

О ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ ПРИ ВНЕЗАПНЫХ ОБРУШЕНИЯХ БОКОВЫХ ПОРОД

С. В. Подкопаев, И. В. Иорданов, Д. А. Чепига

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

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

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

В реальных условиях разработки крутых угольных пластов внезапные обрушения боковых пород представляют собой ударные явления, которые являются частью аварийных ситуаций. С этой целью выполнены исследования состояния пород непосредственной кровли разрабатываемого пласта, представленные в виде балки, которая опирается на податливую опору в виде закладочного массива и подвержена динамическим нагрузкам, т.е. внезапным обрушениям боковых пород. В результате выполненных исследований установлено, что при различном опирании пород непосредственной кровли позади очистного забоя, в результате ударного действия, их свойства могут изменяться. Такое положение имеет место при зависании пород непосредственной кровли на больших площадях и отсутствии эффективного подпора в выработанном пространстве. Изменить такую ситуацию возможно путем размещения в выработанном пространстве податливой опоры, в виде закладочного массива. Причем отставание должно быть минимальным, до 10 м. Установлено, чем меньше длина балки – породной консоли, тем система активнее реагирует на динамические проявления. Этим создаются условия для эффективного поддержания боковых пород в окрестности горных выработок и безопасные условия труда горнорабочих.

Ключевые слова: обрушение, колебания, импульс, динамические нагрузки, податливая опора, деформации.

ПРО ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ РАПТОВИХ ОБВАЛЕННЯХ БІЧНИХ ПОРОД

С. В. Подкопаєв, І. В. Іорданов, Д. А. Чепіга

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

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

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

В реальних умовах розробки крутих вугільних пластів раптові обвалення бічних порід являють собою ударні явища, які є складовою аварійних ситуацій. З цією метою були виконані дослідження стану порід безпосередньої покрівлі пласта, представлені у вигляді балки, яка спирається на піддатливу опору у вигляді закладного масиву і схильна до динамічних навантажень, тобто раптовим обваленням бічних порід. В результаті виконаних досліджень встановлено, що при різному обпиранні порід безпосередньої покрівлі позаду очисного забоя, в результаті ударної дії, їх властивості порід можуть змінюватися. Такий стан має місце при зависанні порід безпосередньої покрівлі на великих площах і відсутності ефективного підпору у виробленому просторі. Змінити таку ситуацію можливо шляхом розміщення у виробленому просторі піддатливої опори, у вигляді

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

закладного масиву. Причому відставання має бути мінімальним, до 10 м. Встановлено, чим менша довжина балки - породної консолі, тим система активніше реагує на динамічні прояви. Цим створюються умови для ефективної підтримки бічних порід в околиці гірничих виробок і безпечні умови праці гірників.

Ключові слова: обвалення, коливання, імпульс, динамічні навантаження, піддатлива опора, деформації.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Разработка угольных пластов Донбасса характеризуется относительно низким уровнем технико-экономических показателей. В настоящее время разработка угольных пластов осложняется ухудшающимися с глубиной горно-геологическими условиями, наличием неустойчивых вмещающих пород, изменением интенсивности смещений и формы их проявлений.

Общеизвестно, что эффективность отработки угольных пластов и безопасность ведения горных работ зависит от состояния горных выработок. Однако применяемые в настоящее время способы управления горным давлением – удержание кровли на кострах или полное обрушение кровли, в большинстве случаев, не позволяет обеспечить удовлетворительное состояние горных выработок, отвечающее требованиям ПБ (Правил безопасности).

Опыт работы шахт показывает, что в результате ведения горных работ, в зонах разгрузки, в углепородном массиве начинает проявляться такой природный фактор, как расслоения боковых пород, приводящий со временем к сдвигению нарушенной толщи и ее обрушениям. При традиционных способах управления горным давлением, применяемая в очистном забое крепь, а так же возводимые позади лавы средства охраны (костры, накатные костры), в некоторых случаях, связанных с ухудшением горно-геологических условий, не способны противостоять сдвигению нарушенной толщи. В таких условиях породы кровли разрабатываемого пласта не имея подпора позади очистного забоя, внезапно обрушаются, что способствует завалу не только очистной выработки, но и штрека [1,2].

Применяемые в настоящее время способы охраны штреков различного рода конструкциями из дерева, не обеспечивают надежной защиты выработок от вредных проявлений горного давления 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 обрушениях боковых пород в угольных шахтах, как правило, сопровождаются крупным материальным ущербом и невозможной утратой жизни.

Изучение особенностей проявления горного давления в выработках на большой глубине [1–3] позволило установить, что характер его опасных проявлений определяется не только напряженным состоянием массива осадочных горных пород и их физико-механическими свойствами, но и способностью деформироваться и разрушаться при разгрузке.

