

УДК 622.834:622.862.3

Д.А. ЧЕПИГА (аспірант)

И.В. ИОРДАНОВ (канд. техн. наук)

С.Н. АЛЕКСАНДРОВ (д-р.техн. наук, проф.)

Е.И. КОНОПЕЛЬКО (канд.физ.-мат. наук, доц.)

С.В. ПОДКОПАЕВ (д-р.техн. наук, проф.)

А.В. ПЕТРЕНКО (ассистент)

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» МОН Украины, г. Покровск

К ВОПРОСУ О ПОДДЕРЖАНИИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

В результате выполненных исследований устойчивости горных выработок установлено, что применение закладки выработанного пространства устраняет негативные явления, проявляющиеся при внезапных обрушениях и посадках пород кровли разрабатываемого угольного пласта. При наличии в выработанном пространстве закладочного массива рассматриваемая система, с учетом динамики боковых пород, совершает малые колебания вблизи установившегося положения равновесия, а величина действующих в ней напряжений на 30-35% меньше по сравнению с традиционными способами управления горным давлением.

Ключевые слова: кровля пласта, ударный импульс, колебания, напряжения, закладочный массив, обрушения боковых пород.

Введение. В настоящее время работа предприятий угольной промышленности Украины осуществляется в постоянно ухудшающихся горно-геологических условиях. Малая мощность разрабатываемых пластов, повышенная геологическая нарушенность и тектоническая трещиноватость вмещающих пород являются отличительной особенностью угольных месторождений Донбасса. В сложных горно-геологических условиях, на современных глубинах разработки угольных пластов, горные выработки проводятся и поддерживаются в боковых породах, представленных глинистыми и песчано-глинистыми сланцами (около 49 %), в том числе, ниже средней устойчивости (около 27 %), песчаными сланцами (28 %) и песчаниками (23 %).

При традиционных способах управления горным давлением полным обрушением кровли или удержанием кровли на кострах, возводимые позади лавы средства охраны не способны противостоять сдвигению нарушенной толщи, а применяемые способы охраны штреков различного рода конструкциями из дерева, не обеспечивают надежной защиты выработок от опасных проявлений горного давления и, как следствие этого, обрушений боковых пород.

Детальный анализ аварий, произошедших за последние 20 лет на угольных шахтах Украины, позволяет сделать вывод о том, что во многих случаях основной причиной травматизма от обвалов и обрушений пород, является недостаточная изученность природы обрушений и, в связи с этим, принятие ошибочных технических решений, способствующих созданию аварийных ситуаций. К последним следует относить несоответствие применяемых способов управления кровлей, средств и способов крепления горных выработок. Поэтому изучение природы обрушений и разработка эффективных мероприятий, направленных на повышение устойчивости боковых пород и поддержание выработок в эксплуатационном состоянии при разработке угольных пластов в сложных горно-геологических условиях, будет способствовать, прежде всего, созданию условий безопасного ведения горных работ.

Целью настоящей работы является изучение особенностей опасных проявлений горного давления и их влияния на состояние горных выработок глубоких шахт Донбасса, разрабатываемых угольные пласты в сложных горно-геологических условиях. Для этого авторами были проведены исследования на моделях из оптически-чувствительных материалов, аналитические исследования с привлечением основных положений классической механики, теории упругости, теории колебаний и механики контактных взаимодействий.

Материалы и результаты исследований. Традиционно считается, что проявления горного давления в выработках зависят от совокупного влияния многих горно-геологических факторов, к которым первостепенно следует относить напряженное состояние осадочных горных пород и их физико-механические свойства. Изучение особенностей проявления горного давления в выработках на большой глубине [1] позволило установить, что характер его опасных проявлений определяется не только напряженным состоянием массива горных пород и их физико-механическими свойствами, но и спецификой формирования последнего, обусловившей неупругое деформирование при объемном сжатии, а также способность деформироваться и разрушаться при разгрузке.

Опыт работы шахт Донбасса показывает, что с ростом глубины горных работ в угольном массиве начинает проявляться такой природный фактор, как расслоение боковых пород, оказывающий существенное влияние на состояние горных выработок и приводящий к возможному травматизму, в результате обрушений нарушенной толщи. Установлено [2,3], что в зависимости от горно-геологических условий, зона расслоения боковых пород составляет по нормали к напластованию, в кровлю и почву разрабатываемого пласта, 4-8м. Подработанные и расслоившиеся породы непосредственной кровли, оседающие на хаотически обрушенные слои, представляют собой блочный массив, состоящий из балок различной длины. Причем породы непосредственной кровли изгибаются и неконтролируемо оседают позади очистного забоя, создавая неблагоприятную геомеханическую обстановку. Внезапность возникновения таких ситуаций способствует проявлению динамических нагрузок, нестационарных колебаний, а так же возможному завалу горных выработок и травмированию горнорабочих.

Исследованиями, проведенными ДонУГИ и ДонНТУ, ранее было установлено, что закладочный массив предотвращает развитие интенсивного трещинообразования в окрестности выработок и создает зоны устойчивых пород впереди и позади очистного забоя [4,5]. Считается [2,4-7], что при применении способа управления кровлей закладкой выработанного пространства исключаются обрушения пород кровли разрабатываемого угольного пласта, а вероятность сползания пород почвы, в условиях крутого падения, сводится к минимуму.

