

М.СНУДЕК¹, Г.И.СОЛОВЬЕВ², Я.А.ЛЯШОК³,
В.С.ДЕГТЯРЕВ⁴, В.М.КУЦЕРУБОВ⁵, Н.Н.МАЛЫШЕВА⁶,
А.В.ПЕТРЕНКО⁷, А.Л.КАСЬЯНЕНКО⁸, Д.Г.СОЛОВЬЕВ⁹,
Я.О.ШУЛЯК¹⁰

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТКАХ ГЛУБОКИХ ШАХТ МЕТОДОМ ОБЪЕМНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация:

Рассмотрены особенности смещений породного контура выемочной выработки в зоне влияния очистных работ на объемной модели из эквивалентных материалов

Summary:

Here considered particularities of the preparatory working rock sidebar offsets in the influence zone of mining works using three-dementional model made of equivalent materials

Лабораторные исследования механизма проявления горного давления в окрестности подготовительных выработок на моделях из эквивалентных материалов проводили многие отечественные и зарубежные ученые. Эти работы [1-7] в практическом плане сводились к определению параметров схем сдвижения горного массива при ведении под-

¹ Prof. zw., dr hab. inż M.Chudek dr h.c., Katedra Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Zarządzania Ochrony Powierzchni, Politechnika Śląska

² Доц., к.т.н., Соловьев Г.И. – Донецкий национальный технический университет

³ Доц., к.т.н., Ляшок Я.А. – Донецкий национальный технический университет

⁴ Доц., к.т.н., Дегтярев В.С. – Донецкий национальный технический университет

⁵ Доц., к.т.н., Куцерубов В.М. – Донецкий национальный технический университет

⁶ Магистр Малышева Н.Н. – Донецкий национальный технический университет

⁷ Магистр Петренко А.В. – Донецкий национальный технический университет

⁸ Магистр Касьяненко А.Л. – Донецкий национальный технический университет

⁸ Магистр Касьяненко А.Л. – Донецкий национальный технический университет

⁹ Инженер Соловьев Д.Г. – ООО «Геоэкспертсервистехнологии», г. Санкт-Петербург

¹⁰ Студент Шуляк Я.О. – Донецкий национальный технический университет

Chudek M. Исследования проявлений горного давления в выемочных выработках глубоких шахт методом объемного моделирования / М. Chudek, Г. И. Соловьёв, Я. А. Ляшок, В. С. Дегтярев, В. М. Куцерубов, Н. Н. Малышева, А. В. Петренко, А. Л. Касьяненко, Д. Г. Соловьёв, Я. О. Шуляк // IX Szkoła geomechaniki: материалы международной конференции. – Гливице-Устронь, 2009. – С. 241-256.

земной угледобычи, определению параметров перераспределения опорного давления в окрестности очистных и подготовительных выработок, определению зон разгрузки и рационального месторасположения выработок. Исследования в них осуществлялись в основном на плоских моделях из эквивалентных материалов, и управление состоянием массива выполнялось посредством создания локальных зон разгрузки или упрочнения боковых пород, что не позволяло оценить степень влияния жесткости крепи усиления и опорных конструкций на бровках лавы на механизм проявления горного давления по длине выемочной выработки на участке ее сопряжения с очистным забоем.

На протяжении последних десяти лет в условиях глубоких шахт «Донецкой угольной энергетической компании» («Южнодонбасская №3», им. М.И.Калинина, им. Е.Т.Абакумова, им. А.А.Скочинского) проходит успешную опытно-промышленную проверку способ продольно-жесткой консолидации комплектов арочной крепи за счет их продольной связи вдоль оси выработки одинарной или двойной балками из отрезков прямолинейного спецпрофиля СВП-27 [8-11].

Для установления особенностей механизма перераспределения горного давления в окрестности выемочной выработки в зоне влияния очистных работ при различных вариантах продольно-балочной крепи усиления и средствах предотвращения пучения почвы в лаборатории горного давления кафедры подземной разработки месторождений полезных ископаемых были проведены исследования на объемных моделях из эквивалентных материалов. При этом в модели обеспечивалось двухосное напряженное состояние при вертикальной и горизонтальной (нормальной к продольной оси выработки) нагрузках, создаваемое пневматическими баллонами. Коэффициент бокового давления был принят постоянным и равным 0,6.

