

Геннадий Иванович СОЛОВЬЕВ, Олег Кузьмич МОРОЗ

Донецкий Национальный Технический Университет, Донецьк, Україна
Кафедра „Разработка месторождений полезных ископаемых”

Александр Федотович ТОЛКАЧЕВ

Донецкий Национальный Технический Университет, Донецьк, Україна
Кафедра „Сопротивление материалов”

О СОХРАНЕНИИ УСТОЙЧИВОСТИ КОНВЕЙЕРНЫХ ШТРЕКОВ ГЛУБОКИХ ШАХТ ПРИ СПЛОШНОЙ СИСТЕМЕ РАЗРАБОТКИ

Аннотация. Рассмотрены результаты опытно-промышленной проверки способа продольно-жесткой консолидации комплектов арочной крепи в конвейерных штреках 2-й западной лавы пласта h_{10} «Ливеиский» шахты им. М.И.Калинина и 2-й восточной лавы пласта h_6^1 шахты им. А.А. Скочинского «Донецкой угольной энергетической компании» при использовании сплошной системы разработки.

О ZACHOWANIU STATECZNOŚCI CHODNIKÓW PRZENOŚNIKOWYCH W KOPALNIACH GŁĘBOKICH PRZY EKSPLOATACJI Z ZWAŁEM

Streszczenie. Rozpatrzono wyniki przemysłowo-doświadczalnej weryfikacji sposobu wzdłużnie sztywnej konsolidacji zestawów obudowy łukowej w chodnikach przenośnikowych (podścianowych) drugiej zachodniej ściany pokładu h_{10} „Liwenski” kopalni im. M. I. Kalinina i drugiej wschodniej ściany pokładu h_6^1 kopalni im. A. A. Skoczyńskiego Donieckiej Węglowej Energetycznej Kompanii, przy wykorzystaniu wybierania systemem ścianowym.

Опыт работы очистных забоев глубоких шахт показывает, что применяемые средства крепления и способы охраны подготовительных выработок не обеспечивают их устойчивость в зоне интенсивного влияния очистных работ $[1 \div 3]$. Это приводит к необходимости выполнения значительных объемов работ по ремонту и перекреплению выемочных выработок из-за больших смещений их породного контура.

Сотрудниками кафедры разработки месторождений полезных ископаемых ДонНТУ был разработан новый способ продольной консолидации комплектов арочной крепи за счет жесткой связи их по всей длине выработки одной или двумя балками из двутавра [4 ÷ 6] или спецпрофиля СВП [7 ÷ 13], которые устанавливаются в проходческом забое или за 150-200 м перед лавой вне зоны влияния опорного давления.

На шахте им. М.И.Калинина в конвейерном штреке 2-й западной лавы пласта h_{10} была проведена опытно-промышленная проверка продольно-жесткой крепи усиления при сплошной системе разработки (рис 1). Пласт h_{10} «Ливенский» мощностью 1,14 ÷ 1,3 м и углом падения 20 ÷ 23° отрабатывался на глубине 1180 м.

Конвейерный штрек проводился буровзрывным способом и крепился пятизвенной арочной податливой крепью (АП-5/13,8) из спецпрофиля СВП-27 с шагом установки рам крепи 0,5 м (рис. 2, 3). На первом этапе опытно-промышленной проверки применялась однобалочная крепь продольно-жесткого усиления на участке штрека длиной 80 м.



Рис. 1. Схема горных выработок 2-й западной лавы пласта h_{10} «Ливенский» шахты им. М.И.Калинина

Rys. 1. Mapa wyrobisk górniczych 2. zachodniej ściany pokładu h_{10} „Liwenskiej” kopalni im. M. N. Kalinina

Крепь усиления представляла собой длинную балку из отрезков прямолинейного спецпрофиля СВП-27 длиной по 4 м, которые соединялись внахлест на 0,5 м двумя хомутами. Балка подвешивалась на 2-х специальных крючьях с планками и гайками по центру каждого верхняка крепи.

На втором этапе для предотвращения интенсивных боковых смещений контура выработки со стороны напластования пород была установлена двухбалочная усиливающая крепь с симметричным расположением балок по верхняку на расстоянии 1,8 м друг от друга (рис. 2), применение которой позволило более эффективно использовать периметр арочной крепи за счет создания жесткой каркасной конструкции и пространственной консолидации комплектов крепи.