Исходя из цели работы, для исследования устойчивости боковых пород при различных способах управления кровлей и охраны штреков, нами были выполнены лабораторные исследования на моделях из оптических материалов. Исследования проводились на экспериментальных моделях, в которых моделируемая глубина принималась равной $H=800$ м и $H=1200$ м, угол падения пласта, соответственно, $\alpha=10^\circ$ и $\alpha=60^\circ$, мощность пласта $m=1,0$ м. Мощность пород непосредственной почвы в случае крутого залегания пласта, составляла $2m$, а пород кровли - $4m$. При пологом залегании угольного пласта мощность пород непосредственной кровли и почвы составляла $4m$. При этом породы кровли и почвы по своим свойствам соответствовали породам типа глинистый сланец средней устойчивости. В качестве оптически чувствительного материала использовали игдантин. Моделирование выполнено в соответствии с рекомендациями [8,9].

При решении рассматриваемой задачи с помощью оптического метода, нами была установлена исходная картина распределения напряжений в массиве, которая формируется во вмещающих породах в первый период времени после выемки угля. Результаты моделирования представлены на рис. 1 *а,б* и рис. 2 *а,б*.

На рис.1 изображены изолинии главных касательных напряжений в углепородном массиве при крутом залегании угольного пласта с подготовительной выработкой, охраняемой накатными кострами из шпал при способе управления кровлей в лаве удержанием на кострах (*а*) и охране штрека широкой податливой опорой, в виде закладки выработанного пространства (*б*). Как видно из рис.1*а* при способе управления кровлей удержанием на кострах, в окрестности штрека максимальная концентрация напряжений приурочена к области изгиба породных слоев. Такое положение имеет место и в средней части лавы, когда в выработанном пространстве, для удержания кровли, оставляют накатные костры из шпал. Породы кровли и почвы изгибаясь, обыгрывают оставленные над штреком охранные сооружения. Очевидно, имея ограниченную податливость (до 10%) и малые размеры (в натуре 2,0х2,0м), накатные костры выполняют роль опоры в окрестности которой концентрируются напряжения. Причем, расстояния между опорами (по линии падения пласта) и их податливость (сжимаемость), опре-

деляют величину касательных напряжений в боковых породах из-за неравномерного изгиба породных слоев.

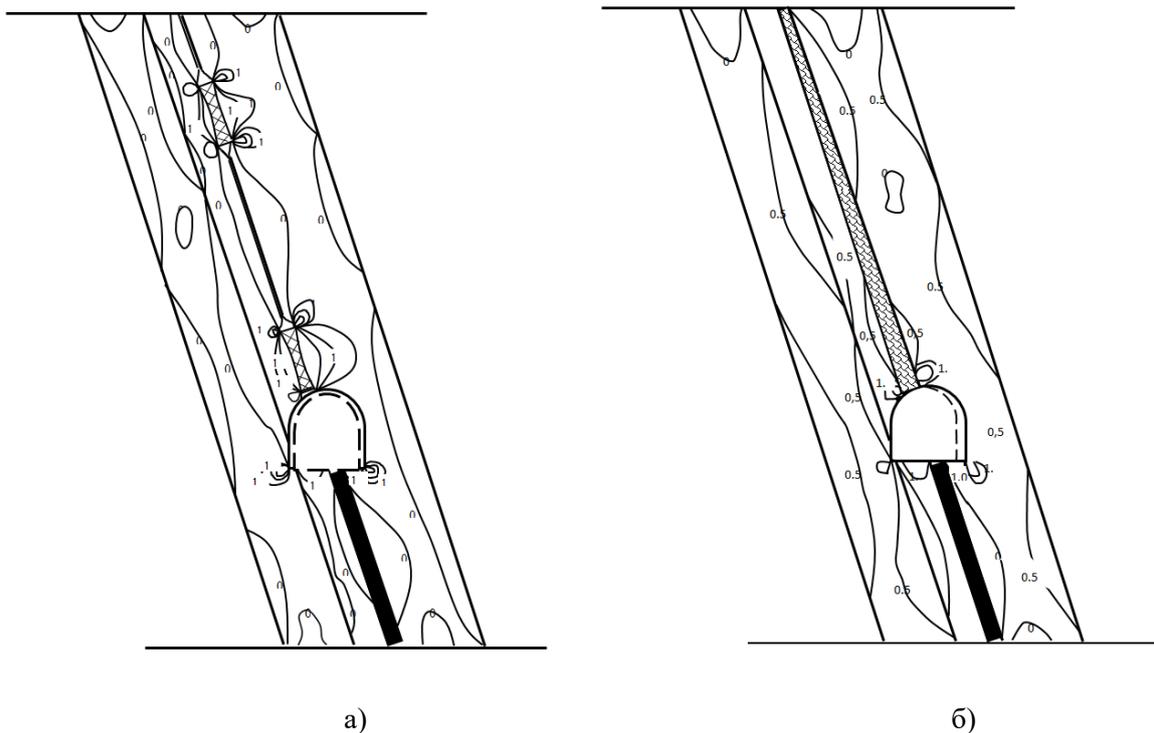


Рис. 1. Статическое поле касательных напряжений на глубине 1200м в окрестности горной выработки с крутым залеганием угольного пласта при способе управления кровлей:
а) полным обрушением; б) закладкой выработанного пространства.