Для обеспечения точности непосредственных измерений, наглядности и представительности результатов исследований был принят масштаб моделирования 1:100.

Моделировался участок горного массива с размерами в натуре 34х30х30 м, а в модели (34х30х30 см). Поперечное сечение подготовительной выработки в модели составило 20 см², а длина - 34 см.

Общий вид модели приведен на рис. 1.



Рис. 1 Общий вид модели и вспомогательного оборудования

Подбор механических характеристик такого модельного эквивалентного материала, обеспечивающего подобие механических процессов в модели, производился в соответствии с методикой Г.Н.Кузнецова [1-3].

По рекомендациям А.А.Борисова [4] значение компенсирующей нагрузки принято равным $g_m = 0,18$ МПа. Расстояние от исследуемого объекта до горизонта приложения искусственной пригрузки, согласно проекта модели, составило 15 см или 15,0 м в натуре.

Практика физического моделирования в ДонНТУ показала [5], что при исследованиях на объемных моделях процессов смещений боковых пород, наиболее приемлемым эквивалентным материалом является модельный материал, состоящий из: наполнителя - кварцевого песка и связующих - парафина и канифоли.

Общая схема стенда объемной модели с указанием его составных частей представлена на рис. 2, 3.

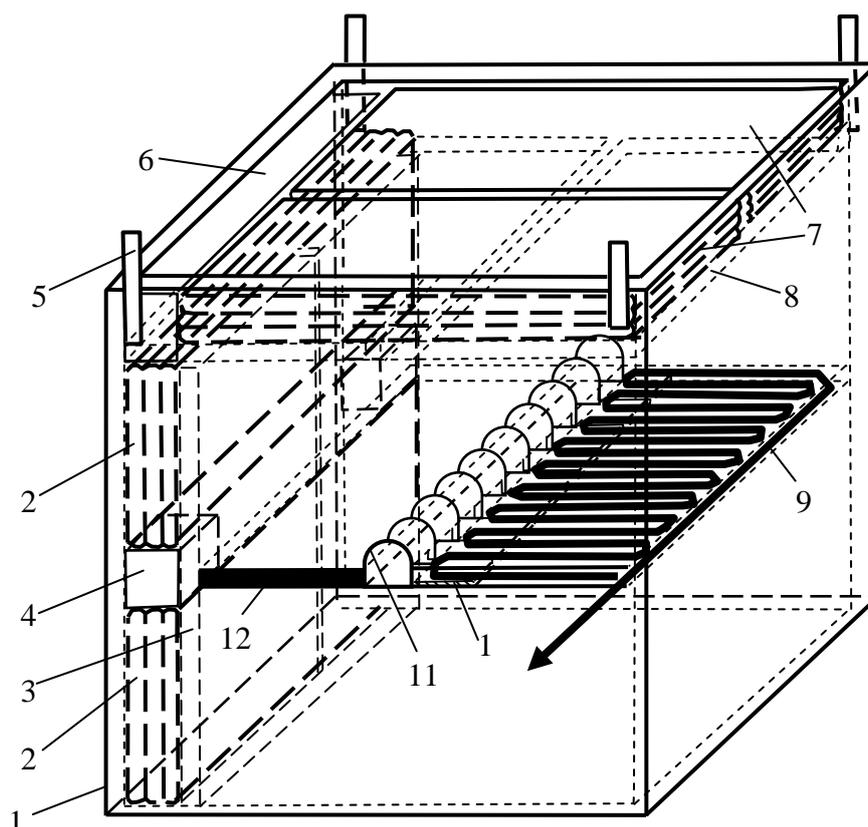


Рис. 2 Общий вид (а) и составные части (б) стенда для объемного моделирования из эквивалентных материалов: 1- корпус стенда; 2 – боковые пневмобаллоны; 3 – деревянная доска-экран между эквивалентным материалом и боковыми пневмобаллонами; 4 – деревянная подставка между боковыми пневмобаллонами; 5 – металлические болты, приваренные к корпусу для крепления крышки стенда; 6 – деревянный распорный брус между пневмобаллонами и корпусом стенда; 7 – верхние пневмобаллоны; 8 – деревянная доска-экран под верхними пневмобаллонами; 9 – капроновый канат, имитирующий извлекаемый в лаве уголь; 10 – полоса из сжатого поролона, имитирующая бутовую полосу; 11 – арочная крепь подготавливаемой выработки; 12 – угольный пласт

