

О НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ БОКОВЫХ ПОРОД ПРИ ВНЕЗАПНОМ ОБРУШЕНИИ ОСНОВНОЙ КРОВЛИ

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

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

Выполнены аналитические исследования для определения напряженно-деформируемого состояния боковых пород при внезапном обрушении основной кровли. Предложено рассматривать породы кровли в виде балки, лежащей на двух опорах, и ситуацию, когда правый край опирается на податливую опору в виде закладочного массива. Сделан вывод об эффективности применения закладки выработанного пространства как альтернативным способом управления горным давлением в исследуемых условиях. Доказано, что боковые породы, претерпевающие удар в результате внезапного обрушения основной кровли разрабатываемого пласта, должны опираться на расположенную позади очистного забоя на минимальном расстоянии (5–10 м) податливую опору. Это позволит снизить напряженность угленородного массива, свести к минимуму степень влияния многих негативных факторов проявления горного давления в выработках на современной глубине и повысить безопасность труда горнорабочих.

Ключевые слова: трещиноватость, обрушения, массив, травматизм, динамический коэффициент, охранные сооружения.

ПРО НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН БІЧНИХ ПОРІД ПРИ РАПТОВОМУ ОБВАЛЕННІ ОСНОВНОЇ ПОКРІВЛІ

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

Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет»
пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, Донецька обл., 85300, Україна, E-mail: daria.chepiha@donntu.edu.ua

Виконано аналітичні дослідження для визначення напружено-деформованого стану бічних порід при раптовому обваленні основної покрівлі. Запропоновано розглядати породи покрівлі у вигляді балки, що лежить на двох опорах, і ситуацію, коли правий край спирається на податливу опору у вигляді закладного масиву. Зроблено висновок про ефективність застосування закладки виробленого простору як альтернативний спосіб управління гірничим тиском в досліджуваних умовах. Доведено, що бічні породи, які зазнають удар в результаті раптового обвалення основної покрівлі пласта, повинні спиратися на розташовану позаду очистного забоя на мінімальній відстані (5-10 м) податливу опору. Це дозволить знизити напруженість вугленородного масиву, звести до мінімуму ступінь впливу багатьох негативних чинників прояву гірничого тиску у виробках на сучасній глибині і підвищити безпеку праці гірників.

Ключові слова: тріщинуватість, обвалення, масив, травматизм, динамічний коефіцієнт, охоронні споруди.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Общеизвестно, что реальный угленосный осадочный массив представляет собой чередующиеся самым различным образом слои углистого, глинисто-углистого, песчано-глинистого и других сланцев, песчаников. Во всех случаях контакт между песчанистыми слоями представлен глинистыми разностями пород. Значительно снижают устойчивость вмещающих пород угольные прослойки нерабочей мощности, залегающие в окрестности разрабатываемого пласта. При ведении горных работ на современных глубинах в таких горно-геологических условиях имеет место расслоение пород и, как следствие этого, их обрушение. Опыт работы шахт Донбасса, разрабатывающих крутые пласты, показывает, что обрушениям и обвалам, связанным с отрывом некоторого объема пород от остального массива, всегда предшествует их расслоение [1]. Вообще, слоистость угленородного массива следует рассматривать как фактор, ослабляющий породу, от которого зависит устойчивость кровли и почвы разрабатываемых угольных пластов. Изменение устойчивости и прочности пород, в направлении простираения пласта и по высоте этажа, приводит к тому, что в результате отработки угольных пластов кровля и почва разбивается на блоки различной длины.

При традиционных способах управления кровлей

полным обрушением или удержанием на кострах (на практике эти два способа не отличаются по процессам выполнения), при отработке крутых пластов, в силу специфических особенностей их разработки, связанных с углами падения, превышающих углы внутреннего трения пород, под действием сил гравитации расслоившиеся боковые породы верхней части лавы всегда смещаются вниз. Такое положение способствует сокращению площади обрушения непосредственной кровли в нижней части выработанного пространства [2, 3]. В этом месте расслоившиеся породы непосредственной кровли и почвы опираются на хаотически обрушенные породы.

