

УДК 622.274.-622.834.2

doi: <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2019-1-53-64>

В.Б. Гого
А.Э. Кипко
Н.Н. Власенко
Ю.И. Симонова
А.В. Положий
Е.С. Подкопаев

ОСОБЕННОСТИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БОКОВЫХ ПОРОД В ОЦЕНКЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Цель. Целью исследования является определение характеристик напряженно-деформированного состояния боковых пород в углепородном массиве, вмещающем выработки, при которых возникают негативные проявления горного давления в откаточных штреках, приводящие к ухудшению их эксплуатационного состояния.

Методы. Для достижения поставленной цели, в работе используется комплексный метод, включающий анализ и обобщение условий охраны и поддержания участковых выработок, аналитические исследования с использованием основных положений теории упругости, физическое моделирование с оптическими материалами, обработку экспериментальных данных и экстраполяционные обобщения.

Результаты. На моделях из оптически чувствительных материалов выполнены лабораторные исследования о распределении напряжений в углепородном массиве, при различных способах охраны пластовых откаточных штреков. Доказано, что чем больше несущая способность охранных сооружений, расположенных над штреком и их жесткость, при прочих равных условиях, тем большим разрушающим усилиям подвергаются породы кровли угольного пласта в местах перенапряжений, которые образуются позади очистного забоя, за счет контакта применяемых средств охраны с боковыми породами.

Научная новизна. Особенностью определения параметров напряженно-деформированного состояния боковых пород в углепородном массиве, вмещающем выработки, при моделировании устойчивости откаточных штреков, является учет изгибных деформаций кровли, величина которых зависит от физико-геометрических характеристик конкретной геомеханической системы.

Практическая значимость. Применение податливых охранных сооружений или закладки выработанного пространства, для охраны откаточных штреков, значительно улучшает состояние боковых пород позади очистного забоя и, как следствие этого, повышается устойчивость участковых подготовительных выработок.

Ключевые слова: горное давление; обрушения; очистной забой; боковые породы, динамические нагрузки; податливая опора; закладка выработанного пространства, деформации, перемещение, способ охраны.

Введение.

Общеизвестно, что эффективность отработки угольных пластов и безопасность ведения горных работ на шахтах, в значительной степени зависит от состояния горных выработок. Опыт работы шахт Донбасса, разрабатывающих угольные пласты, особенно крутонаклонного и крутого залегания показывает, что при традиционных способах управления горным давлением полным обрушением или удержанием кровли на кострах, применяемая в очистном забое крепь, не всегда способна противостоять сдвигению расслоившихся боковых пород в окрестности поддерживаемых горных выработок. Применяемые, в настоящее время, способы охраны пластовых штреков конструкциями из дерева (кусты из стоек, органический ряд) или целиками угля, не всегда обеспечивают надежную защиту выработок

от опасных проявлений горного давления, что приводит к потере площади поперечного сечения штреков, а значит, к ухудшению их устойчивости.

Анализ последних достижений и публикаций.

Анализ известных исследований показывает, что проявления горного давления в выработках, зависят от совокупного влияния многих горно-геологических факторов, к которым первоначально 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, в результате чего формируются условия обрушения и происходит ухудшение устойчивости горных выработок, а также травмирование горнорабочих.

Известно [1,2], что закладка выработанного пространства оказывает, в сравнении с другими способами управления горным давлением, более заметное положительное влияние на состояние пород кровли и способствует улучшению геомеханической обстановки в окрестности очистной выработки и прилегающих пластовых штреках. Это не может быть отнесено только к влиянию уменьшения эффективной мощности пласта, т.к. при одинаковой эффективной мощности, но при отработке лав с полным обрушением или полной закладкой выработанного пространства, не наблюдается одинаковой геомеханической картины. Очевидно, что природа улучшения состояния боковых пород при закладке, объясняется характером взаимодействия кровли или почвы разрабатываемого пласта с закладочным массивом и, имеет место только при его определенных параметрах.

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 всяческого бока, заключается в закрытии над закладочным массивом трещин разлома в породах кровли угольного пласта [1,2,3]. Поэтому, существенно изменить геомеханическую обстановку в углепородном массиве, можно за счет применения закладки выработанного пространства при ведении очистных работ, что будет способствовать не только сохранению устойчивости боковых пород, но и сохранению прилегающих участков выработок в эксплуатационном состоянии, а также повышению безопасности труда горнорабочих в подземных условиях.

Постановка задачи.

Определить параметры напряженно-деформированного состояния боковых пород и выполнить лабораторные исследования на моделях из оптических материалов по изучению особенностей

распределения напряжений в углепородном массиве, вмещающем выработки, для обеспечения их эксплуатационного состояния.

Изложение основного материала.

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

Внезапность обрушений расслоившихся боковых пород, приводящая к завалам горных выработок, обуславливается прежде всего горно-геологическим фактором, когда при ведении очистных работ, в призабойном пространстве лавы, происходит последовательное отделение слоев от вышележащей толщи и их прогиб по нормам к напластованию, подобно балке, имеющей опоры [4].

Известно [4,6], что исследования напряженно-деформированного состояния массива осадочных горных пород, основываются на применении теории упругости. Эта задача решается с использованием методов сопротивления материалов. Согласно гипотезе балок [5] считается, что в очистном забое непосредственная и основная кровля угольного пласта, представленные твердыми слоистыми породами, деформируются и разрушаются подобно балке, с всевозможными вариантами опорных связей.

Применительно к решаемой задаче, принимаем модель кровли угольного пласта в виде балки (рис.1). Исследуем ее как систему, длина которой L , (м), толщина h , (м), ширина b , (м), модуль упругости E , (МПа), имеющей жесткое защемление одной опоры и подвижную шарнирную опору (рис.1а) или оба конца балки имеют жесткое защемление (рис.1б). Опорные реакции и изгибающие моменты в поперечном сечении такой балки, могут возникать не только в результате нагружения внешними силами, но и из-за угловых или линейных перемещений опор балки [7,8,10].

Исследуем первый вид деформации балки (рис.1а). Один конец балки имеет

жесткое защемление, второй конец балки-подвижную шарнирную опору. Считаем перемещение подвижной опоры, равным $\Delta_B=1$. Заменяем опору В неизвестной реакцией X_1 .

