

УДК 622.831.312

## ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОПОР ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ ДЛЯ ОХРАНЫ КОНВЕЙЕРНОГО ШТРЕКА

Иващенко Д. С., студент гр. РПМ-13б,  
Панин А. В., студент гр. РПМ-14,  
Соловьев Г. И., канд. техн. наук, доц., науч. рук.,  
Касьяненко А. Л., канд. техн. наук, доц., науч. рук.  
(ГОУВПО «ДОННТУ», г. Донецк, ДНР)

*В статье представлены результаты лабораторных исследований на структурных моделях по оценке эффективности применения опор переменной жесткости для обеспечения устойчивости конвейерного штрека. Установлено, что применение комбинированных охранных конструкций, включающих жесткие опорные полосы, обеспечивает снижение вертикальных смещений пород кровли конвейерного штрека на 4,0; 9,0 и 20 % при ширине жесткой опоры соответственно 1,5; 3,0 и 6,0 м, а рост ширины жесткого элемента на 1,0 м позволяет снизить вертикальные смещения в среднем на 5,3 %.*

**Ключевые слова:** лабораторные исследования, структурная модель, охранный конструкция, жесткий опорный элемент, арочная крепь, смещения пород кровли, пружинный динамометр, датчик трения, репер.

**Актуальность работы.** Анализ отечественного и зарубежного опыта охраны интенсивно деформирующихся подготовительных выработок в зоне влияния очистных работ показал, что чаще всего за очистным забоем вдоль выработок на бровке лавы выкладываются комбинированные опорные конструкции, состоящие из 2-х и более элементов с различными конструктивными параметрами и механическими характеристиками. Обычно применение данных конструкций обосновуется успешным опытом их использования в конкретных горно-геологических условиях [1–6].

Широкое применение бутовых полос на малых и средних глубинах наряду с оставлением породы в шахте позволяло обеспечить удовлетворительное состояние подготовительных выработок

на сопряжениях с очистным забоем и в зоне влияния выработанного пространства. Однако переход горных работ на шахтах Донбасса на глубины более 800–1000 м привел к значительной интенсификации проявлений горного давления в подготовительных выработках и значительным смещения боковых пород [3–7].

В настоящее время, когда угольная отрасль, как и все народное хозяйство страны, находится в глубоком экономическом кризисе, выбор и обоснование рациональных параметров новых комбинированных способов охраны подготовительных выработок с использованием малозатратных и ресурсосберегающих технологий является важной инженерно-технической задачей.

**Целью настоящей работы** является обоснование рациональных параметров комбинированных опорных конструкций для охраны подготовительных выработок, испытывающих вредное влияние очистных работ с использованием структурного моделирования на плоском стенде.

**Основное содержание работы.** В последние годы широкое распространение получили комбинированные способы охраны подготовительных выработок, основанные на возведении вдоль этих выработок опорных полос переменной жесткости [11].

К таким способам следует отнести охрану конвейерных штреков жесткими полосами из железобетонных блоков [7], возведение вдоль выработок литых полос [6, 8], полос из породных полублоков [9] и пенобетона [10]. Во всех этих способах основным ядром является наличие жесткой полосы, которая вслед за лавой на минимальном от нее расстоянии начинает противодействовать интенсивным смещениям подработанной части горного массива над лавой и выработкой.

Весьма важным моментом при этом является установления степени влияния жесткого элемента на особенности механизма деформирования пород кровли и почвы, залегающих над и под этим жестким элементом. С одной стороны, для пород кровли жесткий элемент должен как можно быстрее вступать в работу и препятствовать смещения кровли, а для пород почвы он является штампом или концентратором нагрузки, которая передается в почву и способствует ее выдавливанию в полость подготовительной выработки. Решению этого сложного вопроса в настоящее время посвящено большое количество исследований.

В работе [11] было проведено математическое моделирование напряженно-деформированного состояния вмещающих выработку пород с использованием метода конечных элементов. Установлено, что наличие жесткого элемента в комбинированном охранном сооружении со стороны выработанного пространства шириной 1...5 м на расстоянии от контура выработки не более 1 м обеспечивает снижение смещений кровли и почвы выработок на 10...20 %. При этом увеличение жесткости опорного элемента в 7,5 раз позволяет снизить величину смещений лишь на 6 %, а увеличение ширины жесткого опорного элемента на 1 м приводит к снижению смещений пород кровли и почвы на 1 %.