Негативные последствия такой геомеханической обстановки могут проявляться в том, что основная кровля разрабатываемого пласта, не имея подпора в выработанном пространстве, внезапно обрушается. При ее внезапном обрушении последняя может неконтролируемо перемещаться в сторону очистной выработки выработанного пространства, что способствует завалу не только лавы, но и штрека.

Внезапность возникновения таких опасных ситуаций является одной из особенностей разработки пластов с неустойчивыми боковыми породами. Это обуславливается не только горно-геологическими, но и горнотехническими факторами. К последним следует относить несоответствие применяемых

средств и способов крепления и управления кровлей горно-геологическим условиям и охраны подготовительных выработок.

Поэтому разработка эффективных мероприятий направлена на повышение устойчивости боковых пород в сложных горно-геологических условиях при разработке крутых пластов, будет способствовать, прежде всего, повышению безопасности труда горнорабочих в подземных условиях.

Полученная на основе многолетних наблюдений за сдвижением горных пород схема [3–5] наиболее полно отражает качественную картину процесса перемещения толщи пород при крутом залегании пластов в результате их разработки. При выемке пластов в нарушенной толще происходит образование характерных зон сдвижения, на динамику и параметры которых в значительной степени влияют способ управления кровлей и охраны горных выработок.

Считается [3, 6], что в большинстве случаев причиной травматизма от обвалов и обрушений является расслоение боковых пород, возникающее и развивающееся во времени после разгрузки углепородного массива. В таких условиях применяемая в очистном забое крепь (костры, накатные костры) не способна противостоять движению нарушенной толщи пород, что способствует не только их внезапному обрушению, но и сползанию в выработку. В таких условиях традиционные способы охраны подготовительных выработок не способны обеспечить их удовлетворительное состояние, отвечающее требованиям Правил безопасности (ПБ).

Анализ производственного травматизма на шахтах, разрабатывающих угольные пласты в сложных горно-геологических условиях, позволяет сделать вывод о том, что аварии, связанные с обвалами и обрушениями пород, по числу смертельно травмированных стоят на первом месте на одну аварию и на втором месте по тяжести последствий после аварий, связанных со взрывами газа и угольной пыли.

Наиболее часто повторяющимися причинами аварий и несчастных случаев в результате обрушений боковых пород являются нарушения паспортов крепления (62 %), несоответствие паспортов крепления горно-геологическим условиям (8 %) и отсутствие или неисправность крепи (23 %) [7]. Очевидно, для снижения числа несчастных случаев от обвалов и обрушений, необходимо проведение специальных исследований по изучению устойчивости боковых пород и разработке новых способов сохранения эксплуатационного состояния горных выработок.

Традиционно считается, что опасные проявления горного давления в выработках зависят от совокупного влияния многих горно-геологических факторов, к которым следует относить физико-механические свойства горных пород. Изучение особенностей поведения последних и разработанные на этой основе прочностные характеристики [8–11] позволили установить специфичность особенностей проявлений горного давления в условиях больших глубин разработки угольных пластов.

Известно [1, 4], что наиболее благоприятно на охрану горных выработок, расположенных в массиве осадочных горных пород со сложными горно-

геологическими условиями влияет способ управления кровлей закладкой выработанного пространства. При его использовании исключается обрушение пород непосредственной кровли и внезапные осадки пород основной кровли, а вероятность сползаний пород почвы была сведена к минимуму [2]. В табл. 1 представлены данные о распределении забоев, по способам управления кровлей на пластах крутого падения.

