

УДК 622.834:622.862.3

**О ПРИМЕНЕНИИ ПОДАТЛИВЫХ СРЕДСТВ ОХРАНЫ
ДЛЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ РАССЛОЕНИИ БОКОВЫХ ПОРОД**

**С. В. Подкопаев, Е. И. Конопелько, И. В. Иорданов, Д. А. Чепига,
В. А. Коломиец**

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

пл. Шибанкова, 2, г. Покровск, Донецкая обл., 85300, Украина.

E-mail: daria.cheriha@donntu.edu.ua

В результате выполненных исследований доказана целесообразность применения податливых средств охраны для горных выработок при расслоении и обрушении боковых пород. Когда кровля разрабатываемого угольного пласта рассматривается в виде балки, на которую падают расслоившиеся породы, с учетом степени упругости удара, а предельный ударный импульс переданный балке, линейно зависит от массы падающего тела и его скорости и достигает насыщения при достаточно длинных балках. Негативное воздействие динамических нагрузок при этом уменьшается за счет наличия податливых опор на свободном конце балки, что позволяет снизить жесткость рассматриваемой системы. Установлено, что при податливости опоры до 40% наблюдается минимальная концентрация напряжений в углепородном массиве, вмещающем горные выработки.

Ключевые слова: касательные напряжения, непосредственная кровля, обрушения, травматизм, закладка выработанного пространства.

**ПРО ЗАСТОСУВАННЯ ПІДДАТЛИВИХ ЗАСОБІВ ОХОРОНИ
ДЛЯ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК ПРИ РОЗШАРУВАННІ БІЧНИХ ПОРІД**

**С. В. Подкопаєв, Є. І. Конопелько, І. В. Іорданов, Д. А. Чепіга,
В. А. Коломієць**

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

пл. Шибанкова, 2, м Покровск, Донецька обл., 85300, Україна.

E-mail: daria.cheriha@donntu.edu.ua

В результаті виконаних досліджень доведено доцільність застосування піддатливих засобів охорони для гірничих виробок при розшаруванні і обваленні бічних порід. Коли покрівля вугільного пласта розглядається у вигляді балки, на яку падають розшаровані породи, з урахуванням ступеня пружності удара, а граничний ударний імпульс переданий балці, лінійно залежить від маси падаючого тіла і його швидкості і досягає насичення при досить довгих балках. Негативний вплив динамічних навантажень при цьому зменшується за рахунок наявності піддатливих опор на вільному кінці балки, що дозволяє знизити жорсткість даної системи. Встановлено, що при податливості опори до 40% спостерігається найнижчий рівень концентрації напружень в вуглепородному масиві, який вміщає гірничі виробки.

Ключові слова: дотичні напруження, безпосередня покрівля, обрушення, травматизм, закладка виробленого простору.

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Добыча полезных ископаемых в подземных условиях сопровождается целым рядом факторов, приводящих к повышенной опасности для людей и негативному воздействию на окружающую среду. В частности, опыт работы шахт Донбасса показывает, что с ростом глубины горных работ в углепородном массиве начинает проявляться такой негативный фактор как расслоение боковых пород, оказывающий существенное влияние на состояние горных выработок и приводящий к возрастанию риска травмирования горнорабочих в результате обрушений расслоившейся толщи. В реальных условиях разработки угольных пластов, породы междупластья представляют собой чередующиеся слои угольных пластов, прослоев и самых различных пород. Отличительная особенность такого массива заключается в том, что во всех случаях, контакт между слоями представлен глинистыми разностями. В зонах разгрузки, глинистые породы, увеличиваясь в объеме, отрывают слои более прочных пород и формируют условия обрушения. Подработанные и расслоившиеся породы основной кровли, оседающие на хаотически обрушенные слои непосредственной кровли, представляют собой блочный массив, состоящий из балок различной длины. Причем породы кровли, представленные в виде породной консоли, одновременно изгибаются и неконтролируемо обрушаются позади очистного забоя, создавая зоны интенсивного трещинообразования в окрестности поддерживаемых в углепородном массиве горных выработок.