В результате анализа визуальных и инструментальных наблюдений было установлено, что максимальные проявления горного давления наблюдаются по напластованию пород кровли (рис. 2а). При этом в процессе деформирования породного контура происходило образование локальных зон повышенного давления, в которых фокусировались повышенные нагрузки на отдельные элементы крепи и формировались породные складки. Разуплотнение породных отдельностей происходило за счет расслаивания и растрескивания слоев кровли и боков на контуре выработки.

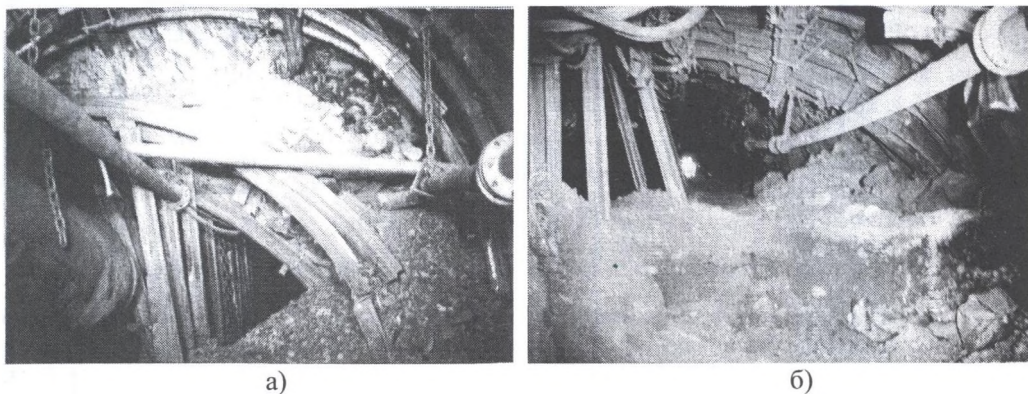


Рис. 2. Состояние крепи конвейерного штрека без крепи усиления (а) и при 2-х продольных балках (б) на расстоянии 230 м от лавы

Rys. 2. Stan obudowy chodnika przenośnikowego bez wzmacniającej obudowy (a) i z dwoma wzdłużnymi belkami (b) w odległości 230 m od ściany

Поэтому на третьем этапе исследований, для повышения качества работы жестко-продольной крепи усиления, расположение балок по профилю верхняка было изменено таким образом, что одна балка была размещена по центру верхняка, а вторая – на 0,2 м выше замка арочной крепи – по линии действия максимальной нагрузки со стороны напластования пород кровли (рис. 2б).

Применение жестко-продольной усиливающей крепи позволило консолидировать условия работы разрозненных рам осевой крепи за счет перераспределения повышенной и неравномерной нагрузки между перегруженными и недогруженными комплектами арочной крепи. При этом наличие жестко-продольной усиливающей связи создало предпосылки для образования в кровле пласта и в боку выработки локальных грузонесущих зон, препятствующих развитию процесса складкообразования (рис. 2б).

На рис. 3 представлены результаты инструментальных наблюдений за смещениями боковых пород без применения и при наличии крепи усиления.

