6. – С. 82-87.
12. Бриджмен, П. В. Анализ размерностей / П. В. Бриджмен. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 148 с.

13. Циглер, Ф. Механика твердых тел и жидкостей / Ф. Циглер. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». – 2002. – 912 с.
14. Atanackovic, T. M. Theory of Elasticity for Scientists and Engineers / T. M. Atanackovic, A. Guran. – Springer Science Business Media New York, 2000. – XII. – 374 p.
15. Boresi, A. P. Elasticity in Engineering Mechanics / A. P. Boresi, K. P. Chong, J. D. Lee. – John Willy & Sons, 2010. – 654 p.
16. Gould, P. L. Introduction to Linear Elasticity / P. L. Gould. – Springer, 2013. – 346 p.

References (transliterated)

1. Zhukov, V. Ob odnoy strategicheskoy oshibke v razreshenii problemy razrabotki krutykh plastov [About one strategic mistake in resolving the problem of developing steep seams] *Coal of Ukraine*, 2001, 7, 6-10.
2. Nikolin, V. I., Podkopaev, S. V., Agafonov, A. V., Maleev, N. V. Snizhenie travmatizma ot proyavlenij gornogo davlenija [Injury Reduction of manifestations of rock pressure], Donetsk, Ukraine, 2005, 332.
3. Shashenko, A. N., Pustovoitenko V. P., Sdvizhikova E. A. Geomekhanika [Geomechanics]. K.: New druk, 2016, 528.
4. Viktorov, S., Iofis, M., Goncharov, S. Sdvizheniye i razrusheniye gornykh porod [Sliding and rock destruction]. Moscow: Nauka, 2005, 277.
5. Selezen, A., Tomasov, A., Andrushko, V. Podderzhanie podgotovitel'nykh vyrabotok pri razrabotke krutykh plastov [Maintenance of preparatory workings in the development of steep formations]. Moscow: Nedra, 1977, 205.
6. Zborshchik, M., Podkopaev, S. Mekhanizm povysheniya ustoychivosti krovli v lavakh pri primenenii zakladki vyrabotannogo [The mechanism of increasing the stability of the roof in the pits when using the laying of a goaf]. *Coal of Ukraine*, 1992, 5, 20-23.
7. Metodicheskie ukazaniya po izgotovleniju modelej iz opticheski chuvstvitel'nykh materialov dlja issledovaniya proyavlenij gornogo davlenija [Guidelines for the manufacture of models of optically sensitive materials for the study of manifestations of rock pressure]. Lviv: VNIMI, 1970, 180.
8. Haimova-Mal'kova, R. I. Metodika issledovaniya naprjazhenij poljarizacionno-opticheskim metodom [The method of studying stresses by the polarization-optical method], Nauka, 1970, 194.
9. Timoshenko, S., Gere, J. Mekhanika materialov [Mechanics of Materials], St. Petersburg: "Doe", 2002, 672.
10. Baklashov, I. Deformiruyemost' i razrusheniye porodnykh massivov [Deformability and destruction of rock masses] Moscow: Nedra, 1988, 271.
11. Tirsky, G. Analiz razmernostey [Dimensional Analysis]. *Soros Educational Journal*, 2001, 7, 6, 82-87.
12. Bridgman, P. Analiz razmernostey [Dimension Analysis]. Izhevsk: Research Center "Regular and Chaotic Dynamics", 2001, 148.
13. Ziegler, F. Mekhanika tverdykh tel i zhidkostey [Mechanics of solids and liquids]. Izhevsk: SIC "Regular and chaotic mechanics", 2002, 912.
14. Atanackovic, T. M., Guran, A. Theory of Elasticity for Scientists and Engineers.-Springer Science Business Media New York, 2000, XII, 374.
15. Boresi, A. P., Chong, K. P., Lee, J. D. Elasticity in Engineering Mechanics. John Willy & Sons, 2010, 654.
16. Gould, P. L. Introduction to Linear Elasticity. Springer, 2013, 346.

Сведения об авторах (About the Authors)

Кипко Александр Эрнестович – доктор технических наук, профессор, Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», Покровск, Украина; ORCID: 0000-0001-9991-781X; e-mail: oleksander.kipko@donntu.edu.ua.

Aleksander Kipko – Doctor of Technical Sciences, Professor, Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine, ORCID: 0000-0001-9991-781X; e-mail: oleksander.kipko@donntu.edu.ua.

Гого Владимир Бейлович – доктор технических наук, профессор, Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», Покровск, Украина, ORCID: 0000-0002-2239-4042; e-mail: volodymyr.hoho@ii.donntu.edu.ua.

Vladimir Gogo – Doctor of Technical Sciences, Professor Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine, ORCID: 0000-0002-2239-4042; e-mail: volodymyr.hoho@ii.donntu.edu.ua.