Цель работы. С учетом возможного обрушения боковых пород при действии динамических нагрузок, вследствие обрушения расслоившихся боковых пород, были изучены особенности опасных проявлений горного давления в углепородном массиве и исследовано их влияние на состояние горных выработок глубоких шахт, разрабатывающих угольные пласты в сложных горно-геологических условиях. Для решения этой задачи были проведены исследования на моделях из оптически-чувствительных материалов, аналитические исследования с привлечением основных положений классической и прикладной механики, теории упругости.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Изучение особенностей проявления горного давления в выработках на большой глубине [1] позволило установить, что характер и степень опасности определяется не только напряженным состоянием массива горных пород и их физико-механическими свойствами, но и спецификой формирования последнего, обусловившей неупругое деформирование при объемном сжатии, а так же способность деформироваться и разрушаться при разгрузке.

Как показало изучение процесса смещений и деформаций боковых пород [2, 3, 16], зона расслоения боковых пород, в зависимости от горно-геологических условий, составляет по нормали к напластованию в кровлю и почву разрабатываемого пласта 4-8м. Негативные последствия такой геомеханической ситуации могут обнаруживаться в том, что расслоившиеся породы внезапно обрушаются и способствуют проявлению динамических нагрузок по всей длине лавы разраба-

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

тываемого угольного пласта и в окрестности поддерживаемых выработок. На динамику и параметры образования таких зон, в значительной степени влияет способ управления кровлей в лаве и охраны горных выработок.

Исходя из задачи исследований, для изучения состояния боковых пород при различных способах управления кровлей и охраны штреков, нами были выполнены лабораторные исследования на моделях из оптических материалов. Исследования проводились на экспериментальных моделях, в которых моделируемая глубина принималась равной $H=800$ м и $H=1200$ м, угол падения пласта соответственно, $\alpha=10^\circ$ и $\alpha=60^\circ$, мощность пласта $m=1,0$ м. Мощность пород непосредственной почвы в случае крутого залегания пласта, составляла $2m$, а пород кровли - $4m$. При пологом залегании угольного пласта мощность пород непосредственной кровли и почвы составляла $4m$. При этом породы кровли и почвы по своим свойствам соответствовали породам типа глинистый сланец средней устойчивости. Для решения поставленной задачи применялась экспериментальная установка ППУ-4, при моделировании на которой использовали известный способ сопоставления цветов и полос распределения напряжений [5]. В качестве оптически чувствительного материала использовали игдантин. Моделирование выполнено в соответствии с рекомендациями [4, 5].

При решении рассматриваемой задачи с помощью оптического метода, нами было установлено распределение напряжений в массиве, которое формируется во вмещающих породах сразу после выемки угля. Результаты моделирования представлены на рис. 1 и рис. 2.

На рис. 1 изображены изолинии главных касательных напряжений в углепородном массиве при крутом залегании угольного пласта с подготовительной выработкой, охраняемой накатными кострами из шпал при способе управления кровлей в лаве удержанием на кострах (*a*) и охране штрека широкой податливой опорой, в виде закладки выработанного пространства (*b*). Как видно из рис. 1*a* при способе управления кровлей удержанием на кострах, в окрестности штрека максимальная концентрация напряжений приурочена к области изгиба породных слоев. Такое положение имеет место и в средней части лавы, когда в выработанном пространстве для удержания кровли, оставляют накатные костры из шпал. Породы кровли и почвы изгибаясь, обходят оставленные над штреком и по длине лавы охранные сооружения. Очевидно, имея ограниченную податливость (до 10%) и малые размеры ($2,0 \times 2,0$ м), накатные костры выполняют роль опоры, вблизи которой концентрируются напряжения. Причем, расстояния между опорами (по линии падения пласта) и их сжимаемость, определяют величину касательных напряжений в боковых породах из-за неравномерного изгиба породных слоев.

Совершенно иная исходная картина распределения напряжений в углепородном массиве имеет место при наличии в окрестности штрека податливой опоры, представленной в виде закладочного массива (рис. 1*b*). Степень ее податливости определяет характер плавного прогиба породных слоев в кровле и

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

почве разработываемого пласта и уровень концентрации напряжений в них. Результаты эксперимента показывают, что при податливости опоры около 40% наблюдается минимальная концентрация напряжений в угленородном массиве, вмещающем горные выработки. Однако при этом следует отметить уменьшение сечения поддерживаемой горной выработки на 5-10%, произошедшее в результате плавного прогиба боковых пород из-за усадки (сжатия) закладочного материала.