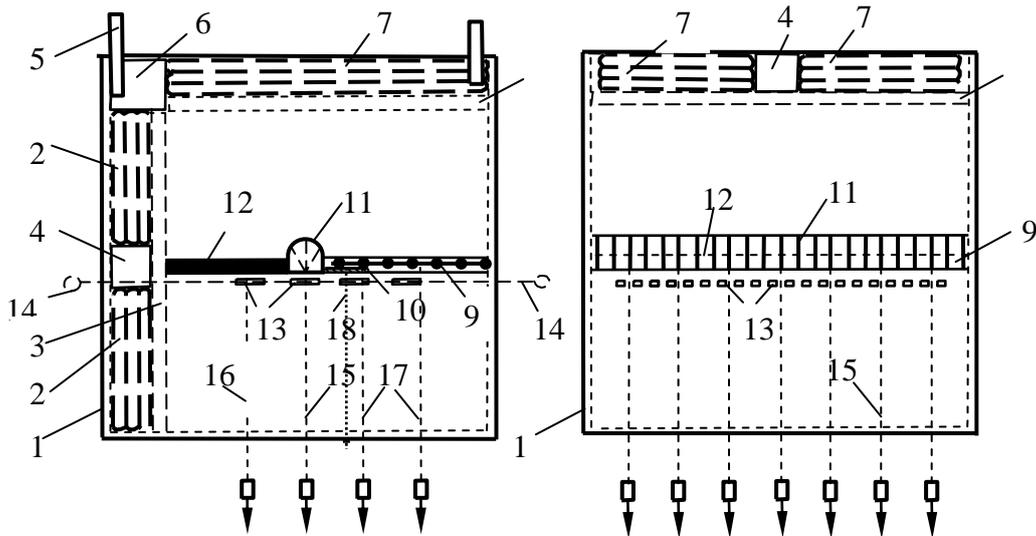


Рис. 3 Фронтальный (а) и боковой (б) вид объемного стенда: 1- корпус; 2 – боковые пневмобаллоны; 3 – деревянная доска-экран между эквивалентным материалом и пневмобаллонами; 4 – деревянная подставка между боковыми пневмобаллонами; 5 – металлические болты для крепления крышки стенда; 6 – деревянный распорный брус между пневмобаллонами и корпусом стенда; 7 – верхние пневмобаллоны; 8 – деревянная доска-экран под верхними пневмобаллонами; 9 – капроновый канат, имитирующий угольный пласт; 10 – полоса из поролона, имитирующая бутовую полосу; 11 – арочная крепь выработки; 12 – угольный пласт; 13 – датчики давления; 14 – стальная проволока с кольцами для продергивания датчиков давления; 15 - контурные реперы со струнами и грузиками; 16, 17 – напочвенные реперы, соответственно в массиве и в выработанном пространстве; 18 – капроновая нить для сжатия поролона до выемки угольного пласта

На основании опыта лабораторных исследований сотрудников ДонНТУ для принятых условий моделирования сочетание компонентов эквивалентного материала выражается следующим содержанием

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

связующих и наполнителя (песка): уголь - 1% (парафин); глинистый сланец - 2 % (парафин: канифоль – 4:1); песчано-глинистый сланец - 2 % (парафин: канифоль – 7:3); песчаный сланец - 2,5 % (парафин: канифоль – 7:3); песчаник - 3 % (парафин: канифоль – 1:1).

Исходя из физической сущности решаемой задачи, моделируется влияние очистных работ на выемочную выработку.

Силовые и кинематические характеристики модели определялись по методике Г.Н.Кузнецова [1-3].

Механические процессы, которые происходят во вмещающих горную выработку породах, зависят от многих факторов, в том числе и от характеристики искусственных сооружений, служащих для охраны выработки со стороны очистных работ.

При принятом шаге установки основной крепи равном 0,8 м, расстояние между рамами крепи в модели составляло 0,8 см. Всего по длине выработки было установлено 40 рам.

