

УДК 622.834:622.862.3

### К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ЗАКЛАДКИ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

**И. В. Иорданов, Д. А. Чепига, А. В. Петренко**

Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет»  
пл. Шибанкова, 2, г. Покровск, Донецкая обл., 85300, Украина. E-mail: daria.chepiha@donntu.edu.ua

**В. А. Коломиец**

Шахтоуправление «Южнодонбасское №1»

ул. Магистральная, 4, г. Угледар, Донецкая обл., 85670, Украина.

**А. В. Король**

ПСП «Шахтоуправление «Добропольское» ООО «ДТЭК Добропольеуголь»»

ул. Киевская, 1а, г. Доброполье, Донецкая обл., 85013, Украина.

В результате выполненных исследований установлено, что при применении закладки выработанного пространства в качестве способа управления горным давлением в очистном забое, происходит уменьшение жесткости рассматриваемой системы, в которой породы кровли разрабатываемого пласта следует считать балкой на упругом основании с различными вариантами опор. В реальных условиях разработки угольных пластов, когда породы кровли считаются консольной балкой с упругим основанием, при ее длине  $l > 30$  м, влияние возмущающей силы ограничено, а, следовательно, ограничен рост величины размаха колебаний, определяющий характер напряженно-деформированного состояния боковых пород при внезапных обрушениях расслоившейся толщи и посадках основной кровли.

**Ключевые слова:** горное давление, обрушения, изгибные колебания, динамические нагрузки, податливая опора, закладка выработанного пространства.

### ДО ПИТАННЯ ПРО ЗАСТОСУВАННЯ ЗАКЛАДКИ ВИРОБЛЕНОГО ПРОСТОРУ В СКЛАДНИХ ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ

**І. В. Іорданов, Д. А. Чепіга, А. В. Петренко**

Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет»

пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, Донецька обл., 85300, Україна. E-mail: daria.chepiha@donntu.edu.ua

**В. О. Коломієць**

Шахтоуправління «Південнодонбаське №1»

вул. Магістральна, 4, м. Вугледар, Донецька обл., 85670, Україна.

**А. В. Король**

ВСП «Шахтоуправління Добропільське» ТОВ «ДТЕК Добропільлявугілля»

вул. Київська, 1а, м. Добропілля, Донецька обл., 85013, Україна.

В результаті виконаних досліджень встановлено, що при застосуванні закладки виробленого простору, як способу управління гірничим тиском в очистному вибої, відбувається зменшення жорсткості даної системи, в якій породи покрівлі пласта, який розробляється, слід вважати балкою на пружній основі з різними варіантами опор. В реальних умовах розробки вугільних пластів, коли породи покрівлі вважаються консольною балкою з пружною основою, при її довжині  $l > 30$  м, вплив вимушених коливань обмежена, а, отже, обмежено ріст величини розмаху коливань, що визначає характер напружено-деформованого стану бічних порід при раптових обваленнях розшарованої товщі і посадках основної покрівлі.

**Ключові слова:** гірничий тиск, обвалення, згинні коливання, динамічні навантаження, податлива опора, закладка виробленого простору.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Опыт работы шахт украинского Донбасса показывает, что с ростом глубины горных работ в массиве осадочных горных пород, при разработке угольных пластов, начинает проявляться такой негативный фактор как расслоение боковых пород, оказывающий существенное влияние на состояние горных выработок. В реальных условиях разработки угольных пластов, при отсутствии со стороны выработанного пространства эффективного подпора для пород кровли разрабатываемого пласта, опасность возникновения аварийных ситуаций от обвалов и обрушений возрастает.

При традиционных способах управления горным давлением удержанием кровли на кострах или полное обрушение кровли, в случаях связанных с ухудшением горно-геологических условий, применяемая в очистном забое крепь, а так же возводимые позади лавы средства охраны, не способны противо-

стоять сдвигению нарушенной толщи. Применяемые в настоящее время способы охраны штреков различного рода конструкциями из дерева (костры, кусты из стоек, накатные костры), не обеспечивают надежной защиты выработок от вредных проявлений горного давления, в т.ч. и обрушений боковых пород. Более того, способы охраны штреков, являясь эффективными в конкретных условиях, теряют свою эффективность при изменении горно-геологических условий, что способствует созданию аварийных ситуаций. Аварии, произошедшие при обрушении боковых пород в угольных шахтах, как правило, сопровождаются крупным материальным ущербом и невозможной утратой потери человеческой жизни.