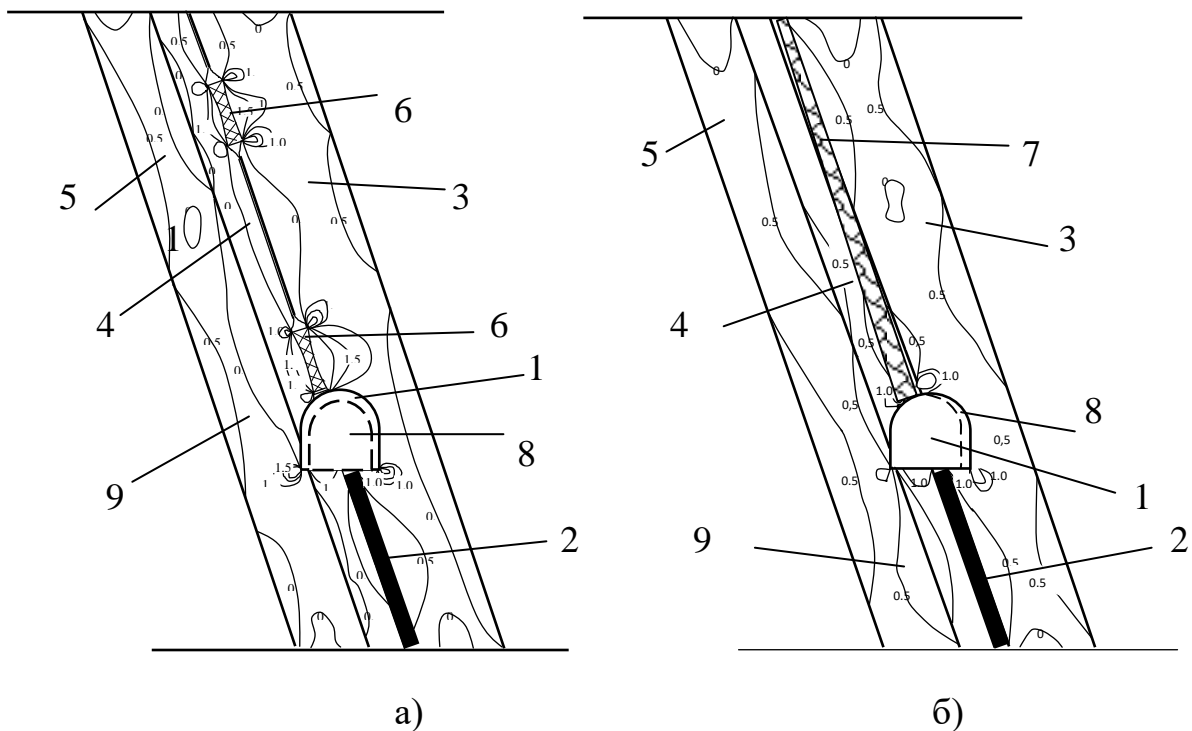


Рисунок 1 – Статическое поле касательных напряжений на глубине 1200 м в окрестности горной выработки с крутым залеганием угольного пласта при способе управления кровлей: а) полным обрушением; б) закладкой выработанного пространства: 1 – подготовительная выработка; 2 – угольный пласт; 3 – кровля угольного пласта; 4 – непосредственная почва угольного пласта; 5 – основная почва угольного пласта; 6 – накатные костры; 7 – закладочный массив; 8 – уменьшение сечения подготовительной выработки; 9 – линии касательных напряжений в массиве

Такая же геомеханическая обстановка имеет место и в случае пологого залегания угольного пласта ($\alpha=10^\circ$) (рис. 2), когда горная выработка охраняется накатными кострами из шпал (рис. 2а) или широкой податливой опорой в виде закладочного массива с усадкой около 40% (рис. 2б).

Применительно к решаемой задаче, следует учитывать результаты исследований [6, 17], в которых было показано, что концентрация напряжений в угленородном массиве приводит к пластическим деформациям, а с течением времени, в местах концентрации сжимающих и растягивающих напряжений имеет место

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

разгрузка (разрушение) осадочного массива. Подтверждением этого факта являются результаты анализа механических процессов, протекающих в углепородном массиве с горной выработкой [7], когда напряженное состояние горных пород по мере удаления от контура выработки изменяется от состояния близкого к растяжению и сдвигу до состояния сжатия в глубине массива.

При внезапных обрушениях расслоившихся боковых пород в горную выработку, необходимо принимать во внимание динамическую нагрузку, которая отличается от статической кратковременностью действия [8–11].