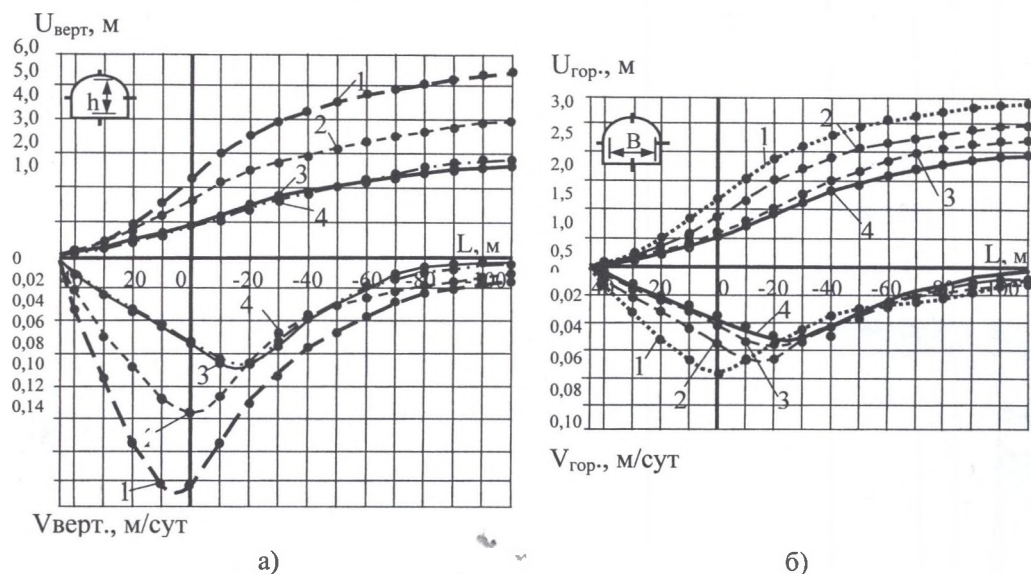


Рис. 3. График зависимости вертикальных (а) и горизонтальных (б) смещений и соответственно (в) и (г) скорости смещений породного контура конвейерного штрека 2-й западной лавы пласта h_{10} : 1 – на контрольном участке без продольно-балочной крепи усиления; 2 – на первом экспериментальном участке при использовании одной центральной балки из СВП-27; 3 и 4 – на втором и третьем экспериментальных участках соответственно при двух симметричных и двух асимметричных балках и опережении лавы забоем конвейерного штрека на 45 м

Rys. 3. Wykres zależności pionowych (a) i poziomych (b) przemieszczeń oraz odpowiednio (c) i (d) prędkości przemieszczeń obrysu skalnego chodnika przenośnikowego 2. zachodniej ściany pokładu h_{10} : 1 – na kontrolowanym rejonie bez wzdłużno-balkowej wzmacniającej obudowy; 2 – na pierwszym doświadczalnym rejonie z wykorzystaniem jednej centralnej belki z profilu СВП-27; 3 i 4 – na drugim i trzecim doświadczalnym rejonie odpowiednio przy dwóch symetrycznych i dwóch asymetrycznych belkach i wyprzedzeniu ściany przez przodek chodnika przenośnikowego o 45 m

В условиях 2-й восточной лавы пласта h_6^1 шахты им. А.А.Скочинского «Донецкой угольной энергетической компании» (рис. 4) была проведена опытно-промышленная проверка эффективности однобалочной продольно-жесткой крепи усиления [12].

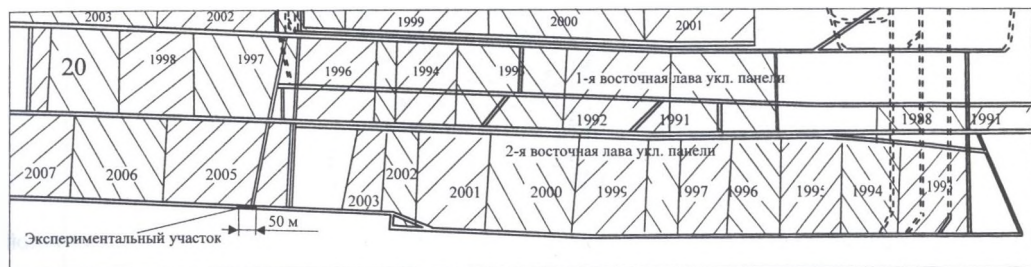


Рис. 4. Схема горных работ центральной панели уклонного поля пласта h_6^1 «Смоляниновский»
Rys. 4. Mapa wyrobisk górniczych pola centralnego panelu upadowej pokładu h_6^1 „Smolanowski”

Вторая восточная лава уклонного поля центральной панели шахты им. А.А. Скочинского обрабатывала особо выбросоопасный пласта h_6^1 «Смоляниновский» мощностью $1,30 \div 1,85$ м и углом падения $12 \div 15^\circ$ по сплошной системе разработки в сложных горно-геологических условиях. Длина выемочного поля – 1790 м. Длина лавы – 164 м. Конвейерный штрек проводился буровзрывным способом на глубине 1280 м с опережением лавы на 45 м.

Непосредственная кровля пласта - неустойчивый, сухой и трещиноватый глинистый сланец мощностью $5 \div 7$ м и прочностью $30 \div 40$ МПа. Непосредственная почва пласта – среднеустойчивый песчаный сланец мощностью $1,6 \div 2,2$ м, прочностью $40 \div 60$ МПа, относящийся к классу пучащих.