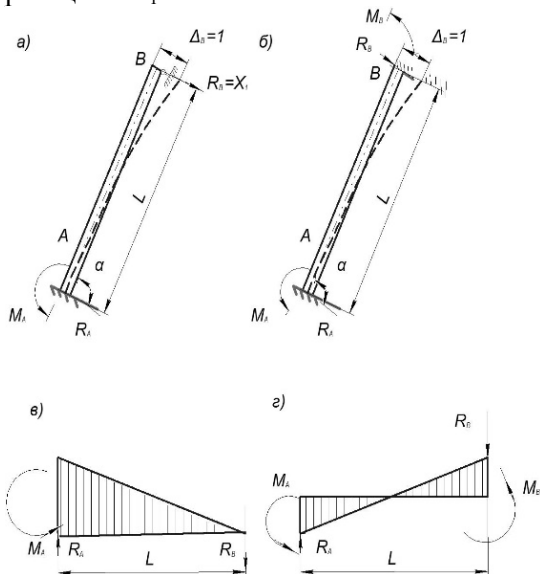


Рис.1 Расчетная схема к определению напряженно- деформированного состояния пород кровли: а)балка с подвижной опорой; б) жесткое защемление балки; в,г) эпюра изгибающих моментов для балки с подвижной опорой (в) и в случае ее жесткого защемления (г); L- длина балки, м; R_A , R_B - реакции опор, соответственно, А и В, Н; M_A , $M_{A,B}$ - изгибающий момент, соответственно, в опоре А и В; Н·м; α - угол наклона балки, град; Δ_B - перемещение опоры В, м.

Очевидно то, что значение реакции X_1 должно быть таким, чтобы перемещение опоры В от действия X_1 , было равно Δ_B , т.е.

$$\Delta(X_1) = \Delta_B. \quad (1)$$

Следовательно,

$$\Delta(X_1) = \delta_{11}X_1, \quad (2)$$

откуда

$$X_1 = \frac{\Delta_B}{\delta_{11}}, \quad (3)$$

где $\delta_{11}X_1$ - перемещение опоры В от действия силы X_1 , м;

δ_{11} - перемещение опоры В от действия единичной силы, приложенной к балке, м.

Для определения δ_{11} вычисляем соответствующий интеграл Мора [7,9]

$$EI\delta_{11} = \int \bar{M}_1 M_1 dx, \quad (4)$$

где EI - изгибная жесткость поперечного сечения балки, Н·м²;

E - модуль упругости, Н/м²;

I - главный осевой момент инерции исследуемого поперечного сечения балки, м⁴.

Рассмотрим эпюру изгибающих моментов (рис.1в) и используем способ Верещагина [7,9] для вычисления интеграла Мора. В таком случае, имеем

$$EI\delta_{11} = \frac{1}{2}LL\frac{2}{3}L = \frac{1}{3}L^3, \quad (5)$$

когда

$$\delta_{11} = \frac{L^3}{3EI}. \quad (6)$$

Из (3) видно, что

$$X_1 = \frac{3EI}{L^3} \cdot \Delta_B. \quad (7)$$

Реакция R_A , (Н) в опоре А, из условия равновесия

$$\sum P_{iy} = 0, \quad (8)$$

определяется как

$$R_A = R_B = X_1 = \frac{3EI}{L^3} \cdot \Delta_B. \quad (9)$$

Изгибающий момент M_A , (Н·м), в опоре А из условия равновесия

$$\sum M_A(P_i) = 0, \quad (10)$$

определяется как

$$M_A = M_B = R_B \cdot L = \frac{3EI}{L^2} \cdot \Delta_B. \quad (11)$$

Теперь проанализируем второй вид деформации балки, когда оба конца имеют жесткое защемление (рис.1б). Правому торцу балки сообщается единичное линейное перемещение $\Delta_B = 1$.

С учетом рекомендаций, изложенных в [7,9], эпюры изгибающих моментов, показанной на (рис.1г), определим искомые реакции балки.

В случае, изображенном на рис. 1б, имеем

$$R_A = R_B = \frac{12EI}{L^2} \Delta_B \quad (12)$$

и

$$M_A = M_B = \frac{6EI}{L^2} \Delta_B. \quad (13)$$

Исследуем модель, в которой непосредственную кровлю угольного пласта рассмотрим в виде балки, длиной L, (м). Балка имеет высоту $h=1.0$ м, ширину $b=1.0$ м, модуль упругости $E=8000$ МПа и различные виды опорных связей. В одном случае, на одном конце балки имеем подвижную опору, а в другом – жесткое защемление. Перемещение опоры В, в рассматриваемых случаях, считается единичным, т.е. $\Delta_B = 1$, когда для охраны откаточного штрека применяем целики угля или закладку выработанного пространства.

На рис.2 представлены графики изменений величины реакции опоры В - R_B ,

(Н) и изгибающего момента в опоре А- M_A , (Н·м) от длины балки L , (м), при разных видах опорных связей.

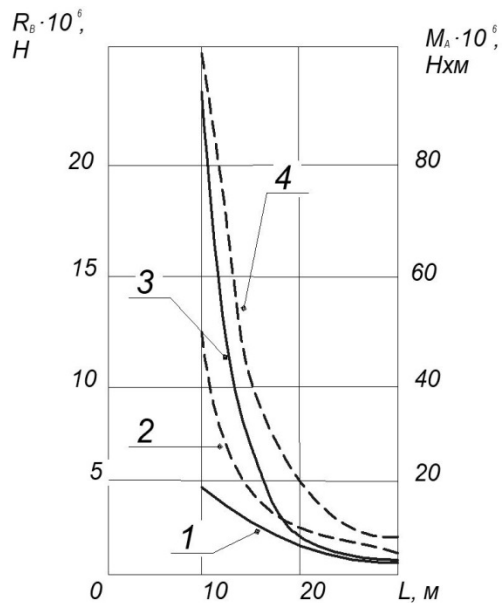


Рис.2 Графики изменений величины реакции опоры В- R_B , (Н) и изгибающего момента M_A , (Н·м) от длины балки L , (м) при различных видах опорных связей: 1,2- подвижная опора; 3,4 – жесткое защемление; 1,3- R_B , (Н); 2,4- M_A , (Н·м).