Когда кровлю разрабатываемого угольного пласта можно представить в виде балки, на которую падает расслоившаяся порода, величину ударного импульса

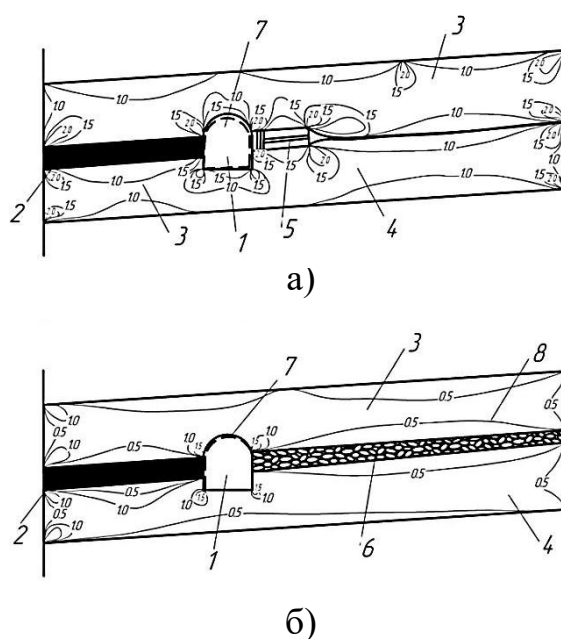


Рисунок 2 – Статическое поле касательных напряжений на глубине 1200 м в окрестности горной выработки при пологом залегании угольного пласта и способе управления кровлей: а) полным обрушением; б) закладкой выработанного пространства: 1 – подготовительная выработка; 2 – угольный пласт; 3 – кровля угольного пласта; 4 – почва угольного пласта; 5 – накатные костры; 6 – закладочный массив; 7 – уменьшение сечения подготовительной выработки; 8 – линии касательных напряжений в углепородном массиве

S , ($\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$) в этом случае, можно определить по выражению [12-14]

$$S = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} v \cos \alpha. \quad (1)$$

где m_1 – масса обрушившихся боковых пород, кг;

m_2 – масса балки (наклонной площадки), кг;

v – скорость соударения отслоившихся боковых пород с балкой, м/с;

α – угол наклона балки, град.

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

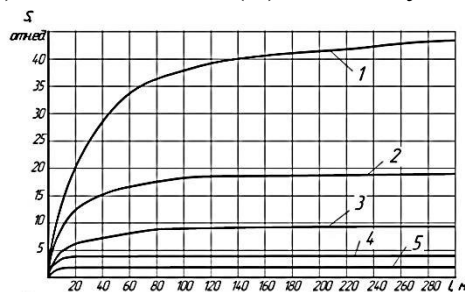
С учетом степени упругости удара Z выражение (1) принимает вид

$$S = Z \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} v \cos \alpha, \quad (2)$$

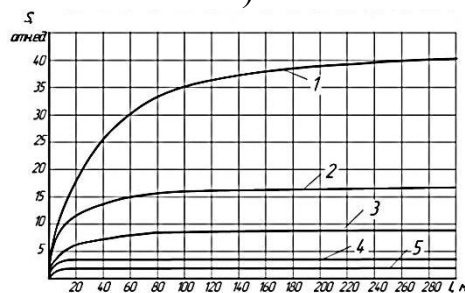
где Z изменяется в пределах от $Z=2$ (при абсолютно упругом соударении) до $Z=1$ (при абсолютно неупругом).

На рис. 3 представлены зависимости, отражающие изменение величины ударного импульса при соударении падающего тела с балкой, в зависимости от ее длины для наиболее реальных значений $Z=1,9$ и $Z=1,75$. В качестве варьируемых параметров были выбраны массы падающего тела и балки, их скорость соударения и степени упругости удара. Видно, что предельный импульс, переданный балке, линейно зависит от массы падающего тела и его скорости, и достигает насыщения при достаточно длинных балках (рис.3). Важно также, что импульс, переданный балке, уменьшается при уменьшении степени упругости удара, который зависит от коэффициента жесткости опоры, расположенной позади очистного забоя, в выработанном пространстве, на свободном конце рассматриваемой нами балки.

На рис. 4 породы непосредственной кровли разрабатываемого угольного пласта представлены в виде балки длиной l , (м). В одном случае балка свободно лежит на двух опорах (рис.4а), а в другом – свободный конец балки опирается на податливую опору (рис.4б). С высоты h , (м) на балку падает груз массой m_1 , (кг).



