

УДК 622.834:622.862.3

doi:10.20998/2413-4295.2017.32.08

О КОЛЕБАНИЯХ БОКОВЫХ ПОРОД ПРИ ДЕЙСТВИИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

С. В. ПОДКОПАЕВ, И. В. ИОРДАНОВ, Д. А. ЧЕПИГА*, Н. Н. ВЛАСЕНКО

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

* email: daria.chepiga@donntu.edu.ua

АННОТАЦИЯ В результате проведенных исследований было изучено влияние ударных нагрузок, в виде обрушений боковых пород, на состояние кровли разрабатываемого угольного пласта. Установлено, что при обрушении расслоившихся боковых пород в горную выработку и их соударении с породами непосредственной кровли, необходимо учитывать скорость и место соударения пород о балку, ее угловую скорость и амплитуду колебаний. Доказано, что применение податливых опор, в виде закладочного массива, способствует не только демпфированию колебаний балки – пород непосредственной кровли при проявлении динамических нагрузок, но и уменьшению ее угловой скорости после удара, что позволяет создать благоприятные условия для эффективного поддержания горных выработок и безопасные условия труда горнорабочих в сложных горно-геологических условиях.

Ключевые слова: горное давление; динамические нагрузки; ударный импульс; обвалы, закладка выработанного пространства.

REVISITING POSSIBILITY TO CROSS THE DISJUNCTIVE GEOLOGICAL FAULTS WITH UNDERGROUND GASIFIER

S. PODKOPEV, I. IORDANOV, D. CHEPIGA*, N. VLASENKO

Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, UKRAINE

ABSTRACT Analytical studies were carried out to study the condition of the roof rocks of the developed coal seam under the action of dynamic loads in the form of collapses of exfoliated lateral rocks, with the placement of a lining massif or broad compliant bands in the developed space. The main provisions of classical mechanics, the theory of oscillations and mathematical analysis, the theory of elasticity, and the theory of impact were used. As a result of the conducted studies, the effect of impact loads, in the form of lateral rock collapse, on the condition of the roof of the developed coal seam, was studied. The rocks of the roof were presented in the form of a beam with a hinged fixed support and with a supple support, and the collapsed rocks-in the form of a block. When collapsing lateral rocks collapse into the mine workings and their collision with the rocks of the direct roof, it is necessary to take into account the speed and the place of rock collision on the beam, its angular velocity and the amplitude of the oscillations have been established. The use of compliant supports, in the form of a backfilling array, contributes not only to the damping of the beam oscillations - the rocks of the immediate roof under the manifestation of dynamic loads, but also to the reduction of its angular velocity after impact has been proved. This allows creating favorable conditions for effective maintenance of mine workings and safe working conditions for miners in difficult mining and geological conditions.

Key words: rock pressure; dynamic force; impact pulse; caving; goaf stowing.

Введение

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 возможному их завалу, а так же травматизму горнорабочих. В реальных условиях разработки угольных пластов, при отсутствии для расслоившихся пород кровли эффективного подпора со стороны выработанного пространства, опасность возникновения аварийных ситуаций от обвалов и обрушений возрастает. Подработанные и расслоившиеся боковые породы, оседающие на хаотически обрушенные слои непосредственной кровли, представляют собой блочный массив, состоящий из балок различной

длины. Причем породы основной кровли, представленные в виде породной консоли, одновременно изгибаются и неконтролируемо обрушаются позади очистного забоя, создавая неблагоприятную геомеханическую обстановку в окрестности поддерживаемых и проводимых горных выработок.

Детальный анализ аварий, произошедших в период 2000-2016 гг. на угольных шахтах Украины, позволяет сделать вывод о том, что во многих случаях основными причинами травматизма от обвалов и обрушений пород в углепородном массиве, является недостаточная изученность природы обрушений и, в связи с этим, принятие ошибочных технических решений. Очевидно, изучение сущности обрушений, их влияние на состояние боковых пород и разработка эффективных мероприятий, направленных на повышение устойчивости горных выработок, будет

способствовать созданию условий безопасного ведения горных работ в условиях глубоких шахт.