Для уточнения вышеперечисленных выводов в настоящей работе проведены лабораторные исследования на плоском структурном стенде.

Моделируемый участок массива соответствовал горно-геологическим условиям расположения конвейерного штрека 2-й западной лавы пласта  $h_{10}$  «Ливенский» шахты им. М. И. Калинина. Конвейерный штрек располагался на глубине 1150 м и проводился буровзрывным способом тупиковым забоем с опережением лавы до 20,0 м. Поперечное сечение штрека в проходке, в свету до и после осадки соответственно составляло 27,8 м<sup>2</sup>, 21,4 м<sup>2</sup> и 12,8 м<sup>2</sup>. В качестве основной крепи использовалась металлическая арочная крепь КМП-А5-12,8. Охрана штрека осуществлялась бутовой полосой шириной 9,0 м. Порода из бутового штрека после ее буровзрывной отбойки подалась в бутовую полосу скреперной установкой ЗУ-2.

Для моделирования использовался плоский стенд с линейными размерами 0,62×0,50×0,05 м, который представлял собой жесткую раму из отрезков швеллеров № 5 (рис. 1).

Подбор эквивалентного материала осуществлялся исходя из требований механического подобия, сущность которого сводилась к определению линейных параметров модели [11–13].

Такие размеры стенда при выбранном масштабе моделирования 1:50 позволили обеспечить соблюдение граничных условий и избежать искажения результатов моделирования.

В качестве боковой опалубки с задней стороны модели использовался лист фанеры толщиной 0,01 м, а с передней стороны – лист плексигласа толщиной 0,008 м. Основание модели и боковые стенки были жестко соединены между собой, а верхняя часть (крышка) бы-

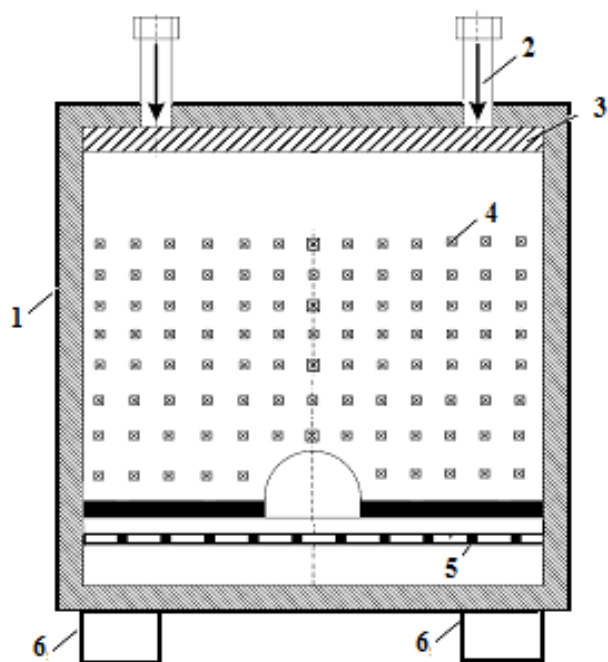


Рис. 1. Конструкция стенда для структурного моделирования:  
1 – корпус стенда; 2 – прижимные винты; 3 – подвижная прижимная планка; 4 – реперы; 5 – датчики трения; 6 – опоры стенда

Размеры стенда, представляющего собой разборную конструкцию, были рассчитаны так, чтобы у его границ на всех этапах моделирования граничные условия оставались неизменными, что отвечает требованиям методики [13, 14], при масштабе моделирования 1:50.

Арочная крепь моделировалась конструкцией из трех элементов – верхняка и двух стоек. Элементы изготавливались из полосы латунной фольги шириной 0,01 мм. Замки имитировались при помощи полоски алюминиевой фольги шириной 6 мм, полоски изоляционной ленты такой же ширины и двух витков медной проволоки. Соединение элементов крепи производилось внахлестку. В зависимости от усилий затяжки изоляционной ленты на соединении верхняка с ножками была определена податливость рамы, которая начиналась при нагружении до 80 % от предельной несущей способности (при 0,0007–0,0008 МПа).

ла выполнена съемной. Она соединялась с боковыми стойками с помощью четырех винтов (по 2 винта с каждой стороны).

