

Ю.М. Халимендик, А.С. Барышников

## **ВЛИЯНИЕ ОТПОРА КРЕПИ НА ДЕФОРМИРОВАНИЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ**

*Выполнены исследования влияния отпора крепи подготовительных выработок на смещения породного контура в зоне воздействия очистных работ. Приведены результаты натурных инструментальных наблюдений за процессом сдвижения горных пород и элементов крепи подготовительных выработок в различных горно-геологических условиях при влиянии следующих факторов: «топтанье» кровли крепью сопряжения, плотность установки канатных анкеров и податливость охранной конструкции.*

---

### **ВПЛИВ ОПОРУ КРІПЛЕННЯ НА ДЕФОРМУВАННЯ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК У ЗОНІ ВПЛИВУ ОЧИСНИХ РОБІТ**

*Виконано дослідження впливу опору кріплення підготовчих виробок на зміщення породного контуру в зоні впливу очисних робіт. Наведено результати натурних інструментальних спостережень за процесом зрушення гірських порід і елементів кріплення підготовчих виробок у різних гірничо-геологічних умовах при дії таких факторів: «топтанья» покрівлі кріпленням сполучення, щільність установа катанних анкерів і податливість охоронної конструкції.*

---

### **INFLUENCE OF SUPPORT LOAD-BEARING CAPACITY ON DEFORMATION OF GATEROADS IN LONGWALL INFLUENCE AREA**

*The investigation over support load-bearing capacity influence on the displacement of the gateroad rock contour in the area of longwall influence is performed. The results of in situ measurements of rock and support elements displacement under different geological conditions and such influence factors as trampling of roof with face-end support, density of cable bolts installation and yielding of roadside pack are presented.*

---

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Состояние горных выработок в зоне влияния очистных работ зависит от способов крепления и их реализации. Одним из наиболее важных параметров, существенно влияющим на состояние выработки в зоне влияния очистных работ, является отпор крепи [1 – 4].

Авторы [1, 5] выделяют 3 основные зоны, в которых выработка по разному подвергается влиянию опорного давления от очистных работ в лаге (рис. 1).

Согласно [6], усиление выработки впереди очистного забоя рекомендуется проводить стойками усиления либо установкой промежуточных рам крепи. Считается, что использование специальной крепи сопряжения полностью механизмирует процесс

крепления сопряжения, способствует повышению безопасности и производительности работ [7]. После прохода очистного забоя по бровке лавы возводится охранный конструкцией, обычно состоящая из коствок, стоек органного и обрезающего ряда, а также производится установка стоек под рамную крепь. Такая схема усиления крепи штрека является «классической» для шахт Украины (рис. 2).

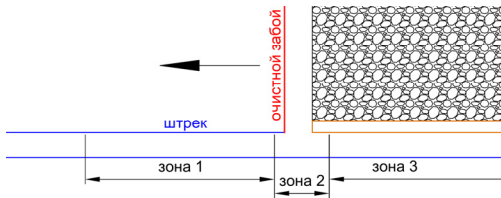


Рис. 1. Зоны влияния лавы на подготовительную выработку: зона 1 – влияние динамического опорного давления впереди забоя; зона 2 – сопряжение лавы-штрек; зона 3 – зона воздействия остаточного опорного давления

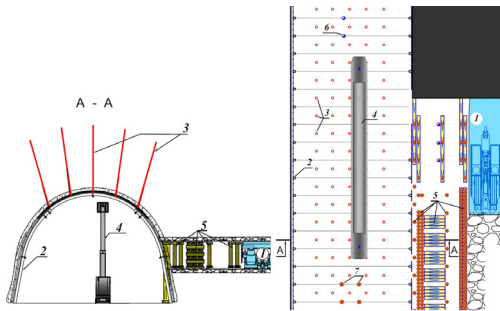


Рис. 2. Классическая схема крепления подготовительных выработок угольных шахт Украины в зоне влияния очистных работ: 1 – секция механизированной крепи; 2 – арочная стальная крепь; 3 – штанговые анкера; 4 – крепь сопряжения; 5 – элементы охранной конструкции; 6 – стойки усиления впереди очистного забоя; 7 – стойки усиления за очистным забоем