Анализ исследований и публикаций

Изучение особенностей проявления горного давления в выработках на большой глубине [1] позволило установить, что характер его опасных проявлений определяется не только напряженным состоянием массива осадочных 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 сдвижений и деформаций боковых пород [2], в зависимости от горно-геологических условий, зона расслоения боковых пород составляет по нормали к напластованию в кровлю и почву разрабатываемого пласта 4-8м. Негативные последствия такой геомеханической ситуации могут проявляться в том, что расслоившиеся породы внезапно обрушаются по всей длине очистного забоя разрабатываемого пласта и способствуют проявлению динамических нагрузок. На динамику и параметры образования таких зон, в значительной степени влияет способ управления кровлей в лаве и охраны горных выработок.

Характерной особенностью динамических нагрузок является то, что в результате их воздействия на породы кровли, в последних возникают колебания. Меняющаяся по величине нагрузка, имеющая место при обрушениях боковых пород, если точка ее приложения перемещается, вызывает нестационарные колебания [3]. Следует отметить, что процесс соударения твердых тел только при относительно малых скоростях сопровождается упругими деформациями материала. В связи с этим, проблема количественного описания характеристик процесса и прогноза его последствий сводится к начально-краевой задаче динамической теории упругости. Во многих иных случаях, представляющих не только научный, но и практический интерес, скорости соударения таковы, что материал испытывает значительные необратимые деформации и разрушается. В результате этого, задача количественного описания значительно усложняется и для ее решения требуются сведения о свойствах материала при его неупругом деформировании и разрушении, а с другой – модельные построения для адекватной ее математической формулировки [4,18,19]. Именно поэтому проблема соударения твердых тел представляет собой целое научно-техническое направление исследований, в т.ч. и для повышения безопасности труда на угольных шахтах, где имеют место обрушения расслоившейся породной толщи. Очевидно, понятие устойчивости боковых пород и горных выработок, тесно связано с учением о

колебаниях, имеющих место при проявлении динамических (ударных) нагрузок.

В динамических задачах, в частности в задачах о колебаниях, положение точек системы изменяется с течением времени и установленные координаты являются функциями времени [5,6]. Основная задача динамического исследования состоит в нахождении этих функций, т.е. в определении закона движения рассматриваемой системы.

Исследованиями ДонУГИ и ДонНТУ [1,7] ранее было установлено, что закладочный массив предотвращает развитие сдвижений горных пород в окрестности выработок и создает зоны устойчивых пород впереди и позади очистного забоя. По всей видимости, закладочный массив или податливые опоры, на которые опираются породы кровли, устраняют негативные явления, проявляющиеся в углепородном массиве при обрушении пород или посадке основной кровли.

Постановка задачи

С целью изучения состояния пород кровли разрабатываемого угольного пласта при действии на них динамических нагрузок в виде обрушений расслоившихся боковых пород, с размещением в выработанном пространстве закладочного массива или широких податливых полос, нами были проведены аналитические исследования с использованием основных положений классической механики, теории колебаний и математического анализа, теории упругости и теории удара [6,8-20].

Изложение материала и результаты

В результате проведенных исследований было изучено и установлено влияние ударных нагрузок на состояние пород кровли разрабатываемого пласта при изгибных колебаниях балок, имеющих неподвижную шарнирную опору и податливую опору.

Рассмотрим породы кровли разрабатываемого пласта в виде балки длиной l , (м) и массой m_2 , (кг) (рис.1). В результате обрушения боковых пород на балку – породы непосредственной кровли падает блок массой m_1 , (кг) со скоростью v , (м/с). Место соударения обрушившихся пород о балку относительно опор А и В, определяется расстоянием a , (м) и b , (м). Обрушившиеся породы, представленные в виде блока, будем считать материальной точкой. Балка в плоскости вращается вокруг шарнира в точке А. Исходя из этого, система имеет два независимых виртуальных перемещения и определяется двумя обобщенными координатами q_1 и q_2 , которые определяют ее положение в любой момент времени. Тогда, для решения задачи, позволяющей определить устойчивость данной системы, рассмотрим балку с неподвижной шарнирной опорой (рис.1,а) и с податливой опорой, имеющей жесткость C (рис.1,б).

В случае, когда балка на свободном конце (опора В) имеет неподвижную шарнирную опору (рис.1,а), уравнение Д'Аламбера [10-12] в виде моментов импульсов относительно опоры А и опоры В имеет вид:

$$\begin{cases} \sum M_{A_i} = S_B \cdot l - S' \cdot a = 0, \\ \sum M_{B_i} = -S_A \cdot l + S' \cdot b = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Из системы уравнений (1) определим ударные импульсы при обрушении боковых пород, т.е.

$$S_A = \frac{b}{l} (1+k) \cdot v \cdot m_1, \quad (2)$$

$$S_B = \frac{a}{l} (1+k) \cdot v \cdot m_1, \quad (3)$$

где k – коэффициент восстановления при ударе.