Из представленных зависимостей видно, что для балки длиной $L=10$ м, при наличии подвижной опоры, ее реакция равна $R_B=4.6 \cdot 10^6$ Н, когда изгибающий момент, соответствует $M_A=50.1 \cdot 10^6$ Н·м (рис.2). В случае, когда балка имеет жесткое защемление, реакция опоры В возрастает до величины $R_B=23 \cdot 10^6$ Н, при увеличении изгибающего момента до $M_A=98 \cdot 10^6$ Н·м (рис.2). По мере увеличения длины балки, значения исследуемых параметров уменьшаются, в связи с уменьшением изгибной жесткости балки (рис.2).

Следует отметить, что в трещиноватом углеродном массиве, когда для охраны откаточного штрека используют угольные целики ограниченных размеров, последние находятся в предельном напряженно-деформированном состоянии. Их несущей способности, недостаточно для поддержания подработанных пород [14,17,18]. Это, с течением времени, приводит к образованию, пустот над штреком и уменьшению жесткости целика по линейному закону [15,16], а значит, в рассматриваемом случае, увеличению перемещения опоры В. Для податливых охранных сооружений,

характерно пластическое деформирование с плавным увеличением их реакции до максимальных значений по гиперболической зависимости [16], когда перемещение опоры В увеличивается и, через некоторый промежуток времени, стабилизируется.

Полученные закономерности используем для оценки результатов моделирования напряженно-деформированного состояния углеродного массива, вмещающего выработки, с учетом применяемого способа охраны откаточного штрека. Полагаем, что при охране откаточного штрека накатными кострами из шпал или закладкой выработанного пространства, кровля угольного пласта деформируется как балка, с подвижной опорой. При охране откаточного штрека целиками угля, деформирование кровли следует рассматривать как балку, с защемленными концами.

Экспериментальные модели. С помощью поляризационно-оптического метода решаются задачи о распределении напряжений в массиве, при его упругом и упругопластическом деформировании. Оптический метод позволяет установить картину распределения напряжений в массиве, которая формируется во вмещающих породах, лишь в первый период после выемки угля.

Целью лабораторных исследований является определение на оптических моделях закономерности распределения напряжений в окрестности откаточных штреков при разных способах охраны, когда происходит снижение отрицательных проявлений горного давления в углеродном массиве, вмещающем выработки.

Теоретические основы моделирования методом фотоупругости, изложены в работах ряда исследователей [11,12].

Для достижения поставленной цели, в лаборатории горного давления ДонНТУ*¹, были изготовлены оптические модели из игдантина (состав материала: глицерин-30%, желатин 25%, вода- 45%). Размеры модели: 300х300 мм, толщина 20 мм, геометрический масштаб 1:100. Модель

¹ *) В изготовлении и отработки моделей, анализе экспериментальных данных принимал участие к.т.н. И.В.Иорданов.

имитировала пластовой штрек с разными способами охраны: целиками угля, накатными кострами из шпал или закладкой выработанного пространства. Критерии подобия, упругие и оптические константы моделей, определены в соответствии с методикой, разработанной в ИГД им. А.А. Скочинского [13]. Исследование моделей производилось на поляризационной установке ППУ-4, известным способом сопоставления цветов и полос распределения касательных напряжений [11,13]. Всего было отработано 16 моделей. 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 рассматривались как непосредственная и основная кровля и почва угольного пласта, мощность которых соответствовала 2 м и 4 м, где m - мощность разрабатываемого пласта, м. Жесткость закладочного массива соответствовала $c_m=35$ Н/м, целиков угля- $c_{ц}=150$ Н/м. При моделировании имитировали способ управления кровлей полным обрушением, когда откаточный штрек охраняли целиками угля, удержанием на кострах, когда использовали накатные костры из шпал и, полной закладкой выработанного

пространства, когда над подготовительной выработкой располагалась широкая надштрековая полоса из породы.

Модель загружалась по схеме, когда вертикальная нагрузка соответствовала глубине $H=1200$ м, а горизонтальная нагрузка, создавалась отпором боковых стенок модели. Угол падения пласта $\alpha=60^\circ$. Накатные костры из шпал, возводимые над штреком, которые имеют усадку до 50%, моделировались поролоном, пропитанным парафином. Закладка выработанного пространства из дробленой породы, имеющая усадку до 30%, моделировалась поролоном (с учетом пропитки парафином).

При анализе статического поля касательных напряжений в углепородном 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 [14].

На рис.3 а, б представлены схемы модели статического поля касательных напряжений в углепородном массиве, при охране откаточного штрека целиками угля разных размеров.

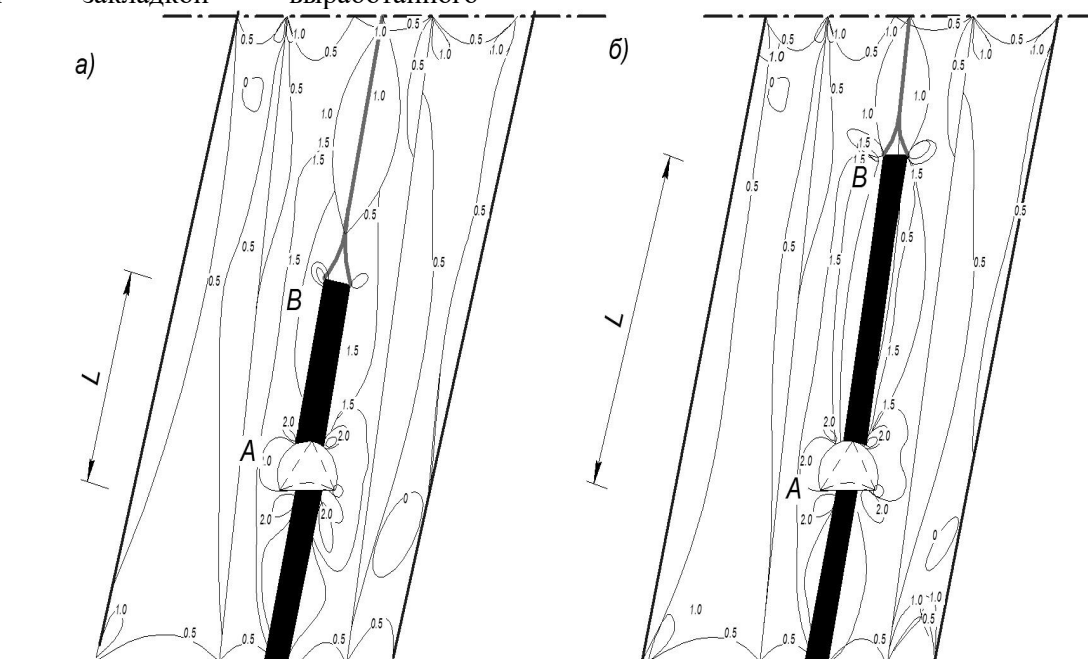


Рис.3 Схема модели статического поля касательных напряжений в окрестности откаточного штрека при охране целиками угля: а) высота целика $h=4$ м; б) высота целика $h=8$ м; L - длина поддерживаемого целиком участка кровли, м.