Применяемая в натуре породная полоса шириной 9,0 м имитировалась в модели полоской поролона общей толщиной 4 см и шириной 9 см (рис. 4 а). Вынимаемый угольный пласт моделировался капроновым канатом, диаметром 0,016 м и длиной 3,0 м (рис. 4 б).

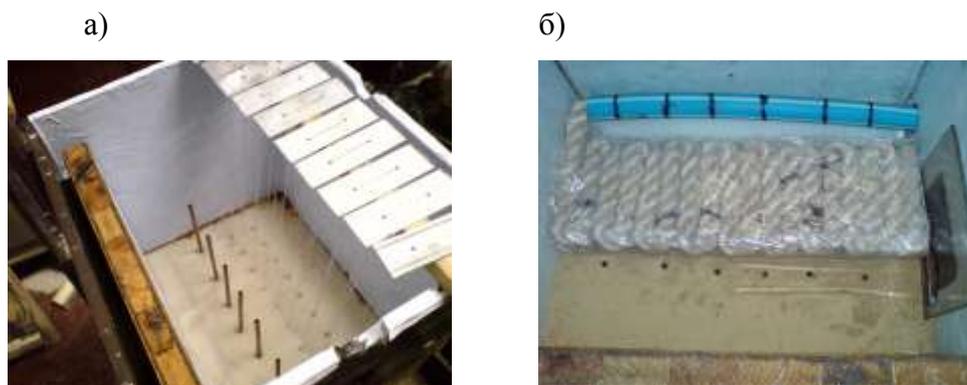


Рис. 4 Общий вид внутренней части стенда модели при расположении поролона (а) для имитации бутовой полосы и капронового каната (вынимаемого угольного пласта) с извлекаемой направляющей трубой (б)

Подвигание лавы имитировалось последовательным извлечением каната из модели через заранее уложенную выдвижную трубу (диаметром 0,02 м) на величину одного суточного подвигания очистного забоя (в натуре 3,2 м, в модели - 3,2 см).

При изготовлении моделей выполнялись следующие этапы:

1. На металлическое основание ящика стенда укладывался слой поролон толщиной 10 мм, предварительно пропитанный 50 % - м водным раствором игдантина.

2. На слой поролон укладывались слои модельного материала, имеющего предел прочности на сжатие 0,65...0,7 МПа, что соответствует крепкому песчанику при используемом линейном масштабе моделирования 1:100.

3. На полученное в результате предыдущих операций основание укладывались слои пород основной и непосредственной почвы. На почву выработки устанавливалась основная крепь. Модель крепи была изготовлена из латунной фольги шириной 10 мм и состояла из трех элементов - двух ножек и верхняка. Звенья крепи соединялись внахлестку посредством податливого соединения, представляющего собой полосу алюминиевой фольги и изоляционной ленты шириной 6 мм (рис. 5). При этом работа крепи в податливом режиме начиналась при достижении нагрузки равной 80 % от предельной несущей способности и происходила в модели при нагружении крепи до 5 - 5,5 кПа.

Перед установкой в модели каждая рама была протарирована в податливом режиме путем изменения усилий затяжки податливого соединения изоляционной лентой.

Продольная устойчивость крепи в выработке достигалась тремя стяжками, из медной проволоки диаметром 1 мм, закрепленные на звеньях крепи с помощью закруток. Затяжка выработки осуществлялась полосками капроновой сетки шириной 5 мм и толщиной 0,8 мм.

При установке крепи монтировались замерные станции, которые представляли собой рамы крепи, на которых были расположены 4 контурных веерных репера, из которых 3 располагались на раме крепи (один по центру верхняка и два на замках крепи) и один репер был расположен по центру почвы выработки.

а)



б)



Рис. 5 Модель арочной крепи с двумя продольными балками (а) и комплект крепей с капроновыми нитями от контурных реперов перед размещением в объемной модели (б)

К каждому реперу были присоединены капроновые нити, которые были выведены из модели через тонкие металлические трубки диаметром 0,5 см и для натяжения которых к их концам были привязаны грузики-отвесы массой по 20 г.

Почвенные репер представлял собой дугу-кронштейн с продольным вырезом для прохождения трех капроновых нитей от верхних реперов.