Таблица 1 – Распределение забоев по способам управления кровлей

Способ управления кровлей, %	Годы				
	1970	1980	1990	2000	2014
Удержание на кострах	66,4	70,3	62	67,8	74
Полное обрушение (в том числе в забоях с применением щитовых агрегатов)	23,1	24,7	35	32,2	26
Закладка выработанного пространства	10,5	5,0	3,0	–	–

Как видно из табл. 1, в силу различных причин способ управления кровлей полной закладкой выработанного пространства с 2000 г. не применяется. Объяснением этому являются дополнительные затраты при приобретении современных дробильно-закладочных комплексов, но не ограничения его применения с точки зрения геомеханики.

Исследованиями, проведенными в ДонУГИ и ДонНТУ, ранее было установлено, что закладочный массив предотвращает развитие интенсивного трещинообразования в окрестности выработки и создает зоны устойчивых пород впереди и позади очистного забоя. При прочих равных условиях, вероятность опасных проявлений природных опасностей в выработках глубоких шахт будет всегда большей при отсутствии в выработанном пространстве податливой опоры в виде закладочного массива [12]. Такой подход позволит уменьшить эксплуатационную трещиноватость боковых пород, сохранить выработки в соответствии с требованиями ПБ, а также повысить безопасность труда горнорабочих.

Целью работы является определение напряженно-деформированного состояния боковых пород при внезапном обрушении пород кровли в результате отработки крутых угольных пластов в сложных горно-геологических условиях при традиционных способах управления горным давлением и закладкой выработанного пространства.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Для достижения поставленной цели были выполнены аналитические исследования с использованием основных положений сопротивления материалов, теорий упругости и удара [13–20]. Исследования проводились в два этапа.

Исходя из цели исследований, на первом этапе определим соответствующее статическое положение рассматриваемой системы, в которую входят поро-

ды кровли, опирающиеся на возводимые позади очистного забоя средства охраны.

Считается [13–15], что для определения напряженно-деформированного состояния в подобных ситуациях вначале необходимо определить статические нагрузки, которые возникают медленно от нуля до своего конечного значения. После этого, они остаются неизменными в течение длительного промежутка времени. Учет динамического воздействия нагрузки обычно производится введением динамического коэффициента в полученное решение соответствующей статической задачи [13, 19, 20]. В реальных условиях разработки крутых пластов часто приходится сталкиваться с динамическими нагрузками, которые изменяют свою величину и направление. Такие нагрузки вызывают значительные ускорения, что приводит к разрушению пород непосредственной кровли или почвы.

Напряженно-деформируемое состояние боковых пород при внезапном обрушении кровли является сложным, поэтому необходимо для упрощения рассматриваемой задачи ввести следующее допущение. Внезапное обрушение пород основной кровли частично неупругое и при обрушении справедлив закон сохранения энергии. Определение динамических напряжений при внезапном обрушении пород основной кровли в результате удара, с помощью условия динамического равновесия (принцип Даламбера) затруднительно, т.к. силы инерции в данном случае определить невозможно [13, 14].

Известно [17, 18, 20], что величина динамического коэффициента K_g при внезапном обрушении кровли определяется по выражению:

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

где h – высота, с которой происходит обрушение пород, м; Δ – прогиб (пород) балки в точке соударения по направлению падающего груза, м.

Для решения поставленной задачи рассмотрим породы непосредственной кровли в виде балки, свободно лежащей на двух опорах (рис. 1). С высоты h , падает груз с силой P . Для упрощения расчета в приближенной теории удара [15, 16] вводится ряд ограничений. Предполагается, что местные деформации, возникающие в телах в области их контакта при ударе и приводящие к некоторому смягчению последнего, не учитываются, это идет в запас прочности балки, представленной в виде пород непосредственной кровли. В качестве параметрического обеспечения геомеханических расчетов устойчивости боковых пород при поддержании горных выработок наиболее часто используются деформационные показатели, определяемые статическим методом приложения нагрузки. При этом не учитываются ситуации, для которых характерен динамический вид нагружения, к которому следует относить внезапные обрушения пород кровли.