а)



б)

Рисунок 3 – Изменение величины импульса S , (отн.ед.), переданного балке в зависимости от массы падающего груза при изменении ее длины l , (м), когда степень упругости удара составляет: а) $Z = 1,9$ и б) $Z = 1,75$:
кривые 1 – $0,01m_2$; 2 – $0,02m_2$; 3 – $0,05m_2$; 4 – $0,1m_2$; 5 – $0,25m_2$

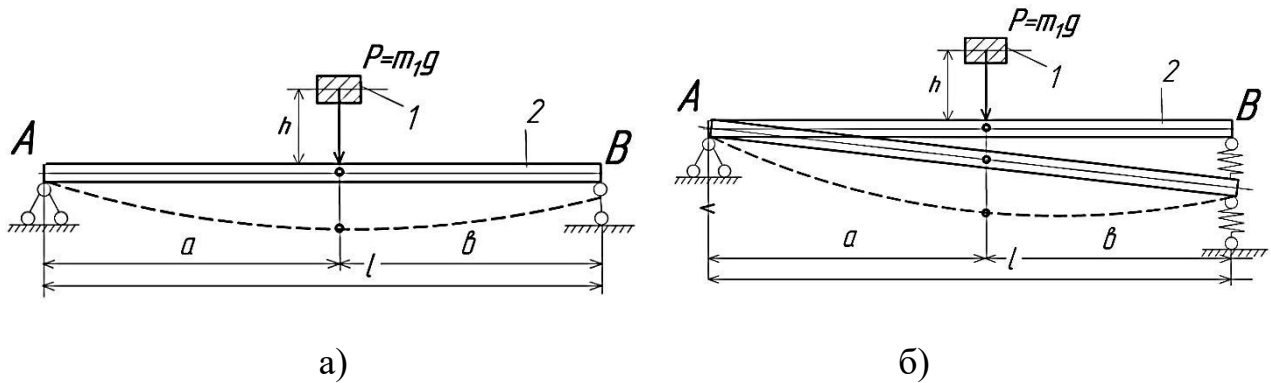


Рисунок 4 – Расчетная схема к определению напряженно-деформированного состояния пород непосредственной кровли пласта в виде балки: а) с неподвижной шарнирной опорой; б) с податливой опорой: 1 – падающий груз; 2 – балка; a , b – расстояние от опоры А и В до места соударения; l – длина балки, (м)

В качестве параметрического обеспечения геомеханических расчетов устойчивости боковых пород при различных способах управления кровлей в очистном забое и охраны горных выработок широко применяется статический метод приложения нагрузки. Однако, в сложных горно-геологических условиях разработки угольных пластов, когда возможны внезапные обрушения боковых пород, необходимо учитывать и динамические нагрузки.

Для этого решается соответствующая статическая задача (рис. 4,а), в которой динамический коэффициент обрушения, учитывающий вес обрушившихся пород, определяется по выражению согласно [8, 9, 18].

$$K_g = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\Delta_{ст.}}} , \quad (3)$$

где $\Delta_{ст.}$ – статический прогиб балки под действие веса обрушившихся пород, (м), который равен

$$\Delta_{ст.} = \frac{m_1 g}{k} , \quad (4)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²;
 k – коэффициент жесткости балки, кг/ с².

Следует отметить, что в выражении (3) при $h=0$, динамический коэффициент всегда будет равен $k_g=2$. Это означает не статическое нагружение, а внезапное приложение нагрузки, при котором статическое перемещение балки удваивается. В результате падения абсолютно твердого тела коэффициент динамичности $k_g \geq 2$ [8, 9]. Очевидно и то, что с увеличением жесткости балки, т.е. уменьшение ее статического прогиба, динамический коэффициент возрастает.

Применительно к рассматриваемой схеме (рис. 4) используем выражение [8, 18]

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_x} , \quad (5)$$

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

где M_{max} – максимальный изгибающий момент, (Н*м),

W_x – момент сопротивления балки относительно оси X, (см³), с помощью которого можно установить величину максимальных нормальных напряжений σ_{max} , (Н/м²) в любом сечении балки, когда ее свободный конец опирается на неподвижную шарнирную опору (рис. 4,а) или податливую опору (рис. 4,б).