Два прижимных винта, расположенные в верхней части стенда (рис. 1), передавали усилия на подвижную прижимную планку, которая в свою очередь равномерно нагружала эквивалентный материал модели. Для эквивалентного материала, имитирующего породы кровли как зернистую среду, использовались деревянные цилиндры длиной равной 0,025 м.

Диаметр этих деревянных цилиндров (в дальнейшем породных фракций) принимался равным 0,008; 0,011; 0,014; 0,017; 0,02 м.

Затяжка крепи моделировалась полоской вошеной бумаги длиной 0,02 м, шириной 0,005 м и толщиной 0,0008 мм. Жесткие опорные полосы в модели имитировались брусками из дерева размерами 0,03; 0,06 и 0,09 м (1,5; 3,0; 6,0 м в натуре). Их параметры были подобраны с учетом масштаба моделирования.

Для измерения смещений толщи пород в маркирующих слоях кровли располагались 8 рядов реперов по 13 штук в каждом из них (рис. 1).

В качестве боковой опалубки с задней стороны модели использовался лист фанеры толщиной 0,01 м, а с передней стороны – лист плексигласа толщиной 0,008 м. Основание модели и боковые стенки были жестко соединены между собой, а верхняя часть (крышка) была выполнена съемной. Она соединялась с боковыми стойками с помощью четырех винтов (по 2 винта с каждой стороны).

При реальных размерах выработки по высоте – 4,5 м и ширине – 5,20 м, с учетом геометрического масштаба высота выработки в модели была равна 0,1 м.

Для измерения нагрузок на основную крепь в почве пласта на расстоянии 0,03 м ниже выработки располагались 22 датчика трения конструкции Н. И. Зори [15]. Датчики были изготовлены из полосок металлической ленты шириной 0,007 м, расположенной между двумя отрезками стекла с размерами 0,05×0,01 м. Отрезки стекла со вставленным между ними металлическим полотном соединялись между собой двумя витками изоляционной ленты. На концах металлического полотна датчика имелись отверстия, в которых были закреплены кольца из тонкой стальной проволоки диаметром 0,0015 м, при помощи которых датчик соединялся с динамометром.

Длина полотна каждого датчика составляла 0,12 м. Датчик фиксировался в модели с помощью двусторонних упоров, выполненных из тонкой жести, закрепленных на внешних сторонах стекол изоляционной лентой. Датчики по длине модели располагались в один ряд с размещением их под стойками основной крепи выработки.

Замеры давления в моделях осуществлялись пружинными динамометрами (типа «Кантор»), которые обычно используются

в практике эквивалентного моделирования [12–14]. Для удобства выполнения замеров на этих весах было снято верхнее стекло и добавлена нижняя стрелка-указатель, располагающаяся под рабочей стрелкой весов. При взвешивании стрелка-указатель перемещалась стрелкой динамометра на максимальное значение и оставалась на месте после прекращения замера и возвращения на нулевую позицию основной стрелки весов.

За период проведения лабораторных исследований по определению эффективности применения комбинированных охранных конструкций с жестким опорным элементом было отработано 4 структурных модели из дискретных материалов (рис. 1; 2).

Общий вид и параметры комбинированной опорной конструкции на сопряжении конвейерного штрека с лавой представлены на рис. 2.

Во второй модели комбинированная охранная конструкция состояла из бутовой полосы и жесткого опорного элемента шириной 1,5 м, расположенного со стороны выработки (рис. 2 б).