Конвейерный штрек с сечением в свету $13,8 \text{ м}^2$ был закреплен трехзвенной арочной податливой крепью из спецпрофиля СВП-27 с шагом установки крепи – 0,5 м. Кровля затягивалась железобетонной затяжкой, бока – металлической сеткой вплотную.

Для обеспечения продольной связи комплектов крепи по длине конвейерного штрека использовалась одна продольная балка из спецпрофиля СВП-27, которая асимметрично подвешивалась к верхняку каждой рамы на двух крючках с планками со стороны лавы на 0,2 м выше замков крепи донной частью профиля вверх (рис. 5, 6б).

Замеры смещений боковых пород осуществлялись по контурным реперам, установленным в кровле-почве и в боках конвейерного штрека (рис. 6). Замеры с точностью до 0,1 мм выполнялись маркшейдерской рулеткой конструкции ВНИМИ.

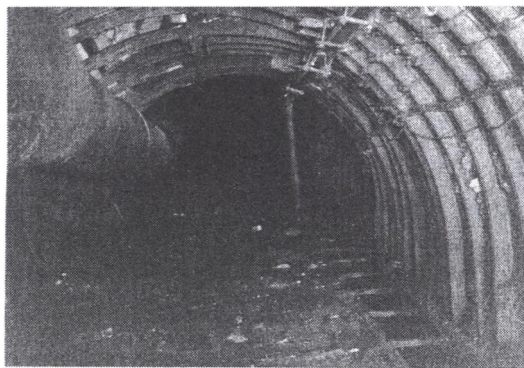


Рис. 5. Одинарная продольно-балочная крепь усиления в конвейерном штреке 2-й восточной лавы пласта h_6^1 уклонного поля центральной панели

Rys. 5. Zwykła wzdużna belkowa obudowa wzmocnienia w chodniku przenośnikowym 2. wschodniej ściany pokładu h_6^1 pola upadowej centralnego panelu

Замеры в штреке, на сопряжении выработки с лавой и на участке 60 м за очистным забоем, проводились с частотой 2-3 раза в неделю. На расстоянии более 60 м за лавой – 1 раз в неделю.

Конвейерный штрек охранялся двумя рядами органной крепи плотностью 5 стоек на 1 м, устанавливаемыми по линии обрушения пород; один ряд бутокостров размером 2х2 м, с шагом установки 2,7 м и чураковая стенка шириной 1м, выкладываемая на бровке штрека (рис. 6).

В опережении конвейерного штрека происходило интенсивное обжатие арочной крепи с формированием зоны повышенных нагрузок в кровле и боку выработки со стороны лавы. Величина пучения почвы при этом составляла $0,15 \div 0,2$ м. На сопряжении выработки с лавой и на участке длиной $100 \div 120$ м за очистным забоем на контуре штрека наблюдались интенсивные смещения вмещающих пород с выполаживанием и прогибом верхняка крепи в выработку и выдавливанием забойной ножки с разрывом на ней замков крепления. Интенсификация выдавливания почвы начиналась на участке $5 \div 10$ м вслед за лавой.

Применение продольно-балочной усиливающей крепи позволило перераспределять повышенную и неравномерную нагрузку между перегруженными и недогруженными комплектами арочной крепи за счет жесткости продольных балок. Наличие жесткой продольной связи способствовало образованию в кровле пласта и в боку выработки

локальных грузонесущих зон, препятствующих развитию процесса складкообразования (рис. 6) и выдавливанию верхняка с ножкой в полость выработки.

