

УДК 622.834:622.862.3

doi:10.20998/2413-4295.2016.42.18

## ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ БОКОВЫХ ПОРОД В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

И. И. ПУГАЧ<sup>1</sup>, С. В. ПОДКОПАЕВ<sup>2</sup>, И. В. ИОРДАНОВ<sup>2</sup>, Д. А. ЧЕПИГА<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>ГВУЗ «НГУ», г.Днепр, УКРАИНА

<sup>2</sup>ГВУЗ «ДонНТУ» МОН Украины, г.Покровск, УКРАИНА

\*email: daria.chepiha@donntu.edu.ua

**АННОТАЦИЯ** В данной статье рассматриваются вопросы исследования устойчивости боковых пород горных выработок в условиях разработки крутых пластов. На основе выполненных исследований дается сравнение способов управления кровлей – полным обрушением и удержанием на кострах, а также закладкой выработанного пространства как средств, ограничивающих деформацию боковых пород. Представив породы кровли в виде балки и применив основные положения теории сопротивления материалов, выполнена оценка напряженно-деформируемого состояния пород и сделан вывод об эффективности применения закладки выработанного пространства.

**Ключевые слова:** призабойное пространство; травматизм; управление кровлей; сдвигание горных пород; полное обрушение; костры; эпюры изгибающих моментов.

## INVESTIGATION OF THE STABILITY OF WALL ROCKS IN DIFFICULT MINING AND GEOLOGICAL CONDITIONS

I. PUGACH<sup>1</sup>, S. PODKOPEV<sup>2</sup>, I. IORDANOV<sup>2</sup>, D. CHEPIGA<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Public higher education institution National Mining University, Dnepr, UKRAINE

<sup>2</sup>Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, UKRAINE

\*email: daria.chepiha@donntu.edu.ua

**ABSTRACT** The aim of the research is to study the stability of the wall rocks of mine workings in the conditions of development of steep seams. On the basis of the research compares the roof control methods - a complete collapse and holding at the chocks, as well as laying out space as a means of limiting the deformation of the wall rocks. Applying an optical method for studying the basic tenets of the theory of strength of materials and presenting rock roof in the form of beams, the estimate of the stress-strain state of the rocks and that the efficacy of stowing was concluded. It is proved that in comparative terms, geomechanical indicators application stowing much more efficient than traditional methods of control rock pressure. It was found that the filling mass prevents not only the displacement of rocks in the neighborhood of the mine workings, but also helps to eliminate the negative reasons in the virgin coal that can provoke the collapse of the wall rocks.

**Key words:** rate of accidents; strata control; chock; bending moment diagram; face space.

### Введение

В настоящее время работа предприятий угольной промышленности Украины осуществляется в постоянно ухудшающихся горно-геологических условиях. Для угольных месторождений Донбасса характерна малая мощность разрабатываемых пластов, повышенная геологическая нарушенность и тектоническая трещиноватость вмещающих пород. 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 %). Опыт работы шахт Донбасса показывает, что эффективность отработки угольных пластов и безопасность ведения горных работ в угольных шахтах в значительной степени зависит от состояния горных выработок. Неудовлетворительное состояние последних повышает уровень травматизма

горнорабочих, особенно в условиях отработки пластов в сложных горно-геологических условиях.

Общеизвестно, что с ростом глубины горных работ в выработках начинает проявляться такой негативный природный фактор, как обрушения боковых пород. Аварии, связанные с обрушениями боковых пород, по числу смертельно травмированных стоят на первом месте на одну аварию и на втором месте по тяжести последствий после аварий, связанных со взрывами угольной пыли и газа. Причинами аварий являются нарушения паспортов крепления (62 %), несоответствие паспортов крепления горно-геологическим условиям (8 %) и отсутствие и неисправность крепи (23 %) [1, 2, 3]. Достигнутый уровень травматизма по исследуемому фактору (за последние 10 лет удельный вес смертельного травматизма при проведении и перекреплении выработок составляет около 34 %, на сопряжении выработок - 12 %) позволяет считать, что действующие меры по предотвращению обвалов и

обрушений в угольной отрасли являются недостаточными.