Трубки фиксировались в отверстиях, просверленных в днище стенда. В процессе отработки модели по грузикам-отвесам, подвешенным на нижних концах капроновых нитей, в дальнейшем производилась фотофиксация смещений контурных реперов. Всего было устроено 6 измерительных станций по длине подготовительной выработки с выводом из каждой станции по четыре тяги к грузикам-отвесам.

Для оценки перераспределения напряжений в модели при ведении очистных работ, в почве пласта на расстоянии 5 см ниже выработки располагались 12 датчиков трения конструкции Н.И.Зори [5]. Датчики были изготовлены из полосок металлической рулетки шириной 0,7 см, расположенной между двумя отрезками стекла с размерами 3,0x1,5 см. Стекла соединялись между собой изоляционной лентой. Длина полотна каждого датчика составляла 6,0 см и для фиксации его между стек-

лами поверх них располагались двусторонние упоры, закрепленные на внешних сторонах стекол изоляционной лентой. Датчики по площади модели располагались тремя рядами с диагональным смещением относительно друг друга (рис. 6).



Рис. 6 Расположение датчиков давления в почве пласта по плоскости стенда вид сверху (а) и с торца модели (б)

Для предотвращения попадания внутрь датчика песка из эквивалентного материала, он запаивался в полиэтилен, который дважды был обернут вокруг датчика.

4. Бутовая полоса возводилась из слоя поролона толщиной 4 см, который разрезался на отдельные участки длиной 9 см и шириной 3,2 см (рис. 3 а), что соответствовало величине суточного подвигания лавы (3,2 м/сут). Перед расположением в массиве угольного пласта все отрезки поролона были сжаты жесткой жестяной пластиной толщиной 0,2 см, которая накладывалась поверх поролона. К середине этой пластины была привязана капроновая нить, которая пропусклась через отрезок поролона, толщу почвы и отверстие в днище модели. После натяжения каждой нити и сжатия поролона до толщины 0,5 см, они фиксировались к стенду днища модели специальными зажимами.

5. На бутовую полосу и почву в выработанном пространстве лавы зигзагообразными витками выкладывался капроновый канат диаметром 1,6 см, имитирующий угольный пласт. Для извлечения каната

применялась капроновая труба диаметром 2,0 см, которая располагалась вдоль правого борта модели и была пропущена через отверстие диаметром 2,5 см, просверленное в торцевой металлической стенке модели и закрепленная на фронтальной стенке стенда модели специальным устройством.

Капроновый канат размещался в модели между двумя полиэтиленовыми листами для предотвращения задиранья эквивалентного материала и жестяных пластинок, сжимающих поролон.

6. После расположения в модели угольного пласта и будущей бутовой полосы производилась дальнейшая закатка слоев эквивалентного материала пород кровли в соответствии со структурной колонкой моделируемого пласта и проектом модели. Особое внимание уделялось обеспечению контакта модельного материала с крепью выработки.

7. На объемной стенде из эквивалентных материалов было отработано 3 модели: первая – без мероприятий по обеспечению устойчивости подготовительных выработок, в которой использовались технические и технологические решения, применяемые обычно в условиях глубоких шахт – охрана выработок бутовой полосой и усиление основной арочной крепи ремонтными, устанавливаемыми перед и за лавой под верхняк арочной крепи на расстояниях до 50 м.

Во второй модели применялась двойная продольно-балочная крепь усиления. В третьей модели применялся комбинированный способ обеспечения устойчивости подготовительной выработки, который включал использование двух продольных балок и щелевую разгрузку почвы при одновременном упорно-лежневом силовом воздействии на поверхность почвы.

Щелевая разгрузка почвы пласта имитировалась при закатывании слоев почвы двумя продольными деревянными планками длиной 17 см (равной половине длины модели), высотой 2,9 см и шириной 0,5 см, которые укладывались в почву по обе стороны от ряда металлических трубок для вывода из модели капроновых нитей от контурных реперов. На второй половине модели мероприятия по предотвращению пучения почвы не применялись.

При установке упорно-лежневой крепи усиления в качестве поперечных лежней использовались отрезки из медных полосок прямо-

угольного сечения (5х3 мм) длиной по 5,0 см, которые укладывались поперек выработки между ножками арочной крепи и фиксировались на почве упорными стойками с распором их в боках выработки.