Совершенно иная исходная картина распределения напряжений в углепородном массиве имеет место при наличии в окрестности штрека податливой опоры, представленной в виде закладочного массива (рис.1б). Степень ее податливости определяет характер плавного прогиба породных слоев в кровле и почве разрабатываемого пласта и уровень концентрации напряжений в них. При податливости 40% создается минимальная концентрация напряжений в массиве. Однако, при этом, следует отметить незначительное (до 5-10%) уменьшение сечения поддерживаемой горной выработки, произошедшее в результате плавного прогиба боковых пород из-за усадки закладочного массива.

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

Применительно к решаемой задаче, следует учитывать результаты исследований [10], когда было доказано, что концентрация напряжений в углепородном массиве приводит к пластическим деформациям, а с течением времени, в местах концентрации сжимающих и растягивающих напряжений имеет место разгрузка (разрушение) осадочного массива. Подтверждением этого являются результаты анализа механических процессов, протекающих в углепородном массиве с горной выработкой [11], т.к. напряженное состояние горных пород по мере удаления от контура выработки изменяется от состояния близкого к обобщенному растяжению и сдвигу, до состояния сжатия в глубине массива.

В качестве параметрического обеспечения геомеханических расчетов устойчивости боковых пород при различных способах управления кровлей в очистном забое и охраны горных выработок, наиболее часто используются ситуации, определяемые статическим методом приложения нагрузки. Однако в сложных горно-геологических условиях разработки угольных пластов, когда возможны внезапные обрушения боковых пород, необходимо учитывать динамический вид нагружения.

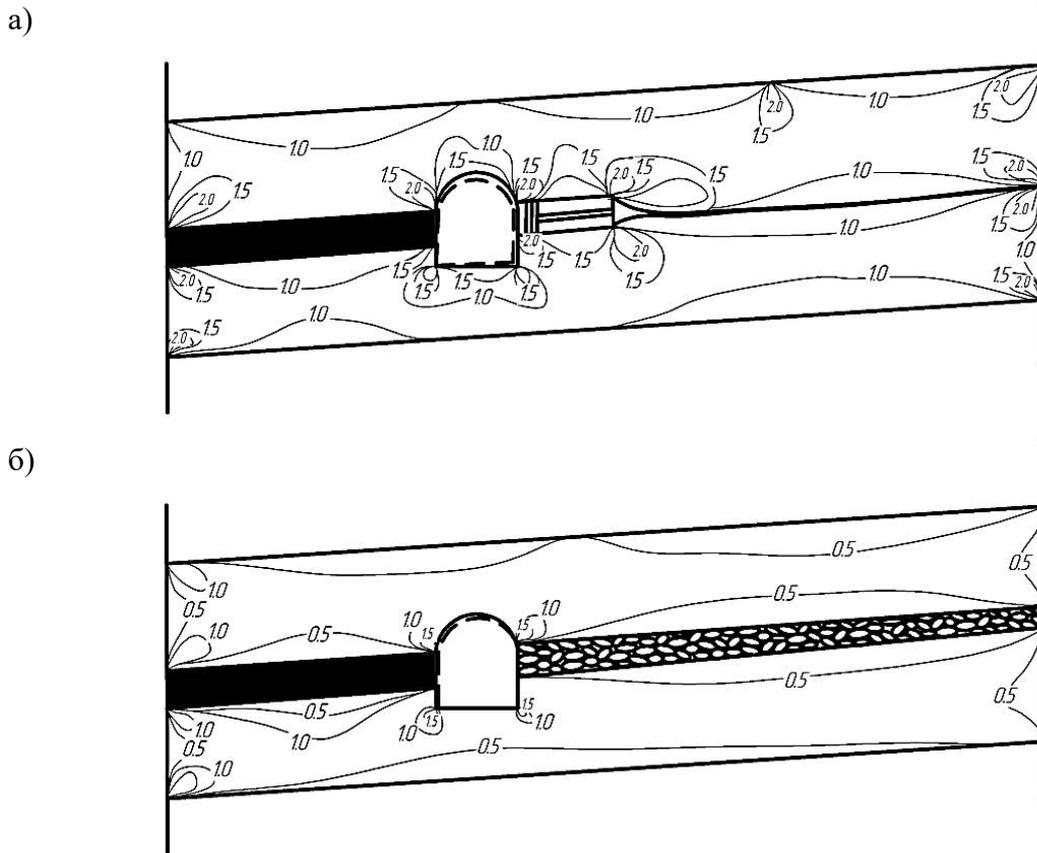


Рис. 2. Статическое поле касательных напряжений на глубине 1200м в окрестности горной выработки при пологом залегании угольного пласта и способе управления кровлей: а) полным обрушением; б) закладкой выработанного пространства.

Динамическое воздействие нагрузок на сооружения и конструкции, при расчетах их устойчивости [12,13,21-23] производится введением динамического коэффициента в полученное решение соответствующей статической задачи.

На рис.3а,б породы непосредственной кровли разрабатываемого угольного пласта представлены в виде балки длиной l , (м). В одном случае балка свободно лежит на двух опорах (рис.3), а в другом – свободный конец балки опирается на податливую опору (рис.3,б). С высоты h , (м) на балку падает груз весом P , (Н). Предполагается, что местные деформации, возникающие в телах в области их контакта при ударе и приводящие к некоторому уменьшению последнего, не учитываются, что идет в запас прочности балки, представленной в виде пород непосредственной кровли [12].