Однако ей присущ ряд недостатков. Ширина зоны интенсивного проявления опорного давления в штреках «глубоких» шахт составляет 40 – 80 м, следовательно,

для эффективного поддержания выработки стойки должны устанавливаться на значительном расстоянии впереди лавы. Установка стоек впереди лавы требует большой трудоемкости. Механизированной крепи сопряжения присущ эффект «топтанья» [8]. Применение двухрядных крепей сопряжения увеличивает затраты времени на их передвижку, которые по данным [7] могут составлять до 28% от общего времени выполнения конечных операций на штреке. Кроме того, установка стоек и применение крепей сопряжения «загромождает» полезное сечение выработки, препятствует рациональному размещению оборудования и увеличивает аэродинамическое сопротивление выработки. Возведение охранной конструкции производится по типовым схемам [9], которые не учитывают её отпор. Часто плотность установки стоек органного ряда, коствок и др. охранных мероприятий определяется из опыта отработки предыдущих лав. В то же время достаточный отпор охранной конструкции, по данным исследований [1], позволяет снизить нагрузки на стальную рамную крепь штрека так, что они не превышают ее несущей способности. Плотность установки стоек под раму после прохода лавы и их отпор также четко не регламентированы.

Мировой [10, 11] и отечественный [12] опыт показывает, что применение канатных анкеров для поддержания штрека на всех этапах его эксплуатации является эффективным решением, позволяющим исключить стойки усиления и механизированные крепи сопряжения. Применение канатных анкеров на шахтах Украины требует организации производственных экспериментов с проведением натурных наблюдений для определения параметров их установки.

Учитывая вышеперечисленное, авторами проведен комплекс натурных инструментальных наблюдений, состоящий из:

- исследования процесса «топтанья» кровли однобалочной крепью сопряжения лавы со штреком;
- исследования влияния плотности установки канатных анкеров на вертикальную

конвергенцию сопряжения «лава – штрек»;  
 – исследования влияния податливости охранной конструкции на конвергенцию штрека за очистным забоем.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Достаточно распространенным методом, включающим наблюдения за смещением элементов крепи и породного контура, является метод замерных сечений. На такой наблюдательной станции замеры смещений контролируемых элементов системы «крепь – массив» выполняются относительно реперов, заложенных на замерном сечении в бортах выработки. Таким образом, неподвижность боковых реперов является необходимым условием для обеспечения достоверности получаемых результатов. В условиях слоистых пород глубокой шахты, особенно при слабых боковых породах, происходит разрушение бортов выработки [13]. Следовательно, боковые реперы будут смещаться вместе с породами, что приведет к снижению достоверности результатов. Кроме того, после прохода очистного забоя один боковой репер часто теряется. Поэтому было использовано комбинирование геометрического нивелирования с линейными наблюдениями на контурной станции (рис. 3).

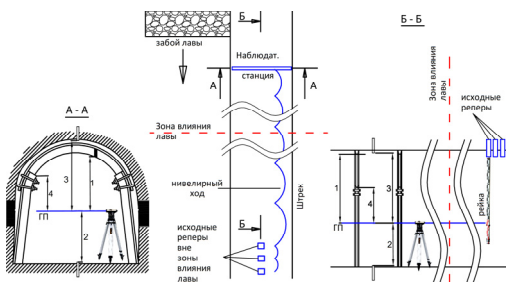


Рис. 3. Схема геометрического нивелирования контурных реперов. Отсчеты по нивелирной рейке, установленной на: 1 – верхнем элементе крепи; 2 – почве выработки; 3 – репере в кровле выработки; 4 – стойках крепи. ГП – горизонт прибора

Такое решение требует обеспечить неподвижность исходных реперов, которые располагаются вне зоны влияния очистных работ. Это позволяет достоверно получить значение вертикальной конвергенции по составляющим элементам: опускание кровли, поднятие почвы и внедрение стоек крепи в почву.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА «ТОПТАНИЯ» ОДНОБАЛОЧНОЙ КРЕПИ СОПРЯЖЕНИЯ

Наблюдения за состоянием кровли при работе однобалочной крепи сопряжения проведены в бортовой выработке 2-й западной лавы и конвейерной выработке 11-й западной лавы пласта  $l_7$  горизонта 810 м шахты «Комсомолец Донбасса». Средняя прочность вмещающих пород составляла 60 МПа. По результатам обработки нивелирования получены смещения контура выработки на наблюдаемых рамах (10 шт.) в зависимости от расстояния до очистного забоя.