Вначале рассмотрим решение задачи, когда обе опоры жесткие (рис. 1). Наибольшее напряжение в балке определим по выражению [5, 6]:

$$\sigma_{max}^{ст.} = \sigma_{max}^g \cdot K_g, \quad (2)$$

где σ_{max}^g – наибольшее напряжение в опасном сечении балки при статическом приложении нагрузки, Н/м².

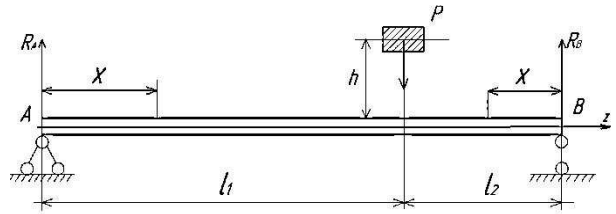


Рисунок 1 – Расчетная схема к определению напряженно-деформированного состояния пород непосредственной кровли пласта

Для определения положения опасного сечения и величины наибольших нормальных напряжений необходимо определить опорные реакции в балке по методике, детально изложенной в [13]. Тогда наибольшее напряжение в опасном сечении определяется как в [19]:

$$\sigma_{max}^g = \frac{M_{max}^{ст.}}{W_x}, \quad (3)$$

где $M_{max}^{ст.}$ – максимальный изгибающий момент, $M_{max}^{ст.} = \frac{Pl}{4}$, Нм; W_x – момент сопротивления балки относительно оси X , см³; P – сила действующая на балку, Н; l – длины балки, м.

Затем, с использованием метода начальных параметров [5] определим величину динамического коэффициента в результате прогиба балки под действием веса обрушившихся пород основной кровли.

Используя основные положения теории сопротивления материалов [14, 15], запишем выражение для прогиба в произвольном сечении второго участка балки (рис. 1):

$$EI_x V_Y(x) = EI_x \varphi_0 x + R_A \frac{x^3}{6} - P \frac{(x-l_1)^3}{6}, \quad (4)$$

где E – модуль упругости, Н/м²; I_x – момент инерции балки относительно оси X , см⁴; V_Y – прогиб балки, м; φ_0 – угол поворота в начале координат, град; R_A – реакция опоры в точке А, Н; x – расстояние от начала балки до рассматриваемого сечения, м.

Выполнив соответствующие преобразования, величину статического прогиба под действием веса обрушившихся пород основной кровли можно определить по выражению

$$\Delta_{ст.} = \frac{I_x V_Y(l_1)}{W_x}. \quad (5)$$

Чем меньше величина статического прогиба, тем жестче балка, следовательно, тем быстрее остановится падающий груз после касания.

Динамический коэффициент в этом случае равен:

$$K_g' = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\Delta_{ст.}}}. \quad (6)$$

Тогда, наибольшие напряжения, с учетом веса обрушившихся пород основной кровли, определяются по выражению:

$$\sigma_{max}^{ст.} = \sigma_{ст.}^g \cdot K_g' \quad (7)$$

Статическое действие нагрузок не ограничивается тем, что напряжения отличаются от тех, которых возникают при динамических нагрузках. Просто рассматриваемая система иначе реагирует на динамические нагрузки, нежели на медленно возрастающие нагрузки. Особенно это заметно при внезапном обрушении пород кровли.

На втором этапе исследования рассмотрим случай, когда для смягчения отрицательного действия удара жесткая опора заменяется на податливую. Тогда породы непосредственной кровли с одной стороны опираются на закладочный массив. Применительно к решаемой задаче это тот случай, когда правая опора балки опирается на податливую опору, представленную в виде пружины (рис. 2).