Продольно-балочная крепь усиления представляла собой отрезки медных полосок прямоугольного сечения (5х3 мм) длиной 4,5 см, которые соединялись с нахлестом по 0,5 см на всю длину модели. Балки крепились скобами к верхнякам каждого из комплектов крепи на расстоянии 2,5 см друг от друга по ширине выработки.

Общий вид состояния крепи выемочной выработки на различных этапах моделирования представлен на рис. 7.

а)



б)



Рис. 7 Общий вид крепи выемочной выработки при использовании комбинированного способа обеспечения устойчивости при расположении лавы в средней части модели (а) и после ее полной отработки (б)

После монтажа сети воздушной магистрали (рис. 1), в состав которой входили компрессор, аккумулирующий накопитель воздуха для поддержания постоянного давления в сети, манометры, пластиковые трубки диаметром 0,6 см, пневматические баллоны, за три этапа с интервалом равным 49 кПа в модели было создано давление 147 кПа, что соответствовало состоянию нетронутого горного массива;

- затем по мере формирования зоны опорного давления в строгом сочетании с выемкой угольного пласта в лаве за 6 этапов давление бы-

ло доведено до 294 кПа с приращением нагрузки на каждом этапе по 49 кПа;

После каждого этапа моделирования и изменения давления в пневмомагистрали производились замеры давлений по датчикам трения и смещений крепи по контурным реперам методом фотофиксации перемещений грузиков-отвесов. Кроме того, осуществлялось фотографирование состояния крепи подготовительной выработки через отверстие в торцевой стенке стенда модели.

Отработка угольного пласта осуществлялась путем извлечения каната на один виток, который соответствовал суточному подвиганию очистного забоя на 3,2 см или 3,2 м/сут в натуре. При этом после извлечения каната производилось снятие распора с поролона, имитирующего бутовую полосу, который создавал подпор породам кровли на концевом участке лавы.

Вертикальные и горизонтальные смещения породного контура определялись по формулам (1, 2) с учетом угла β , определяемого между горизонтальной поперечной осью выработки и наклонной тягой бокового контурного репера (рис. 7, а).

$$a = c \sin \beta \quad (1)$$

$$b = c \cos \beta \quad (2)$$

По результатам проведенных инструментальных наблюдений построены графики зависимостей вертикальных и горизонтальных смещений породного контура и давления в почве пласта от расстояния до лавы (рис. 8 и 9).

Из графиков приведенных на рис. 8 и 9 видно, что применение продольно-балочной связи комплектов арочной крепи, особенно в комбинации с щелевой разгрузкой почвы и силовым упорно-лежневым воздействием на ее верхний слой, позволяет существенно снизить как смещения боковых пород на контуре выработки, так и давление на основную крепь.

Как уже отмечалось ранее [9-11], продольно-жесткая консолидация комплектов основной крепи способствует созданию грузонесущих сводов из породных отдельностей над продольными балками в кровле выработке.