Анализ статического поля напряжений в моделях, указывает на то, что при охране пластового откаточного штрека целиками угля высотой $h=4\text{ м}$, имеем максимальную концентрацию напряжений в боковых породах и в окрестности откаточного штрека (рис.3а).

Использование целиков угля для охраны откаточных штреков, сопровождается их интенсивным силовым обыгрыванием со стороны кровли и почвы угольного пласта. При увеличении высоты целика до $h=8\text{ м}$, т.е. в 2 раза, концентрация напряжений несколько уменьшается. Это происходит в результате увеличения площади контакта целика с породами кровли и почвы угольного пласта (рис.3б).

Изучение модельных картин распределения напряжений в окрестности откаточного штрека при охране целиками угля разных размеров показывает, что во всех случаях наибольшие касательные напряжения концентрируются вблизи контура выработки и у верхней границы целика, в месте изгиба пород кровли и почвы разрабатываемого пласта. Концентрация напряжений в подошве штрека, по сравнению с концентрацией напряжений в кровле, обусловлена разной кривизной контура выработки (наличие прямых углов). Характерно, что с увеличением высоты целика, высокая концентрация напряжений перемещается в глубину массива.

Из анализа моделей следует, что негативные проявления горного давления в окрестности подготовительных выработок сводятся к минимуму, при использовании в качестве охранных сооружений- податливых опор или закладок выработанного пространства (рис.4 и 5).

При охране участковой подготовительной выработки накатными кострами из шпал, которые размещаются над откаточным штреком, в боковых породах заметно снижается концентрация напряжений, по сравнению с охраной целиками угля (рис.4). Это происходит за счет плавного прогиба кровли, но на ограниченной площади контакта накатных костров с боковыми породами. Следует отметить, что накатные костры из шпал, представляют собой охранное сооружение нарастающего сопротивления, которое после возведения за лавой, при исчерпании своей

податливости, обыгрывается боковыми породами, с последующим изгибом кровли и почвы угольного пласта над откаточным штреком.

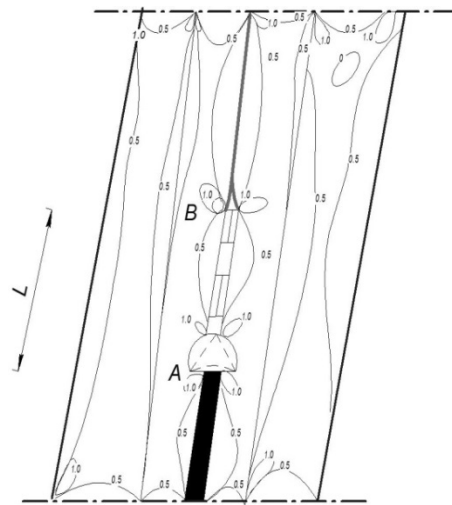


Рис.4 Схема модели статического поля касательных напряжений в окрестности откаточного штрека при охране накатными кострами из шпал; L- длина участка кровли поддерживаемого накатными кострами, м.

На рис.5 изображена схема модели статического поля касательных напряжений в окрестности откаточного штрека, при способе управления кровлей в очистном забое- закладкой выработанного пространства.

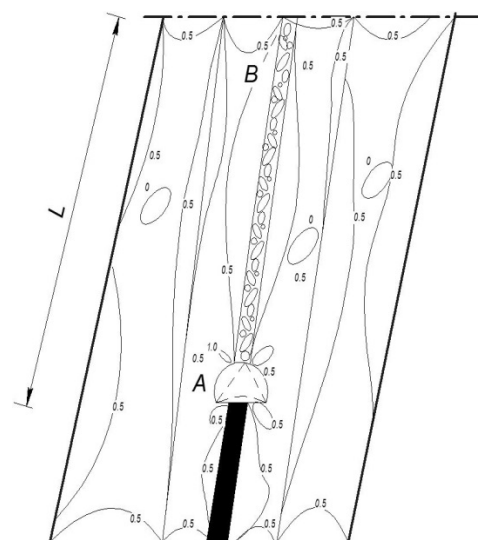


Рис.5 Схема модели статического поля касательных напряжений в окрестности откаточного штрека при способе управления горным давлением полной закладкой выработанного пространства: L- длина поддерживаемого участка кровли закладочным массивом, м.

Полученные данные моделирования показывают, что использование закладки выработанного пространства для поддержания боковых пород, снижает концентрацию напряжений в углепородном массиве, в окрестности пластового откаточного штрека, по сравнению с охраной целиками угля и даже, накатными кострами из деревянных шпал. Очевидно то, что размещение закладочного массива по всей длине отработанной части лавы (позади очистного забоя), т.е. над штреком, в виде широкой податливой полосы из дробленой породы, обеспечивает плавный прогиб боковых пород. При этом площадь фактического касания оседающих пород с надштрековой податливой полосой увеличивается и происходит только перераспределение напряжений на границе контакта пород кровли и почвы с закладочным массивом (рис.5).

При отработке моделей, для определения параметров напряженно-деформированного состояния боковых пород в углепородном массиве, вмещающем выработку, учитывалась нагрузка, эквивалентная моделируемой глубине горных работ, при действии которой боковые породы испытывали изгибные деформации.