Эффективность отработки угольных пластов и безопасность ведения горных работ на шахтах, в значительной степени зависит не только от состоя-

ния горных выработок, но и от способа управления кровлей в очистном забое. Как показало изучение процесса сдвижений и деформаций осадочных горных пород [1], при выемке пластов в нарушенной толще происходит образование характерных зон сдвижения, на динамику и размеры которых в значительной степени влияет способ управления кровлей в лаве. Наиболее интенсивно процесс сдвижения расщелившейся породной толщи развивается и протекает при полном обрушении кровли в очистном забое [2]. Подработанные породы кровли, оседающие на хаотически обрушенные слои расщелившейся толщи представляют собой блочный массив, состоящий из балок различной длины. Причем породы кровли изгибаются, неконтролируемо оседают позади очистного забоя, создавая неблагоприятную геомеханическую обстановку в окрестности поддерживаемых горных выработок. Установлено [3], что в зависимости от горно-геологических условий, зона расщелиния боковых пород составляет по нормали к напластованию 4-5м. Негативные последствия создавшейся геомеханической обстановки могут проявляться в том, что кровля разрабатываемого пласта, не имея подпора в выработанном пространстве внезапно обрушается, что способствует проявлению динамических нагрузок и возможному завалу горных выработок.

Согласно [4, 5], динамические нагрузки, проявляющиеся в результате внезапного ударного воздействия на конструкцию, могут частично нейтрализоваться за счет применения податливых опор, а также при наличии упругого основания в рассматриваемой конструкции или сооружении.

Исследованиями ДонУГИ и ДонНТУ ранее было установлено [6, 7], что закладочный массив предотвращает развитие сдвижений горных пород в окрестности выработок и создает зоны устойчивости пород впереди и позади очистного забоя. Механизм взаимодействия закладочного массива с оседающими боковыми породами заключается в закрытии над закладочным массивом трещин разлома пород кровли. При таком их взаимодействии с закладочным массивом, уменьшается концентрация напряжений в

призобойном пространстве лавы и длина зоны проявления опорного давления [6].

Понятие устойчивости инженерных сооружений, к которым можно относить и горные выработки, тесно связано с учением о колебаниях [8, 9]. Поэтому, возникающие в различных условиях колебания инженерных конструкций или отдельных их элементов, при неблагоприятных обстоятельствах, в т.ч. при внезапных обрушениях боковых пород, могут вызвать значительные деформации и напряжения в этих сооружениях или их элементах, а так же способствовать их разрушению.

Для определения напряженно-деформированного состояния пород кровли разрабатываемого угольного пласта, при способе управления горным давлением закладкой выработанного пространства, нами были проведены аналитические исследования с использованием основных положений теории упругости и теории колебаний, результаты которых могут быть использованы при разработке комплекса мероприятий, направленных на сохранение горных выработок в эксплуатационном состоянии при ведении горных работ в сложных горно-геологических условиях.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** В ходе выполненного комплекса исследований было изучено влияние изгибных колебаний балок на упругом основании, с различными вариантами их опор.

На рис. 1 а, б, в породы кровли разрабатываемого угольного пласта представлены в виде балки длиной  $l$ , (м) лежащей на упругом основании. В реальных условиях, упругое основание для балки, соответствует применению податливых сооружений, т.е. закладочного массива для поддержания расщелившихся пород кровли.

В одном случае балка имеет неподвижные шарнирные опоры (рис.1, а), в другом случае балка имеет жесткое защемление с двух сторон (рис.1, б) и третий вариант предусматривает жесткое защемление балки с одной стороны, когда другой ее конец свободный (рис.1, в).

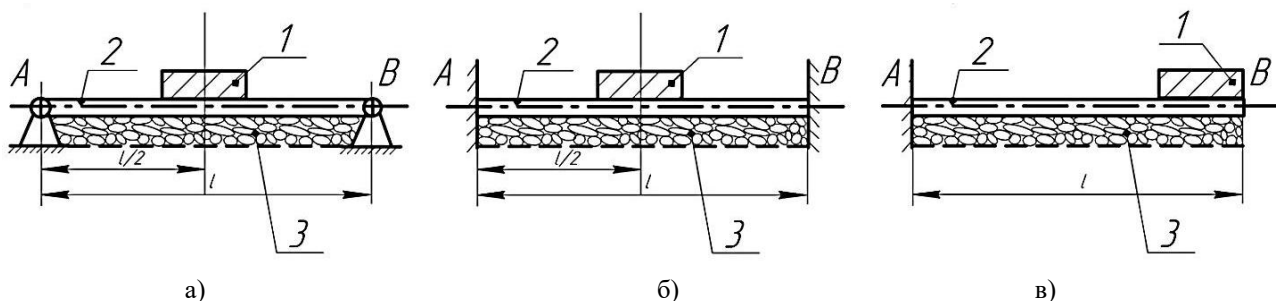


Рисунок 1 – Расчетная схема к определению устойчивости пород кровли – балки на упругом основании: а) с неподвижными шарнирными опорами; б) с двусторонней жесткой заделкой; в) консольная балка:

1 – обрушившиеся боковые породы – действующая сила  $P=mg$ , (Н); 2 – балка – породы кровли; 3 – упругое основание – закладочный массив;  $l$  – длина балки, м;  $E=15000$ МПа,  $I=0,083$ м<sup>3</sup>;  $m=1000$ кг

Для изучения изгибных колебаний балок на упругом основании, рассмотрим случай, когда к центру балки приложена действующая сила  $P$ , (Н), в

результате чего балка деформируется и в ней возникают колебания (рис.1 а, б).

Дифференциальное уравнение свободных колебаний рассматриваемой системы, согласно [9, 10, 11], имеет вид

$$m\ddot{y} + cy = 0, \quad (1)$$

где  $y$  – вертикальное перемещение груза (обрушившихся на балку расслоившихся пород),  $m$ ;  $c$  – жесткость системы, Н/м.

Для определения жесткости системы, в точку обрушившихся на балку боковых пород, приложим единичную силу  $P$ , (Н). В этом случае, жесткость системы будет равна

$$c = \frac{1}{y_1}, \quad (2)$$

где  $y_1$  – прогиб балки от действия единичной силы, м.

Дифференциальное уравнение изгиба балки на упругом основании исходя из [12, 13] с учетом коэффициента жесткости и модуля упругости можно представить в виде

$$y = y(0)v_1 + y'(0)v_2 + y''(0)v_3 + y'''(0)v_4, \quad (3)$$

где  $y(0)$ ,  $y'(0)$  – значения прогиба и его производных в начале координат (в случае, когда  $x=0$ ), м.

Решение дифференциального уравнения (3) с учетом представленных расчетных схем можно выполнить, используя функции А.Н.Крылова [12, 13].

Тогда, с учетом граничных условий, когда обрушившаяся порода находится в центре балки

$$\text{- при } x = 0, y' = 0, y''' = -\frac{1}{2EI_x},$$

и

$$\text{- при } x = \frac{l}{2}, y' = 0, y''' = 0,$$

для случая, изображенного на рис. 1а, учитывая, что  $v_1' = -4\beta^4 v_4$ ,  $v_2' = v_1$ ,  $v_3' = v_2$  и  $v_4' = v_3$ , прогиб определяется как

$$y_1 = \frac{2\beta^4}{b} \cdot \frac{v_2\left(\frac{\beta l}{2}\right)v_3\left(\frac{\beta l}{2}\right) - v_1\left(\frac{\beta l}{2}\right)v_4\left(\frac{\beta l}{2}\right)}{v_1^2\left(\frac{\beta l}{2}\right) + 4\beta^4 v_3^2\left(\frac{\beta l}{2}\right)} \quad (4)$$

Для случая, изображенного на рис. 1 б, прогиб балки от действия единичной силы будет равен

$$y_1 = \frac{\beta^4}{2b} \cdot \frac{v_2\left(\frac{\beta l}{2}\right)v_3\left(\frac{\beta l}{2}\right) - v_1\left(\frac{\beta l}{2}\right)v_4\left(\frac{\beta l}{2}\right)}{v_1^2\left(\frac{\beta l}{2}\right) + 4\beta^4 v_3^2\left(\frac{\beta l}{2}\right)}. \quad (5)$$

Далее рассмотрим случай, когда обрушившаяся порода располагается на свободном конце консольной балки (рис. 1 в). В этом случае, с учетом начальных условий, когда  $x = l$ , а  $y''' = 0$ , уравнение прогиба балки будет иметь вид

$$y_1 = \frac{\beta^4}{4b} \cdot \frac{v_2(\beta l)v_3(\beta l) - v_1(\beta l)v_4(\beta l)}{v_1^2(\beta l) + 4\beta^4 v_2(\beta l)v_4(\beta l)}, \quad (6)$$

где  $b$  – ширина балки, м.

С учетом вышеизложенного, жесткость рассматриваемой нами системы, можно определить по выражению (2), но с учетом (6).

На рис. 2 с использованием выражений (4), (5) и (6) представлены зависимости, отражающие изменение жесткости балки  $C$ , (Н/м) на упругом основании от ее длины  $l$ , (м) с различными вариантами опирания.