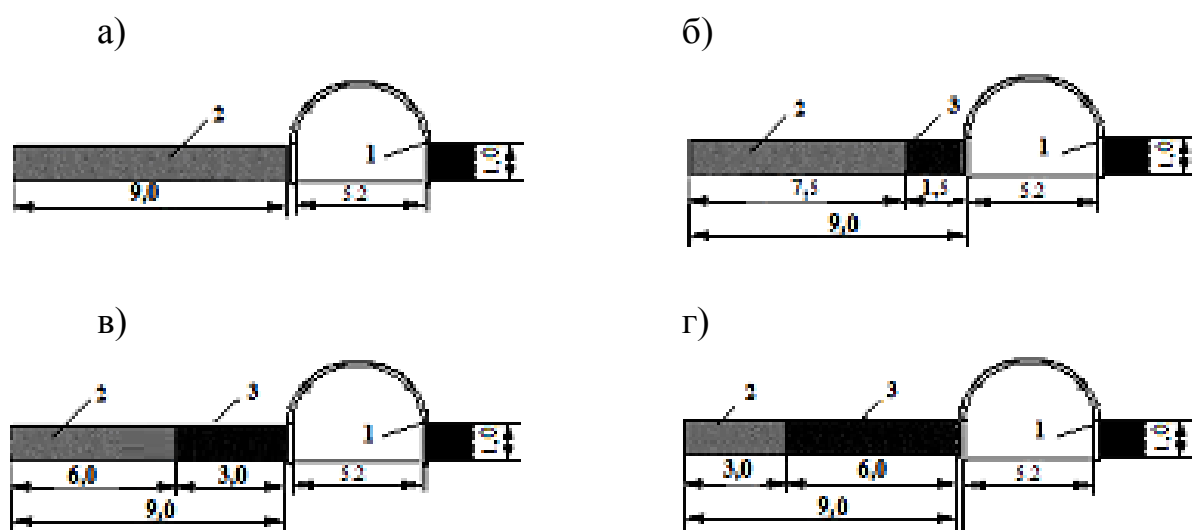


Рис. 2. Схема расположения опорных конструкций на сопряжении конвейерного штрека по сравниваемым вариантам охраны:  
1 – арочная крепь; 2 – бутовая полоса; 3 – жесткий опорный элемент

В третьей модели ширина жесткого опорного элемента, расположенного со стороны выработки составлял 3,0 м, а размер бутовой полосы равнялся 6,0 м (рис. 2, в).

В четвертой модели ширина жесткого опорного элемента, и бутовой полосы составляли соответственно 6,0 и 3,0 м (рис. 2, г).

На рис. 3 приведена схема резьбового соединения для определения величины давления, создаваемого рабочими винтами в структурной модели (рис. 1).

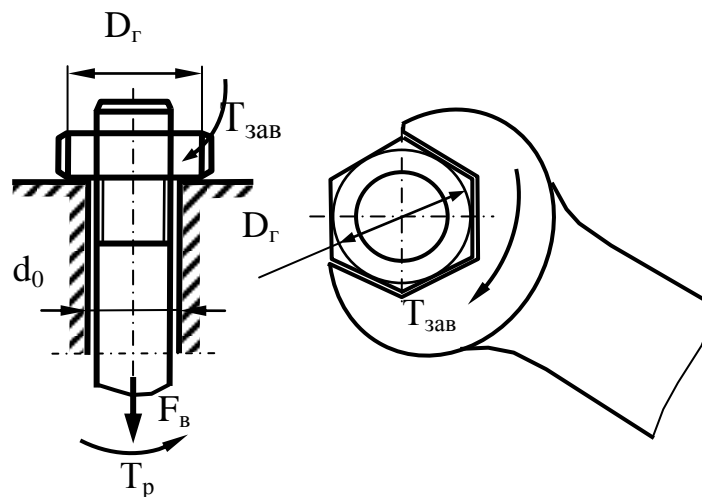


Рис. 3. Схема к определению момента затяжки резьбового соединения

Крутящий момент, создаваемый ключом при вращении гайки, использовался на преодоление сил трения торца гайки о неподвижную опорную поверхность стягиваемых деталей и трения сопротивления в резьбе:

$$M_{\text{кл}} = M_R + M_T, \quad (1)$$

где  $M_R$  – момент, необходимый для создания осевого усилия и преодоления трения в резьбе, Н·м;

$M_T$  – момент сил трения на торцевой поверхности гайки, головки винта или его упорного конца, Н·м.

Момент трения определялся как:

$$M_T = F_{\text{зат}} \cdot f_T \cdot R_{\text{ТР}}, \quad (2)$$

где  $F_{\text{зат}}$  – усилие затяжки, Н;

$f_T$  – коэффициент трения по торцу;

$R_{TR}$  – приведенный радиус трения, значение которого зависит от формы торца, м. Для плоского кольцевого торца приведенный радиус трения определялся как:

$$R_{TP} = \frac{1 (D_0^3 - d_0^3)}{3 (D_0^2 - d_0^2)}, \quad (3)$$

где  $d_0$  – диаметр сверления под болт, м;

$D$  – диаметр опорной поверхности гайки, головки болта (винта), который можно был принят равным размеру «под ключ», м.