В реальных условиях разработки крутых пластов, связанных с углами их падения, имеют место не только обрушения пород кровли, но и сползания пород почвы. Причем, в одних случаях обрушения боковых пород распространяются на призабойное пространство лавы, часто по всей ее длине, что способствует частичному или полному завалу как очистного забоя, так и подготовительных выработок. В других случаях, эти явления происходят за лавой и приводят только к завалу подготовительных выработок. Во всех приведенных случаях имеет место потеря регламентированного ПБ сечения штреков, что в свою очередь способствует увеличению уровня травматизма на протяжении горных выработок.

Анализ применяемых способов управления горным давлением и охраны пластовых выработок при разработке пластов крутого падения показал, что применяемые способы, являясь эффективными для конкретных горно-геологических условий, теряют свою эффективность при их изменении. Тем не менее, детальный анализ аварий позволяет сделать вывод о том, что во многих случаях основными причинами травматизма по исследуемому опасному производственному фактору является недостаточная изученность природы обрушений и, в связи с этим, принятие ошибочных технических и технологических решений. Поэтому разработка эффективных мероприятий, направленных на повышение устойчивости боковых пород при разработке крутых угольных пластов в сложных горно-геологических условиях, будет способствовать повышению безопасности труда горнорабочих, обеспечивающих добычу угля, проведение и поддержание горных выработок.

#### Анализ исследований и публикаций

Традиционно считается, что проявления горного давления в выработках зависят от совокупного влияния многих горно-геологических факторов, к которым следует относить напряженное состояние горных пород и их физико-механические свойства. Изучение особенностей поведения горных пород в условиях больших глубин и разработанные на этой основе прочностные характеристики [4, 5, 6, 7, 8, 9] позволили установить специфичность условий негативных проявлений горного давления в угленосном массиве, в котором проводятся и поддерживаются выработки.

Известно [10], что наличие зон разгрузки способствует расслоению боковых пород, их проскальзыванию на контактах надработанных и подработанных слоев, проявлению и раскрытию трещин, нормальных к напластованию и зачастую не совпадающих с природными трещинами. Обрушения и обвалам, как показывает практика, связанным с отрывом некоторого объема пород от остального

массива, всегда предшествует их расслоение. В формировании условий расслоения важную роль составляют такие факторы как наличие прослоев и плоскостей скольжения на контакте слоев. В зонах разгрузки, глинистые породы, увеличиваясь в объеме во времени, отрывают слои более прочных пород и формируют условия их обрушений [9]. Исследования смещений пород с помощью реперов показали, что процесс расслоения начинается впереди лавы [1, 12].

При традиционных способах управления кровлей полным обрушением или удержанием на кострах, учитывая особенности разработки крутых пластов, связанные с углами их падения, превышающих углы внутреннего трения пород, под действием сил гравитации расслоившиеся боковые породы верхней части лавы всегда смещаются вниз [13]. Такое положение способствует сокращению площади обрушения непосредственной кровли в нижней части очистного забоя на величину подбученной части выработанного пространства.

Подработанные 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. Негативные последствия создавшейся 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 призабойное и выработанное пространство, что может способствовать завалу выработок.

Анализ случаев завалов штреков на шахтах Украины, разрабатывающих крутые пласты, за период с 1978 по 2014 гг. свидетельствует о том, что наибольшее число завалов приходится на сопряжение с лавой (табл. 1).

Таблица 1 – Случаи завалов штреков на шахтах, разрабатывающих крутые пласты (1978-2014)

Обрушения	Количество завалов		Всего
	на сопряжении	позади лавы	
Кровля	32	18	50
Почва	18	14	32
Итого	50	32	82

Как видно из табл.1, наибольшее число завалов происходит на сопряжении штрека с лавой. Это происходит за счет обрушений пород кровли (64 % случаев) и пород почвы (36 % случаев). Позади лавы завалы штреков составляют 39 % случаев.

Довольно большое число завалов штреков приходится на случаи, когда проведение горных выработок осуществляется в боковых породах ниже средней устойчивости. Опыт работы на пластах с

такими горно-геологическими условиями показал, что там, где для охраны откаточного штрека выкладывались искусственные сооружения (кусты, накатные костры), наблюдались не только обрушения пород кровли, но и сползания пород почвы. В табл. 2 представлено распределение забоев по способам управления кровлей на пластах крутого падения.