На рис.2 а,б представлена корреляция величины ударных импульсов балки – пород непосредственной кровли разрабатываемого угольного пласта от скорости соударения обрушившихся пород, с учетом различных значений коэффициента восстановления при ударе. При этом учитывалось следующее положение: в случае, когда $b=0,2l$, удар происходит ближе к опоре В, при $b=0,9l$, удар имеет место ближе к опоре А. Если $a=0,2l$, событие происходит ближе к опоре А, при $a=0,9l$ – ближе к опоре В. С учетом коэффициента восстановления (k) в исследованиях рассматривали удар, близкий к упругому, когда $k=0,7$ и, близкий к неупругому, когда $k=0,2$.

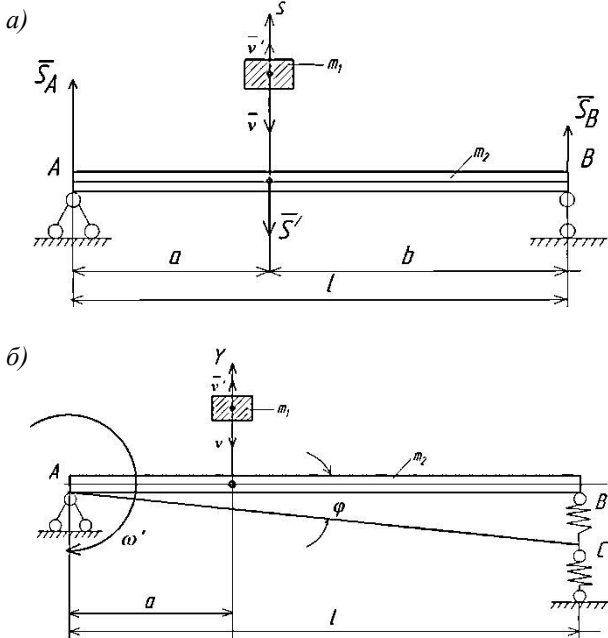


Рис. 1 – Расчетная схема балки – непосредственной кровли при обрушении боковых пород: а) с неподвижной шарнирной опорой; б) с податливой опорой.

Установлено, что при увеличении скорости соударения обрушившихся пород о балку – породы непосредственной кровли, величина ударного импульса возрастает. Максимальные значения этой величины отмечены при ударе, близком к упругому, когда место соударения обрушившихся пород с балкой ближе к ее опорам (рис. 2,а,б, зависимости 1,2). Такая же закономерность прослеживается и в случае, когда рассматривается удар, близкий к неупругому. Но при этом величина ударного импульса у опор А и В меньше на 25-30% (рис. 2,а,б, зависимости 3,4).

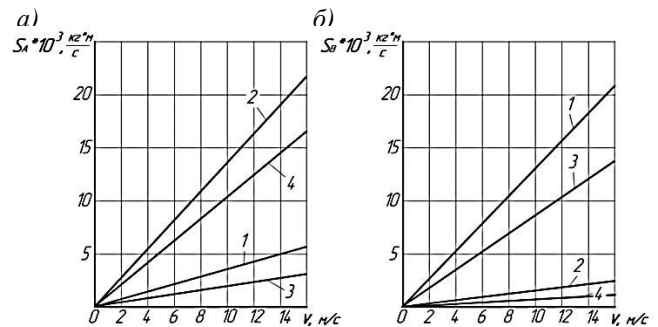


Рис. 2 – Изменение величины ударного импульса S ($кг \cdot м/с$) балки – непосредственной кровли от скорости соударения v , ($м/с$) обрушившихся пород, с учетом места соударения при различных значениях коэффициента восстановления k : а) в опоре А, при $k=0,7$ 1 – $b=0,2l$, 2 – $b=0,9l$, при $k=0,2$ 3 – $b=0,2l$, 4 – $b=0,9l$; б) в опоре В, при $k=0,7$ 1 – $a=0,2l$, 2 – $a=0,9l$, при $k=0,2$ 3 – $a=0,2l$, 4 – $a=0,9l$

Очевидно для того, чтобы уменьшить вредное воздействие удара, необходимо разместить на свободном конце балки податливую опору (рис.1,б). При этом удар следует считать близким к неупругому.