Считается [2–3], что наличие зон разгрузки способствует расслоению боковых пород, их проскальзыванию на контактах над- и подработанных слоев, появлению и раскрытию трещин, нормальных к напластованию и зачастую не совпадающих с природными трещинами. В таких условиях, происходит изменение

устойчивости пород в направлении простираения пласта и по высоте этажа, а кровля и почва разбивается на блоки различной длины, что может провоцировать их обрушение. Поэтому, изучение природы обрушений и разработка эффективных мероприятий, направленных на повышение устойчивости боковых пород при разработке угольных пластов в сложных горно-геологических условиях будет способствовать, прежде всего, созданию условий безопасного ведения горных работ и труда горнорабочих. Для изучения деформированного состояния боковых пород в горной выработке при внезапных обрушениях кровли разрабатываемого пласта были выполнены аналитические исследования с привлечением основных положений теоретической механики [4–5] и теории удара [6–7].

Согласно [8], динамические нагрузки, проявляющиеся в результате воздействия на конструкцию, рассматриваемую в виде балок различной длины, значительно опаснее статических, а поэтому, для смягчения действия этих нагрузок рекомендуется применение податливых опор. Такое решение имеет место, если конструкция представлена так же в виде плиты.

С этой целью нами выполнены исследования состояния пород непосредственной кровли пласта, представленные в виде балки, которая опирается на закладочный массив (податливую опору) и подвержена динамическим нагрузкам, т.е. внезапным обрушениям боковых пород.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Для решения поставленной задачи рассмотрим породы непосредственной кровли в виде балки, свободно лежащей на двух опорах. В результате ведения горных работ происходит внезапное обрушение боковых пород и породы непосредственной кровли претерпевают удар. Массу обрушившихся пород 1 обозначим через m_1 . Порода падает с высоты h . Масса балки m_2 , а ее длина l . Однородная балка 2 имеет податливую опору в точке В, представленную в виде пружины, и неподвижную шарнирную в точке А. При воздействии ударной нагрузки в точке С происходит соударение тел (рис. 1).

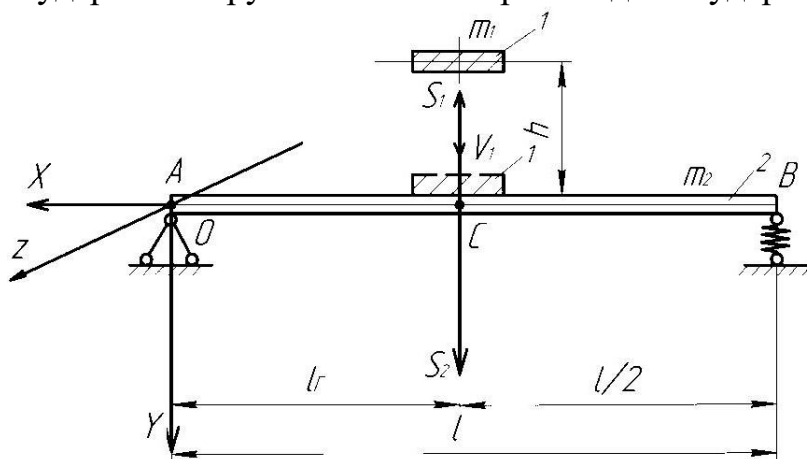


Рисунок 1 – Расчетная схема соударения твердого тела с балкой:

- 1 – обрушившиеся боковые породы, представленные телом массой m_1 , Н;
- 2 – балка – породы непосредственной кровли, представленные телом массой m_2 , Н;
- V_1 – скорость падающего тела, м/с; h – высота падения, м;
- l_r – расстояние от тела 1 до левого конца балки, м;
- S_1, S_2 – импульсы ударных сил, соответственно тела и балки, Нм/с

Принимаем некоторые допущения и решаем задачу в два этапа. Учитывая то, что процесс соударения протекает мгновенно [7], разделение на этапы является условным и необходимо для простоты решения задачи. Полагаем, что на протяжении первого этапа соударяемые тела движутся до сближения. В точке С, которая является центром балки и точкой удара, скорость тела 1 и 2 становится равной общей скорости. На втором этапе под действием упругих сил соударяемые тела отталкиваются, и их скорости могут изменяться.

Для использования теоремы об изменении количества движения материальной точки [5] считаем, что тело 1 движется поступательно. При этом, учитывая проекцию на ось ОУ имеем:

- на первом этапе

$$m_1 v - m_1 V_1 = -S_1^I, \quad (1)$$

- на втором этапе

$$m_1 v_1 - m_1 V_1 = -S_1^{II}, \quad (2)$$

где v – скорость движения обоих тел в конце первого этапа, м/с; v_1 – скорость тела 1 после удара, м/с; V_1 – скорость падающего тела, м/с; S_1^I, S_1^{II} – ударные импульсы тела 1 (обрушившихся пород) на первом и втором этапах соответственно, Нм/с.

Как было указано ранее [6], при ударе реальных тел в большинстве случаев осуществляется как упругое, так и пластическое деформирование. Поэтому механическая энергия к концу удара обычно восстанавливается лишь частично вследствие потерь на образование остаточных напряжений и деформаций. Эти частичные потери энергии при расчетах учитывают введением коэффициента восстановления, зависящего от физических свойств материала.