Установлено, что с увеличением длины балки, жесткость рассматриваемой системы уменьшается (рис. 2). Минимальное значение жесткости  $C=24$  кН/м отмечено нами при наличии неподвижных шарнирных опор (рис. 2, зависимости 1), максимальное –  $C=94$  кН/м для балки с двусторонней жесткой заделкой (рис. 2, зависимости 2). Для этих вариантов опирания балки, ее жесткость уменьшается с увеличением длины и при  $l > 70$  м становится практически одинаковой, т.е. не зависит от вариантов закрепления ее концов.

Иная картина имеет место для консольной балки (рис. 2, зависимость 3). В этом случае, максимальное значение жесткости  $C=73$  кН/м имеет место при длине балки  $l = 10$  м, а затем при увеличении длины балки в 2 раза, т.е. при длине  $l = 20$  м уменьшается до  $C=23$  кН/м. По мере увеличения длины балки, когда  $l > 30$  м, значение жесткости  $C$ , (Н/м), практически не изменяется.

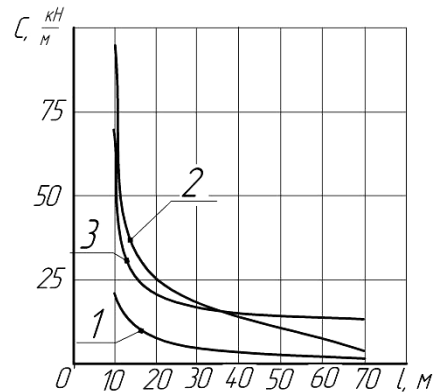


Рисунок 2 – Изменение жесткости рассматриваемой системы  $C$ , (Н/м) от длины балки на упругом основании с неподвижными шарнирными опорами (1), двусторонней (2) и односторонней (3) жесткой заделкой

На рис. 3 представлены зависимости, отражающие изменение частоты и периода колебаний исследуемой системы при различной длине балки на упругом основании. Значения исследуемых параметров определены в соответствии с [9, 14–17] и учитывают движение системы с убывающей функцией времени, т.е. затухающие колебания. При этом значение коэффициента затухания колебаний  $\delta$ , (1/с), определяется как в [9] по выражению

$$\delta = \frac{r}{2m}, \quad (7)$$

где  $r$  – коэффициент сопротивления среды, принимаем  $r = 0,5k_2/c$  [14];  $m$  – масса обрушившихся пород, кг.

Установлено, що во всех рассматриваемых случаях, с увеличением длины балки, частота колебаний уменьшается (рис. 3, зависимости 1, 3, 5), а период колебаний увеличивается (рис. 3, зависимости 2, 4, 6). Для консольной балки, длина которой  $l > 30\text{ м}$ , значения частоты и периода колебаний, за указанной отметкой, стабилизируются (рис. 3, зависимости 5, 6).

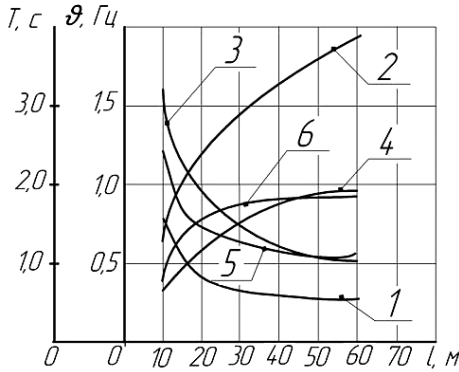


Рисунок 3 – Изменение частоты  $\nu$ , (Гц) и периода  $T$ , (с) колебаний рассматриваемой системы от длины балки на упругом основании с неподвижными шарнирными опорами (1, 2), двусторонней (3, 4) и односторонней (5, 6) жесткой заделкой

Учитывая время релаксации колебаний  $\tau$ , (с) [9], когда

$$\tau = \frac{1}{\delta}, \quad (8)$$

число полных колебаний, совершаемое системой за время, в течение которого продолжаются собственные колебания, можно определить как в [9], т.е. по выражению

$$N_e = \frac{\tau}{T}. \quad (9)$$

Установлено, что за время релаксации колебаний, полное число последних, с увеличением длины балки, уменьшается (рис. 4). Для консольной балки число колебаний с увеличением длины в 6 раз, уменьшается в 2,1 раза, с  $N_e = 5503$  до  $N_e = 2560$ . При длине балки более  $l > 30\text{ м}$ , число колебаний практически не изменяется и равно  $N_e = 2600$  (рис. 4, зависимость 3).

Для балки с неподвижной шарнирной опорой, с увеличением длины в 6 раз, число полных колебаний системы уменьшается с  $N_e = 3082$  до  $N_e = 1044$ , т.е. в 2,9 раза (рис. 4, зависимость 1). Такая же закономерность отмечена нами и в случае, когда балка имеет двустороннюю жесткую заделку (рис. 4, зависимость 2).