Таблица 2 – 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 т.ч. в забоях с щитовыми агрегатами)	23,1	24,7	35	32,2	26
Закладка выработанного пространства	10,5	5,0	3,0	-	-

В силу различных причин, как видно из табл.2 способ управления кровлей полной закладкой выработанного пространства, в настоящее время не применяется, хотя при его использовании исключались обрушения непосредственной и осадки основной кровли, а так же сползания пород почвы. Очевидно, при полной закладке у боковых пород отсутствует возможность перемещения в разные стороны и они работают на сжатие. Поэтому безопасность ведения горных работ в значительной степени определяется способом управления кровлей в очистном забое. Известно [12, 14], что наиболее интенсивно процесс сдвижения под- и надработанной толщи развивается и протекает при способе управления кровлей в лаве полным обрушением или удержанием кровли на кострах (на практике эти способы не отличаются друг от друга) наименее интенсивно – при полной закладке выработанного пространства.

### Постановка задачи

Для исследования устойчивости боковых пород на пластах с крутым залеганием были выполнены лабораторные исследования на моделях из оптических материалов. Исследования проводились на экспериментальных образцах, позволяющих моделировать напряженно-деформированное состояние массива пород в окрестности горной выработки при способах управления кровлей полным обрушением и закладкой выработанного пространства. Моделируемая глубина отвчала условиям 800 м и 1200 м, угол падения пласта  $60^\circ$ , мощность пласта 1,0 м. Мощность пород непосредственной кровли и почвы, составляла 2м, основной - 6м, где  $m$  –

мощность угольного пласта (м). При этом, породы непосредственной кровли и почвы по своим свойствам соответствовали породам типа глинистый сланец средней устойчивости, породы основной кровли и почвы – песчаный сланец средней устойчивости. Боковые породы условно расчленили на блоки, которые взаимодействовали между собой подобно механической системе, позволяющей выявить в первом приближении механизм раскрытия и закрытия трещин разлома. В качестве оптически чувствительного материала использовали игдантин. Было отработано 4 модели. Моделирование выполнено в соответствии с рекомендациями [15, 16].

Оптический метод, в данном случае, позволяет установить исходную картину распределения напряжений в среде, которая формируется во вмещающих породах в первый период времени после выемки угля. Для определения главных напряжений в модели использовали поле изоклин, представляющих собой геометрическое место точек, в которых направления главных напряжений одинаковы [16].

### Изложение материала и результаты

Результаты моделирования представлены на рис. 1 а, б. Анализ статического поля касательных напряжений указывает на то, что при способе управления кровлей полным обрушением (при удержании на кострах) имеем максимальную концентрацию касательных напряжений в блоках пород непосредственной кровли, а так же наличие в них зияющих трещин. В наиболее неблагоприятных условиях находятся подготовительные выработки, в окрестности которых породные слои изгибаясь и зависая на значительной площади, способствуют росту максимальных касательных напряжений.

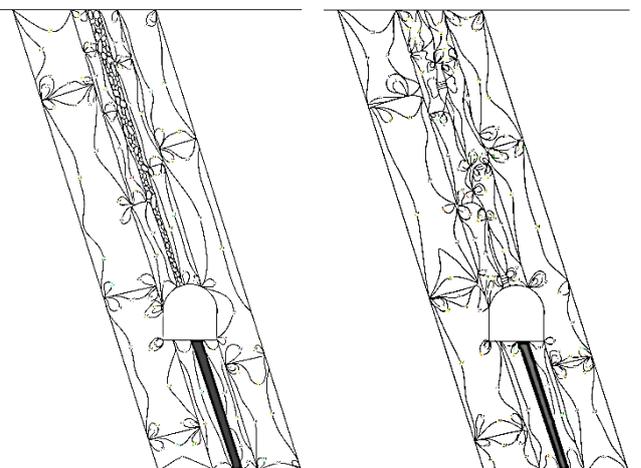


Рис. 1 – Статическое поле касательных напряжений на глубине 1200 м в окрестности горной выработки при способе управления кровлей:

а - полным обрушением;  
б - закладкой выработанного пространства.