Для случая, изображенного на рис.3а, динамический коэффициент, согласно [13,14] равен:

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

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

Ранее было установлено [14], чем меньше величина статического прогиба, тем жестче балка, а следовательно, тем быстрее остановится падающий груз после касания. Характерной особенностью действия динамических нагрузок является то, что они вызывают колебания рассматриваемой системы. При колебаниях появляются силы инерции, которые могут во много раз превосходить усилия, возникающие от действия статических нагрузок. Вследствие этого динамические нагрузки значительно опаснее статических, а для смягчения их действия рекомендуется применять податливые опоры. С тем, чтобы уменьшить негативное воздействие динамических нагрузок, проявляющихся в результате внезапных обрушений боковых пород, опору В заменим на податливую с жесткостью C (рис.3,б).

Исходя из приведенной схемы (рис. 3,б) полное перемещение точки К, в месте соударения породы о балку, соответствует величине полного перемещения балки (прогиб несущей конструкции) в точке удара.

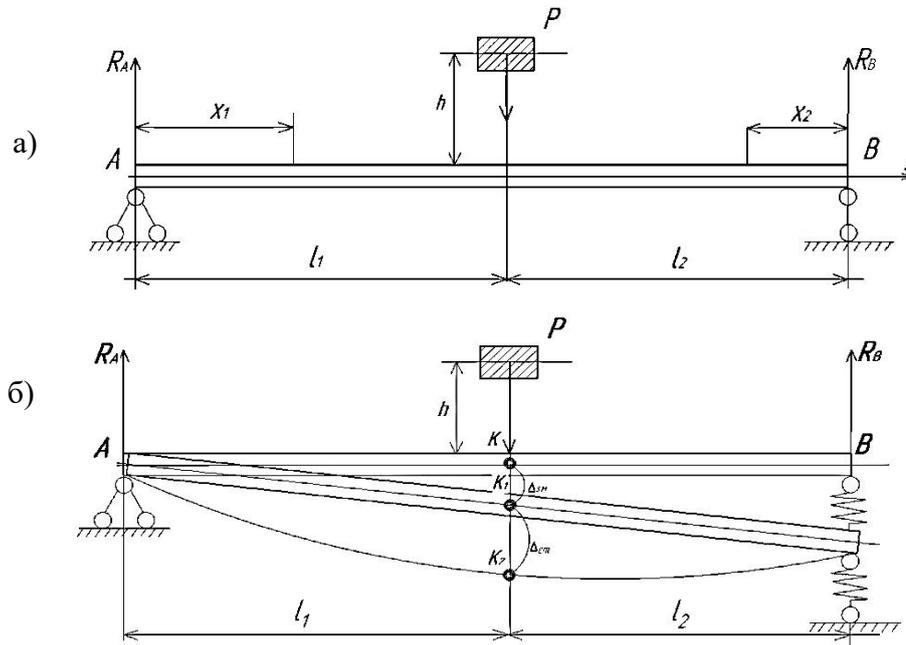


Рис. 3. Расчетная схема к определению напряженно-деформированного состояния пород непосредственной кровли пласта: а) при опирании балки на неподвижную шарнирную опору; б) то же, на податливую опору.

Тогда, динамическая составляющая $\Delta_{п}$, (м) прогиба несущей конструкции балки отражает динамическую добавку по отношению к статическому действию нагрузки и определяется как

$$\Delta_{п} = \Delta_{ст} + \Delta_{з.м.}, \quad (2)$$

где $\Delta_{з.м.}$ – величина податливости, м;

Динамический коэффициент в этом случае, можно определить как

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

а величину наибольших динамических напряжений в сечении балки – по выражению

$$\sigma_{max}^д = \sigma_{max}^{ст.} \cdot K_g. \quad (4)$$

В результате проведенных исследований, нами установлено, что для балок, длина которых не превышает 30м, размещение на их свободном конце податливой опоры, ослабляет эффект удара и уменьшает величину действующих в ее сечении напряжений на 30-35%, (по сравнению со случаем с неподвижной шарнирной опорой). Из этого следует, что динамические нагрузки, проявляющиеся в результате их воздействия на балку – породы непосредственной кровли пласта, частично нейтрализуются при применении податливых опор, т.е. при размещении в выработанном пространстве закладочного массива.

При внезапных обрушениях расслоившихся боковых пород в горную выработку, необходимо принимать во внимание динамическую нагрузку, которая характеризуется внезапно-

стью ее приложения и кратковременностью действия [12-14]. Величину ударного импульса, в этом случае, можно определить по выражению [15,19]

$$S = \frac{m \cdot m_1}{m + m_1} v \cos \alpha. \quad (5)$$

где m – масса балки (наклонной площадки), кг;

m_1 – масса обрушившихся боковых пород, кг;

v – скорость соударения твердых тел, м/с;

α – угол падения пласта, град.