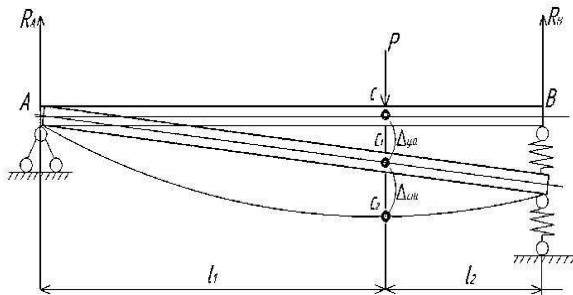


Рисунок 2 – Расчетная схема при опоре балки на податливую опору

Известно [15, 16], что динамические напряжения зависят от статического перемещения ударяемого тела. Чем больше статическое перемещение тела, тем меньше динамические перемещения. Характерной особенностью динамических нагрузок является то, что в результате их воздействия возникают колебания рассматриваемой системы. При колебаниях появляются силы инерции, которые могут во много раз превосходить усилия, возникающие от действия статических нагрузок. Поэтому динамические нагрузки значительно опаснее статических. С этой целью для смягчения удара и применяют податливые опоры.

Исходя из приведенной схемы (рис. 2) полное перемещение точки С, в данном случае, равно величине полного перемещения балки (прогиб несущей конструкции) в точке удара (внезапного обрушения пород основной кровли).

Таким образом, динамическая составляющая Δп прогиба несущей конструкции балки отражает динамическую добавку Δy.0. по отношению к статическому действию нагрузки и определяется как:

$$\Delta_{п} = \Delta_{ст.} + \Delta_{y.0.}, \quad (8)$$

где Δy.0. – величина податливости упругой опоры.

Динамический коэффициент в этом случае, можно определить по выражению

$$K_g'' = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\Delta_{п.}}}, \quad (9)$$

а величину наибольших динамических напряжений в опасном сечении балки по выражению:

$$\sigma_{max}^д. = \sigma_{max}^{ст.} \cdot K_g'' \quad (10)$$

На рис. 3 представлена зависимость изменения величины динамического коэффициента от длины балки, которая имеет одну податливую опору. Установлено, что по мере увеличения длины балки с 10 м до 80 м, величина динамического коэффициента уменьшается с $K_g''=5,6$ до $K_g''=2,02$, т.е. в 2,7 раза. Максимальное его значение $K_g''=5,6$ соответствует длине балки до 10 м. При длине последней более 30 м, значение динамического коэффициента вдвое больше, чем при статическом действии этой же нагрузки. Такое положение характеризует не статическое приложение обрушившихся пород кровли, а внезапное нагружение балки полным весом этих пород. С точки зрения устойчивости, при длине ее пролета 30 м и более, это самая опасная ситуация для рассматриваемой системы.

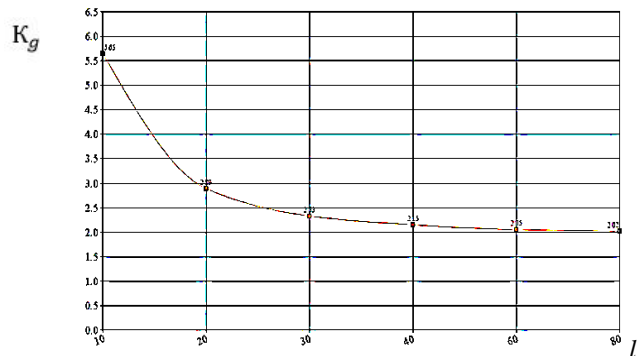


Рисунок 3 – Изменение величины динамического коэффициента от длины балки l, (м)

Изучение изменения величины действующих напряжений в сечении балки от ее длины (рис. 4) позволило сделать вывод о том, что размещение податливой опоры на свободном конце балки смягчает действие удара и уменьшает величину действующих в ее сечении напряжений на 15–30 %.