Изложенные геомеханические особенности поведения пород практически полностью устраняются или сводятся к минимуму при способе управления кровлей закладкой выработанного пространства. Данные моделирования (рис. 1,б) показывают, что применение закладки выработанного пространства снижает концентрацию напряжений во вмещающих породах. Контактующие между собой породные блоки обеспечивают увеличение сжимающих напряжений в плоскости напластования, что способствует сохранению сплошности блочной структуры внутри рассматриваемой системы. В окрестности подготовительных выработок концентрация напряжений сводится к их минимальным значениям из-за плавного прогиба боковых пород. При этом площадь фактического касания практически не изменяется, а происходит лишь перераспределение напряжений на границе контакта. Сплошность под- и надработанных пород обеспечивается за счет увеличения сил трения и зацепления между породными блоками в кровле и почве пласта. Проведенный лабораторный комплекс исследований показал, что увеличение глубины разработки способствует росту концентрации максимальных касательных напряжений не только по контуру горных выработок, но и вглубине массива. Чем выше напряженность углепородного массива, тем больше уровень концентрации напряжений в породах кровли и почвы, а, следовательно, вероятность их обрушений.

При использовании оптического метода, применительно к решаемой задаче, считается, что концентрация напряжений приводит к пластическим деформациям, с течением времени, в местах концентрации сжимающих и растягивающих напряжений имеет место разрушение осадочного массива [21, 22].

Для того, чтобы доказать положительное влияние закладочного массива на состояние боковых пород используем некоторые положения теории сопротивления материалов [17, 18, 19, 20]. Представим породы кровли в виде балки, заделанный одним концом и нагруженный по всей длине равномерно распределенной нагрузкой  $q$ , (Н/м<sup>2</sup>) (рис. 2). Считаем, что на свободном конце балки действует сила  $P$ , (Н), причем, в разных направлениях, в зависимости от рассматриваемых условий исследований (рис. 2, а). В некоторых случаях свободный конец балки опирается на податливую опору.

Применительно к рассматриваемой задаче для достижения поставленной цели целесообразно применение известного метода сложения действия сил [17]. Установлено, что эпюра моментов от действия равномерно распределенной нагрузки имеет вид параболы, а от действия сосредоточенной силы – изменяется по прямолинейному закону. В результате сложения действия сил, приложенных к балке, нами были получены эпюры, изображенные на рис. 2, б, в, при различных условиях опирания балки.

Анализ эпюр изгибающих моментов (рис. 2 б, в) позволяет считать, что в данной системе, в результате действия на балку равномерно распределенной нагрузки и сосредоточенной силы, образуется свод, внутри которого сплошность пород сохраняется. Внутри этого свода действуют сжимающие усилия, способствующие увеличению сил трения и зацепления между породными блоками. При этом, позади очистного забоя в выработанном пространстве, создаются зоны устойчивых боковых пород. Однако в месте жесткого защемления балки, последняя испытывает незначительные растягивающие напряжения, величину которых можно свести к минимуму или устранить при наличии податливой опоры на ее свободном конце (кривая 1, рис. 2, в). Наличие в выработанном пространстве податливой опоры, в виде закладочного массива, обеспечивает плавный прогиб пород и их лучшую устойчивость. Соответственно при ее минимальном отставании от очистного забоя.

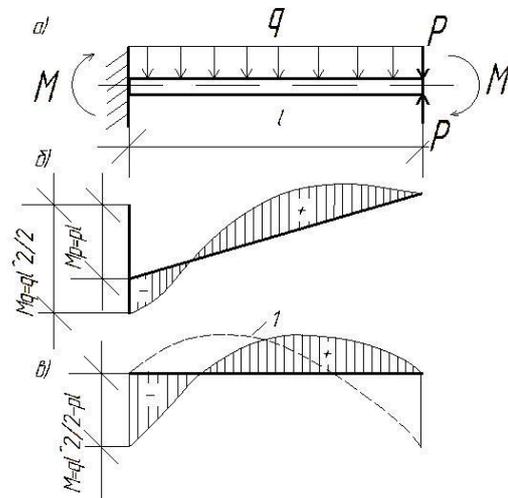


Рис. 2 – Расчетная схема к определению напряженно-деформированного состояния пород кровли (а) и эпюры изгибающих моментов (б, в);  
1 – при опоре балки на податливую конструкцию.