Для рассматриваемой расчетной схемы такой балки (рис. 1, б) используем принцип Д'Аламбера [10,12] и обозначим абсолютные обобщенные координаты как $q_1=y$, $q_2=\varphi$, а обобщенные скорости как $\dot{q}_1=\dot{y}$, $\dot{q}_2=\dot{\varphi}$.

Кинетическая энергия материальной точки и балки определяется по выражению [10]

$$T = \frac{1}{2} m_1 \dot{y}^2 + \frac{1}{2} \frac{m_2 l^2}{3} \dot{\varphi}^2, \quad (4)$$

с учетом того, что координата y положительная, при перемещении материальной точки вверх от балки, а угловая координата φ поворачивается по ходу часовой стрелки.

Определим частные производные кинетической энергии по обобщенным скоростям как

$$\frac{dT}{dy} = m_1 \dot{y}; \quad \frac{dT}{d\varphi} = m_2 \dot{\varphi} \frac{l^2}{3}; \quad (5)$$

В начале удара балка находится в состоянии статического покоя. При этом ее начальная угловая скорость равна нулю. Обозначим через v' (м/с) скорость тела после удара, а через w' (1/с) угловую скорость балки в конце удара. Тогда, приращение частных производных кинетической энергии системы по обобщенным скоростям имеют вид

$$\Delta \left(\frac{dT}{dy} \right) = m_1 (v' + v), \quad (6)$$

$$\Delta \left(\frac{dT}{d\varphi} \right) = \frac{m_2 l^2}{3} \cdot w'. \quad (7)$$

Для того чтобы характеризовать виртуальную работу рассматриваемой системы на соответствующее виртуальное перемещение, определим ее обобщенные импульсы как

$$Q_y^{y\partial} = \left. \frac{\delta A}{\delta y} \right|_{\delta y=0} = \frac{S \delta y}{\delta y} = S,$$

$$Q_\varphi^{y\partial} = \left. \frac{\delta A}{\delta \varphi} \right|_{\delta \varphi=0} = \frac{S \delta \varphi}{\delta \varphi} = S \cdot a. \quad (8)$$

Используя уравнение Лагранжа [10-12], имеем

$$\begin{cases} m_1 (v' + v) = S, \\ \frac{m_2 l^2}{3} \cdot w' = S \cdot a. \end{cases} \quad (9)$$

Эти уравнения являются линейными и отражают действия соударяющихся тел после удара.

В связи с тем, что удар о балку происходит в результате внезапного обрушения пород, их скорость при соударении определяет последующее состояние и движение последней. Связь между скоростями, в этом случае, можно определить с помощью коэффициента восстановления (k) как

$$k = \frac{v' + w' a}{v}, \quad (10)$$

а зависимость скоростей до и после удара пород о балку по равенству

$$kv = v' + w' a. \quad (11)$$

На основании вышеизложенного, получим систему линейных уравнений в виде

$$\begin{cases} v' + w' a = kv, \\ v' - \frac{m_2 l^2 w'}{3 m_1 a} = -v. \end{cases} \quad (12)$$

из которой определим скорость материальной точки после удара

$$v' = \left(\frac{km_2 l^2 - 3m_1 a^2}{m_2 l^2 + 3m_1 a^2} \right) \cdot v, \quad (13)$$

и угловую скорость балки после удара

$$w' = \left(\frac{3m_1 a(1+k)}{m_2 l^2 + 3m_1 a^2} \right) \cdot v, \quad (14)$$

На рис.3 представлена корреляция угловой скорости балки w' , (1/с) после удара обрушившихся пород, с учетом скорости соударения v , (м/с) твердых тел.

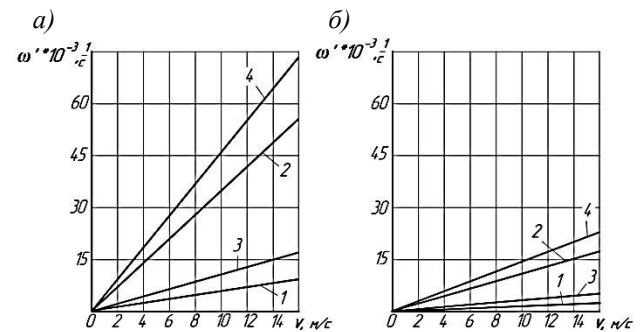


Рис. 3 - Изменение угловой скорости балки w' , (1/с) от скорости соударения обрушившихся пород о балку: а) при длине балки $l=20$ м, когда $k=0,2$ 1 - $a=0,2$ л, 2 - $a=0,9$ л, когда $k=0,7$ 3 - $a=0,2$ л, 4 - $a=0,9$ л; б) при длине балки $l=60$ м, когда $k=0,2$ 1 - $a=0,2$ л, 2 - $a=0,9$ л, когда $k=0,7$ 3 - $a=0,2$ л, 4 - $a=0,9$ л.