Согласно [9], при соударении твердых тел, коэффициент восстановления (k), можно определить через импульсы нагрузки S_H и разгрузки S_p рассматриваемой системы. В нашем случае

$$k = \frac{|S_p|}{|S_H|}, \quad (3)$$

при

$$S_H = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} (v_{a1} - v_{b1}) \quad (4)$$

$$S_p = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} (v_{b2} - v_{a2}), \quad (5)$$

где v_{a1}, v_{a2} – скорости падающего тела до и после соударения, м/с; v_{b1}, v_{b2} – скорость тела, о которое происходит удар до и после ударного действия, м/с.

Допускаем, что $V_1 = v_{a1}, v_1 = v_{a2}, v_{b1} = v_{b2} = v_2$.

Тогда между ударными импульсами обрушившихся боковых пород имеется связь

$$S_1^{II} = k S_1^I. \quad (6)$$

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Теперь рассмотрим балку в динамике. Предположим, что она может совершать вращательное движение относительно точки А. В этом случае используем теорему об изменении количества движения [5] относительно оси OZ (рис.1). Тогда имеем

$$L_{Z2} - L_{Z1} = \sum M_Z(S_k), \quad (7)$$

где L_{Z1} – момент количества движения тела в начале первого этапа, $\frac{m^2 \text{кг}}{c}$.

$L_{Z2} = Iw^I$ – момент количества движения при сближении соударяемых тел в конце первого этапа, $\frac{m^2 \text{кг}}{c}$.

$\sum M_Z(S_k)$ – сумма моментов внешних ударных импульсов относительно оси OZ, $\frac{m^2 \text{кг}}{c}$.

Следует отметить, что в начале удара угловая скорость балки $w=0$, а в конце первого этапа, она определяется как

$$w^I = \frac{v}{I}, \quad (8)$$

где I – момент инерции балки относительно оси OX, (см^4).

Относительно точки А момент инерции определяется исходя из теоремы о моментах инерции для параллельных осей [5]

$$I = \frac{m_2 l^2}{3} + m_2 l^2 = \frac{4}{3} m_2 l^2 = 1,3 m_2 l^2. \quad (9)$$

Для первого этапа, с учетом выражения (2)

$$Iw^I - 0 = S_2^I. \quad (10)$$

Для второго этапа

$$Iw_2 - Iw^I = S_2^{II}, \quad (11)$$

где w_2 – угловая скорость балки после удара, 1/с.

И согласно [5,6]

$$S_2^{II} = kS_2^I, \quad (12)$$

где S_2^I, S_2^{II} – импульсы ударных сил балки, соответственно, на первом и втором этапах.

С учетом выражений (1) и (10) имеем

$$m_1 v - m_1 V_1 = -S_1^I, \quad (13)$$

тогда общая скорость движения обоих тел в момент сближения определяется по выражению

$$v = V_1 \frac{m_1}{m_1 + 1,3m_2}. \quad (14)$$

Ударный импульс в конце первого этажа

$$S_1^I = m_1 V_1 \left(1 - \frac{m_1}{m_1 + 1,3m_2} \right). \quad (15)$$

Из выражения (10) определим импульс ударных сил балки на втором этапе

$$S_2^I = \frac{I}{l^2} \cdot v = 1,3m_2 v. \quad (16)$$

Далее определим ударный импульс в неподвижной шарнирной опоре, т.е. в точке А (рис.1). Как видно из рис.1, центр масс находится в середине балки, тогда

$$m_2 V_1 - m_2 V_2 = \sum S_k, \quad (17)$$

где V_1, V_2 – скорость в начале и конце удара, м/с.

С учетом проекции уравнения на оси ОХ и ОУ после соответствующих преобразований имеем

$$S_A = V_1(1 + k) \frac{1,3m_1m_2}{m_1+1,3m_2}. \quad (18)$$

Теперь определим ударный импульс в точке С (рис.1). Величина импульса в этой точке определяется как

$$S_C = S_1^I + S_1^{II} = S_1^I + kS_1^{II}. \quad (19)$$

Следовательно, в рассматриваемой системе, величина ударного импульса непосредственно в точке удара (точка С), полностью передается в точку В, т.е. выражения (18) и (19) идентичны.