Началом проявления опорного давления впереди 2-й западной лавы можно считать расстояние в 40 м впереди очистного забоя (рис. 4).

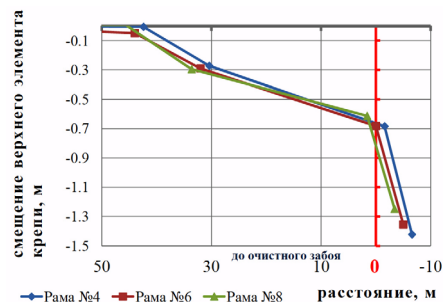


Рис. 4. Опускание верхних элементов крепи в зависимости от расстояния до очистного забоя

Интенсивность опускания кровли в створе с лавой увеличилась, несмотря на наличие крепи сопряжения. Если учесть, что до подхода лавы (крепи сопряжения) уже имелось опускание кровли около 0,6 м,

можно вычислить ожидаемую высоту свода обрушения  $H$  по формуле [14]

$$H = \frac{\Delta h}{K-1},$$

где  $\Delta h$  – величина опускания кровли, 0,6 м;  
 $K$  – коэффициент разрыхления пород свода обрушения,  $K = 0,14$ .

Отсюда  $H \approx 4,2$  м.

Вес пород в своде обрушения можно примерно определить по формуле

$$P \approx \frac{H \cdot b \cdot \gamma}{2} \approx 26,3 \text{ т/м},$$

где  $b$  – ширина выработки в проходке, 5 м;  
 $\gamma$  – объемный вес пород,  $\gamma = 2,5 \text{ т/м}^3$ .

Такое количество породы не может эффективно удерживаться крепью сопряжения при весе пород в своде около 26 т/м, а по всей длине крепи сопряжения можно ожидать нагрузку около 260 тонн. На сопряжении лавы со штреком смещению этих пород вниз противодействуют две гидравлические опоры с несущей способностью примерно по 90 т и 6 арок из 10 поддерживаемых крепью сопряжения с отпором не более 10 т на 1 раму (замок АПЗ-030 с прямой планкой) – общий отпор  $P = 10 \cdot 6 + 90 \cdot 2 = 240$  т. Таким образом, крепь сопряжения не препятствует образованию свода обрушения над штреком и опусканию кровли выработки. Кроме того, в момент перемещения крепи, сопряжение остается фактически незакрепленным.

Интересными являются результаты наблюдений за положением верхнего элемента крепи при перемещении крепи сопряжения с одного положения в другое. Положение верхнего элемента крепи фиксировалось с помощью нивелирной съемки перед началом работ («начало»), после опускания балки крепи («слив») и после перемещения крепи сопряжения и ее разжима («разжим»). Результаты съемки в условиях бортовой выработки 2-й западной лавы приведены на рис. 5, а в условиях конвейерной выработки 11-й западной лавы – на рис. 6.

Средние разницы в отметках между «сливом» и «началом», «разжимом» и «началом» составляют около 100 – 150 мм (рис. 5, 6). Это свидетельствует о большом эффекте «топтанья» и недоразжиме крепи после ее перемещения в новое положение. Как правило, рабочие подкладывают деревянные клинья в неровности и производят распор до видимой деформации лесоматериалов.