Момент сопротивления в резьбе определялся как:

$$M_R = F_{ZAT} \cdot 0,5d_2 \cdot \operatorname{tg}(\beta + \rho), \quad (4)$$

где  $d_2$  – средний диаметр резьбы, м, который определялся из выражения:

$$d_2 = d - \frac{3}{4}H, \quad (5)$$

$H$  – вспомогательный параметр для расчета геометрии резьбы, м.

$$H = P \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3}\right), \quad (6)$$

где  $P$  – шаг резьбы, м;

$\beta$  – угол подъема винтовой линии, град.

$$\beta = \operatorname{arctg}\left(\frac{P}{\pi \cdot d_2}\right), \quad (7)$$

$\rho$  – угол трения резьбовой пары, град.

$$\rho = \operatorname{arctg}(f_R), \quad (8)$$

где  $f_R$  – коэффициент трения материалов сопрягаемых деталей.

Подставляя в выражение (1) выражения (2) и (4) окончательно получим:

$$M_{KL} = F_{ZAT} [0,5d_2 \cdot \operatorname{tg}(\beta + \rho) + f_T \cdot R_{TR}]. \quad (9)$$



Используя выражение (9) можно рассчитать усилие затяжки по заранее известному моменту затяжки или наоборот.

Таким образом, давления в модели, которое осуществлялось на эквивалентный материал двумя рабочими винтами через прижимную планку, определялось как усилие затяжки винтов и после преобразования выражения (9) с учетом (2–8) составило:

$$F_{\text{зат}} = \frac{N_{\text{винт}} \cdot M}{0,5 \operatorname{tg} d_2 (\beta + \rho) + f_T \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{(D^3 - d^3)}{(D^2 - d^2)}} = \frac{N_{\text{винт}} \cdot B \cdot \Pi_{\text{Круч}}}{\left[ 0,5 \left( d - \frac{3}{4} H \right) \operatorname{tg} \left\{ \operatorname{arctg} \left( \frac{P}{\pi \cdot d_2} \right) + \operatorname{arc} \operatorname{tg} (f_R) \right\} + f_T \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{(D^3 - d^3)}{(D^2 - d^2)} \right]}. \quad (10)$$

После подстановки данных и проведения вычислений:

$$F_{\text{зат}} = 208,13 \cdot N_{\text{винт}} \cdot B \cdot \Pi_{\text{Круч}}, \quad (11)$$

где  $\Pi_{\text{Круч}}$  – усилие, прикладываемое к рабочим винтам при их закручивании пружинным динамометром;

$B$  – плечо рычага рабочего винта,  $B = 0,12$  м;

$N_{\text{винт}}$  – количество вертикальных рабочих винтов  $N_{\text{винт}} = 2$ .

Тогда:

$$F_{\text{зат}} = 50 \cdot \Pi_{\text{Круч}}, \text{ Н}, \quad (12)$$

Полученное выражение позволяет определить режим приложения нагрузки в структурных моделях, который представлен в табл. 1.

Для определения усилий в датчиках трения, позволяющих установить давление на крепь подготовительной выработки, использовалось выражение [15]:

$$F = k \cdot P, \text{ Н} \quad (13)$$

где  $F$  – сила протягивания полотна датчика между стеклами для преодоления сопротивления трению;

$P$  – нормальное давление на датчик;

$k$  – коэффициент трения скольжения, принимался  $k = 0,25$ .

Таблица 1

## Значения величины нагрузки на структурные модели

| Название показателей | Суммарное усилие затяжки винтов в модели, Н |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                 |                 |                 |
|----------------------|---------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                      | P <sub>0</sub>                              | P <sub>1</sub> | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> | P <sub>4</sub> | P <sub>5</sub> | P <sub>6</sub> | P <sub>7</sub> | P <sub>8</sub> | P <sub>9</sub> | P <sub>10</sub> | P <sub>11</sub> | P <sub>12</sub> |
| Модель №1            | 10                                          | 50             | 100            | 150            | 200            | 250            | 300            | 350            | 400            | –              | –               | –               | –               |
| Модель №2            | 10                                          | 50             | 100            | 150            | 200            | 250            | 300            | 350            | 400            | 450            | 500             | –               | –               |
| Модель №3            | 10                                          | 50             | 100            | 150            | 200            | 250            | 300            | 350            | 400            | 450            | 500             | 550             | 600             |
| Модель №4            | 10                                          | 50             | 100            | 150            | 200            | 250            | 300            | 350            | 400            | 450            | 500             | 550             | 600             |