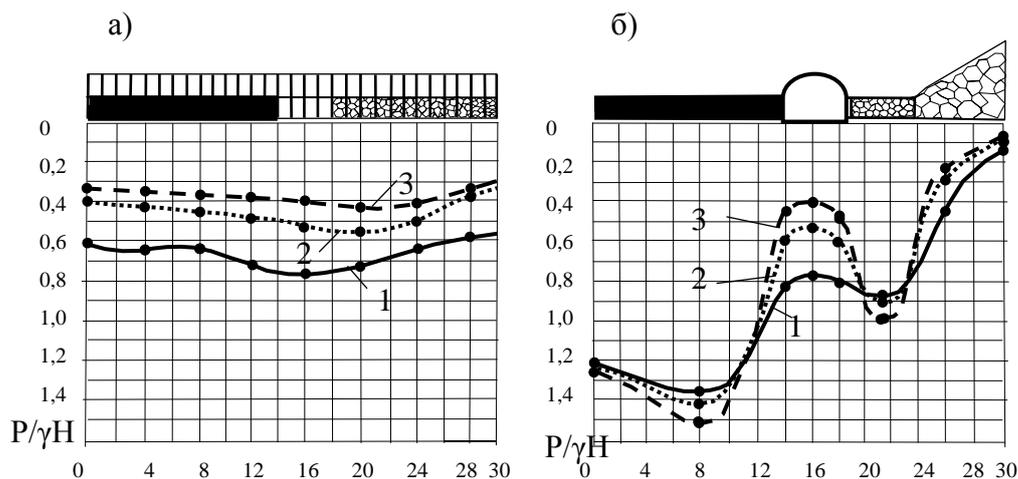


Рис. 8 Графики зависимостей давления в почве пласта от расстояния до лавы вдоль выработки (по центру модели) (а) и в поперечном сечении модели в средней ее части (б) при шахтном варианте охраны: бутовая полоса вдоль выработки с ремонтнами под верхняк крепи – 1; двойная продольно-балочная крепь усиления – 2; двойная продольно-балочная крепь усиления в комбинации щелевой разгрузки почвы с упорно-лежневым воздействием на ее поверхность – 3

Использование новых комбинированных способов обеспечения устойчивости выемочных выработок в зоне влияния очистных работ позволило снизить вертикальные смещения контура выработки на сопряжении с лавой и на расстоянии 15 м за очистным забоем при двухбалочной ПБКУ соответственно в 1,71 и 1,44 раза, а при двухбалочной ПБКУ и щелевой разгрузке в 2,67 и 1,76 раза.

Горизонтальные смещения при этом снизились на сопряжении лавы и на расстоянии 15 м за лавой соответственно в 1,76 и 1,51 раза при первом способе обеспечения устойчивости и в 3,0 и 1,93 раза при втором способе.