Установлено, что угловая скорость балки, длина которой $l=20$ м, после удара растет по мере увеличения скорости соударения твердых тел (рис.3, а). Отмечен рост исследуемой величины при увеличении длины балки до $l=60$ м (рис.3,б). Максимальные значения величины w' имеют место при ударе, близком к упругому и минимальные, когда рассматриваемый удар, близкий к неупругому. В этом случае, свободный конец балки опирается на податливую опору. Увеличение длины балки в 3 раза, с $l=20$ м до $l=60$ м, снижает величину ее угловой скорости после удара в 2,5-2,6 раза (рис. 3 а,б). Очевидно, проявление больших скоростей соударения более $v=15-20$ м/с, в результате обрушения пород, может существенно изменить характер разрушений пород кровли и ухудшить состояние горных выработок.

Для того чтобы определить частоту и период колебаний рассматриваемой балки считаем, что угол ее поворота φ является обобщенный координатой. Тогда, уравнение движения балки имеет вид [15,17]

$$\varphi = a_\varphi \sin(pt + \alpha), \quad (15)$$

где a_φ – амплитуда колебаний, размерность которой совпадает с размерностью определяемой физической величины;
 α – начальная фаза колебаний.

Эти величины зависят от начальных условий рассматриваемой системы. Для того чтобы установить вид выражения для их определения, вначале найдем производную угловой функции по времени, т.е.

$$\dot{\varphi} = a_\varphi p \cos(pt + \alpha), \quad (16)$$

С учетом начальных условий

$$0 = a_\varphi \sin \alpha \quad (17)$$

и

$$w' = a_\varphi p \cos \alpha, \quad (18)$$

Отсюда следует, что $\alpha = 0$ и

$$a_\varphi = \frac{w'}{p}. \quad (19)$$

После преобразований, уравнение движения системы имеет вид

$$\varphi = \frac{w'}{p} \sin(pt + \alpha) = \frac{w'}{p} \sin pt. \quad (20)$$

где p – круговая частота колебаний, (1/с).

Круговую частоту колебаний рассматриваемой системы (рис.1,б) можно определить как в [17]

$$p = \sqrt{\frac{3C}{m_2}}, \quad (21)$$

а период ее колебаний как

$$T = \frac{2\pi}{p}. \quad (22)$$

На рис. 4 представлены зависимости, отражающие изменение амплитуды колебаний балки a_φ от скорости соударения обрушившихся пород при ударе, близком к упругому ($k=0,7$) и неупругому ($k=0,2$) с учетом изменения ее длины l , (м). Нами установлено, что для балок длина которых равна $l=20$ м, с увеличением скорости соударения твердых тел, амплитуда колебаний увеличивается (рис. 4, а).

Максимальные значения этой величины (зависимость 4, рис. 4а,б) отмечены при ударе близком к упругому, когда $k=0,7$, ближе к опоре В. При ударе близком к неупругому, когда $k=0,2$, величина амплитуды колебаний вблизи опоры В уменьшается на 30% (рис. 4,а, зависимости 2 и 4). Следует отметить, что с увеличением длины балки в 3

раза, амплитуда ее колебаний, при проявлении динамических нагрузок, уменьшается на 28-30%. Минимальные значения исследуемой величины имеют место при ударе, близком к неупругому, когда на свободном конце балки расположена податливая опора (рис. 4а,б).