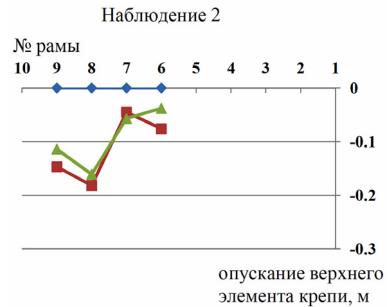
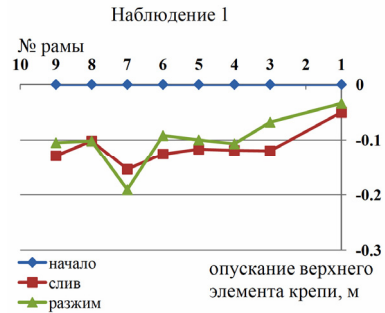


Рис. 5. Результаты наблюдений за топтаньем крепи сопряжения в условиях бортовой выработки 2-й западной лавы



Рис. 6. Результаты наблюдений за топтаньем крепи сопряжения в условиях конвейерной выработки 11-й западной лавы

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛОТНОСТИ УСТАНОВКИ КАНАТНЫХ АНКЕРОВ НА СМЕЩЕНИЯ КРОВЛИ НА СОПРЯЖЕНИИ ЛАВА – ШТРЕК

В 165-м штреке 163-й струговой лавы шахты «Степная» проводился производственный эксперимент по применению канатных анкеров с исключением стоек крепи впереди лавы и крепей сопряжения [12]. Глубина разработки составляла 350 м, боковые породы представлены аргиллитами и алевролитами с прочностью на одноосное сжатие до 25 МПа. Наблюдения за опусканием кровли выработки проводились при помощи нивелирования реперов на 2-х маркшейдерских наблюдательных станциях, состоящих из 6 рам каждая. Станции были расположены на двух экспериментальных участках. На первом участке плотность установки составила 0,7 анк./м, на втором участке – 1,4 анк./м (рис. 7).

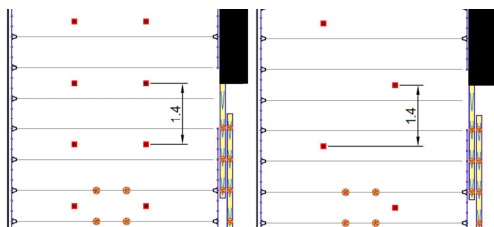


Рис. 7. Установка канатных анкеров плотностью 1,4 (слева) и 0,7 шт./п.м (справа)

Результаты измерений опускания кровли выработки приведены на рис. 8, а скорости опускания – на рис. 9.

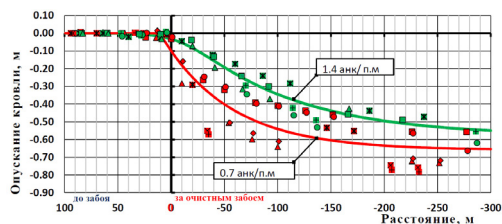


Рис. 8. Смещения кровли выработки при плотности установки канатных анкеров 0,7 и 1,4 шт./п.м

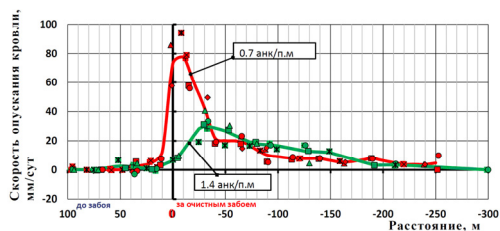


Рис. 9. Скорости смещения кровли выработки при плотности установки канатных анкеров 0,7 и 1,4 шт./п.м

Анализ результатов натуральных наблюдений показал, что в зоне опорного давления впереди очистного забоя нет существенного влияния плотности установки канатных анкеров на опускание кровли штрека. При увеличении плотности установки канатных анкеров с 0,7 до 1,4 шт./п.м скорость развития смещений и расслоений кровли на сопряжении лава – штрек (от 10 м до забоя и 20 м за забоем) снижается не менее чем в 3 раза (рис. 9). При этом максимум скоростей смещается в сторону завала. Таким образом, канатные анкера позволяют эффективно управлять состоянием кровли на сопряжении. Однако для поддержания выработки после прохода лавы плотности установки канатных анкеров 1,4 шт./п.м недостаточно. Происходят обрывы опорных плит (рис. 10) либо разрывы каната внутри массива, и смещения кровли становятся практически такими же, как и при плотности установки 0,7 шт./п.м в 250 м за очистным забоем (см. графики рис. 8).