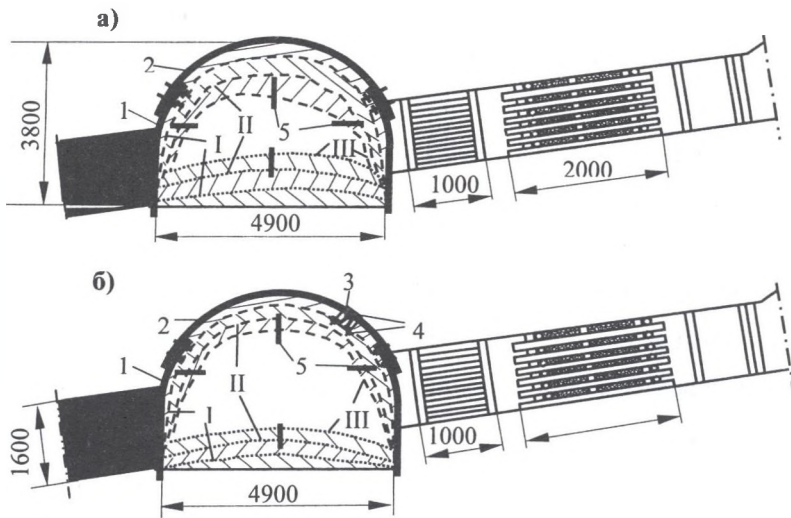


Рис. 6. Характер смещений контура конвейерного штрека 2-й восточной лавы пласта h_6^1 без крепи усиления (а) и при однобалочной ПБКУ (б): I – на сопряжении с лавой, II и III – соответственно на расстоянии 60 и 120 м за очистным забоем (1 – ножка арочной крепи; 2 – верхняк крепи; 3 – продольная балка из СВП-27; 4 – элементы крепления балки к верхняку крепи; 5 – контурные реперы)

Rys. 6. Charakter przemieszczeń obrysu chodnika przenośnikowego 2. wschodniej ściany pokładu h_6^1 bez obudowy (a) i z jednobelkową ПБКУ (b): I – na skrzyżowaniu ze ścianą, II i III – odpowiednio w odległości 60 i 120 m za czołem ściany (1 – łuk ociosowy obudowy łukowej; 2 – stropnica obudowy; 3 – belka wzdłużna z СВП-27; 4 – elementy obudowy belki ze stropnicą obudowy; 5 – repery obrysu)

Результаты инструментальных наблюдений за смещениями породного контура конвейерного штрека представлены на рис. 7. Из представленных графиков видно, что применение однобалочной крепи усиления в конвейерном штреке 2-й восточной лавы пласта h_6^1 позволило снизить вертикальные и горизонтальные смещения на сопряжении лавы соответственно на 0,44 и 0,3 м, а на расстоянии 100 м вслед за лавой – на 0,9 и 0,4 м. Скорости горизонтальных и вертикальных смещений уменьшились соответственно в 1,59 и 1,2 раза.

Особый интерес представляет объяснение физического механизма этого впервые выявленного положительного эффекта, достигаемого без увеличения несущей способности крепи и без применения дополнительных распорных элементов, а только за счет соединения верхняков крепи жесткими в вертикальной плоскости металлическими балками. Физическая модель этого взаимодействия заключается

в перераспределении поддерживающего ресурса недогруженных комплектов крепи за счет съема жесткой балкой повышенных нагрузок с перегруженных комплектов и равномерной передачи их на недогруженные комплекты крепи [6, 11].

Уплотнение породных отдельностей в грузонесущем своде замедляет процесс расслоения кровли и снижает величину смещений и скорости смещений пород на контуре выработки, что видно из представленных графиков на рис. 7. При этом не реализованная потенциальная энергия несостоявшихся или компенсированных жесткой балкой смещений перегруженных комплектов крепи расходуется на горизонтальные смещения в кровле выработки, уплотнение породных отдельностей и образование из них над выработкой грузонесущего свода.

В отличие от обычных крепей усиления продольно-жесткая усиливающая крепь не допускает значительных смещений отдельных элементов крепи, поддерживая просевшие арки за счет жесткого продольного стержня – балки. Поэтому при достижении критических нагрузок в элементах крепи происходят лишь минимальные смещения, равные изгибным деформациям продольного стержня.