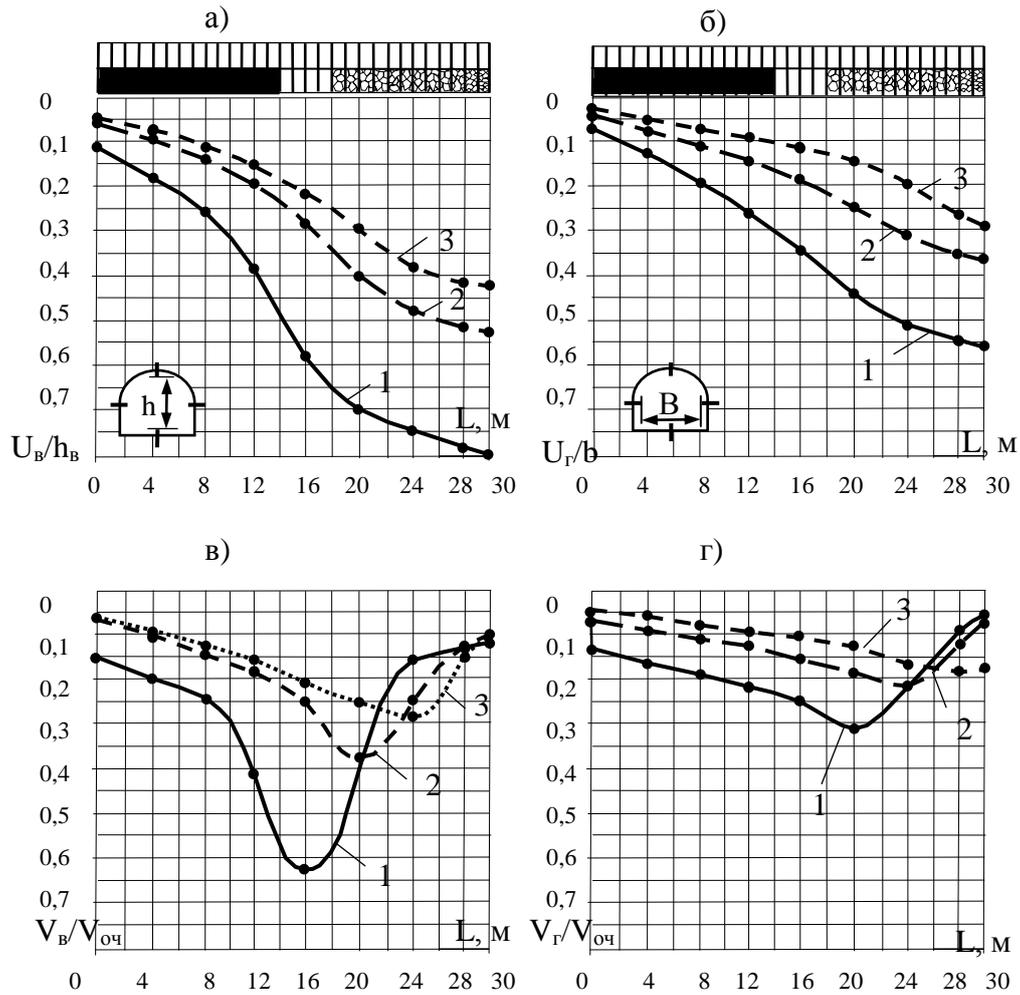


Рис. 9 Графики зависимости вертикальных (а, в) и горизонтальных (б, г) соответственно смещений и скоростей смещений породного контура от расстояния до лавы: 1 – при шахтном варианте охраны; 2 – при двойной продольно-балочной крепи усиления; 3 – при двойной продольно-балочной крепи усиления в комбинации с щелевой разгрузкой почвы и упорно-лежневым воздействием на ее поверхность

Кроме того, как и при натуральных исследованиях, выполненных в условиях глубоких шахт «Донецкой угольной энергетической компании» («Южнодонбасская №3», им. М.И.Калинина, им. Е.Т.Абакумова, им. А.А.Скочинского), при увеличении суммарной жесткости крепи усиления на моделях также был получен сдвиг точек месторасположения максимальных значений вертикальных и горизонтальных скоростей смещений породного контура в сторону выработанного пространства при одновременном снижении их значений по абсолютной величине.

Как видно из графиков (рис. 12 в, г), максимальные значения вертикальных и горизонтальных скоростей смещений при использовании первого и второго способов обеспечения устойчивости снижаются соответственно в 1,7; 2,2 и в 1,4; 1,6 раза по сравнению с шахтным вариантом

Таким образом, полученные результаты подтверждают эффективность применения рассмотренных способов для поддержания подготовительных выработок в зоне влияния очистных работ и предоставляют возможность дальнейшего совершенствования этих способов и уточнения их параметров для конкретных условий глубоких шахт.

Литература

- [1] Кузнецов Г.Н. Изучение проявления горного давления на моделях. М.: Углетехиздат, 1959. – 218с.
- [2] Кузнецов Г.Н. О моделировании процессов проявления горного давления и сдвижения горных пород под влиянием подземных разработок методом эквивалентных материалов // Сб. трудов по вопросам моделирования проявлений горного давления методом эквивалентных материалов. – Л.: Изд-во ВНИМИ, 1962. Вып. 44. – С.7-17.
- [3] Глушихин Ф.П., Кузнецов Г.Н., Шклярский и др. Моделирование в геомеханике. М.: Недра, 1991. – 240 с.
- [4] Борисов А.А. Механика горных пород и массивов. М.: Недра, 1980. – 360 с.

- [5] Оглоблин Д.Н., Зоря Н.М., Кренев Н.И. Изучение на моделях из эквивалентных материалов сдвижения горных пород и земной поверхности при выемке свиты пологопадающих пластов / Труды ВНИМИ. Л.: ВНИМИ, №44, 1962.
- [6] Chudek M. Geomechanika z podstawami ochrony środowiska górniczego i powierzchni terenu. Wyd. Pol. Śl., Gliwice, 2002.
- [7] Якоби О. Практика управления горным давлением. М.: Недра, 1987. – 566 с.
- [8] Бондаренко Ю.В., Соловьев Г.И., Захаров В.С. Лабораторные исследования взаимодействия каркасной усиливающей и основной крепи выемочной выработки // Известия Донецкого горного института. 1999. №2. С.124-130.
- [9] 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. Москва, 2002. №6. С.183-187.
- [10] 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.
- [11] Solovjov G.I., Moroz O.K., Liashok J.A., Griebionkin S.S., Kierkiez S.D., Galchenko A.M. Combined methods of stability providing in preparatory mine-workings of deep mines in Donetsk region // 21 World Mining Congress. New Challenges and Visions for Mining. Krakow, Poland. 11.09.2008. S.267-278.