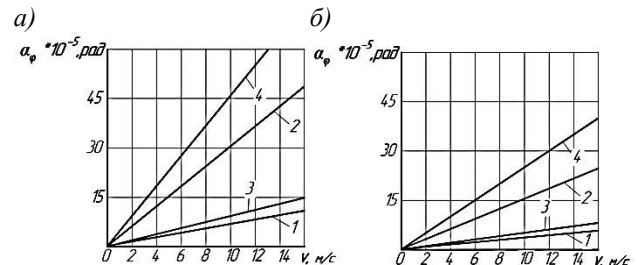


Рис. 4 - Изменение амплитуды колебаний балки a_φ , (рад) от скорости соударения обрушившихся пород с балкой v , (м/с): а) при длине балки $l=20$ м, когда $k=0,2$ 1 – $a=0,2l$, 2 – $a=0,9l$, когда $k=0,7$ 3 – $a=0,2l$, 4 – $a=0,9l$; б) при длине балки $l=60$ м, когда $k=0,2$ 1 – $a=0,2l$, 2 – $a=0,9l$, когда $k=0,7$ 3 – $a=0,2l$, 4 – $a=0,9l$.

Нами также установлено уменьшение на 30% круговой частоты балки и увеличение в 1,8-2 раза периода ее колебаний с увеличением длины последней в 3 раза (рис. 5).

Очевидно, что применение податливых опор, представленных в виде закладочного массива, способствует демпфированию колебаний балки – пород непосредственной кровли и уменьшению ее угловой скорости после удара. При этом необходимо учитывать место и скорости соударения твердых тел при обрушении расслоившихся боковых пород в горную выработку, которые при определенных условиях могут существенно изменить механические характеристики пород кровли разрабатываемого угольного пласта и повлиять на природу обрушений.

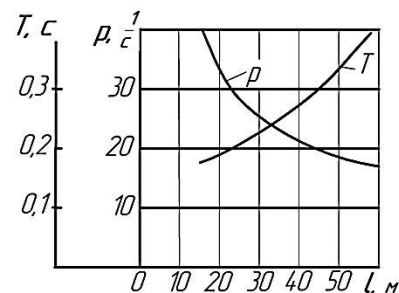


Рис. 5 - Изменение круговой частоты p , (1/с) и периода колебаний T , (с) балки от ее длины l , (м)

Таким образом, в результате проведенных исследований, установлено, что при разработке угольных пластов в сложных горно-геологических условиях, когда опасность возникновения аварийных ситуаций исходит от обвалов и обрушений пород кровли, использование податливых опор в виде

закладочного массива способствует устранению негативных проявлений, при которых возможны завалы горных выработок. При традиционных способах управления горным давлением (удержанием кровли на кострах, полное обрушение кровли) в очистном забое создаются условия, при которых в результате зависания породной консоли на больших площадях возможны ситуации близкие к аварийным, когда нависающие породы подработанной толщи, не имея достаточного подпора со стороны выработанного пространства, внезапно обрушаются. Наличие податливой опоры, в виде закладочного массива, уменьшает негативные действия динамических нагрузок, проявляющихся в результате обрушений и внезапных посадок пород основной кровли. Использование закладки выработанного пространства, как способа управления горным давлением в очистном забое позволит обеспечить не только устойчивость боковых пород и горных выработок, но и уменьшить вероятность обрушений расслоившейся породной толщи в результате ведения горных работ, а, следовательно, уменьшать травматизм горнорабочих по исследуемому опасному производственному фактору.

Вывод

При разработке угольных пластов в сложных горно-геологических условиях, во избежание аварийных ситуаций с учетом динамики боковых пород, следует ориентироваться на способ управления горным давлением – закладкой выработанного пространства. Это позволит исключить проявление негативных последствий, имеющих место в результате внезапных обрушений и посадок пород кровли разрабатываемого угольного пласта в условиях глубоких шахт.

Список литературы:

1. **Николин, В. И.** Снижение травматизма от проявлений горного давления / **В.И. Николин, С.В. Подкопаев, А.В. Агафонов, Н.В. Малеев.** – Донецк: Норд-Пресс, 2005. – 232 с.
2. **Викторов, С. Д.** Сдвигение и разрушение горных пород / **С. Д. Викторов, М. А. Иофис, С. А. Гончаров.** – М.: Наука, 2005. – 277 с.
3. **Agarwal, R.P.** Discrete Oscillation Theory / **R.P. Agarwal, M. Bohner, S.R. Grace, P. O'Regan.** – Hindwai Publishing Corporation, 2005. – 961 p.
4. **Зукас, Дж. А.** Динамика удара / **Дж. А. Зукас, Т. Николас, Х. Ф. Свифт, Л. Б. Грещук и др.** – М.: Мир, 1985. – 296с.
5. **Richard, F. E.** Comparison of footing vibration with theory / **F. E. Richard, R. V. Whitman** – *I. Soil Mech. And Found. Div. ASCE.* – 1967. - №93,6 – p.143-168.
6. **Pippard, A. B.** The Physics of Vibration / **A. B. Pippard.** – Cambridge University Press, 2007. – 656 p.
7. **Жуков, В. Е.** Об одной стратегической ошибке в разрешении проблемы разработки крутых угольных пластов / **В. Е. Жуков** // *Уголь Украины.* – 2001. - №7. – с. 6-10.
8. **Ehrler, O.** Nonlinear parameters of vibrating foundation / **O. Ehrler** // *J. Soil Mech. And Found. Div. ASCE.* – 1968. - №94,6 – p.1091-1214.
9. **Novak, M.** Prediction of footing vibrations / **M. Novak** // *J. Soil Mech. And Found. Div. ASCE.* – 1970. - №96,3 – p. 837-861.
10. **Пирс, Л. А.** Аналитическая механика / **Л. А. Пирс.** – М.: Наука, 1971. – 636с.
11. **Арнольд, В. И.** Математические методы классической механики / **В. И. Арнольд.** – М.: Наука, 1989. – 472с.
12. **Ginsberg, J.** Engineering Dynamics / **J. Ginsberg** – Cambridge University Press, 2008. – 726p.
13. **Gross, D.** Dynamics – Formulas and Problems: Engineering Mechanics 3 / **D. Gross, W. Ehlers, P. Wriggers, J. Schroder, R. Muller** // Springer – Verlag, Berlin, Heigelberg, 2017. – 249p.
14. **Bottega, W. I.** Engineering Vibrations / **W.I. Bottega.** CRC Press, Taylor & Francis Group, 2006. – 727 p.
15. **Sinha, A.** Vibration of Mechanical Systems / **A. Sinha.** Cambridge University Press, 2010. – 324p.
16. **Ильин, М. М.** Теория колебаний / **М. М. Ильин, К. С. Колесников, Ю. С. Саратов.** – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 271 с.
17. **Тимошенко, С. П.** Колебания в инженерном деле / **С. П. Тимошенко, Д. Х. Янг, У. Унвер.** – М.: Машиностроение, 1985. – 472 с.
18. **Лапшин, В. В.** Нелинейная упругопластичная модель коллинеарного удара / **В. В. Лапшин, Е. А. Юдин** // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия Естественные науки.* – 2016. - №1. – с.90-99. – doi:10.18698/1812-3368-2016-1-90-99.
19. **Иванов, А. П.** Задача об ударе твердых тел / **А. П. Иванов** // *Соросовский образовательный журнал.* – 2001. – Т.7. - №5. – с. 122-127.
20. **Kelly, S. G.** Advanced Vibration Analysis / **S. G. Kelly** – CRCPress, Taylor@Francis Group. – 2007. – 650.

Bibliography: (transliterated)

1. **Nikolin, V. I., Podkopaev, S. V., Agafonov, A. V., Maleev, N. V.** Snizhenie travmatizma ot projavlenij gornogo davlenija. Nord-Press, Donetsk, Ukraine, 2005.
2. **Viktorov, S. D., Iofis, M. A., Goncharov, S. A.** Sdvizhenie i razrushenie gornyh porod. Nauka, Moscow, Russia, 2005.
3. **Agarwal, R. P., Bohner, M., Grace, S. R., O'Regan, P.** Discrete Oscillation Theory. Hindwai Publishing Corporation, 2005. – 961 p.
4. **Zukas, Dzh. A., Nikolas, T., Swift, H. F., Grashuk, L. B., Kurran, D. R.** Dinamika udara. Mir, Moscow, Russia, 1985.
5. **Richard, F. E., Whitman, R. V.** Comparison of footing vibration with theory. *I. Soil Mech. And Found. Div. ASCE,* 1967, **93**, 6, 143-168.
6. **Pippard, A. B.** The Physics of Vibration. Cambridge University Press, 2007. – 656 p.
7. **Zhukov, V. E.** About one strategic error in solving the problem of the development of steep seams. *Coal of Ukraine,* 2001, **7**, 6-10.
8. **Ehrler, O.** Nonlinear parameters of vibrating foundation. *J. Soil Mech. And Found. Div. ASCE,* 1968, **94**, 6, 1091-1214.
9. **Novak, M.** Prediction of footing vibrations. *J. Soil Mech. And Found. Div. ASCE,* 1970, **96**, 3, 837-861.
10. **Pirs, L. A.** Analiticheskaya mehanika. Nauka, Moscow, Russia, 1971.
11. **Arnold, V. I.** Matematicheskie metody klassicheskoy mehaniki. Nauka, Moscow, Russia, 1989.