С использованием выражения (5) нами установлено изменение величины ударного импульса при соударении падающего тела с балкой, в зависимости от ее длины. В качестве влияющих на этот процесс параметров, которые нами изменялись, были выбраны скорость соударения падающего твердого тела и его масса. В результате выполненных исследований было установлено, что для длинных балок величина ударного импульса не изменяется при постоянных значениях скорости и массы обрушившихся на балку боковых пород. В таких условиях, при соударении твердых тел, когда расслоившиеся породы основной кровли ударяются о балку – породы непосредственной кровли, величина ударного импульса остается постоянной и не зависит от массы ударяемого тела.

Для надежной работы рассматриваемой системы, т.е. эксплуатационного состояния горной выработки, необходимо, чтобы все ее элементы были устойчивы. Это достигается определенными условиями деформирования балки, когда величины возникающих в ее сечении напряжений не превышают предельных значений. При этом породы непосредственной кровли разрабатываемого угольного пласта должны деформироваться в установленных пределах, когда выполняются соответствующие условия прочности для определённого типа и вида нагружения боковых пород. Величину критических напряжений в таком случае, определяют исходя из формулы Эйлера [13].

Однако ее применение имеет ряд ограничений, которые должны учитывать момент потери устойчивости балки, когда действующие в любом ее сечении напряжения не превышают предела пропорциональности. В тех случаях, когда такие условия не выполняются, разрушение балок будет происходить от действующих изгибных напряжений.

Для таких условий пределы применимости формулы Эйлера, можно установить исходя из понятия предельной гибкости балки, величина которой зависит от физико-механических свойств пород непосредственной кровли, т.е.

$$\lambda_{пр} = \pi \sqrt{\frac{E}{[\sigma_{изг}]}} \quad (6)$$

где $[\sigma_{изг}]$ – предел прочности пород непосредственной кровли на изгиб, Н/м²;

E – модуль упругости пород непосредственной кровли, Н/м².

С учетом этого, формула Эйлера дает истинное значение нагрузки, при которой происходит потеря устойчивости балки, т.е. когда выполняется соотношение

$$\sigma_{max}^g > \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad (7)$$

Очевидно, что для рассматриваемых условий при расчете на устойчивость пород непосредственной кровли, в результате обрушений боковых пород в выработку, критическая нагрузка всегда подобна разрушающей, при расчете балки на изгиб.

Учитывая динамические критерии разрушения боковых пород, величину напряжений, возникающих в балке при соударении, можно определить как в [16,17]

$$\sigma = v \cdot \cos \alpha \sqrt{\frac{E \cdot \rho}{2}} \quad (8)$$

где v – значение скорости при ударе, м/с;

α – угол падения пласта, град;

ρ – плотность пород непосредственной кровли, кг/м³.

С использованием выражения (8) нами получена зависимость изменения величины напряжений в породах непосредственной кровли – балки с учетом вариации скорости соударения твердых тел (рис.5).

Зависимость, представленная на рис.5 позволяет установить величину критических напряжений, при которых происходит потеря устойчивости пород непосредственной кровли при различной скорости соударения обрушившихся пород. Не исключено, что напряжения, возникающие в ударяемом теле с учетом скоростей соударения более $v=15-30\text{ м/с}$, могут существенно изменить механические характеристики пород кровли. По сути, за пределами зоны А (рис.5), находится область неустойчивого состояния боковых пород, в которой с момента наступления критического состояния и до момента разрушения, деформации нарастают крайне быстро, что будет оказывать влияние на природу самого разрушения.

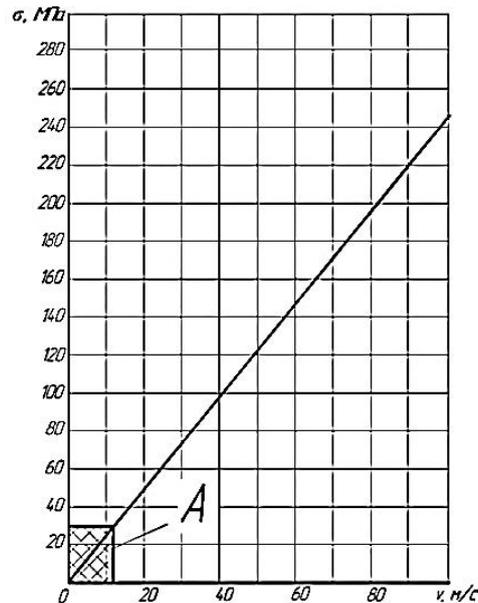


Рис. 5. Изменение величины напряжений в породах кровли (σ , МПа) с учетом вариации скорости соударения твердых тел (v , м/с); А – зона устойчивого состояния боковых пород.

Характерной особенностью динамических нагрузок является и то, что в результате внезапных обрушений боковых пород в непосредственной кровле возникают колебания, при определенных условиях способствующие неконтролируемому сдвигу и перемещению нарушенной породной толщи.

Рассмотрим движение точки тела – балки при гармоническом возбуждении, после внезапного обрушения боковых пород. Такие колебания представляют собой волновой процесс, распространяющийся в массиве с некоторой скоростью. Балка имеет, в одном случае, неподвижную шарнирную опору (а), в другом - находится на упругом основании (б), т.е. закладочном массиве (рис.6а, б). Координаты точки тела для таких условий можно определить, как в [18,20,23,24]

На рис.7а,б,в,г представлены зависимости изменения координат точки тела в результате гармонических колебаний при различной длине балки – пород непосредственной кровли, которая опирается на неподвижную шарнирную опору (а,б) и на упругое основание, в виде закладочного массива (в,г).