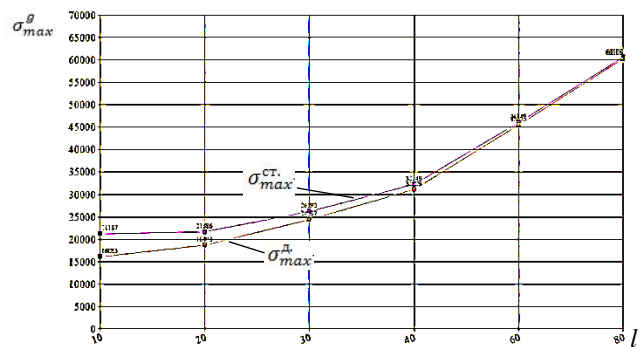


Рисунок 4 – Изменение величины действующих напряжений в сечении балки от ее длины:

$\sigma_{max}^{ст.}$ – когда свободный конец балки опирается на жесткую опору; $\sigma_{max}^д.$ – когда свободный конец балки опирается на податливую опору

При длине балки более 30 м имеет место ситуация, когда статические и динамические напряжения одинаковы при одном и том же действии нагрузки. Очевидно, чем больше податливость и деформируемость балки, тем большую «живую» силу удара она может принять при одних и тех же допускаемых напряжениях. Это соотношение справедливо при длине балки 10–15 м. Коэффициент динамичности, а, следовательно, и динамические напряжения зависят от жесткости рассматриваемой системы. При большей жесткости статические деформации имеют меньшие значения, а динамические напряжения при этом увеличиваются. Поэтому снижение напряжений при ударе может быть достигнуто уменьшением жесткости системы.

Таким образом, определение напряженно-деформированного состояния боковых пород при внезапном обрушении кровли, является достаточно сложным из-за наличия зон изменения устойчивости и прочности пород в направлении простирания пласта и по высоте этажа.

С точки зрения геомеханики такое положение приводит к ситуации, когда основная кровля, не имея достаточного подпора в выработанном пространстве, внезапно обрушается, чем создается аварийная обстановка. Это показывает, что влияние ударного действия изменяет механические характеристики боковых пород. Отмечены случаи, когда породы непосредственной кровли, плавно прогибаясь при статическом нагружении, обладают пластическими свойствами, а при ударном действии нагрузки – оказываются хрупкими. Изменить такую ситуацию возможно путем размещения в выработанном пространстве закладочного массива или широкой породной полосы. Породы непосредственной кровли, претерпевающие удар, должны всегда опираться на податливую опору с максимальной величиной податливости (до 50 %). При этом необходимо соблюдать условие, при котором расстояние от очистного забоя до податливой опоры должно быть минимальным, т.е. в пределах 5–10 м. Этим будут созданы условия эффективного поддержания боковых пород над горной выработкой и позади очистного забоя.

Таким образом, степень влияния негативных факторов проявления горного давления в выработках на современной глубине может быть сведена к минимуму при применении закладки выработанного пространства. Это позволит снизить напряженность углепородного массива и повысить безопасность труда горнорабочих.