12. **Ginsberg, J.** Engineering Dynamics. Cambridge University Press, 2008, 726p.
13. **Gross, D., Ehlers, W., Wriggers, P., Scroder, J., Muller, R.** Dynamics – Formulas and Problems: Engineering Mechanics 3. Springer – Verlag, Berlin, Heidelberg, 2017, 249 p.
14. **Bottega, W. I.** Engineering Vibrations. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2006, 727 p.
15. **Sinha, A.** Vibration of Mechanical Systems. – Cambridge University Press, 2010, 324 p.
16. **Ilin, M. M., Kolesnikov, K. S., Saratov, Yu. S.** Teoriya kolebaniy. Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman, Moscow, Russia, 2003.
17. **Timoshenko, S. P., Yang, D. H., Unver, U.** Kolebaniya v inzhenernom tele. Mashinostroenie, Moscow, Russia, 1985.
18. **Lapshin, V. V., Judin, E. A.** Nonlinear elastic-plastic model of collinear impact. *Bulletin of the MSTU. N.E. Bauman. Series of Natural Sciences*, 2016, **1**, 90-99.
19. **Ivanov, A. P.** The problem of impact of solids. *Soros Educational Journal*, 2001, **7**, **5**, 122-127.
20. **Kelly, S. G.** Advanced Vibration Analysis. CRC Press, Taylor & Francis Group. – 2007. – 650.

Сведения об авторах (About authors)

Подкопаев Сергей Викторович – доктор технических наук, профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», г.Покровск, Украина; e-mail: serhii.podkopaiev@donntu.edu.ua.

Sergey Podkopaiev – Doctor of Technical Sciences (Ph. D.), Professor, Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine; e-mail: serhii.podkopaiev@donntu.edu.ua.

Иорданов Игорь Вячеславович – кандидат технических наук, соискатель кафедры «Охрана труда», Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», г.Покровск, Украина; e-mail: gendir@eme.kiev.ua.

Igor Jordanov – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Applicant, Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine; e-mail: gendir@eme.kiev.ua.

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

Daria Chepiga – graduate student, Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine; e-mail: daria.chepiha@donntu.edu.ua.

Власенко Николай Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрическая инженерия», Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», г.Покровск, Украина; e-mail: nikola_v@mail.ru.

Nikolay Vlasenko – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine; e-mail: nikola_v@mail.ru.

Пожалуйста, ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Подкопаев, С. В. О колебаниях боковых пород при действии динамических нагрузок / **С. В. Подкопаев, И. В. Иорданов, Д. А. Чепига, Н. Н. Власенко** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 48-54. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.08.

Please cite this article as:

Podkopaev, S., Jordanov, I., Chepiga, D., Vlasenko, N. On the vibrations of lateral rocks under the action of dynamic loads. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **32** (1254), 48–54, doi:10.20998/2413-4295.2017.32.08.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Подкопась, С. В. Про коливання бічних порід при дії динамічних навантажень / **С. В. Подкопась, І. В. Іорданов, Д. А. Чепіга, М. М. Власенко** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 48-54. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.08.

АНОТАЦІЯ В результаті проведених досліджень було вивчено вплив ударних навантажень, у вигляді обвалень бічних порід, на стан покрівлі вугільного пласта, який розробляється. Встановлено, що при обваленні бічних порід, які розшарувалися, в гірничу виробку і їх зіткненні з породами безпосередньої покрівлі, необхідно враховувати швидкість і місце зіткнення порід і балки, кутову швидкість і амплітуду коливань балки. Доведено, що застосування піддатливих опор, у вигляді закладного масиву, сприяє не тільки демпфіруванню коливань балки - порід безпосередньої покрівлі при прояві динамічних навантажень, але і зменшенню її кутової швидкості після удару, що дозволяє створити сприятливі умови для ефективної підтримки гірничих виробок і безпечні умови праці гірників в складних гірничо-геологічних умовах.

Ключові слова: гірничий тиск, динамічні навантаження, ударний імпульс, обвалення, закладка виробленого простору.

Поступила (received) 01.09.2017