Ударное воздействие нагрузок на такие сооружения или конструкции, при расчетах их устойчивости [8–11,18] производится введением динамического коэффициента в полученное решение статической задачи. В нашем случае (рис. 4,б), динамическая составляющая Δ_d , (м) прогиба несущей конструкции балки, отражает динамическую добавку по отношению к статическому действию нагрузки и определяется как

$$\Delta_d = \Delta_{ст} + \Delta_{з.м.}, \quad (6)$$

где $\Delta_{з.м.}$ – величина сжимаемости податливой опоры, м;

С учетом этого, динамический коэффициент можно определить как

$$K'_g = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\Delta_d}}. \quad (7)$$

Тогда, величину наибольших динамических напряжений в сечении балки, при обрушении пород, можно определить как

$$\sigma_{max}^d = \sigma_{max}^{ст.} \cdot K'_g. \quad (8)$$

Ранее было установлено [15], чем жестче балка, тем меньше величина статического прогиба, а, следовательно, тем меньше будет время взаимодействия падающего груза с балкой (для нормального удара)

$$\Delta t = \sqrt{\frac{m_2}{k}}, \quad (9)$$

и значит больше сила, воздействующая на балку.

Разумеется, для уменьшения негативного воздействия динамических нагрузок, проявляющихся в результате внезапных обрушений боковых пород и для уменьшения коэффициента жесткости рассматриваемой системы, предлагается использовать совместно с жесткой балкой податливые опоры. Исходя из приведенной схемы (рис. 4,б) полное перемещение точки С, в месте соударения породы о балку, соответствует величине полного перемещения балки, которое учитывает прогиб ее несущей конструкции в точке удара и сжимаемость податливой опоры, что увеличивает время воздействия падающих расслоившихся боковых пород с балкой и, следовательно, уменьшает ударный импульс, переданный балке.

В результате проведенных исследований, с использованием выражений (3–8), для рассматриваемой системы (рис. 4), определены зависимости, отражающие изменение величины действующих в сечении балки нормальных напряжений σ , (Н/м²) от ее длины l, (м), при неподвижной шарнирной опоре и податливой опоре (рис. 5).

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

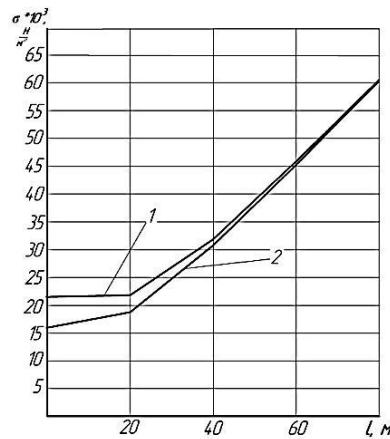


Рисунок 5 – Изменение величины действующих напряжений σ , (Н/м²) в сечении балки от ее длины l, (м) при неподвижной шарнирной опоре (1) и податливой опоре (2)

Установлено, що розміщення на вільному кінці балки податливої опори, ослаблює ефект удару і зменшує величину дійсуючих в її сеченні напружень на 30-35% (в порівнянні з випадком з неподвижною шарнирною опорою). З цього слідує, що динамічні навантаження, проявляючіся в результаті їх впливу на балку – породи непрямої кровлі розробляваного пласта, частково компенсуються при використанні податливих опор, т.е. при розміщенні в виробаному просторі закладочного масива. При цьому жорсткість розглядаваної системи завжди буде зменшуватися за рахунок розміщення на вільному кінці балки податливої опори, величина сжимаємості якої не повинна перевищувати 40% від потужності розробляваного вугільного пласта, що буде сприяти покращенню стійкості бокових порід і горних виробок в порівнянні з традиційними способами охорони горних виробок і управління горним тиском в очистному забое.

По всій видимості, балка, яка має неподвижну шарнирну опору, знаходиться в гірших умовах, ніж балка, що опирається на закладочний масив. Пояснити це можна відкликом пружного простору, т.е. закладочного масива на осцилюючу силу, прикладену до розглядаваної системи.

Таким чином, при розробці вугільних пластів на великих глибинах в результаті розшарування бокових порід, небезпека виникнення аварійних ситуацій виходить з обвалів і обрушень порід кровлі. При певних параметрах породної консолі і відсутності її ефективного підпора з боку виробаного простору, ймовірність проявлення небезпечних динамічних навантажень зростає, що призводить до можливого завалу горних виробок. Використання закладки виробаного простору, в таких випадках, дозволить суттєво змінити геомеханічну обстановку в углепородному масиві, вмещаючому горні виробки, покращити стан бокових порід і зменшити ризик аварійних ситуацій.