Выражение для определения основных параметров соударяемых тел в результате обрушения боковых пород определяются по следующим зависимостям:

- скорость обрушившихся пород после удара, (м/с):

$$v_1 = V_1 \frac{m_1}{m_1+1,3m_2} \left(1 - k \frac{1,3m_2}{m_1}\right) \quad (20)$$

- скорость балки после удара, (м/с):

$$v_2 = V_1(1 + k) \frac{m_1}{m_1+1,3m_2} \quad (21)$$

- угловая скорость балки после удара, (1/с):

$$\omega_2 = \frac{v_2}{l} \quad (22)$$

- скорость движения двух тел, (м/с):

$$v = V_1 \frac{m_1}{m_1+1,3m_2} \quad (23)$$

- величина ударного импульса в центре балки, величина ударного импульса в неподвижной шарнирной опоре (Н·м/с):

$$S_{C,A} = V_1(1 + k) \frac{1,3m_1m_2}{m_1+1,3m_2}. \quad (24)$$

Перейдем к трактовке полученных результатов. В ходе выполненных исследований установлено, что величина импульса ударных сил, в результате обрушения боковых пород, в центре балки полностью совпадает с величиной импульса ударных сил, проявляющихся в неподвижной шарнирной опоре. Это означает, что в рассматриваемой системе, вследствие действия динамических нагрузок, ударный импульс центральной части балки полностью передается на ее неподвижную опору, причем с той же величиной ударной силы. Длина балки, при этом, на рассматриваемый процесс не оказывает существенного влияния. Причем, в случае абсолютно упругого удара, когда $k=1$, величина ударного импульса в рассматриваемой опоре увеличивается в 2 раза. Очевидно, параметры балки и величина ударной силы, проявляющаяся в месте контакта обрушившихся пород с балкой, в комплексе, оказывают значимое влияние на ее деформированное состояние.

Для того, чтобы свести к минимуму негативные проявления динамических нагрузок, применяют податливые опоры. Теперь определим максимальную деформацию податливой опоры в результате контактного взаимодействия, т.е. обрушения боковых пород.

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Считаем, что начальная статическая деформации в этом месте от веса балки будет равна

$$y_0 = \frac{m_2 g}{2C}, \quad (25)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²;

C – коэффициент жесткости податливой опоры, Н/с².

Пусть податливая опора, на которую опирается один конец балки имеет форму цилиндра, длина которого соответствует мощности разрабатываемого угольного пласта и изготовлена она из дробленой породы. Согласно [8], значение коэффициента жесткости можно определить по выражению

$$C = \frac{E \cdot S}{L_0}, \quad (26)$$

где E – модуль упругости материала, из которого изготовлена податливая опора, Н/м²;

S – площадь поперечного сечения опоры, м²;

L_0 – длина опоры, м.

Тогда кинетическая энергия балки после удара вызывает дополнительную деформацию податливой опоры и согласно [4,5]

$$T_2 - T_1 = A_{1-2}, \quad (27)$$

где T_2 – кинетическая энергия при максимальной деформации пружины, Дж;

T_1 – кинетическая энергия балки в момент начала движения после удара обрушившихся боковых пород, Дж;

A_{1-2} – работа сил тяжести балки и упругости при деформации пружины, Дж.

При максимальной деформации податливой опоры, движение балки прекращается и тогда

$$T_2 = 0, \text{ а } T_1 = \frac{I \cdot w_2^2}{2}, \quad (28)$$

В результате плавного прогиба балки, за счет усадки податливой опоры, работа силы упругости отрицательная, а работа силы тяжести – положительная, и тогда

$$-\frac{I \cdot w_2^2}{2} = -\frac{C}{2}(y^2 - y_0^2) + \frac{m_2 g}{2}(y - y_0). \quad (29)$$

После соответствующих преобразований, полная деформация податливой опоры после удара

$$y = y_0 + w_2 \sqrt{\frac{I}{C}}. \quad (30)$$

Динамическая деформация податливой опоры определяется как

$$y_{\text{дин.}} = w_2 \sqrt{\frac{I}{C}}. \quad (31)$$

На рис. 2 представлены зависимости, отражающие корреляцию величины динамической деформации податливой опоры при различной ее жесткости от длины балки. Установлено, что при увеличении длины балки в 4 раза, величина динамической деформации податливой опоры уменьшается на 28-30 %. Объяснить это можно увеличением статического прогиба балки при изменении ее длины.

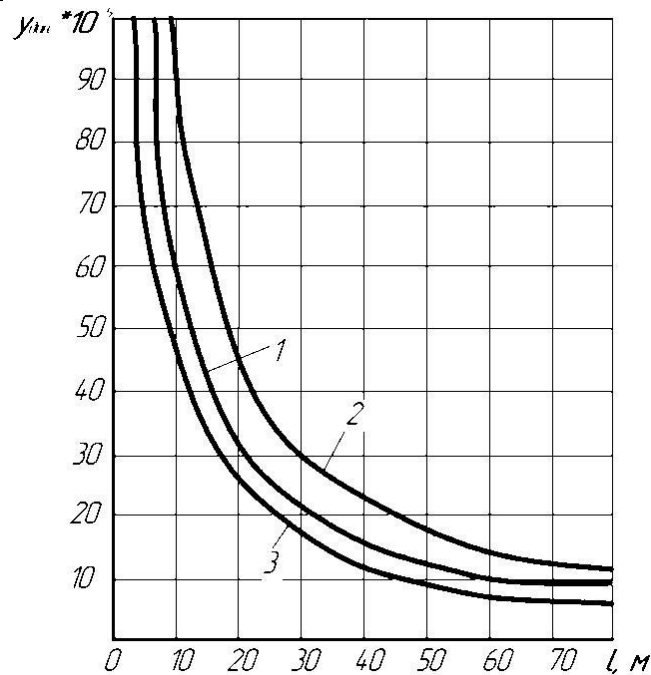


Рисунок 2 – Изменение величины динамической деформации податливой опоры при различной ее жесткости от длины балки:
1 – при проектной жесткости; 2 – при уменьшении проектной жесткости на 50 %; 3 – при увеличении проектной жесткости в 2 раза