Полученные на рис. 7а,б,в,г результаты, показывают, что отклонения координаты точки тела (x , м) от равновесного состояния балки, имеющей неподвижную шарнирную опору при длине $l=10\text{ м}$ составляет $x=0,003\text{ м}$, а для балки $l=20\text{ м}$ - $x=0,12\text{ м}$ (рис.7а,б). В случае, когда балки такой же длины имеют под собой упругое основание, отклонения составляют соответственно,

$x=0,0004\text{м}$ и $x=0,0055\text{м}$ (рис.7в,г), что значительно меньше, чем в случае с неподвижной шарнирной опорой.

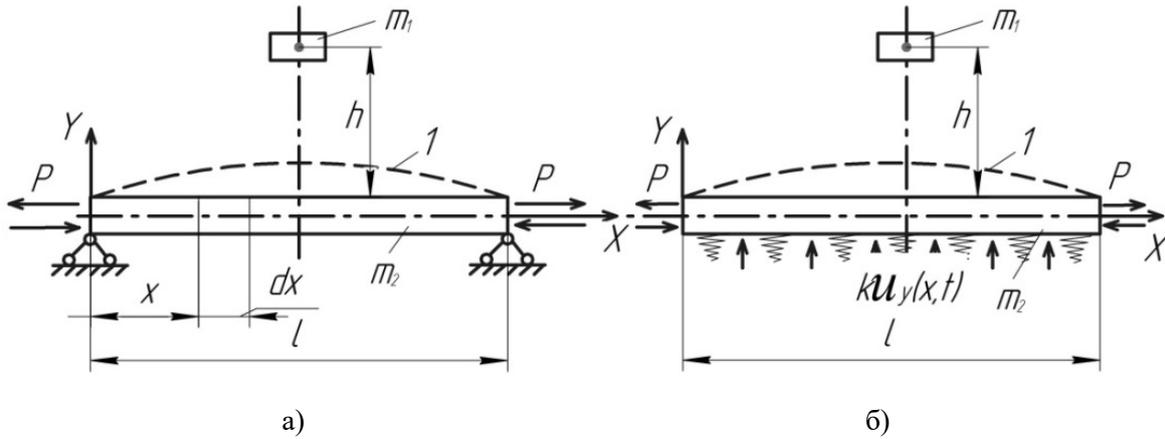


Рис. 6. Расчетная схема к определению колебаний балки: а) неподвижная шарнирная опора; б) упругое основание: 1 – форма колебаний, l – длина балки, (м), $kU_y(x,y)$ – реакция упругого основания, P – приложенная сила, (Н).

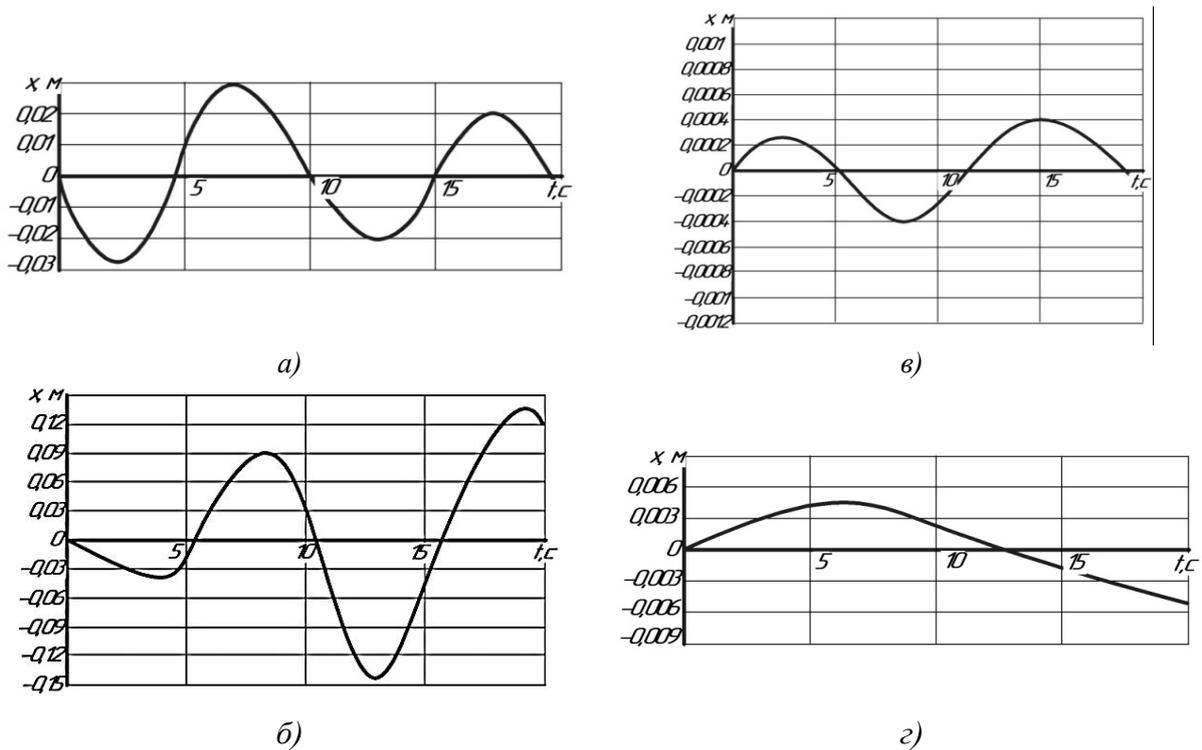


Рис. 7. Изменение координат точки тела в результате гармонических колебаний при различной длине балки с неподвижной шарнирной опорой (а,б) и на упругом основании (в,г): а), в) $l=10\text{м}$, б), г) $l=20\text{м}$.