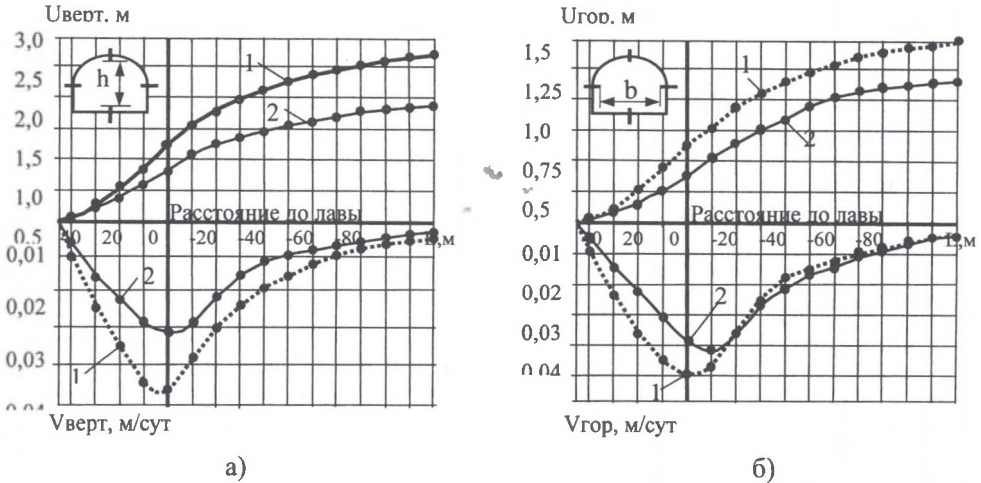


Рис. 7. График зависимости вертикальных (а) и горизонтальных (б) смещений и соответственно скоростей смещений (в) и (г) контура конвейерного штрека 2-й восточной лавы пласта h_6^1 : 1 – на контрольном участке без ПБКУ; 2 – на экспериментальном участке при использовании одной балки из СВП-27

Rys. 7. Wykres zależności pionowych (a) i poziomych (b) przemieszczeń oraz odpowiednio prędkości przemieszczeń (c) i (d) obrysu chodnika przenośnikowego 2. wschodniej ściany pokładu h_6^1 : 1 – na kontrolowanym rejonie bez ПБКУ; 2 – na doświadczalnym rejonie z wykorzystaniem jednej belki z СВП-27

Проведенные инструментальные наблюдения за смещениями породного контура позволили установить, что опускание кровли выемочной выработки имеет резко выраженный неравномерный характер на соседних участках выработки по ее длине характер и эта неравномерность отчетливо увеличивается в зоне опорного давления от движущегося очистного забоя (рис. 8).

Соединение автономных комплектов крепи балкой с различной жесткостью уменьшает деформацию и скорость деформации кровли выработки. Аналитические исследования [6] позволили установить, что при увеличении жесткости балки (IE) значения смещений и скорости смещений кровли уменьшаются (рис. 9), причем минимальные значения скорости смещений обеспечиваются на самом технологически важном участке – сопряжении с лавой, (т.е. там, где обычно скорость смещений максимальна).

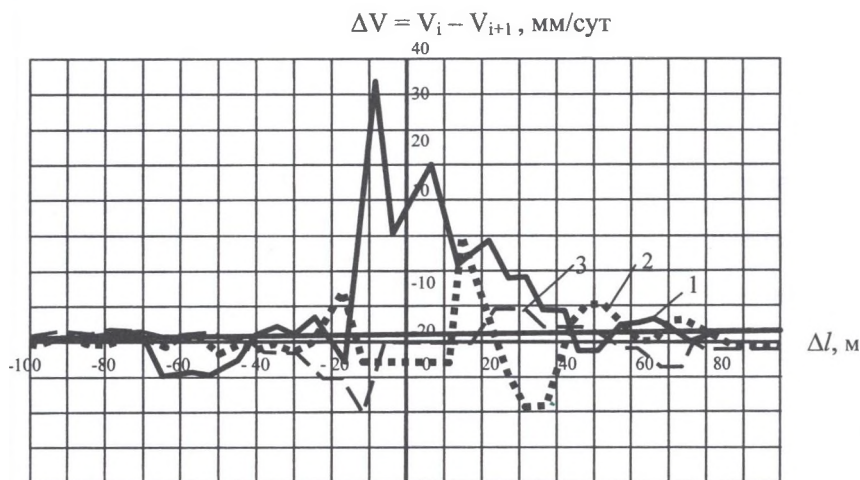


Рис. 8. График зависимости разности скоростей смещений кровли выработки на соседних комплектах крепи от расстояния между замерной станцией и лавой (1 – контрольный участок, 2, 3 – экспериментальные участки соответственно с одной и двумя балками)

Rys. 8. Wykres zależności różnicy prędkości przemieszczeń stropu wyrobiska na sąsiednich pierścieniach obudowy od odległości między stacją pomiarową i ścianą (1 – kontrolowany rejon, 2, 3 – doświadczalny rejon odpowiednio z jedną i dwoma belkami)