Данные аналитических исследований позволяют сделать вывод о том, что в сравнимых условиях, геомеханические показатели применения широких податливых опор (закладочного массива) позади очистного забоя (в выработанном пространстве) улучшаются по мере увеличения жесткости закладочного массива и уменьшения ширины поддерживаемого призабойного пространства. Именно действия сжимающих напряжений в плоскости напластования обеспечивает сплошность пород кровли разрабатываемого пласта.

Таким образом, в результате выполненного комплекса исследований установлено, что механизм взаимодействия закладочного массива с оседающими породами кровли заключается в закрытии над податливым массивом трещин разлома пород и сохранении сплошности подработанной толщи. При

этом в плоскости напластования наблюдается увеличение сжимающих усилий, которые и способствуют сохранению устойчивости пород непосредственной кровли.

### Вывод

В сложных горно-геологических условиях разработки крутых угольных пластов необходимо ориентироваться на способ управления кровлей закладкой выработанного пространства, или на применение широких податливых полос. При этом предварительно необходимо установить оптимальные параметры средств охраны. Закладочный массив предотвращает не только сдвигение горных пород в окрестности поддерживаемых горных выработок, но и устраняет негативные причины, которые могут проявляться в углепородном массиве и провоцировать внезапные обрушения пород как основной, так и непосредственной кровли пласта.

### Список литературы:

1. **Александров, С. С.** Обґрунтування та розробка способів забезпечення безпеки праці при підтримці виробок крутих угольних пластів: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.26.01 / **Сергій Сергійович Александров**; ДВНЗ «ДонНТУ». – Красноармійськ. – 2015. – 24 с.
2. **Левкин, Н. Б.** Предотвращение аварий и травматизма в угольных шахтах Украины / **Н. Б. Левкин** // *Монография. – Донецк: Донбасс. – 2002. – 393 с.*
3. **Радченко, В. В.** Предотвращение травматизма от обвалов и обпущений на угольных шахтах / **В. В. Радченко, Э. Н. Медведев, Н. С. Кузьменко.** – К. – 2010. – 372 с.
4. **Викторов, С. Д.** Сдвигение и разрушение горных пород / **С. Д. Викторов, М. А. Иофис, С. А. Гончаров.** – М.: Наука. – 2005. – 277 с.
5. **Bieniawski, Z. T.** Estimating the Strength of Rock Materials / **Z. T. Bieniawski** // *J. S. Afr. Min. Metall.* – Vol. 74. – 1974. – P. 312-320. – doi:10.1016/0148-9062(74)91782-3.
6. **Hoek, E.** Practical estimates of rock mass strength / **E. Hoek, E. T. Brown** // *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* – 1997. – № 34 (8). – P. 165-168. – doi:10.1016/S1365-1609(97)80069-X.
7. **Alber, M.** Investigation of Limestone Pillar Failure / **M. Alber, J. Heiland** // *Rock Mech. Rock Engng.* – 2001. – № 34 (3). – P. 167-186. – doi:10.1007/s006030170007.
8. **Шашенко, А. Н.** Масштабный эффект в горных породах / **А. Н. Шашенко, Е. А. Сдвижкова, С. В. Кужель.** – Днепропетровск.: АРТ-Пресс. – 2004. – 132 с.
9. **Николин, И. В.** Снижение травматизма от проявлений горного давления / **И. В. Николин, С. В. Подкопаев, А. В. Агафоноф.** – Донецк: Норд-Пресс. – 2005. – 232 с.
10. **Александров, С. С.** Изучение процессов расслоения боковых пород при отработке крутых пластов на современных глубинах // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках / **С. С. Подкопаев, А. Н. Михайлов, Т. О. Худолей** – Симферополь: Таврический нац. ун-т. – 2009. – С. 236-238.
11. **Александров, С. С.** Изучение склонности боковых пород к обрушениям на пластах крутого падения / **С. С. Александров** // *Вісті Донецького гірничого інституту.* – 2001. – № 2. – С. 236-240.
12. **Андрушко, В. Ф.** Управление кровлей в сложных горно-геологических условиях / **В. Ф. Андрушко, С. А. Саракитянец, Ю. Г. Спицын.** – К.: Техника. – 1985. – 372 с.
13. **Жуков, В. Е.** Об одной стратегической ошибке в разрешении проблемы разработки крутых пластов // *Уголь Украины.* – 2001. – № 7. – С. 6-10.
14. **Зборщик, М. П.** Механизм повышения устойчивости кровли в лавах при применении закладки выработанного пространства / **М. П. Зборщик, С. В. Подкопаев** // *Уголь Украины.* – 1992. – № 5. – С. 20-23.
15. **Методические указания** по изготовлению моделей из оптически чувствительных материалов для исследования проявлений горного давления. – Л.: ВНИМИ. – 1970. – 180 с.
16. **Хаймова-Малькова, Р. И.** Методика исследования напряжений поляризационно-оптическим методом. – Наука. – 1970. – 194 с.
17. **Беляев, Н. М.** Сопровождение материалов / **Н. М. Беляев.** – М.: Наука. – 1965 – 856 с.
18. **Beer, F. P.** Mechanics of Materials. 7th Edition / **F. P. Beer, E. R. Johnston, J. T. De Wolf, D. F. Mazurek.** – New York: McGraw-Hill Educations. – 2016. – 896 p.
19. **Ramachandran S. et al.** Mechanics of Solids (Strength of Materials). – *Airwalk Publications.* – 2016. – 838 p.
20. **Subramanian, R.** Strength of Materials. 2nd Edition. – Oxford University Press, UK. – 2010. – 1041 p.
21. **Баклашов, И. В.** Геомеханика. Т.1. – М.: Изд-во Московского гос. горного ун-та. – 2004. – 208 с.
22. **Баклашов, И. В.** Деформируемость и разрушение породных массивов. – М.: Недра. – 1988. – 271 с.