ВЫВОДЫ. При разработке крутых угольных пластов во избежание аварийных ситуаций, сопровождающихся обрушениями пород 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, исключить завалы горных выработок, повысить эффективность отработки угольных пластов в сложных горно-геологических условиях и безопасность труда горнорабочих.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левкин Н.Б. Предотвращение аварий и травматизма в угольных шахтах Украины. – Донецк: Донбасс, 2002. – 393 с.
2. Жуков В.Е. Об одной стратегической ошибке в разрешении проблемы разработки крутых пластов // Уголь Украины. – 2001. – № 7. – С. 6–10.
3. Снижение травматизма от проявлений горного давления / В.И. Николин, С.В. Подкопаев, А.В. Агафонов, Н.В. Малеев – Донецк: Норд-Пресс, 2005. – 332 с.
4. Управление горным давлением при разработке угольных пластов / О.С. Аносов, Н.С. Кузьменко, В.Г. Кудрявцев и др. – Донецк: Донбасс, 1990. – 303 с.
5. Сдвигение и разрушение горных пород / С.Д. Викторов, М.А. Иофис, С.А. Гончаров. – М.: Наука, 2005. – 277 с.
6. Изучение процессов расслоения боковых пород при отработке крутых пластов на современных глубинах / С.С. Александров, А.Н. Михайлов, Т.О. Худoley // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках. – Симферополь: Таврический нац. ун-т, 2009. – С. 236–238.
7. Предотвращение травматизма от обвалов и обрушений на угольных шахтах / В.В. Радченко, Э.Н. Медведев, Н.С. Кузьменко. – К., 2010. – 372 с.
8. Масштабный эффект в горных породах / А.Н. Шашенко, Е.А. Сдвижкова, С.В. Кужель. – Днепропетровск: АРТ-Пресс, 2004. – 132 с.
9. Linkov A.M. The Problem of Stability and Dynamic Phenomena in Mines // Soc. Rock Mechanics, P 1799. Lisboa Cedex, 1994. – 132 p.
10. Hoek E., Brown E.T. Practical estimates of rock mass strength // Int. J. Rock Mech. Min. Science. – 1997. – No. 34 (8). – PP. 165–168. – doi: 10.1016/S1365-1609(97)80069-X.
11. Alber M. and Heiland J. Investigation of Limestone Pillar Failure // Rock Mech. Rock Engng. – 2001. – No. 34 (3) – PP. 167–186. – doi: 10.1007/s006030170007.
12. О проявлении природных опасностей при поддержании выработок в сложных горно-геологических условиях / А.Э. Кипко, Д.А. Чепига, Е.С. Подкопаев // Вісник Криворізького національного університету: збір. наук. праць. – 2016. – Вип. 41. – С. 17–22.
13. Прочность и разрушение при кратковременных нагрузках / Х.А. Рахматулин, Е.И. Шемякин, Ю.А. Демьянов, А.В. Звягин. – М.: Университетская книга, Логос, 2008. – 624 с.
14. Циглер Ф. Механика твердых тел и жидкостей. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2002. – 912 с.
15. Клаф Р., Пензиен Дж. Динамика сооружений. – М: Стройиздат, 1979. – 320 с.
16. Beer F.P., Johnston E.R., DeWolf J.T., Mazurek D.F. Mechanics of Materials. – New York: McGraw-Hill Educations, 2015. – 896 p.
17. Ramachandran S. Etal Mechanics of Solids (Strength of Materials). – Airwalk Publications, 2016. – 838 p.
18. Subramanian R. Strength of Materials. – Oxford University Press, UK, 2010. – 1041 p.
19. Ginsberg J. Engineering Dynamics. – Cambridge University Press, 2008. – 726 p. ISBN:0521883032.

ON THE STRESS-STRAIN STATE OF THE WALL ROCKS AT THE MAIN ROOF SUDDEN COLLAPSE

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. The purpose of research is to determine the stress-strain state of rock walls at the sudden collapse of the roof rocks in mining steep coal seams in the complex geological conditions at the traditional rock pressure control methods and stowing. **Methodology.** Analytical studies using the basic provisions of the strength of materials, the theory of elasticity and impact theory were performed. **Results.** In the development of steep coal seams, it should be focused on the way to rock pressure control - stowing. **Originality.** For the first time the approach has been suggested to use the definition of stress-deformed position of the side rocks, which is to consider the system in static and dynamic state. **Practical value.** Stowing will improve the condition of the wall rocks, eliminate blockages mining and the coal seams mining efficiency in the complex geological conditions and miners' safety. **Conclusions.** It has been proved that the rock walls, undergoing a blow as a result of the sudden collapse of the main roof mined seam, should be based on the location behind the breakage face supple support. References 20, figures 4, tables 1.

Key words: rock jointing, caving, solid mass, injuries, dynamic factor, security facilities.