Рассмотрим теперь влияние статического прогиба балки и ее жесткости на состояние рассматриваемой системы. Когда жесткость опор в точке А и в точке В совпадает, тогда тело m_1 опирается на балку, статический прогиб которой под нагрузкой можно определить согласно [8] по выражению

$$\delta_{ст.} = \frac{m_1 l_r^2 (l - l_r)^2}{3EI_x}, \quad (32)$$

где E – модуль упругости балки, Н/м^2 ;

I_x – момент инерции относительно оси OX , м^4 ;

l_r – расстояние от тела 1 до левого конца балки, м.

Коэффициент жесткости такой балки K_6 в этом случае равен

$$K_6 = \frac{3EI_x}{l_r^2 (l - l_r)^2}. \quad (33)$$

На рис. 3 представлены данные аналитических исследований об изменении величины статического прогиба и жесткости балки от ее длины. С увеличением длины последней ее статический прогиб увеличивается, а жесткость уменьшается.

Динамическая нагрузка, имеющая место при обрушениях боковых пород вызывает колебания рассматриваемой системы. Они, как правило, имеют место непосредственно в результате внезапных обрушений, а затем постепенно затухают. Для приведения такой системы в движение, следует лишь в начальный момент вывести ее из состояния равновесия (обрушением пород), затем система будет совершать свободные или собственные движения.

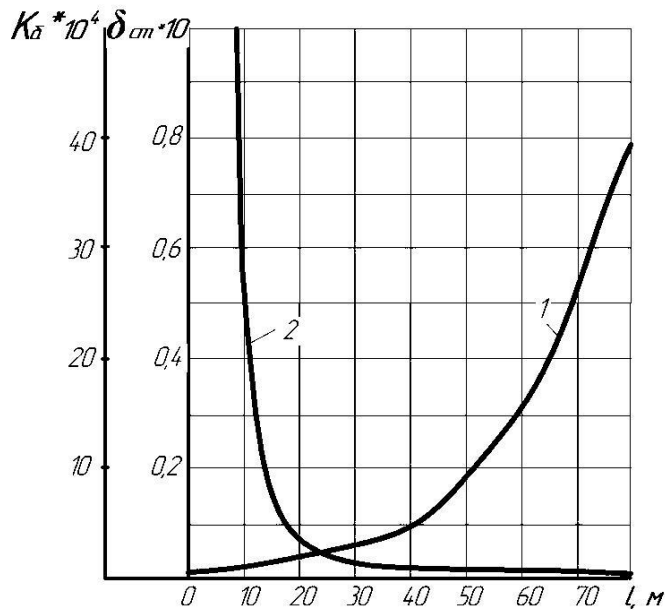


Рисунок 3 – Изменение величины статического прогиба ($\delta_{ст.}$)
и жесткости балки (K_b) от ее длины (l): 1 - $\delta_{ст.}$; 2 - K_b

Рассмотрим влияние колебаний обрушившихся пород на состояние непосредственной кровли разрабатываемого пласта, т.е. колебания груза на балке, при различном ее опирании.

Уравнение для рассматриваемой системы согласно [10,11] имеет вид

$$x = A \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (34)$$

где x – координата колеблющегося тела в текущий момент времени t , м;

ω – циклическая частота, рад/с;

φ_0 – начальная фаза.

Учитывая, что

$$\omega = \frac{2\pi}{T}, \quad (35)$$

выражение (28) можно представить как

$$x = A \sin\left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi_0\right). \quad (36)$$

Скорость колеблющегося тела определяется как

$$v = \frac{dx}{dt} = A \omega \cos\left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi_0\right) \quad (37)$$

Частота свободных колебаний тела в рассматриваемой системе определяется как в [10] по выражению

$$\nu = \frac{1}{T}, \quad (38)$$

а период колебаний

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\delta_{ст.}}{g}}, \quad (39)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²;

В случае, когда балка опирается на податливую опору, период колебаний определяется как

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m_1}{c}}, \quad (40)$$

где m_1 – масса тела или обрушившихся боковых пород, Н.

На рис. 4 представлены графики, отражающие координаты произвольной точки x , (м) и скорости v , (м/с), когда тело совершает колебательные движения после соударения с балкой, длина которой $l=10\text{м}$ при ее жестком опирании (а) и при наличии на одном конце податливой опоры (б).