### Bibliography: (transliterated)

1. **Aleksandrov, S. S.** Obgruntuvannya ta rozrobka sposobiv zabezpechennya bezpeky pratsi pry pidtrymtsi vyrobok krutykh vuhil'nykh plastiv: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk : 05.26.01 / Serhiy Serhiyovych Aleksandrov; DVNZ «DonNTU, Krasnoarmiys'k, 2015, 24 p.
2. **Levkin, N. B.** Predotvrashhenie avarij i travmatizma v ugoľnyh shahtah Ukrainy. Monografija. Doneck: Donbass, 2002, 393 p.
3. **Radchenko, V. V., Medvedev, Je. N., Kuz'menko, N. S.** Predotvrashhenie travmatizma ot obvalov i obpushenij na ugoľnyh shahtah. Kyiv, 2010, 372 p.
4. **Viktorov, S. D., Iofis, M. A., Goncharov, S. A.** Sdvizhenie i razrushenie gornyh porod. Moskov: Nauka, 2005, 277 p.
5. **Bieniawski Z.T.** Estimating the Strength of Rock Materials. *J.S.Afr.Min.Metall.*, 1974, 74, 312-320.
6. **Hoek E., Brown E.T.** Practical estimates of rock mass strength. - *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* – 1997, № 34 (8) – p.p. 165-168.
7. **M. Alber and J. Heiland:** Investigation of Limestone Pillar Failure. *Rock Mech. Rock Engng.* - 2001. - № 34 (3) – p.p. 167-186.
8. **Shashenko, A. N., Sdvizhikova, E. A., Kuzhel', S. V.** Masshtabnyj jeffekt v gornyh porodah. Dnepropetrovsk: ART-Press, 2004, 132 p.
9. **Nikolin, I. V., Podkopae, S. V., Agafonof, A. V.** Snizhenie travmatizma ot projavlenij gornogo davlenija. Doneck: Nord-Press. 2005, 232 p.
10. **Aleksandrov, S. S., Mihajlov, A. N., Hudolej, T. O.** Izuchenie processov rassloenija bokovyh porod pri otrabotke krutyh plastov na sovremennyh glubinah // Deformirovanie i razrushenie materialov s defektami i dinamicheskie javlenija