Для интерпретации полученных результатов моделирования, с использованием выражений (11) и (13), определялась величина изгибающего момента M_A , (Н·м), возникающего в кровле выработки, при разных способах охраны. Исходными данными для такого расчета являются: ширина балки $b=0.02$ м, высота балки $h=0.01$ м, модуль упругости боковых пород $E=8000$ МПа, L , (м)- длина участка пород кровли, поддерживаемого охранным сооружением и перемещение опоры B , которые принималось равным $\Delta_B=0,001$ м для случаев, когда откаточный штрек охраняли целиками угля или применяли широкую податливую полосу.

На рис.6 представлены графики изменений величины изгибающего момента M_A , (Н·м) в опоре А от длины L , (м), поддерживаемого участка пород кровли по восстановлению пласта.

Из приведенных зависимостей следует, что с увеличением длины L , (м), величина изгибающего момента M_A , (Н·м), в

кровле выработки уменьшается при охране откаточного штрека как целиками угля, так и широкой податливой полосой из дробленой породы податливыми средствами охраны (рис.6, зависимость 1,2).

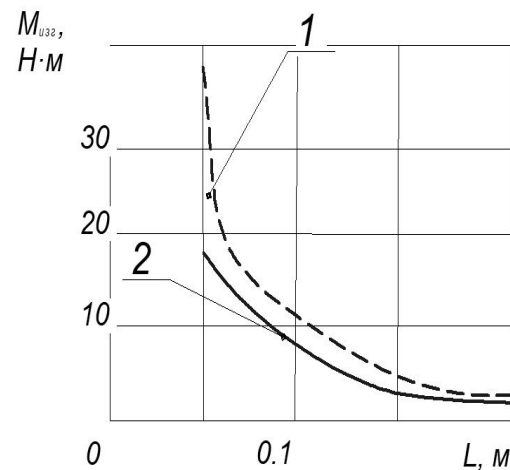


Рис.6 Графики изменений величины изгибающего момента M_A , (Н·м) в опоре А от длины L , (м) поддерживаемого участка пород кровли: 1- целиками угля; 2- податливыми охранными сооружениями.

Установлено, что при использовании для охраны штреков целиков угля, с увеличением их высоты от $h=4$ м до $h=8$ м, когда L , (м) увеличивается с $L=0.05$ до $L=0.2$ м, изгибающий момент M , (Н·м), уменьшается в 18 раз, с $M_A=36$ Н·м до $M_A=2$ Н·м (рис.6, зависимость 1). При охране откаточного штрека широкой податливой полосой, при увеличении L , (м) с $L=0.02$ м до $L=0.2$ м, изгибающий момент уменьшается так же в 18 раз, с $M_A=18$ Н·м до $M_A=1$ Н·м (рис.6, зависимость 2).

Однако, такая закономерность справедлива только в первый период времени после выемки угля в лаве. По мере увеличения параметра L , (м), эта разница уменьшается, в результате уменьшения изгибной жесткости боковых пород.

При разработке угольных пластов крутонаклонного и крутого залегания, можно принимать давление вышележащей толщи на охранный сооружение и крепь выработки, как действие консольной балки. При охране выработки целиками угля, по мере подвигания очистного забоя, эта консоль из-за разрушения целика все более прогибается, оказывая давление на охранный сооружение и крепь откаточного штрека. Поэтому, при сравнении предполагаемых

напряжений и смещений, вызывающих деформацию пород и крепи, эффективность способа охраны пластовых подготовительных выработок податливыми надштрековыми полосами из закладочного материала, становится очевидной.

Считается [15], что уровень напряженно-деформированного состояния боковых пород, зависит от жесткости охранных сооружений. Степень влияния жесткости целиков и надштрековой податливой полосы на характер распределения напряжений в модели, предлагается оценивать коэффициентом

$$k_M^T = \frac{cL^3}{EI}, \quad (14)$$

величина которого зависит от соотношения входящих в выражение (14) величин, когда максимальным значениям этого коэффициента, соответствует максимальная жесткость охранных сооружений и высокий уровень концентрации напряжений в углепородном массиве, вмещающем выработку.

На рис.7 представлены графики изменений коэффициента k_M^T от параметра L , (м) в модели, с учетом способа охраны откаточного штрека.

Из приведенных зависимостей видно (рис.7), что при постоянной изгибной жесткости боковых пород ($EI = \text{const}$) и охране штрека целиками угля, по мере увеличения параметра L , (м), с $L = 0.05$ м до $L = 0.2$ м, значения коэффициента k_M^T увеличиваются с $k_M^T = 0.0005$ до $k_M^T = 0.03$, т.е. приблизительно в 60 раз (рис.7, зависимость 1). При охране откаточного штрека закладкой выработанного пространства, когда параметр L , (м), увеличивается $L = 0.05$ м до $L = 0.2$ м, значения коэффициента k_M^T увеличиваются с $k_M^T = 0.0001$ до $k_M^T = 0.007$, т.е. в 70 раз (рис.7, зависимость 2). Полученные данные свидетельствуют о том, что при одинаковых значениях параметра L , (м) и разных способах охраны откаточного штрека, значения коэффициента k_M^T отличаются в 4-5 раз. Так, при $L = 0.05$ м и наличии над штреком закладки выработанного пространства, значения k_M^T в 5 раз меньше, чем при охране выработки целиками угля. С увеличением в модели параметра L , (м), до $L = 0.2$ м, эта разница уменьшается до 4.2 раза. Однако, во всех случаях, охрана штрека целиками угля

сопровождается ростом напряженно-деформированного состояния боковых пород, а сам целик угля, является концентратом напряжений. Очевидно то, что при выборе способа охраны пластовых откаточных штреков, одним из основных параметров, определяющих уровень напряженно-деформированного состояния боковых пород, является жесткость охранных сооружений.

Изложенное позволяет утверждать, что при различных значениях параметра L , (м), характер и уровень напряженно-деформированного состояния боковых пород изменяется, а значит, влияние размеров одних и тех же опор, при их одинаковой жесткости, на распределение напряжений в углепородном массиве, вмещающем выработку, различно. Из этого видно, что утверждать о податливости или жесткости опор, используемых в моделях для охраны пластовых участков подготовительных выработок, можно лишь по отношению к физико-геометрическим характеристикам конкретной геомеханической системы. Причем, эта оценка может изменяться, в зависимости от вида и величины внешней нагрузки, действующей на модель.