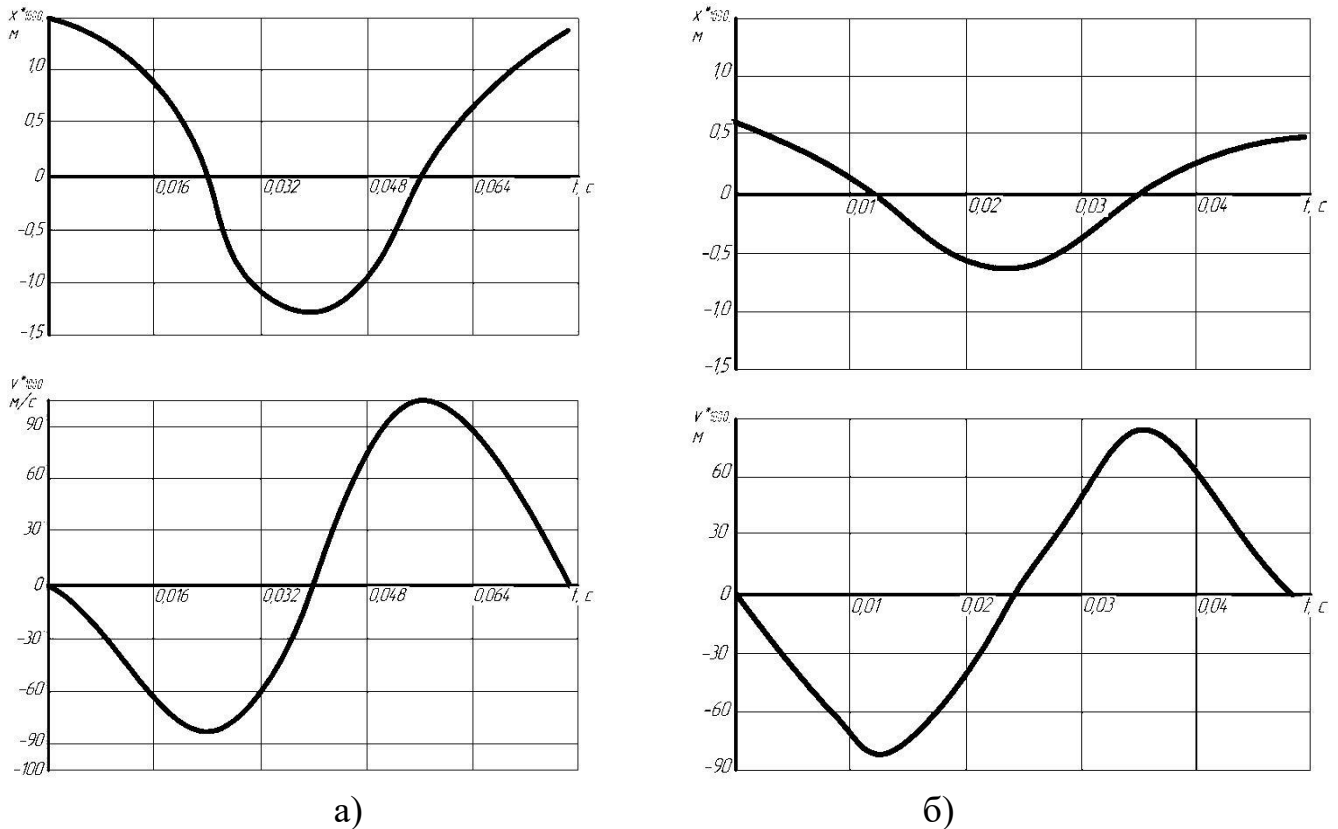


Рисунок 4 – Графики координаты x , (м) и скорости v , (м/с) тела, обрушившегося на балку длиной $l=10\text{м}$: а) при ее жестком опирании; б) при наличии на одном конце податливой опоры

Анализ зависимостей, представленных на рис.4а,б указывает на то, что в наиболее выгодном положении находится балка, опирающаяся на податливую опору.

Это происходит в результате отклика упругого полупространства на осциллирующую силу, приложенную к балке, что подобно отклику пружины, т.е., в нашем случае, податливой опоры. Вообще, колебательное свойство рассматриваемой системы не следует воспринимать как свойство периодичности. Под последним определением, как отмечено в [12] подразумевается регулярная повторяемость явления. В связи с тем, что внезапные обрушения боковых пород не имеют регулярной тактовой периодичности, то и рассматриваемые нами колебания не обладают этим свойством.

При контактном динамическом взаимодействии происходят периодические переходы одного вида энергии в другой, т.е. потенциальная энергия переходит в кинетическую.

Потерянную при ударе кинетическую энергию (ΔT) предлагается определить по выражению [13,14]

$$\Delta T = \frac{(m_1 v)^2}{2} (1 - k^2) \quad (41)$$

где v – скорость тела после удара, м/с.