На рис.8 представлены зависимости изменения координат точки тела в результате гармонических колебаний при длине балки $l=60\text{м}$, когда она опирается на неподвижную шарнирную опору (кривая 1) и когда находится на упругом основании (кривая 2).

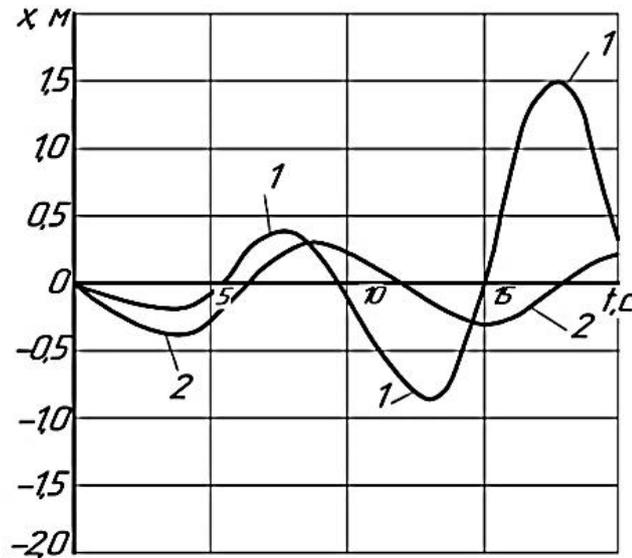


Рис. 8. Изменение координат точки тела при длине балки $l=60\text{м}$ с неподвижной шарнирной опорой (1) и на упругом основании (2)

Установлено, что для балок большой длины максимальные значения отклонений координат точек тела от равновесного состояния составляют $x=1,5\text{м}$ (кривая 1) и $x=0,4\text{м}$ (кривая 2) (рис.8). Очевидно балка, имеющая неподвижную шарнирную опору, находится в наиболее худших условиях, чем балка, опирающаяся на закладочный массив. Объяснить это можно откликом упругого пространства, т.е. закладочного массива на осциллирующую силу, приложенную к рассматриваемой системе. В результате этого, при наличии упругого пространства, система совершает малые колебания вблизи устойчивого положения равновесия, чем и можно объяснить улучшение устойчивости боковых пород и горных выработок при применении широких податливых полос или закладочного массива, в сравнении с традиционными способами охраны горных выработок и управления горным давлением в очистном забое.

Таким образом, при разработке угольных пластов на больших глубинах в результате расслоения боковых пород, опасность возникновения аварийных ситуаций исходит от обвалов и обрушений пород кровли. При определенных параметрах породной консоли и отсутствии ее эффективного подпора со стороны выработанного пространства, в результате динамического (ударного) воздействия вероятность завала горных выработок всегда возрастает. Применение закладки выработанного пространства или широких податливых полос со стороны выработанного пространства, в таких условиях позволит существенно изменить геомеханическую обстановку в окрестности поддерживаемых в угленосном массиве горных выработок. Закладочный массив или податливые опоры, на которые опираются породы непосредственной и основной кровли в результате их расслоения, устраняют негативные явления, проявляющиеся при внезапных обрушениях боковых пород.

Выводы. При разработке крутых угольных пластов, для предотвращения аварийных ситуаций, сопровождающихся обрушениями боковых пород, посадками основной кровли и, как следствие этого, завалами горных выработок, следует ориентироваться на способ управления горным давлением – закладкой выработанного пространства. Это позволит улучшить состояние боковых пород, повысить эффективность отработки угольных пластов и сохранить выработки в эксплуатационном состоянии в сложных горно-геологических условиях.