- v gornyh porodah i vyrabotkakh. Simferopol': Tavricheskij nac. un-t. 2009, 236-238.
11. **Aleksandrov, S. S.** Izuchenie sklonnosti bokovih porod k obrushenijam na plastah krutogo padenija. *Visti Doneckogo girnichogo institutu*, 2001, 2, 236-240.
  12. **Andrushko, V. F., Sarakitjanc, S. A., Spicyn, Ju. G.** Upravlenie krovlej v slozhnyh gorno-geologicheskikh uslovijah. Kyiv: Tehnika, 1985, 372 p.
  13. **Zhukov, V.E.** Ob odnoj strategicheskoy oshibke v razreshenii problemy razrabotki krutyh plastov. *Ugol' Ukrainy*. 2001, 7, 6-10.
  14. **Zborshhik, M. P., Podkopaev, S. V.** Mehanizm povysheniya ustojchivosti krovli v lavah pri primenenii zakladki vyrabotannogo prostranstva *Ugol' Ukrainy*, 1992, 5, 20-23.
  15. Metodicheskie ukazaniya po izgotovleniju modelej iz opticheski chuvstvitel'nyh materialov dlja issledovanija proyavlenij gornogo davlenija. Lviv: VNIMI, 1970, 180 p.
  16. **Haimova-Mal'kova, R. I.** Metodika issledovanija naprjazhenij poljarizacionno-opticheskim metodom, Nauka, 1970, 194 p.
  17. **Beljaev, N. M.** Soprotivlenie materialov. Moskow: Nauka, 1965, 856 p.
  18. **Beer, F. P., Johnston, E. R., DeWolf, J. T., Mazurek, D. F.** Mechanicson of Materials. 7<sup>th</sup> Edition. *New York: McGraw-Hill Educations*, 2016, 896 p.
  19. **Ramachandran, S.** et al. Mechanics of Solids (Strength of Materials). *Airwalk Publications*, 2016, 838 p.
  20. **Subramanian, R.** Strength of Materials. 2<sup>nd</sup> Edition. – Oxford University Press, UK, 2010, 1041 p.
  21. **Baklashov, I. V.** Geomehanika. Moskow: *Izd-vo Moskovskogo gos. gornogo un-ta*, 2004, T.1, 208 p.
  22. **Baklashov, I. V.** Deformiruemost' i razrushenie porodnyh massivov. Moskow: Nedra, 1988, 271 p.

#### Сведения об авторах (About authors)

**Пугач Иван Иванович** – кандидат технических наук, доцент кафедры аэрологии и охраны труда, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет»; г. Днепр, Украина; e-mail: pugachivan@ukr.net.

**Pugach Ivan** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Public higher education institution National Mining University, Днепр, Ukraine; e-mail: pugachivan@ukr.net.

**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.

**Podkopaev Sergey** – 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

**Iordanov Igor** – 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.

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

*Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:*

**Пугач, И. И.** Исследования устойчивости боковых пород в сложных горно-геологических условиях / **И. И. Пугач, С. В. Подкопаев, И. В. Иорданов, Д. А. Чепига** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 111-116. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.18.

*Please cite this article as:*

**Pugach, I., Podkopaev, S., Iordanov, I., Chepiga, D.** Investigation of the stability of wall rocks in difficult mining and geological conditions. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, 42 (1214), 111–116, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.18.

*Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:*

**Пугач, І. І.** Дослідження стійкості бічних порід в складних гірничо-геологічних умовах / **І. І. Пугач, С. В. Подкопаєв, І. В. Іорданов, Д. А. Чепіга** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 111-116. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.18.

**АНОТАЦІЯ** У даній статті розглядаються питання дослідження стійкості бічних порід гірничих виробок в умовах розробки крутих пластів. На основі виконаних досліджень дається порівняння способів управління покрівлею - повним обваленням і утриманням на костах, а також закладкою виробленого простору як засобів, що обмежують деформацію бічних порід. Представивши породи покрівлі у вигляді балки і застосувавши основні положення теорії опору матеріалів, виконана оцінка напружено-деформованого стану порід і зроблено висновок про ефективність застосування закладки виробленого простору.  
**Ключові слова:** призабійний простір; травматизм; управління покрівлею; зрушення гірських порід; повне обвалення; костри.

*Поступила (received) 13.12.2016*