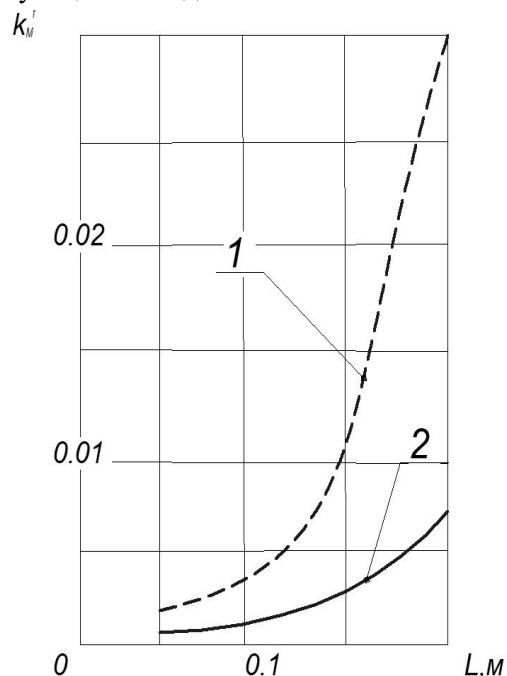


Рис.7. Графики изменений коэффициента k_M^T от параметра L , (м) в модели, при постоянной изгибной жесткости боковых пород ($EI = \text{const}$), с учетом охраны откаточного штрека: 1- целиками угля; 2- закладкой выработанного пространства;

Обсуждение результатов.

Таким образом, в результате проведенных исследований распределения напряжений в окрестности откаточных штреков при разных способах охраны, в лабораторных условиях, на плоских моделях из оптически чувствительных материалов, выполнено моделирование процессов, исследование которых в шахтных условиях невозможно.

Установлено, что наличие податливых опор над штреком или закладочного массива в выработанном пространстве, способствует улучшению геомеханической обстановки - сохранению устойчивости кровли и прилегающих участков подготовительных выработок. Доказано, чем больше несущая способность охранных сооружений и их жесткость, при прочных равных условиях, тем большим разрушающим усилиям подвергаются породы всяческого бока в местах перенапряжений, которые образуются за счет контакта возводимых над штреком средств охраны с боковыми породами. Наличие закладки выработанного пространства над откаточным штреком, создает условия, при которых напряжения в окрестности выработки и на контакте закладочного массива с боковыми породами ниже, чем при использовании целиков угля. Это оказывает существенное положительное влияние на формирование условий поддержания участков подготовительных выработок.

Знание закономерностей и особенностей такого процесса, будет способствовать принятию обоснованных решений по применению способов охраны участков подготовительных выработок, обеспечивающих их эксплуатационные состояние, по мере подвигания очистного забоя и разработке мероприятий, по снижению уровня травматизма от обвалов и обрушений.

Полученные результаты дают основания для вывода, что использование при охране участков подготовительных выработок податливых сооружений, уменьшает уровень напряженно-деформированного состояния боковых пород в окрестности поддерживаемых выработок, по сравнению с охраной целиками угля.

Вывод. При разработке крутонаклонных и крутых угольных

пластов, во избежание аварийных ситуаций, сопровождающихся обрушениями пород кровли и завалами выработок, следует ориентироваться на охрану участков подготовительных выработок податливыми средствами охраны. Применение податливых охранных сооружений или закладки выработанного пространства при ведении очистных работ, значительно улучшает состояние боковых пород и, как следствие этого, повышается устойчивость пластовых подготовительных выработок.

Список литературы

1. Жуков В.Е. Об одной стратегической ошибке в разрешении проблемы разработки крутых пластов // Уголь Украины. 2001. №7. с.6-10.
2. 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.
3. Жуков В.Е., Выстороп В.В., Колчин А.М. и др. Малоотходная технология добычи угля. К.: Техника, 1984. 144с.
4. Шашенко А.Н., Пустовойтенко В.П., Сдвижкова Е.А. Геомеханика. К.: Новый друк, 2016. 528с. ISBN 978-617-635-088-0
5. Рупнейт К.В., Либерман Ю.М. Введение в механику горных пород. М.: Госгортрездат, 1960-355с.
6. Черняев В.И. Расчет напряжений и смещений пород при разработке свиты пластов/ Черняев В.И. К.: Техника 1987.150с.
7. Циглер Ф. Механика твердых тел и жидкостей / Ф.Циглер. - Ижевск: НИЦ « Регулярная и хаотическая динамика» 2002. 912с.
8. Смолин, И.Ю. Аналитическая динамика и теория колебаний/ И.Ю. Смолин, В.В. Караулов-Томск: Томский гос. ун-т, 2012. 172с.
9. Тимошенко С.П., Гере Дж. Механика материалов. – СПб.: Изд-во «Лань», 2002. 672с. ISBN: 5-9511-0003-8.
10. Ginsberg I. Engineering Dynamics. Cambridge University Press. 2008. 726p. ISBN: 0521883032
11. Хаимова-Малькова Р.И. Методика исследования напряжений поляризационно-оптическим методом. Наука, 1970. 194с.
12. Gross D., Ehlers W., Wriggers P., Schroder I., Muller R. Dynamics- Formulas and Problems: Engineering Mechanics. Springer- Verlag, Berlin, Heidelberg, 2017.- 249p.-ISBN: 3662534363
13. Методические указания по изготовлению моделей из оптически чувствительных материалов для исследования проявлений горного давления. Л.: ВНИМИ, 1970.- 180с.
14. Баклашов И.В. Деформируемость и разрушение породных массивов / И.В.Баклашов М.: Недра, 1988. 271с.
15. Ya. Liashok, I.Iordanov, D.Chepiga, S.Podkopaiev. Experimental studies of the seam openings competence in different methods of protection under pitch and steep coal seams development.- Mining of Mineral Deposits. Vol.12 (2018), Issue 4, p.p. 9-19.- doi: 10.1547// mining 12.04.009

16. С.В.Подкопаев, Е.И.Конопелько, Д.А.Чепига, И.В.Иорданов, И.Н.Смолянов. Исследование проявлений горного давления в подготовительных выработках с учетом жесткости охранных сооружений // Весті Донецького гірничого інституту. №1 (42).-2018. с84- 94. doi: 10.31474/1999-981X-2018-1-84-95

17. Фекмистов Ю.Г., Головин А.Д. Обоснование распределения давления на целики в осадочных горных породах. Литосфера. 2015. №6. С.130-135.