Таким образом, успешная опытно-промышленная проверка показывает, что продольно-балочная крепь усиления обладает достаточными силовыми характеристиками для перераспределения нагрузок между соседними комплектами крепи и влияния на деформационные процессы, происходящие вокруг выемочной

выработки. Это позволяет рекомендовать ее для сохранения устойчивости выемочных выработок в зоне влияния очистных работ глубоких шахт при сплошной системе разработки, что создает предпосылки для эффективной и безопасной работы современных механизированных комплексов

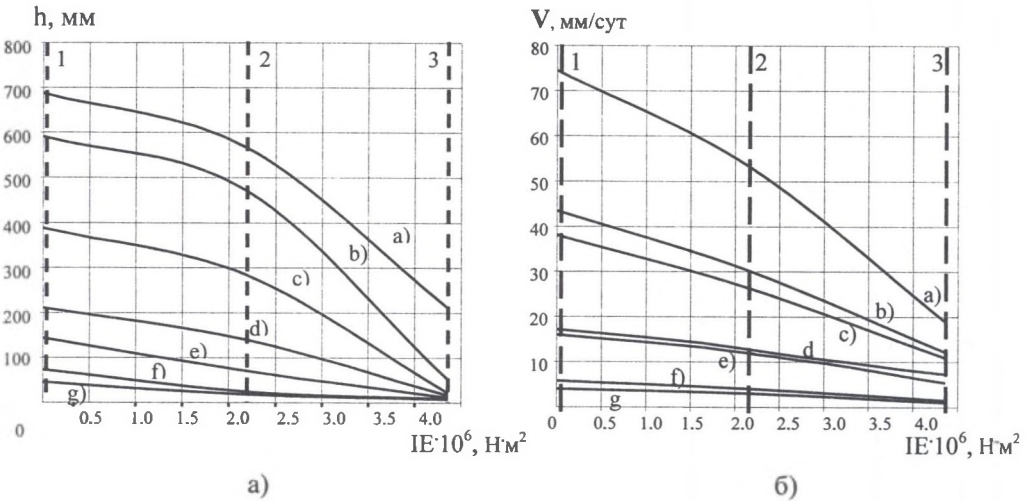


Рис. 9. График зависимостей смещений кровли h (а) и скоростей смещений кровли V (б) выемочной выработки от жесткости балки IE при различных расстояниях L от места замера до лавы; за лавой: а – $L = 40$ м, б – $L = 20$ м, с – $L = 0$ м; перед лавой: д – $L = -20$ м, е – $L = -40$ м, ф – $L = -80$ м, г – $L = -100$ м; 1 – $IE = 0$; 2 – $IE = 218 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$, 3 – $IE = 436 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$

Rys. 9. Wykres zależności przemieszczeń stropu h (а) i prędkości przemieszczeń stropu V (б) wybierkowego wyrobiska od sztywności belki IE przy różnych odległościach L od miejsca pomiaru do ściany: а – $L = 40$ м, б – $L = 20$ м, с – $L = 0$ м; przed ścianą: д – $L = -20$ м, е – $L = -40$ м, ф – $L = -80$ м, г – $L = -100$ м; 1 – $IE = 0$; 2 – $IE = 218 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$, 3 – $IE = 436 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каретников В.Н., Клейменов В.Б., Нуждихин А.Г. Крепление капитальных и подготовительных горных выработок. Справочник. – М.: Недра, 1989, С. 571.
2. Черняк И.Л., Ярунии. Управление состоянием массива горных пород. М.: Недра, 1995, С. 395.
3. Литвинский Г.Г., Гайко Г.И., Кулдыркаев М.И. Стальные рамные крепи горных выработок. – К.: Техніка, 1999, С. 216.
4. Бондаренко Ю.В., Соловьев Г.И., Захаров В.С. Изменения деформаций контура кровли выемочной выработки при использовании каркасной крепи усиления // Известия Донецкого горного института. 1999. №1, С.66-70.