Чепига Дарья Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры Разработка месторождений полезных ископаемых, Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», г. Покровск, Украина; e-mail: daria.chepiha@donntu.edu.ua.

Daria Chepiga – Candidate of Technical Sciences, Public higher education institution Donetsk National Technical University, associate professor of Development of mineral deposits Department, Pokrovsk, Ukraine; e-mail: daria.chepiha@donntu.edu.ua.

Симонова Юлия Игоревна – аспирант кафедры Разработка месторождений полезных ископаемых, Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», Покровск, Украина; ORCID: 0000-0002-9192-7850; e-mail: yuliia.simonova@donntu.edu.ua

Yuliia Simonova – postgraduate student, Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine; ORCID: 0000-0002-9192-7850; e-mail: yuliia.simonova@donntu.edu.ua.

Подкопаев Евгений Сергеевич – инженер, Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», Покровск, Украина; e-mail: eng.ep@seznam.cz.

Yevgen Podkopyayev – engineer, Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine; e-mail: eng.ep@seznam.cz.

Бойченко Геннадий Эдуардович – директор ООО «Шахта «Свято-Покровская №3», Покровск, Украина; e-mail: ge.boychenko@gmail.com.

Hennadii Boichenko – Director of Svyato-Pokrovskaya Mine 3, LLC, Pokrovsk, Ukraine; e-mail: ge.boychenko@gmail.com.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Кипко А. Э. Закономерности влияния складочных массивов на напряженное состояние боковых пород в откаточных штреках / **А. Э. Кипко, В. Б. Гого, Д. А. Чепига, Ю. И. Симонова, Е. С. Подкопаев, Г. Э. Бойченко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2019. – № 2. – С. 17-24. – doi:10.20998/2413-4295.2019.02.03.

Please cite this article as:

Kipko, O., Gogo, V., Chepiga, D., Simonova, Y., Podkopyayev, Y., Boichenko, H. Regularities of the influence of laying arrays on the stressed state of the lateral rocks in the rolling shtres. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019, 2, 17-24, doi:10.20998/2413-4295.2019.02.03.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Кіпко, О. Е. Закономірності впливу складних масивів на напружений стан бічних порід у відкотних штреках / **О. Е. Кіпко, В. Б. Гого, Д. А. Чепіга, Ю. І. Сімонова, Е. С. Подкопаєв, Г. Е. Бойченко** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 2. – С. 17-24. – doi:10.20998/2413-4295.2019.02.03.

АНОТАЦІЯ Метою досліджень є визначення на оптичних моделях, що імітують вуглепородний масив з виробками, закономірності розподілу напружень в бічних породах при охороні відкотних штреків закладних масивом. У роботі використовується комплексний метод, що включає аналіз та узагальнення умов охорони й підтримки дільничних підготовчих виробок при розробці крутонахилених і крутих вугільних пластів, фізичне моделювання з оптичними матеріалами і обробку експериментальних даних. В результаті виконаних досліджень стійкості дільничних підготовчих виробок, при їх охороні податливими спорудами, встановлено вплив закладного масиву на напружений стан бічних порід. Працівниками Державтоінспекції зафіксовано, що зі збільшенням жорсткості надштрекової охоронної смуги з роздробленої породи обмежених розмірів, найбільші дотичні напруження концентруються в області контуру виробки і біля верхньої межі бутової смуги. Розміщення закладного масиву в відпрацьованій частині лави, на висоту поверху, забезпечує плавний прогин бічних порід всією площею виробленого простору і рівномірний розподіл напружень у бічних породах. Напружено-деформований стан бічних порід у вуглепородному масиві, що вміщає вироблення, залежить від жорсткості охоронних споруд, фізико-механічних властивостей бічних порід і довжини ділянки в породах покрівлі, який підтримується охоронними спорудами. Вплив закладного масиву на напружений стан бічних порід, оцінюється за допомогою коефіцієнта, що враховує рівень концентрації напружень в породах покрівлі й ґрунту пласта, величина якого залежить від жорсткості охоронних споруд, розташованих над штреком, згинальної жорсткості бічних порід і довжини ділянки в породах покрівлі, який підтримується охоронними спорудами. В умовах глибоких шахт, при розробці крутонахилених і крутих вугільних пластів, експлуатаційний стан дільничних підготовчих виробок, коли для їх охорони використовуються надштрекові бутові смуги або закладка виробленого простору при веденні очисних робіт, забезпечується з урахуванням оптимального гранулометричного складу роздробленої породи, що впливає на величину жорсткості охоронної споруди.

Ключові слова: гірничий тиск; обвалення; згинальні коливання; динамічні навантаження; податлива опора; закладка виробленого простору

Поступила (received) 02.10.2019