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

ВЫВОДЫ. При разработке угольных пластов в сложных горно-геологических условиях, для предотвращения аварийных ситуаций вследствие внезапного обрушения расслоившейся породной толщи, предлагается использовать в качестве способа управления кровлей закладку выработанного пространства закладочным материалом с максимальным значением податливости (около 40%), что приведет к уменьшению риска возникновения аварийных ситуаций и, следовательно, снижению травматизма горнорабочих.

ЛИТЕРАТУРА

1. Снижение травматизма от проявлений горного давления / В.И. Николин, С.В. Подкопаев, А.В. Агафонов, Н.В. Малеев. – Донецк: Норд-Пресс, 2005. – 232 с.
2. Сдвигение и разрушение горных пород / С.Д. Викторов, М.А. Иофис, С.А. Гончаров – М.:Наука, 2005. – 277 с.
3. Жуков В.Е. Об одной стратегической ошибке в разрешении проблемы разработки крутых пластов // Уголь Украины. – 2001. – № 7. – С. 6–10.
4. Разумовский И.А. Интерференционно-оптические методы механики деформируемого твердого тела. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 240 с.
5. Хаимова-Малькова Р.И. Методика исследования напряжений поляризациино-оптическим методом. – Наука, 1970. – 194 с.
6. Баклашов И.В. Деформируемость и разрушение породных массивов. – М.: Недра, 1988. – 271 с.
7. Норель Б.К. Изменение механической прочности угольного пласта в массиве. – М.: Наука, 1983. – 201 с.
8. Бирбраер А.Н., Роледар А.Ю. Экстремальные воздействия на сооружения. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 277 с.
9. Циглер Ф. Механика твердых тел и жидкостей. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2002. – 912 с.
10. Gross D., Ehlers W., Wriggers P, Schroder I, Muller R. Dynamics – Formulas and Problems: Engineering Mechanics. Springer – Verlag, Berlin, Heidelberg, 2017. – 249p. – ISBN: 3662534363.
11. Baruh H. Applied Dynamics. Taylor Francis Group. LLS., 2015. – 872 p. – ISBN:148225073X.
12. Тригуб А.М., Штагер Е.В., Приближенные способы оценки коэффициента восстановления при соударении твердых тел // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5. – 1. – С. 91–93; URL: <https://www.top.technologies.ru/ru/article/view?id=33723>.
13. Ginsberg I. Engineering Dynamics. Cambridge University Press. 2008. – 726 p. – ISBN:0521883032.
14. Кочетков А.В., Федоров П.В. Некоторые вопросы теории удара // Наукоеведение. Интернет-журнал. – № 5. – 2013 – С. 1–15. <http://publ.naukovedemie.ru>

15. О динамических нагрузках при внезапных обрушениях боковых пород / С.В. Подкопаев, И.В. Иорданов, Д.А. Чепига // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Кременчук: КрНУ, 2016. – Вип.2 (18). – С. 92–112.

16. Hoek E., Brown E.T. Practical estimates of rock mass strength. – Int. J. Rock Mech. Min. Sci. – 1997. – №34 (8) – pp. 165–168. – doi: 10.1016/s13651609(97)80069-X

17. M. Alber and J. Heiland: Investigation of Limestone Pillar Failure. Rock Mech. Rock Engng. – 2001. - №34 (3) – p.p. 167-186. – doi: 10.1007/s006030170007.

18. Subramanian R. Strength of Materials. – Oxford university Press, UK. – 2010. – 1041 p.

ON THE APPLICATION OF FULLY MEANS OF PROTECTION FOR MOUNTAIN WORKINGS WITH THE SIDE OF ROCK SIDE

S. Podkopaev, E. Konopelko, I. Iordanov, D. Chepiga, V. Kolomiets

Public higher education institution «Donetsk National Technical University»

pl. Shibankova, 2, Pokrovsk, Donetsk region, 85300, Ukraine.

E-mail: daria.chepiha@donntu.edu.ua

Purpose. To study the peculiarities of dangerous manifestations of rock pressure in a coal rock massif and their influence on the state of mine workings of deep mines developing coal seams in difficult mining and geological conditions under the action of dynamic loads arising as a result of possible collapse of lateral rocks. **Methodology.** Analytical studies involving the main provisions of classical and applied mechanics, the theory of elasticity. **Results.** It was established for the first time that the ultimate impulse transmitted to the beam - the direct roof, in the collapse of the lateral rocks, linearly depends on the mass of the incident body and its velocity and reaches saturation at sufficiently long beams. **Originality.** Using the provisions of kinetic and applied mechanics, the theory of elasticity with the involvement of modeling on optical materials. **Practical value.** The use of goaf stowing of the worked out space will significantly change the geomechanical situation in the coal-bearing rock mass, containing rock mines, improve the condition of the lateral rocks and reduce the risk of emergency situations.