Перед началом испытания модели с помощью динамометра измерялась сила сопротивления трению для каждого датчика. Давление на каждый датчик в нетронутом массиве определялось по формуле:

Давление на каждый датчик в массиве определялось как:

$$P = F / (k \cdot S_{\text{датч}}), \text{ кПа}, \quad (14)$$

где  $S$  – площадь датчика трения, м<sup>2</sup>;

При выполнении замеров с помощью динамометра измерялась сила сопротивления трению для каждого датчика. Затем по формуле (14) определялось давление на каждый датчик в местах их заложения и на каждом из этапов приложения нагрузки в моделях.

Каждый замер давления представлял собой среднее значение из шести продергиваний динамометром металлического полотна датчика – по три раза с каждой стороны модели.

На начальном этапе отработки 1-й, 2-й, 3-й и 4-й моделей производилось начальное нагружение массива модели для создания в них первоначального напряженного состояния. Для этого оба верхних рабочих винта поворачивались одновременно на один оборот с помощью пружинных динамометров до появления первых признаков смещений эквивалентного материала в модели. После перерасчета усилий нагружения модели верхними рабочими винтами согласно выражения (14) и данных табл. 1 принято, что первоначальное давление в модели составляла  $P_0 = 10$  Н. Давление во всех моделях (согласно табл. 1) варьировалось от 50 до 600 кПа.

На рис. 4 представлены фотографии, иллюстрирующие режим нагружения (начальный – а, конечный – б) структурной модели №1 в которой для охраны конвейерного штрека применялась бутовая полоса шириной 9,0 м.

На рис. 5 представлены фотографии структурной модели №2 при использовании комбинированной опорной конструкции, состоящей из жесткой литой полосы шириной 1,5 м и бутовой полосы шириной 7,5 м.

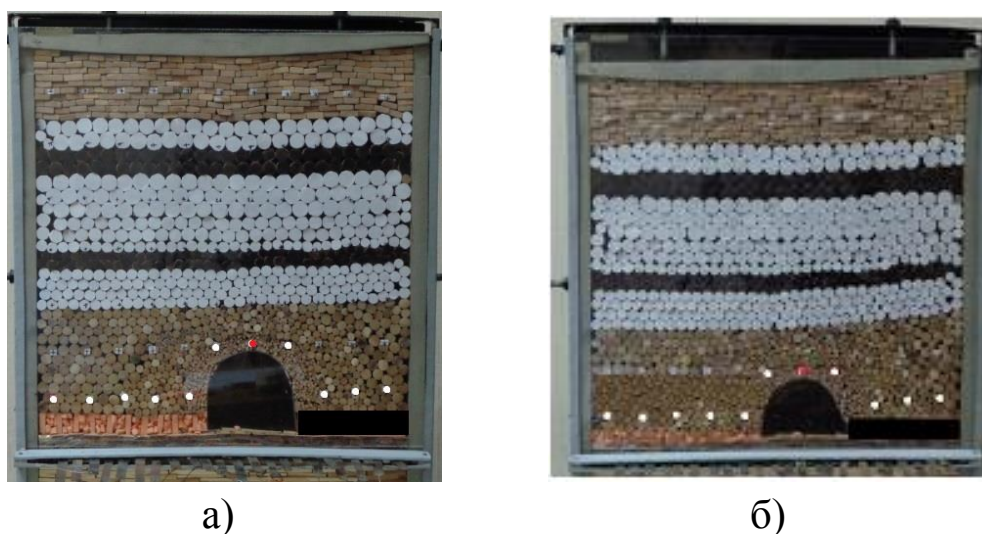


Рис. 4. Общий вид модели № 1 на начальном (а) и конечном (б) этапах нагружения для средней части выработки (репер № 6)



Рис. 5. Общий вид моделей на начальном (а) и конечном (б) этапах нагружения для средней части выработки (репер № 6)

На рис. 6 представлены фотографии структурной модели № 3 при использовании комбинированной опорной конструкции, состоящей из жесткой литой полосы шириной 3,0 м и бутовой полосы шириной 6,0 м.