Физический процесс собственных колебаний системы характеризуется добротностью, величина которой определяется по выражению [9]

$$D = \pi N_e. \quad (10)$$

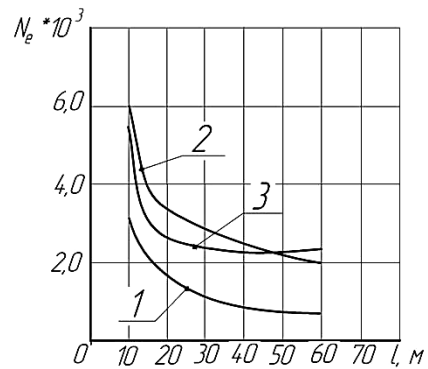


Рисунок 4 – Изменение числа колебаний  $N_e$  совершаемое системой за время их релаксации при вариации длины балки  $l$ , (м) на упругом основании с неподвижными шарнирными опорами (1), двусторонней (2) и односторонней (3) жесткой заделкой

На рис. 5 представлены зависимости, отражающие изменение величины добротности системы  $D$  от длины балки на упругом основании.

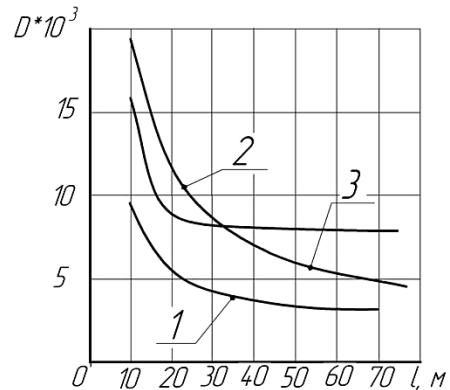


Рисунок 5 – Изменение величины добротности системы  $D$  от длины балки на упругом основании с неподвижными шарнирными опорами (1), двусторонней (2) и односторонней (3) жесткой заделкой

Установлено, что с увеличением длины балки, значения добротности рассматриваемой системы с различными вариантами опирания, уменьшаются (рис. 5). Чем больше добротность системы, тем медленнее происходит затухание колебаний. В рассматриваемых нами случаях, для балок с неподвижными шарнирными опорами и двусторонним жестким защемлением, при увеличении длины в 6 раз, величина добротности уменьшается в 2,9 раза (рис. 5, зависимости 1, 2). Для консольной балки, величина добротности, при увеличении длины в 6 раз, уменьшается в 2,1 раза (рис. 5, зависимость 3).

Для определения напряженно-деформированного состояния пород непосредственной кровли разрабатываемого пласта необходимо учитывать, прежде всего, жесткость рассматриваемой системы. Чем меньше жесткость рассматриваемой системы, тем больше время затрачивается на максимальный прогиб балки, а, следовательно, меньше величина дей-

ствующої сили, що виникає при обрушенні рас-  
слоївшихся порід на балку.

Промежуток часу, між моментом прило-  
ження діючої сили і досягненням макси-  
мального прогибу балки в розглядаємої системі,  
можна визначити за виразом [18, 19]

$$t = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{y}{g}}, \quad (11)$$

де  $y$  – прогиб балки від дії одиничної сили, м.

На рис. 6 представлені залежності, що відображають  
зміну проміжку часу між моментом  
прикладення одиничної сили і досягненням макси-  
мального прогибу балки, яка має пружне осно-  
вання, різну довжину і варіанти опори.

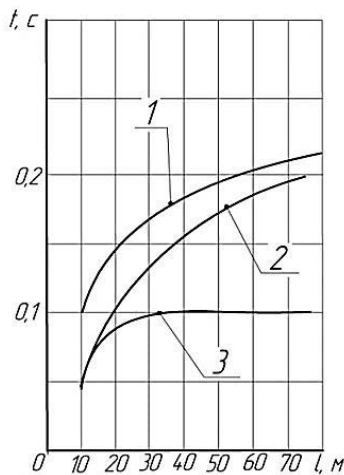


Рисунок 6 – Зміна проміжку часу  $t$ , (с) між моментом прикладення одиничної сили і досягненням максимального прогибу балки на пружному основанні при її різній довжині  $l$ , (м), коли така балка має нерухомі шарнірні опори (1) і двосторонню (2) або односторонню (3) жорстку заделку

З рис. 6 видно, що при збільшенні довжини балки час, яке витрачається на її максимальний прогиб при дії одиничної сили, збільшується. Така закономірність справедлива для випадків, коли балка має нерухомі шарнірні опори і двосторонню жорстку заделку (рис. 6, залежності 1, 2).