Библиографический список

1. **Николин В.И.** Снижение травматизма от проявлений горного давления / В.И. Николин
2. **Селезень А.Л.** Поддержание подготовительных выработок при разработке крутых пластов / А.Л. Селезень, А.Г. Томасов, В.Ф. Андрушко. – М.: Недра, 1977. – 205 с.
3. **Андрушко В.Ф.** Управление кровлей в сложных горно-геологических условиях / В.Ф. Андрушко, С.А. Саракитянц, Ю.Г. Спицын. – К.: Техника, 1985. – 128 с.
4. **Жуков В.Е.** Об одной стратегической ошибке в разрешении проблемы разработки крутых пластов / В.Е. Жуков // Уголь Украины. – 2001. - №7. – С. 6–10.
5. **Зборщик М.П., Подкопаев С.В.** Механизм повышения устойчивости кровли в лавах при применении закладки выработанного пространства // Уголь Украины, 1992. - № 5. – с. 20-23.
6. **Давидяц В.Т.** Совершенствование способов и средств управления кровлей на шахтах Донбасса. – М.: Недра, 1969 – 277 с.
7. **Кипко А.Э.** О проявлении природных опасностей при поддержании выработок в сложных горно-геологических условиях / А.Э. Кипко, Д.А. Чепига, Е.С. Подкопаев. – Вісник Криворізького нац. ун-ту. Збірник наук. праць. – Кривий ріг. – Вип.41. – С.17–22.
8. **Методические указания** по изготовлению моделей из оптически чувствительных материалов для исследования проявлений горного давления. – Л.: ВНИМИ, 1970. – 180 с.
9. **Хаимова-Малькова Р.И.** Методика исследования напряжений поляризационно-оптическим методом. – Наука, 1970. - 194 с.
10. **Баклашов И.В.** Деформируемость и разрушение породных массивов / И.В. Баклашов – М.: Недра, 1988. – 271 с.
11. **Норель Б.К.** Изменение механической прочности угольного пласта в массиве / Б.К. Норель – М.: Наука, 1983. – 201 с.
12. **Тимошенко С.П., Гудьер Дж.** Теория упругости. – М.: Наука, 1979. – 560с.
13. **Циглер Ф.** Механика твердых тел и жидкостей. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2002. – 912с.
14. **Подкопаев С.В., Иорданов И.В., Чепига Д.А.** О динамических нагрузках при внезапных обрушениях боковых пород // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва – Науково-виробничий журнал: Кременчукський нац. ун-т ім. М.Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2016. – Вип.2(18). – с.99-112.
15. **Тригуб А.М., Штагер Е.В.,** Приближенные способы оценки коэффициента восстановления при соударении твердых тел // Современные наукоемкие технологии. – 2014. - №5. – 1. – с.91-93; URL: <https://www.top.technologies.ru/ru/article/view?id=33723>.
16. **Кочетков А.В., Федоров П.В.** Некоторые вопросы теории удара // Наукоедение. Интернет-журнал. №5. 2013 – с.1-15 / <http://publ.naukovedemie.ru>
17. **Лапшин В.В.** Удар тела о препятствие // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. – Вып.12. – 17с. URL: <http://engjournal.ru/catalog/eng/teormech/1134.html> DOI: 10.18698/2308-6033-2013-12-1134.
18. **Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Унвер У.** Колебания в инженерном деле. – М.: Машиностроение, 1985. – 472с.
19. **Ginsberg I.** Engineering Dynamics. Cambridge University Press. 2008. – 726p. – ISBN:0521883032.
20. **Ebrahimi F.** (Ed.) Advances in Vibration Analysis Research. – In Tech, 2011. – 456p. ISBN: 97895330072098
21. **Gross D., Ehlers W., Wriggers P, Schroder I, Muller R.** Dynamics – Formulas and Problems: Engineering Mechanics. Springer – Verlag, Berlin, Heidelberg, 2017. – 249p. – ISBN: 3662534363
22. **Baruh H.** Applied Dynamics. Taylor Francis Group. LLS., 2015. – 872p. – ISBN:148225073X
23. **Bottega W.I.** Engineering Vibrations. CRC Press, Taylor&Francis. Group, 2016. – 727p. ISBN: 0849334209
24. **Meirovitch L.** Fundamentals of Vibrations. Mc Graw-Hill? 2001 – 806p. ISBN: 0070413452

Надійшла до редакції 30.03.2017

Д.А. Чепіга, І.В. Іорданов, С.М. Александров, Є.І. Конопелько, С.В. Подкопаєв, А.В. Петренко
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» МОН України, м. Покровськ

ДО ПИТАННЯ ПРО ПІДТРИМАННЯ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК ПРИ РОЗРОБЦІ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ В СКЛАДНИХ ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ

В результаті виконаних досліджень стійкості гірничих виробок встановлено, що застосування закладки виробленого простору усуває негативні явища, які проявляються при раптових обваленнях і посадках порід покрівлі вугільного пласта, який розробляється. При наявності у виробленому просторі за-

кладного масиву система, що розглядається, з урахуванням динаміки бічних порід, здійснює малі коливання поблизу встановленого положення рівноваги, а величина діючих в ній напружень на 30-35% менше, в порівнянні з традиційними способами управління гірничим тиском.

Ключові слова: покрівля пласта, ударний імпульс, коливання, напруження, закладний масив, обвалення бічних порід.

D.A. Chepiga, I.V. Iordanov, S.N. Aleksandrov, E.I. Konopelko, S.V. Podkopaev, A.V. Petrenko
State higher educational establishment "Donetsk national technical university", Ukraine, Pokrovsk

TO THE QUESTION OF MAINTENANCE OF MINING PROCESSES WHILE DEVELOPING COAL PLASTS IN COMPLEX MINING-GEOLOGICAL CONDITIONS

As a result of the carried out studies of the stability of mine workings, it has been established that the use of a bookmark of the worked-out space eliminates the negative phenomena that occur when sudden collapses and planting of the roof rocks of the developed coal seam. If there is a filling massif in the developed space, the system under consideration, taking into account the dynamics of the lateral rocks, makes small oscillations near the steady state of equilibrium, and the magnitude of the stresses acting there is 30-35% less than in the traditional ways of controlling the rock pressure.

Key words: formation roof, impact impulse, oscillations, stresses, backfilling massif, lateral rocks collapse.