На рис. 5 представлена корреляция потерь кинетической энергии при ударе обрушившихся пород о балку, при наличии податливой опоры, с учетом изменения ее длины. Установлено, что при различных формах удара имеем один вид зависимости, но различные значения потерь кинетической энергии. Так, при длине балки более $l=30$ м потери кинетической энергии незначительны, что можно объяснить увеличением ее статического прогиба. В случае, когда балка имеет длину $l < 30$ м, потери кинетической энергии происходят в результате работы демпфирующих устройств (податливой опоры).

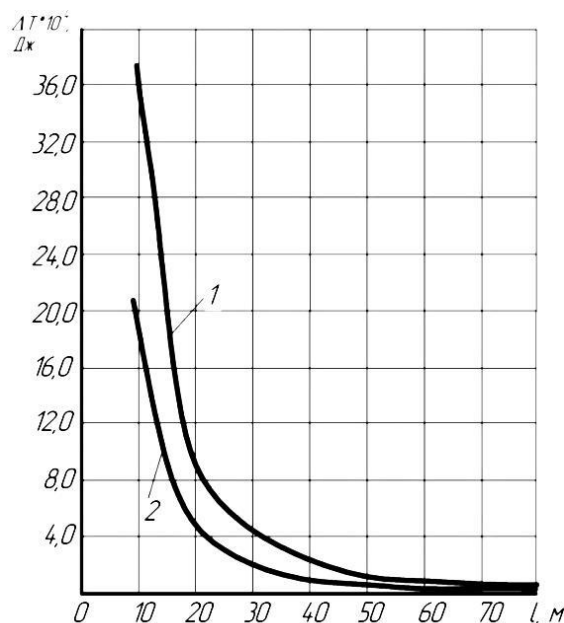


Рисунок 5 – Корреляция потерь кинетической энергии при ударе обрушившихся пород о балку с податливой опорой от ее длины при различных видах удара: 1 – $k=0$; 2 – $k=0,7$; 3 – $k=1$

Существенное значение для установления равновесия в рассматриваемой системе после удара имеет время, в течение которого колебания постепенно затухают, т.е. их релаксация. Этот период времени определяется коэффициентом затухания системы и зависит от массы обрушившихся боковых пород.

Таким образом, определение состояния боковых пород при воздействии на них динамических нагрузок, является сложным из-за изменчивости прочностных показателей боковых пород в направлении простирания и падения разрабатываемого пласта. С точки зрения геомеханики, такое положение приводит к ситуации, когда основная кровля внезапно обрушаясь, оказывает динамическое воздействие на породы непосредственной кровли и почвы, чем создаются аварийные ситуации. При различной опирании пород непосредственной кровли по-

зади очистного забоя, свойства последних могут меняться. Такое положение имеет место при зависании пород непосредственной кровли на больших площадях и отсутствии эффективного подпора в выработанном пространстве. Влияние ударного действия, в таких условиях, изменяет механические характеристики пород и те породы, которые ранее обладали пластическими свойствами в результате действия динамических нагрузок, оказываются хрупкими. Параметры зависающей консоли непосредственной кровли и величина импульса ударных сил, проявляющихся в центральной ее части или в месте закрепления (неподвижного опирания), т.е. в пределах призабойного пространства и позади него, в комплексе определяют деформированное состояние боковых пород. При коротких балках длиной до $l=10$ м податливая опора, расположенная со стороны выработанного пространства, практически полностью устраняет негативные проявления динамических нагрузок, имеющих место при внезапных обрушениях боковых пород. Очевидно, чем меньше длина балки – породной консоли, тем активнее система реагирует на динамические проявления, за счет усадки опоры. Необходимо учитывать и горно-геологические свойства боковых пород, которые имеют первостепенное значение при расчете динамических нагрузок. Этим создаются условия для эффективного поддержания боковых пород в окрестности горных выработок и безопасные условия труда горнорабочих.

ВЫВОДЫ. При разработке крутых угольных пластов, во избежание аварийных ситуаций, сопровождающихся внезапными обрушениями пород основной кровли и, как следствие этого, завалами горных выработок, следует ориентироваться на способ управления горным давлением – закладкой выработанного пространства. Это позволит исключить проявления динамических воздействий при обрушениях пород, улучшить их состояние, исключить завалы горных выработок, повысить эффективность отработки угольных пластов в сложных горно-геологических условиях и безопасность труда горнорабочих, занятых добычей угля, проведением и поддержанием штреков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Снижение травматизма от проявлений горного давления / В.И. Николин, С.В. Подкопаев, А.В. Агафонов, Н.В. Малеев // Донецк: Нордпресс, 2005. – 232 с.
2. Жуков В.Е. Об одной стратегической ошибке в разрешении проблемы разработки крутых пластов // Уголь Украины. – 2001. №7. – С. 6–10.
3. Селезень А.Л., Томасов А.Г., Андрушко В.Ф. Поддержание подготовительных выработок при разработке крутых пластов. – М.: Недра, 1977. – 205 с.
4. Аппель П. Теоретическая механика. Т.1. Статика. Динамика. – М.: Физматгиз, 1960. – 515 с.
5. Горбач Н.И. Теоретическая механика. Динамика. – Минск: Высш. школа. – 2012. – 320 с.
6. Пановко Я.Г. Введение в теорию механического удара. – М.: Наука, 1977. – 232 с.