В випадку, коли балка має жорстку заделку з однієї сторони, т.е. коли розглядається консольна балка, встановлена закономірність прослідковується до довжини  $l=30$ м, а потім час не змінюється (рис. 6, залежність 3). Пояснити це можна впливом пружного основання, зміна жорсткості якого обмежує дію на балку одиничної сили.

Для доведення цього положення розглянемо вигин балки кінцевої довжини на пружному основанні (рис. 7). При дії одиничної сили  $P$ , (Н) в центральній частині балки, прогиб в цьому місці можна визначити за виразом як в [12]

$$y_c = \frac{P\beta}{2k} \cdot \frac{ch\beta l + \cos\beta l + 2}{sh\beta l + \sin\beta l}. \quad (12)$$

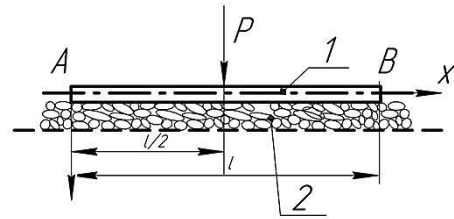


Рисунок 7 – Розрахункова схема до визначення величини прогибу балки на пружному основанні:  $P$  – діюча сила, Н; 1 – балка; 2 – пружне основання – закладочний масив;  $E=15000$  МПа,  $I=0,083$  м<sup>3</sup>;  $m=1000$  кг

Переміщення вільних кінців балки, т.е. її прогиб в т. А і т. В (рис. 7), визначається як

$$y_A = y_B = \frac{2P\beta}{k} \cdot \frac{ch\frac{\beta l}{2} \cos\frac{\beta l}{2}}{sh\beta l + \sin\beta l}. \quad (13)$$

З урахування виразів (12) і (13) на рис.8 представлені залежності, що відображають зміну прогибу такої балки в центральній частині і на вільних кінцях від її довжини.

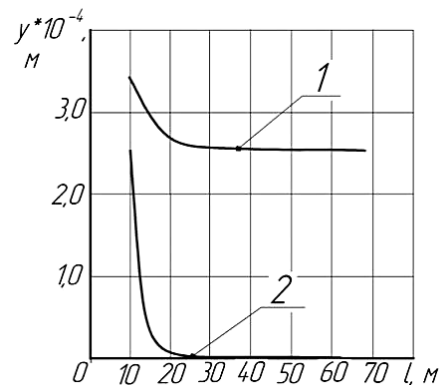


Рисунок 8 – Зміна прогибу балки  $y$ , (м) вільно лежачої на пружному основанні в центральній частині (1) і на вільних кінцях (2) від її довжини  $l$ , (м)

З рис. 8 видно, що при довжині балки  $l>30$  м, діюча одинична сила, прикладена в центрі балки, не сприяє збільшенню прогибу в цьому місці (рис. 8, залежність 1). При цьому вільні кінці балки при довжині  $l>30$ м залишаються нерухомими (рис. 9, залежність 2). Очевидно з-за демпфуючих властивостей закладочного масиву, виникає обмежене вплив на балку одиничної сили.

При розробці вугільних пластів в складних горно-геологічних умовах, розміщення позади очистного забоя опори в формі закладки виробничого простору, т.е. податливої опори, дозволить створити умови, в яких вплив збурюючої сили, проявляється при раптових обрушеннях

боковых пород, будет ограничено, что позволит сохранить горные выработки в эксплуатационном состоянии. В таких условиях при определении жесткости рассматриваемой системы, необходимо учитывать не только прогиб балки, но и усадку податливой опоры (закладочного массива). В результате выполненных исследований установлено, что уменьшение жесткости системы, в которой породы кровли считаются балкой на упругом основании, приводит к увеличению промежутка времени, затрачиваемого на максимальный прогиб такой балки, а, следовательно, уменьшению величины действующей силы, имеющей место при внезапном обрушении расслоившихся пород на балку. В случае консольной балки, длина которой  $l > 30m$ , влияние возмущающей силы ограничено по длине балки и не оказывает влияния на ее свободный конец, лежащий на упругом основании (закладочном массиве).