REFERENCES

1. Levkin, N.B. (2002), *Predotvrashcheniye avariyy i travmatizma v ugolnykh shakhtakh Ukrainy* [Prevention of accidents and traumatism in the coal mines of Ukraine], Donbass, Donetsk, Ukraine.
2. Zhukov, V.E. (2001), "On a strategic error in the resolution of steep seams development problems", *Ugol Ukrainy*, vol. 3, pp. 6–10.
3. Nikolin, V.I., Podkopaev, S.V., Agafonov, A.V., Maleev, N.V. (2005), *Snizheniye travmatizma ot projavleniy gornogo davleniya* [Injury Reduction from rock pressure manifestations], Nord-Press, Donetsk, Ukraine.
4. Anosov, O.S., Kuz'menko, N.S., Kudryavcev, V.G. et al. (1990), *Upravleniye gornym davleniem pri razrabotke ugol'nykh plastov* [Mountain pressure control while coal development], Donbass, Doneck, Ukraine.
5. Viktorov, S.D. (2005), *Sdvizheniye i razrusheniye gornykh porod* [Displacement and destruction of rocks], Nauka, Moscow, Russia.
6. Alexandrov, S.S. (2009), *Deformirovaniye i razrusheniye materialov s defektami i dinamicheskie javleniya v gornykh porodah i vyrabotkakh* [Deformation and destruction of rocks with defaults and dynamic phenomenon in rock mining], Simferopol, Tauride Nationale University, Ukraine.
7. Radchenko, V.V., Medvedev, E.N., Kuzmenko, N.S. (2010), *Predotvrashcheniye travmatizma ot obvalov i obpusheniy na ugol'nykh shahtah* [Preventing injuries from falls and gashes in coal mines], Kiev, Ukraine.
8. Shashenko, A.N., Sdvizhikova, E.A., Kuzhel S.V. (2004), *Masshtabnyy jeffekt v gornykh porodah* [The big defects in rocks], ART Press, Dnepropetrovsk, Ukraine.
9. Linkov, A.M. (1994), "The Problem of Stability and Dynamic Phenomena in Mines", *Soc. Rock Mechanics*, P 1799, Lisboa Cedex, 132 p.
10. Hoek, E., Brown, E.T. (1997), "Practical estimates of rock mass strength", *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, no. 34 (8), pp. 165–168.
11. Alber, M. and Heiland, J. (2001), "Investigation of Limestone Pillar Failure", *Rock Mech. Rock Engng.*, no. 34 (3), pp. 167–186.
12. Kipko, A.E., Chepiga, D.A., Podkopaev, E.S. (2016), "About the natural dangers display at maintenance in the difficult mining and geological conditions", *Transaction of Kryviy Rig National University*, iss. 41, pp. 17–22.
13. Rahmatulin, H.A., Shemyakin, E.I., Dem'yanov, Yu.A., Zvyagin, A.V. (2008), *Prochnost' i razrusheniye pri kratkovremennykh nagruzkakh* [Durability and destruction at the brief loading], Universitetskaya kniga, Logos, Moscow, Russian.
14. Cigler, F. (2002), *Mehanika tverdykh tel i zhidkostey* [Mechanics of solids and liquids], NIC «Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika» Izhevsk, Russia.
15. Klaf, R., Penzien, Gz. (1979), *Dinamyka sooruzheniy* [Dynamics of building], Stroyizdat, Moscow, USSR.
16. Beer, F.P., Johnston, E.R., DeWolf, J.T., Mazurek, D.F. (2015), *Mechanics of Materials*, McGraw-Hill Educations, New York, USA.
17. Ramachandran, S. (2016), *Etal Mechanics of Solids (Strength of Materials)*, Airwalk Publications.
18. Subramanian, R. (2010) *Strength of Materials*. – Oxford University Press, UK.
19. Ginsberg, J. (2008), *Engineering Dynamics*, Cambridge University Press, Britain.

Стаття надійшла 15.12.2016.