18. Протосеня А.Г., Вербило П.Э. Расчет несущей способности и изучение анизотропии прочностных характеристик междукамерных целиков в блочном горном массиве. Сборник трудов (VIII Международная научно-практическая конференция «Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий: Геомеханическое обеспечение проектирования и сопровождения горных работ»). Санкт-Петербург, 2017. С. 219-225.

References

1. Zhukov V.E. About one strategic error in solving the problem of developing steep seams [Ob odnoy strategicheskoy oshibke v razreshenii problemy razrabotki krutyykh plastov]. Coal of Ukraine .2001.No. 7. p. 6-10.

2. Zborshchik, M., Podkopaev, S. The mechanism of increasing the stability of the roof in the pits when using the laying of a goaf [Mekhanizm povysheniya ustoychivosti krovli v lavakh pri primenenii zakladki vyrabotannogo prostranstva]. Coal of Ukraine , 1992.№5. P.20-23.

3. Zhukov, V., Vistorop, V., Kolchin, A. and others Low-waste coal mining technology [Malootkhodnaya tekhnologiya dobychi uglya] .K ,Technics, 1984. 144p.

4. Shashenko A., Pustovoienko V., Sdvizhikova E. Geomechanics [Geomekhanika]. K ., New druk, 2016. 528p. ISBN 978-617-635-088-0

5. Ruppeneyt K.V., Lieberman Yu. M. Introduction to the mechanics of rocks [Vvedeniye v mekhaniku gornyykh porod]. m .: Gosgortezdat, 1960.355 p.

6. Chernyaev V.I. Calculation of stresses and displacements of rocks in the development of a suite of layers [Raschet napryazheniy i smeshcheniy porod pri razrabotke svity plastov] .K .: Technics 1987. 150p.

7. Ziegler, F. Mechanics of solids and liquids [Mekhanika tverdykh tel i zhidkostey]. Izhevsk: SIC "Regular and chaotic mechanics". 2002. 912p.

8. Smolin I.Yu. , Karaulov V.V. Analytical dynamics and theory of oscillations [Analiticheskaya dinamika i teoriya kolebaniy]. Tomsk: Tomsk State. University, 2012. 172c.

9. Timoshenko S.P., Gere J. Mechanics of materials [Mekhanika materialov]. St. Petersburg: Lan, Publishing House, 2002. 672 p. ISBN: 5-9511-0003-8.

10. Ginsberg, I. Engineering Dynamics. Cambridge University Press. 2008. 726p. ISBN: 0521883032

11. Haimova-Malkova R.I. Methods for studying stresses by the polarization-optical method [Metodika issledovaniya napryazheniy polarizatsionno- opticheskim metodom]. Science, 1970.194 p.

12. Gross D., Ehlers W., Wriggers P., Schroder I., Muller R. Dinamics- Formulas and Problems: Engineering Mechanics. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2017.249p. ISBN: 3662534363

13. Guidelines for the manufacture of models of optically sensitive materials for the study of manifestations of rock pressure [Metodicheskiye ukazaniya po izgotovleniyu modeley iz opticheski chuvstvitel'nykh materialov dlya issledovaniya proyavleniy gornogo davleniya]. L .: VNIMI, 1970. 180 p.

14. Baklashov I.V. Deformability and destruction of rock massifs [Deformiruyemost' i razrusheniye porodnykh massivov]. M .: Nedra, 1988. 271 p.

15. Ya. Liashok, I.Iordanov, D.Chepiga, S.Podkopaiev. Experimental studies of the seam openings competence in different methods of protection under pitch and steep coal seams development. *Mining of Mineral Deposits. Vol.12 (2018), Issue 4*, p.p. 9-19. doi: 10.1547//mining 12.04.009

16. S.V. Podkopaev, E.I. Konopelko, D.A.Chepiga, I.V.Iordanov, I.N.Smoljanov. Investigation of rock pressure manifestations in the preparatory workings, taking into account the rigidity of the security structures [Issledovaniye proyavleniy gornogo davleniya v podgotovitel'nykh vyrabotkakh s uchetom zhestkosti okhrannykh sooruzheniy]. *Visty Donetskiy institute. №1 (42).2018.* p84- 94. doi: 10.31474/1999-981X-2018-1-84-95

17. Fekmystov Yu.G., Golovin AD Justification of the distribution of pressure on the pillars in sedimentary rocks [Obosnovaniye raspredeleniya davleniya na tseliki v osadochnyykh gornyykh porodakh]. Lithosphere. 2015. №6. P.130-135.

18. Protosenya A.G., Verbilo P.E. The calculation of the carrying capacity and the study of the anisotropy of the strength characteristics of interchamber pillars in the block mountain range [Raschet nesushchey sposobnosti i izucheniye anizotropii prochnostnykh kharakteristik mezhdukamernyykh tselikov v blochnom gornom massive.]. *Collection of works (VIII International Scientific and Practical Conference "Innovative directions in the design of mining enterprises: Geomechanical support for the design and maintenance of mining")*. St. Petersburg, 2017. p. 219-225.

Надійшла до редакції 19.05.2019

Рецензент д-р. техн. наук, проф. А.В. Віноградов.

Гого Владимир Бейлович – доктор технических наук, профессор, Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», (пл. Шибанкова, 2, г. Покровск, 85300, Украина).

e-mail: volodymyr.hoho@ii.donntu.edu.ua

Кипко Александр Эрнестович– доктор технических наук, профессор, Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», (пл. Шибанкова, 2, г. Покровск, 85300, Украина).

e-mail: oleksander.kipko@donntu.edu.ua.