**ВЫВОДЫ.** В реальных условиях разработки угольных пластов, когда породы кровли считаются консольной балкой, при отсутствии их эффективного подпора со стороны выработанного пространства, в результате ударного воздействия (обрушения пород внезапных посадок пород кровли), вероятность завала горных выработок всегда возрастает. Применение закладки выработанного пространства позволит улучшить состояние боковых пород за счет уменьшения жесткости рассматриваемой системы, а, следовательно, уменьшить величину амплитуды колебаний, определяющей характер напряженно-деформированного состояния пород кровли разрабатываемого пласта, что позволит сохранить выработки в эксплуатационном состоянии. При таком подходе повышается безопасность отработки угольных пластов в сложных горно-геологических условиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сдвигение и разрушение горных пород / С.Д. Викторов, М.А. Иофис, С.А. Гончаров – М.: Наука, 2005. – 277 с.
2. Предотвращение травматизма от обвалов и обрушений на угольных шахтах / В.В. Радченко, Н.С. Медведев, Н.С. Кузьменко – К.: 2010. – 372 с.
3. Снижение травматизма от проявлений горного давления / В.И. Николин, С.В. Подкопаев, А.В. Агафонов, Н.В. Малеев – Донецк: Норд-Пресс, 2005. – 232 с.
4. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле - М.: КомКнига, 2006. – 440с. ISBN: 5-484-00599-х.
5. Richard F.E., Whitman R.V., Comparison of footing vibration with theory. – I. Soil Mech. And Found. Div. Asce. 1967. – № 93,6 – pp.143–168.
6. Жуков В.Е. Об одной стратегической ошибке в разрешении проблемы разработки угольных пластов // Уголь Украины. – 2001. – № 7 – С. 6–10.
7. Исследования устойчивости боковых пород в сложных горно-геологических условиях / И.И. Пугач, С.В. Подкопаев, И.В. Иорданов, Д.А. Чепига // Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». Зб. наук. праць. Харків. – № 42 (1214). – 2016. – С. 111–116.
8. Pipparad A.B. The Physics of Vibration- Cambridge University Press, 2007 – 656 p. – ISBN: 0521033330.
9. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн.- НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика - 2000.- 560 с. – ISBN: 5– 93972-012-9.
10. Iuman D.J. Engineering Vibration - Pearson Education. Inc., – 2014– 707 p.– ISBN: 978-1-4822-3400-8.
11. Discrete Oscillation Theory / R.P. Agarwal, M. Bohrer, S.R. Grace, P. O'Regan. – Hindwai Publishing Corporation, 2005. – 961 p. ISBN: 97775945194
12. Тимошенко С.П. Курс теории упругости - К.: Наукова думка, 1972. – 508 с.
13. Циглер Ф. Механика твердых тел и жидкостей – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика» – 2002. – 912 с.
14. Баланин А.А., Фрайман Г.М. Основы теории колебаний и волн. Динамика сосредоточенных и распределительных систем – Нижний Новгород: ФИЦ ИПФ РАН, 2016. – 232 с.
15. Kelly S.G. Advanced Vibration Analysis- CRC Press, Teylor@Francis – Group, 2007.– 650 p. – ISBN: 978-1-4200-1532-4.
16. Baddour N. Recent Advances in Vibrations Analysis. - In Tech., Rigeika, Croatia, 2011. – 236 p.
17. Sinda A. Vibration of Mechanical Systems.- Cambridge University Press, 2010. – 324 p. – ISBN 0 521518733.
18. Бирбраер А.Н., Роледар А.Ю. Экстремальные воздействия на сооружения – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 594 с.
19. Джонсон К. Механика материалов – СПб.: Лань, 2002. – 672 с.

#### TO THE QUESTION OF THE APPLICATION OF THE BILL OF THE ESTABLISHED SPACE IN COMPLEX MINING-GEOLOGICAL CONDITIONS

**I. Yordanov, D. Chepiga, A. Petrenko**

Public higher education institution «Donetsk National Technical University»

pl. Shibankova, 2, Pokrovsk, Donetsk region, 85300, Ukraine. E-mail: daria.chepiha@donntu.edu.ua

**V. Kolomiets**

Mine management «Yuzhnodonbasskoye №1»

vul. Magistralnaya, 4, Ugledar, Donetsk region, 85670, Ukraine.

**A. Korol'**

Mine management «Dobropolskoe» LLC «DTEK Dobropolyeugol»»

vul. Kievskaya, 1a, Dobropolye, Donetsk region, 85013, Ukraine.