На рис. 7 представлены фотографии структурной модели №4 при использовании комбинированной опорной конструкции, состоящей из жесткой литой полосы шириной 6,0 м и бутовой полосы шириной 3,0 м.

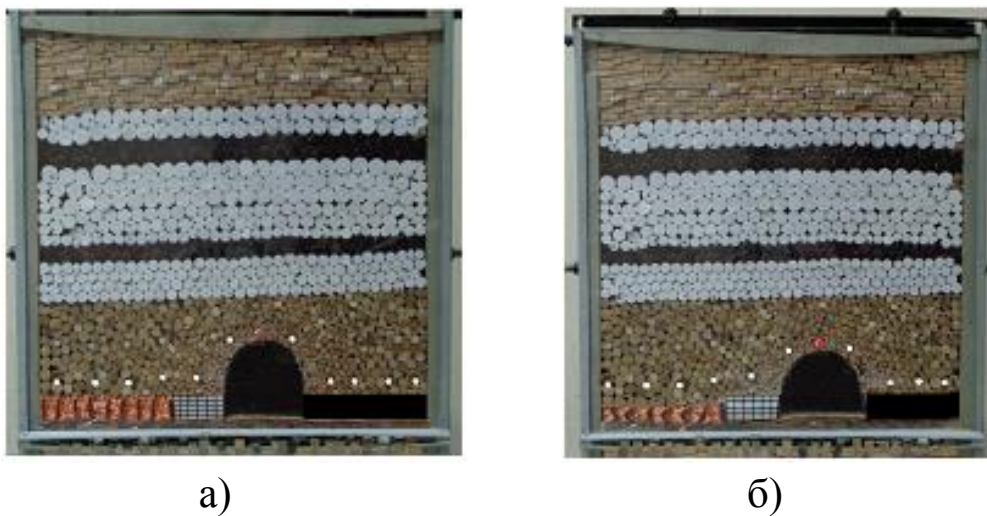


Рис. 6. Общий вид модели № 3 на начальном и конечном этапах нагружения для средней части выработки (репер №6)



Рис. 7. Общий вид модели № 4 на начальном и конечном этапах нагружения для средней части выработки (репер № 6)

На рис. 8 приведены совмещенные графики зависимости средних вертикальных смещений комплектов основной крепи

выработки в средней части выработки (репер №6) в зависимости от давления в моделях № 1, 2, 3 и 4.

Анализ полученных результатов показывает существенное отличие величин вертикальных смещений кровли в рассмотренных моделях (рис. 8).