5. Бондаренко Ю.В., Соловьев Г.И., Кублицкий Е.В., Петренко А.В. Определение параметров жестко-каркасного усиления крепи выемочной выработки // Геотехнологии на рубеже XXI века. – Донецк: ДУНПГО. 2001. Т1, С. 68-74.
6. Бондаренко Ю.В., Соловьев Г.И., Кублицкий Е.В., Демин И.К. О физической модели взаимодействия каркасной усиливающей крепи выемочной выработки с вмещающими породами // Горный информационно-аналитический бюллетень Московского государственного горного университета. 2002. №6, С. 183-187.
7. Соловьев Г.И., Гребенкин С.С., Панфилов Ю.Н., Ковшевный А.П., Малышева Н.Н., Нефедов В.Е., О возможности перераспределения повышенной нагрузки между комплектами арочной крепи выемочных выработок глубоких шахт / Науковий вісник Національного гірничого університету, Дніпропетровськ, 2004, №10, С. 48-52.
8. Соловьев Г.И., Панфилов Ю.Н., О продольно-жестком усилении основной крепи подготовительных выработок глубоких шахт // Известия Тульского государственного университета, 2005, С. 177-185.
9. Соловьев Г.И., Панфилов Ю.Н., Толкачев А.Ф., Малышева И.Н. Определение рациональных параметров арочной крепи с усиливающим сегментом жесткости // Вісті Донецького гірничого інституту, №1, 2005, С. 39-46.
10. Соловьев Г.И. Определение параметров продольно-жесткой усиливающей крепи для выемочных выработок глубоких шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень, МГГУ, Москва. №9, 2005, С. 230-233.
11. Соловьев Г.И. Особенности физической модели самоорганизации боковых пород на контуре выемочной выработки при продольно-жестком усилении арочной крепи // Науковий вісник НГУ, Дніпропетровськ. 2006, №1, С. 11-18.
12. Соловьев Г.И., Коваль А.Р., Литовченко С.И. О сохранении устойчивости конвейерного штрека продольно-балочной крепью усиления на шахте им. А.А.Скочинского // Сб.научн. тр. II-й Международной научно-практической конференции, 2-3 октября 2007, С. 14-18.
13. Сергей Александров; Валерий Захаров; Геннадий Соловьев; Сергей Гребенкин; Олег Мороз, Сергей Подкопаев; Александр Татьянченко. О новой концепции обеспечения устойчивости выемочных выработок глубоких шахт // Материалы международной конференции “VIII Szkoła geomechaniki”. Гливице –Устронь. 13-15 сентября 2007, С. 505-515.

Omówienie

Utrzymanie udostępniających wyrobisk korytarzowych w kopalniach głębinowych wiąże się z koniecznością skutecznego przeprowadzania znaczącej ilości prac naprawczych, np. przez wzmacnianie górotworu oraz wymianę i stosowanie dodatkowej obudowy podporowej, szczególnie w rejonie wpływów innych wyrobisk korytarzowych, oraz eksploatacji górniczej. Pracownicy DONNTU opracowali nową metodę zabezpieczenia stateczności wyrobisk korytarzowych utrzymywanych za pomocą obudowy odrzwiowej przez ich wzmocnienie za pomocą podłużnego dźwigara. Rozwiązanie to zdało egzamin w kilku kopalniach Zagłębia Donieckiego. Zastosowane wzmocnienie obudowy przez podłużny dźwigar wykonany z profilu SVP-27 pozwala na redystrybucję dodatkowych obciążeń pomiędzy przeciążonymi oraz niedociążonymi odrzwiami obudowy i w efekcie umożliwia utrzymanie stateczności całego wyrobiska, szczególnie w warunkach wpływów eksploatacji i innych wyrobisk korytarzowych. Zastosowanie silnego podłużnego wzmocnienia pomiędzy kolejnymi odrzwiami obudowy wzdłuż wyrobiska korytarzowego (szczególnie, gdy użyte są dwa podłużne dźwigary) wytwarza warunki dla przeniesienia obciążenia występującego w stropie wyrobiska na górotwór zlokalizowany w sąsiedztwie ociosów.

Zastosowanie pojedynczych i podłużnych dźwigarów w wyrobiskach korytarzowych na głębokości 1200 m w KWK „Kalinina” pozwoliło na znaczące zredukowanie pionowego i poziomego zaciskania. W przypadku KWK „Skochinskogo” zastosowano wzmocnienie obudowy przez zastosowanie pojedynczego dźwigara w wyrobisku zlokalizowanym na głębokości 1280 m, co pozwoliło na zmniejszenie pionowego i poziomego zaciskania od 1,5 do 1,2 raza.