Власенко Николай Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрическая инженерия», Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет(пл. Шибанкова, 2, г. Покровск, 85300, Украина).

e-mail: mykola.vlasenko@donntu.edu.ua

Симонова Юлія Ігорівна - аспірант кафедри «Разработка месторождений полезных ископаемых», Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», (пл. Шибанкова, 2, г. Покровск, 85300, Україна).

e-mail: yuliia.simonova@donntu.edu.ua

Положий Антон Віталійович – аспірант кафедри «Разработка месторождений полезных ископаемых», Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», (пл. Шибанкова, 2, г. Покровск, 85300, Україна).

e-mail: anpolozhii@gmail.com

Подкопаев Евгений Сергеевич – інженер, Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», (пл. Шибанкова, 2, г. Покровск, 85300, Україна).

e-mail: eng.ep@seznam.cz

ОСОБЛИВОСТІ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ БІЧНИХ ПОРІД В ОЦІНКИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО СТАНУ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК

Мета. Метою дослідження є визначення характеристик напружено-деформованого стану бічних порід в вуглепородному масиві, що вміщає вироблення, при яких виникають негативні прояви гірського тиску у відкотних штреках, що призводять до погіршення їх експлуатаційного стану.

Методи. Для досягнення поставленої мети, в роботі використовується комплексний метод, що включає аналіз і узагальнення умов охорони і підтримки дільничних виробок, аналітичні дослідження з використанням основних положень теорії пружності, фізичне моделювання з оптичними матеріалами, обробку експериментальних даних і екстраполяційні узагальнення.

Результати. На моделях з оптично чутливих матеріалів виконані лабораторні дослідження розподілу напружень в вуглепородному масиві, при різних способах охорони пластових відкотних штреків. Доведено, що чим більше несуча здатність охоронних споруд, розташованих над штреком і їх жорсткість, за інших рівних умов, тим більшим руйнівним зусиллям піддаються породи покрівлі вугільного пласта в місцях перенапруг, які утворюються позаду очисного вибою, за рахунок контакту застосовуваних засобів охорони з бічними породами.

Наукова новизна. Особливістю визначення параметрів напружено-деформованого стану бічних порід в вуглепородному масиві, що вміщає виробки, при моделюванні стійкості відкотних штреків, є врахування згинальних деформацій покрівлі, величина яких залежить від фізико-геометричних характеристик конкретної геомеханічної системи.

Практична значимість. Застосування піддатливих охоронних споруд або закладки виробленого простору, для охорони відкотних штреків, значно покращує стан бічних порід позаду очисного вибою і, як наслідок цього, підвищується стійкість дільничних підготовчих виробок.

Ключові слова: гірський тиск; обвалення; очисний вибій; бічні породи, динамічні навантаження; податлива опора; закладка виробленого простору, деформації, переміщення, способи охорони.

Гого Володимир Бейлович - доктор технічних наук, професор, Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», (пл. Шибанкова, 2, м Покровск, 85300, Україна).

e-mail: volodymyr.hoho@ii.donntu.edu.ua

Кіпко Олександр Ернестович - доктор технічних наук, професор, Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», (пл. Шибанкова, 2, м Покровск, 85300, Україна).

e-mail: oleksander.kipko@donntu.edu.ua

Власенко Микола Миколайович - кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електрична інженерія», Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет» (пл. Шибанкова, 2, м Покровск, 85300, Україна).

e-mail: mykola.vlasenko@donntu.edu.ua

Симонова Юлія Ігорівна - аспірант кафедри «Розробка родовищ корисних копалин», Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», (пл. Шибанкова, 2, м Покровск, 85300, Україна).

e-mail: yuliia.simonova@donntu.edu.ua

Положий Антон Віталійович - аспірант кафедри «Розробка родовищ корисних копалин», Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», (пл. Шибанкова, 2, м Покровск, 85300, Україна).

e-mail: anpolozhii@gmail.com

Подкопаев Євген Сергійович – інженер, Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», (пл. Шибанкова, 2, м Покровск, 85300, Україна).

e-mail: eng.ep@seznam.cz

FEATURES OF THE STRESSED-DEFORMED STATE OF THE SIDE BREEDS IN THE ASSESSMENT OF THE OPERATIONAL STATE OF MINING OPERATIONS

Purpose. The study aims is to determine the characteristics of the lateral rocks stress-strain state in the coal-rock massif, which contains the workings, in which negative manifestations of rock pressure occur in the haulage drifts, leading to a deterioration of their operational state.

Methods. To achieve this aim used a comprehensive method, including analysis and synthesis of conditions for the protection and maintenance of the excavation workings, analytical studies using the basic principles of the theory of elasticity, physical modeling with optical materials, processing experimental data and extrapolation generalizations.

Results. The laboratory studies were performed of the distribution of stresses in the coal and rock massif on optically sensitive materials models, with various methods of protecting reservoir haulage drifts. It is proved that the greater the carrying capacity of security structures located above the drift and their rigidity, ceteris paribus, the greater the destructive efforts are the roof rocks of the coal seam in places of overvoltage, which are formed behind the clearing face, due to the contact of the means of protection with the side rocks.

Scientific novelty. The peculiarity of determining the parameters of the stress-strain state of lateral rocks in the coal-rock massif that accommodates production, when modeling the stability of haulage drifts, is the need to take into account roof flexural deformations, the value of which depends on the physical and geometric characteristics of a particular geomechanical system.

Practical significance. The use of suitable protective structures or the laying of the produced space, to protect the runoff, significantly improves the condition of the lateral rocks behind the clearing face, and as a consequence, increases the stability of precinct preparatory workings.

Key words: rock pressure; collapse; clearing face; lateral rocks, dynamic loads; supple support; laying-out of space, deformation, movement, method of protection.

Gogo Vladimir - Doctor of Technical Sciences, Professor Public higher education institution Donetsk National Technical University, (2, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85300 Ukraine).

e-mail: volodymyr.hoho@ii.donntu.edu.ua

Kipko Alexander – Doctor of Technical Sciences, Professor, Public higher education institution Donetsk National Technical University, (2, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85300 Ukraine).

e-mail: oleksander.kipko@donntu.edu.ua

Vlasenko Nikolay - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.) Public higher education institution Donetsk National Technical University, (2, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85300 Ukraine).

e-mail: mykola.vlasenko@donntu.edu.ua

Simonova Yuliia - PhD student, Public higher education institution Donetsk National Technical University, (2, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85300 Ukraine).

e-mail: yuliia.simonova@donntu.edu.ua

Polozhy Anton - PhD student, Public higher education institution Donetsk National Technical University, (2, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85300 Ukraine).

e-mail: anpolozhii@gmail.com

Podkopayev Yevgen – Engineer, Public higher education institution Donetsk National Technical University, (2, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85300 Ukraine).

e-mail: eng.ep@seznam.cz