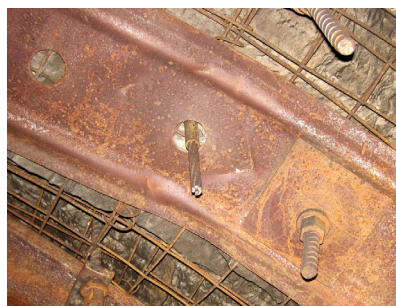


Рис. 10. Пример обрыва опорной плиты канатного анкера

Явление «провала» работы канатных анкеров объясняется необходимостью усиления крепи штрека, например, увеличением количества канатных анкеров. Существенный вклад в поддержание штрека за очистным забоем вносит отпор арочной крепи, стоек усиления, а также охранной конструкции.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДАТЛИВОСТИ ОХРАННОЙ КОНСТРУКЦИИ НА КОНВЕРГЕНЦИЮ ШТРЕКА ЗА ОЧИСТНЫМ ЗАБОЕМ

Для установления зависимости между уменьшением высоты охранной конструкции и увеличением конвергенции 165-го штрека шахты «Степная» были проведены дополнительные исследования. Полученная зависимость между вертикальной конвер-

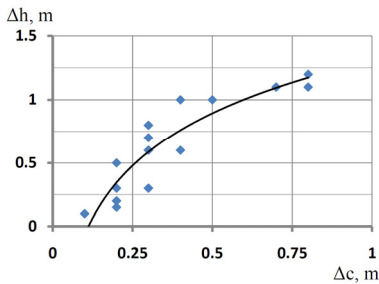


Рис. 11. Зависимость вертикальной конвергенции ( $\Delta h$ ) 165-го штрека шахты «Степная» от опускания бровки ( $\Delta c$ ) на границе лава-штрек: 1 – контур выработки до деформаций; 2 – деформированный контур выработки за лавой;  $r$  – опускание кровли;  $f$  – поднятие почвы;  $\Delta h = r + f$

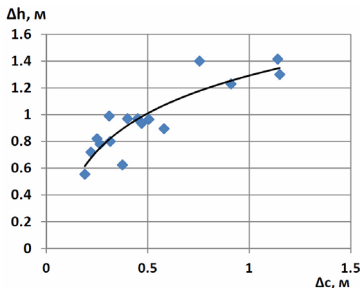


Рис. 12. Зависимость вертикальной конвергенции ( $\Delta h$ ) конвейерного штрека 9-й лавы шахты «Комсомольская» от опускания бровки ( $\Delta c$ ) на границе лава – штрек

генцией штрека и податливостью охранной конструкции (опускание кровли по границе лава-штрек) описывается функцией

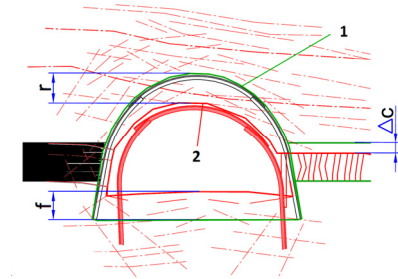
$$\Delta h = 0,598 \ln(\Delta c) + 1,308; R^2 = 0,83,$$

где  $\Delta c$  – опускание кровли в лаве по границе лава – штрек;

$\Delta h$  – вертикальная конвергенция штрека представлена на рис. 11.

Аналогичные исследования были проведены в конвейерном штреке 9-й лавы шахты «Комсомольская». Глубина разработки составляла 1000 м, прочность пород – 70 – 90 МПа. Полученная зависимость описывается функцией (см. рис. 12)

$$\Delta h = 0,410 \ln(\Delta c) + 1,3; R^2 = 0,79.$$



Таким образом, чем больше допускается опускание бровки лавы, т.е. чем меньше отпор охранной конструкции, тем больше величина конвергенции штрека. Это можно пояснить тем, что опускание бровки лавы приводит к увеличению высоты дезинтеграции пород в кровлю, а это создает повышенную нагрузку на элементы крепления штрека.

### ВЫВОДЫ

Однобалочная крепь сопряжения выполняет функцию крепления при передвиж-

ке приводной станции главного конвейера, но не обеспечивает достаточного постоянного отпора крепи на сопряжении с лавой. Применяемая на угольных шахтах крепь сопряжения с одной балкой обладает высоким эффектом «топтания», который составляет около 100 мм на одной передвижке для каждой рамы, что приводит к увеличению нагрузки на крепь после прохода лавы.