7. Динамика удара / Зукас Дж.А., Николас Т., Свифт Х.Ф., Грещук Л.Б., Курран Д.Р. // М.: Мир, 1985. – 296 с.
8. Тимошенко С.П. Курс теории упругости. – К.: Наукова думка, 1972. – 508 с.
9. Тригуба 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>
10. Стрелков С.П. Введение в теорию колебаний. – СПб.: Изд-во «Лань». 2005. – 440 с.
11. Мантус К. Колебания: Введение в исследование колебательных систем. – М.: Мир, 1982. – 304 с.
12. Обморшев А.Н. Введение в теорию колебаний. – М.: Наука, 1965. – 276 с.
13. Лапшин В.В., Юдин Е.А. Нелинейная упруго-пластическая модель коллинеарного удара // Вестник МГТУ им.Н.Э.Баумана. Сер.: Естественные науки. – 2016. – № 1. – С. 90–99. DOI: 10.18698/1812-3368-2016-1-90-99
14. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. – М.: Мир, 1989. – 510 с.

ABOUT DYNAMIC LOADING AT A SUDDEN COLLAPSE OF THE WALL ROCKS

S. Podkopaev, I. Yordanov, D. Chepiga

Public higher education institution «Donetsk National Technical University»
pl. Shibankova, 2, Pokrovsk, Donetsk region, 85300, Ukraine.
E-mail: daria.chepiha@donntu.edu.ua

Purpose. Determination of the influence of dynamic loads on the state of the roof rocks and sill mining when a sudden collapse of the wall rocks. **Methodology.** The main provisions of the theory of elasticity, theoretical mechanics, contact mechanics of solids were used. **Results.** Settings for drop close the roof console and the magnitude of the shock pulse bodies which appear within the face space, and behind him, in a complex determine the strain state of the rock walls. **Originality.** the effectiveness of the protection of mine workings with the location of compliant supports behind the highwall mining at a minimum distance (up to 10m) were proved analytically. **Practical value.** Protection of mining with the help of compliant mounts provide effective maintenance of wall rocks and safe working conditions of miners.

Key words: collapse, vibration pulse dynamic loads, soft support, deformation.

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. 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.

3. Selezhen, A.L., Tomasov, A.G. and Andrushko, V.F. (1977), *Podderzhanie podgotovitelnyih vyirabotok pri razrabotke krutyih plastov* [Maintenance-enforcement preparatory workings in the development of steep seams], Nedra, Moscow, Russia.
4. Appel, P. (1960), *Teoreticheskaya mehanika. T.1. Statika. Dinamika* [Theoretical mechanics. Vol.1 Statics. Dynamics], Fizmatgiz, Moscow, Russia.
5. Gorbach, N.I. (2012), *Teoreticheskaya mehanika. Dinamika* [Theoretical Mechanics. Dynamics], Vyssh.shkola, Minsk, Byelorussia.
6. Panovko Ya.G. (1977), *Vvedenie v teoriyu mehanicheskogo udara* [Introduction to mehanicheskogo impact theory], Nauka, Moscow, Russia.
7. Zukas, Dzh.A., Nikolas, T., Swift, H.F., Greschuk, L.B. and Kurran D.R (1985), *Dinamika udara* [Dynamics of shock], Mir, Moscow, Russia.
8. Timoshenko, S.P. (1972), *Kurs teorii uprugosti* [The course of the theory of elasticity], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.
9. Triguba, A.M. and Shtager E.V. (2014), "Approximate methods for assessing the recovery factor in the collision solids", *Modern high technologies*, vol.5, pp. 91–93, available at: <https://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=33723>
10. Strelkov, S.P. (2005), *Vvedenie v teoriyu kolebaniy* [Introduction to the theory of vibrations], Izd-vo «Lan», St. Petersburg, Russia.
11. Mantus, K. (1982), *Kolebaniya: Vvedenie v issledovanie kolebatelnyih system* [Vibrations: An Introduction to the study of oscillating systems], Mir, Moscow, Russia.
12. Obmorshev, A.N. (1965), *Vvedenie v teoriyu kolebaniy* [Introduction to the theory of vibrations], Nauka, Moscow, Russia.
13. Lapshin, V.V. and Yudin, E.A. (2016), "The nonlinear elastic-plastic model number Linear hitting", *Transactions of Bauman Moscow State Technical University, Series: Science*, vol.1., pp. 90–99. DOI: 10.18698/1812-3368-2016-1-90-99
14. Dzhonson, K. (1989) *Mehanika kontaktnogo vzaimodeystviya* [Contact mechanics], Mir, Moscow, Russia.

Стаття надійшла 16.12.2016 .