**Purpose.** To research the determination of the stress-strain state of the roof rocks on the developed coal seam under the method of controlling the roof in the cleaning face by laying the worked out space. **Methodology.** Analytical studies using the basic provisions of the theory of elasticity and the theory of oscillations have been used. **Results.** It has been found out that with the use of a bookmark developed, the stiffness of the system under consideration decreases and the influence of the disturbing force and the amplitude of the oscillations determining the stress-strain state of the lateral rocks during sudden collapse of the stratified strata and landing of the main roof is limited. **Originality.** In the system that has been regarded, the coal bed rocks of the coal seam that is being developed, are considered to be a beam with different support options. When studying the flexural oscillations of beams in such a system, it is necessary to take into account the deflection of the beam and the compliance of the security structures on which the beam rests. **Practical value.** The application of goaf stowing will ensure the operational condition of the mine workings. **Conclusions.** The use of goaf stowing will improve the state of the lateral rocks by reducing the rigidity of the system under consideration, limiting the effect of the disturbing force upon sudden collapse of the lateral rocks and planting of the main roof, and also reducing the amplitude of the oscillations determining the stress-strain state of the roof and soil of the coal seam during operation mine workings. References 19, figures 8.

**Key words:** rock pressure, crushing, bending vibrations, load response, foil bearing, goaf stowing.

#### REFERENCES

1. Viktorov, S.D. (2005), *Sdvizhenie i razrushenie gornyh porod* [Displacement and destruction of rocks], Nauka, Moscow, Russia.
2. Radchenko, V.V., Medvedev, N.S., Kuz'menko, N.S. (2010), *Predotvrashhenie travmatizma ot obvalov i obrushenij na ugol'nyh shahtah* [Prevention of injuries from collapses and collapses in coal mines], Kiev, Ukraine.
3. Nikolin, V.I., Podkopaev, S.V., Agafonov, A.V., Maleev, N.V. (2005), *Snizhenie travmatizma ot projavlenij gornogo davlenija* [Injury Reduction of manifestations of rock pressure], Nord-Press, Donetsk, Ukraine.
4. Timoshenko, S.P. (2006), *Kolebaniya v inzhenernom dele* [Fluctuations in the engineering case], KomKniga, Moscow, Russia.
5. Richard, F.E., Whitman, R.V. (1967), *Comparison of footing vibration with theory*, I.SoilMech. And Found. Div. Asce., №93, 6, pp.143-168.
6. Zhukov, V.E. (2001), About one strategic error in solving the problem of the development of steep seams, *Coal of Ukraine*, no.7, pp.6-10.
7. Pugach, I.I., Podkopaev, S.V., Iordanov, I.V., Chepiga, D. A. (2016), Studies of the stability of lateral rocks in complex mining and geological conditions, *Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". Series "New solutions in modern technologies"*, no.42 (1214), pp.111-116.
8. Pippard, A. B. (2007), *The Physics of Vibration*, Cambridge University Press, ISBN: 0521033330.
9. Rabinovich, M.I., Trubetskov, D.I. (2000), *Vvedenie v teoriyu kolebaniy i voln* [Introduction to the theory of oscillations and waves], NITs "Regul'naya i haoticheskaya dinamika", ISBN:5 – 93972-012-9.
10. Iuman, D.J. (2014), *Engineering Vibration*, Pearson Education. Inc., ISBN: 978-1-4822-3400-8.
11. Agarwal, R.P., Bohrer, M., Grace, S.R., O'Regan, P. (2005), *Discrete Oscillation Theory*, Hindwai Publishing Corporation, ISBN: 97775945194.
12. Timoshenko, S. P. (1972), *Kurs teorii uprugosti* [Course of the theory of elasticity], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.
13. Tsigler, F. (2002), *Mehanika tverdih tel i zhidkostey* [Mechanics of solids and liquids], NITs «Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika», Izhevsk, Russia.
14. Balanin, A. A., Frayman, G. M (2016), *Osnovy teorii kolebaniy i voln. Dinamika sosredotochennyih i raspredelitelnyih sistem* [Fundamentals of the theory of oscillations and waves. Dynamics of concentrated and distributive systems], FITs IPF RAN, Nizhniy Novgorod, Russia.
15. Kelly, S. G. (2007), *Advanced Vibration Analysis- CRCPres*, Teylor@Francis Gproup, ISBN: 978-1-4200.-1532-4.
16. Baddour, N. (2011), *Recent Advances in Vibrations Analysis*, In Tech., Rigeika, Croatia.
17. Sinda, A. (2010), *Vibration of Mechanical Systems*, Cambridg University Press, ISBN: 0521518733.
18. Birbraer, A.N, Roledar, A.Yu. (2009), *Jekstremal'nye vozdeystvija na sooruzhenija* [Extreme effects on structures], Publishing house Polytechnic. Universit, St. Petersburg, Russia.
19. Johnson, K. (2002), *Mehanika materialov* [Mechanics of Materials], Lan', St. Petersburg, Russia.

Стаття надійшла 15.11.2017.