Установка канатных анкеров позволяет эффективно управлять процессом деформирования породного контура выработки. Однако требуется дальнейшее обоснование

параметров установки канатных анкеров для обеспечения достаточного отпора расчленения пород кровли на сопряжении и за очистным забоем.

Развитие вертикальной конвергенции штрека зависит не только от отпора крепи в штреке, но и от отпора охранной конструкции. Опускание бровки по границе лава – штрек приводит к увеличению конвергенции выработки по логарифмическому закону, как в условиях слабых боковых пород, так и при крепких породах.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черняк И.Л. Повышение устойчивости подготовительных выработок / И.Л. Черняк. – М.: Недра, 1993. – 256 с.

2. Prusek S. Monitoring of a longwall gate road maintained behind the caving extraction front. *Bergbau in Polen und Deutschland – Chancen für Innovationen und Kooperation* / S. Prusek, Z. Lubosek // *Freiberger Forschungsforum 57. Bergund Hüttenmännischer Tag 2006*. – P. 84 – 95.

3. Халимендик Ю.М. Влияние отпора крепи на состояние выработок при повторном использовании / Ю.М. Халимендик, А.В. Бруй, С.А. Воронин // *Наукові праці УкрНДМІ НАН України*. – 2013. – № 13, ч. 1. – С. 31 – 44.

4. Халимендик Ю.М. Научно-техническое обоснование устойчивости выработок на шахтах Западного Донбасса / Ю.М. Халимендик, А.Н. Зорин, В.Г. Колесников // *Уголь Украины*. – 1996. – № 5.

5. Ильяшов М.А. Эффективный резерв повышения конкурентоспособности шахтного фонда – повторное использование участковых выработок / М.А. Ильяшов // *Уголь Украины*. – 2011. – № 1.

6. СОУ 10.1.00185790.011:2007. Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони. – К.: Мінвузлепром України, 2007. – 113 с.

7. Широков А.П. Крепление сопряжений лав / Широков А.П., Лидер В.А., Петров А.И. – М.: Недра, 1987. – 192 с.

8. Халимендик Ю.М. О работе однобалочной крепи сопряжения / Ю.М. Халимендик, А.С. Барышников // *Проблеми гірничої технології: матеріали регіональної наук.-практ. конф.* – Красноармійськ: Красноармійський індустр. ін-т ДонНТУ, 30 листопада 2012 р.

9. КД.01.01.503–2001. Руководство. Управление кровлей и крепление в очистных забоях на угольных пластах с углом падения до 35°. – К.: Минтопэнерго Украины, 2002.

10. Опыт применения канатных анкеров для сохранения и повторного использования штреков угольных шахт / Е.А. Разумов, П.В. Гречишкин, А.В. Самок [и др.] // *Уголь*. – 2012. – № 6. – С. 10 – 12.

11. Tadolini S. Cable bolts – an effective primary support system / S. Tadolini, J. McDonnell // *Proceedings of the 29th International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, WV*. <http://icgcm.conferenceacademy.com/papers/detail.aspx?subdomain=icgcm&iid=314>

12. Использование канатных анкеров в выемочных выработках в условиях слабых боковых пород / С.А. Воронин, А.В. Ефремов, В.В. Панченко [и др.] // *Уголь Украины*. – 2013. – № 6.

13. Халимендик Ю.М. Исследование деформации пород кровли выемочных выработок / Ю.М. Халимендик, А.В. Бруй, А.С. Барышников // *Розробка родовищ: щорічний наук.-техн. зб.* – Д.: ЛізуновПрес, 2013. – С. 143 – 146.

14. Гусев В.Н. Геомеханика техногенных водопроводящих трещин / В.Н. Гусев. – СПб., 1999. – 156 с.

## ОБ АВТОРАХ

Халимендик Юрий Михайлович – д.т.н., профессор кафедры маркшейдерии Национального горного университета.

Барышников Анатолий Сергеевич – аспирант кафедры маркшейдерии Национального горного университета.