Key words: tangential stresses, roof stone, caving, rate of accidents, goaf stowing.

REFERENCES

1. Nikolin, V.I., Podkopaev, S.V., Agafonov, A.V. and Maleev, N.V (2005), *Snizhenie travmatizma ot proyavleniy gornogo davleniya* [Reducing injury from rock pressure manifestations], Nordpress, Donetsk, Ukraine.

2. Viktorov, S.D., Iofis, M.A. and Goncharov, S.A. (2005) *Sdvizhenie i razrushenie gorniyh porod davleniya* [Shift and destruction of rocks], Nauka, Moscow, Russia.

3. Zhukov, V.E. (2001), “On a strategic error in the resolution of problems once-processing steep seams”, *Coal of Ukraine*, vol. 7, pp. 6-10.

4. Razumovskiy, I.A. (2007), *Interferentsionno-opticheskie metody mehaniki deformiruemogo tverdogo tela* [Interference-optical methods of mechanics of a deformable solid], Publishing House of the Moscow State Technical University. N.E. Bauman, Moscow, Russia.
5. Haimova-Malkova, R.I. (1970) *Metodika issledovaniya napryazheniy polarizatsionno-opticheskim metodom* [The method of investigating stresses by the polarization-optical method], Nauka, Moscow, Russia.
6. Baklashov, I.V. (1988) *Deformiruemost i razrushenie porodnykh massivov* [Deformability and destruction of rock massifs], Nedra, Moscow, Russia.
7. Norel, B.K. (1983) *Izmenenie mehanicheskoy prochnosti ugolnogo plasta v massive* [The change in the mechanical strength of a coal seam in an array], Nauka, Moscow, Russia.
8. Birbraer, A.N. (2009) *Ekstremalnyie vozdeystviya na sooruzheniya* [Extreme effects on structures], Publishing house Polytechnic. University, St. Petersburg, Russia.
9. Tsigler, F. (2002) *Mehanika tverdykh tel i zhidkostey* [Mechanics of solids and liquids], SRC "Regular and chaotic dynamics", Izhevsk, Russia.
10. Gross D., Ehlers, W., Wriggers, P., Schroder, I., Muller, R. *Dynamics – Formulas and Problems: Engineering Mechanics*. Springer – Verlag, Berlin, Heidelberg, 2017. – 249p. – ISBN: 3662534363
11. Baruh, H. *Applied Dynamics*. Taylor Francis Group. LLS., 2015. – 872p. – ISBN:148225073X
12. Trigub, A.M., Shtager, E.V. (2014) “Approximate methods for estimating the recovery coefficient in collisions of solids”, *Modern high technology*, no.5(1), pp.91-93; URL: <https://www.top.technologies.ru/ru/article/view?id=33723>.
13. Ginsberg, I. *Engineering Dynamics*. Cambridge University Press. 2008. – 726p. – ISBN:0521883032.
14. Kochetkov, A.V., Fedorov, P.V. (2013) “Some questions of the theory of impact”, *Naukovedenie. Online Magazine*, no.5, pp.1-15 available at: <http://publ.naukovedenie.ru>
15. Podkopaev, S.V., Iordanov, I.V., Chepiga, D.A. (2016) “About dynamic loads during sudden caving of rocks”, *Modern technology resursoenerhozberihayuchi mining., National University im..M.Ostrohradskoho*, vol.2, no.18, pp. 92-112.
16. Hoek, E., Brown, E.T. Practical estimates of rock mass strength. – *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* – 1997. - №34 (8) – p.p. 165-168. – doi: 10.1016/s13651609(97)80069-X
17. M. Alber and J. Heiland: Investigation of Limestone Pillar Failure. *Rock Mech. Rock Engng.* – 2001. - №34 (3) – p.p. 167-186. – doi: 10.1007/s006030170007.
18. Subramanian R. *Strength of Materials*. – Oxford university Press, UK. – 2010. – 1041 p.

Стаття надійшла 29.05.2017.