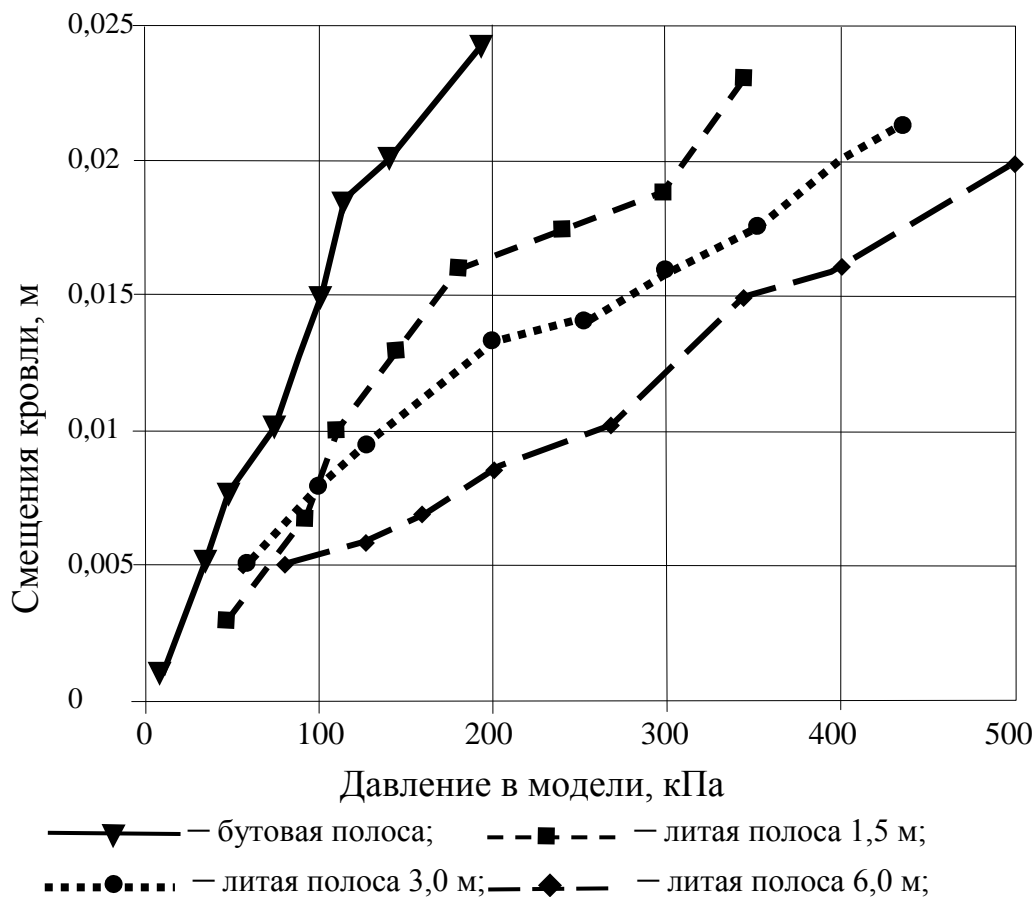


Рис. 8. Графики зависимостей смещений от давления в моделях №1, 2, 3 и 4

При использовании бутовой полосы для охраны конвейерного штрека (модель № 1) были получены максимальные вертикальные смещения контура выработки, которые составили 0,024 м (1,2 м в натуре) (рис. 4) при минимальной нагрузке – 190 кПа (рис. 8). Приведенная жесткость системы «охранная конструкция – крепь конвейерного штрека» при этом составила 7917 кПа/м.

Применение комбинированной охранной конструкции с жестким опорным элементом шириной 1,5 м и бутовой полосой шириной 7,5 м (модель № 2) позволило снизить величину максимальных вертикальных смещений до 0,023 м. При этом нагрузка

в модели составляла 345 кПа, а приведенная жесткость возросла до 15000 кПа/м (в 1,89 раза больше, чем при бутовой полосе). Таким образом, снижение величины вертикальных смещений во 2-й модели по сравнению с бутовой полосой составило 4 % (в 1,04 раза), а давление на крепь выросло в 1,77 раза или на 77 %.

При использовании жесткого опорного элемента шириной 3,0 м и бутовой полосы шириной 6,0 м (модель № 3) величина максимальных вертикальных смещений породного контура выработки составила 0,022 м при давлении в модели равном 435 кПа и приведенной жесткости 19773 кПа/м. Увеличение ширины жесткого опорного элемента до 3,0 м или на 1,5 м по сравнению с моделью № 2 позволило увеличить жесткость системы в 1,32 раза и снизить величину вертикальных смещений по сравнению с бутовой полосой (модель №1) и моделью № 2 соответственно на 9 % (в 1,09 раза) и на 4,5 % (в 1,045 раза), а давление на крепь при этом выросло при этом в 2,23 и 1,26 раза или на 123 и 26 %.

Охрана конвейерного штрека комбинированной охранной конструкцией с жестким опорным элементом шириной 6,0 м и бутовой полосой 3,0 м (модель № 4) позволило снизить величину максимальных вертикальных смещений до 0,02 м (в 1,25 раза) при давлении в модели равном 500 кПа и приведенной жесткости до 25000 кПа/м. Увеличение ширины жесткого опорного элемента до 6,0 м и на 3,0 м по сравнению с моделью № 3, позволило увеличить жесткость системы в 1,15 раза и снизить величину вертикальных смещений соответственно на 20 и 10 % (в 1,2 и 1,1 раза), а давление на крепь при этом выросло в 2,56 и 1,15 раза или на 156 и 15 %.

### **Выводы**

Полученные результаты подтверждают эффективность применения комбинированной конструкции с жестким опорным элементом для охраны конвейерного штрека в зоне повышенного горного давления. Установлено, что применение жесткого опорного элемента в охранной конструкции, сооружаемого со стороны подготовительной выработки, позволяет снизить величину вертикальных смещений контура выработки на 4,0; 9,0 и 20 % при ширине жесткой опоры соответственно 1,5; 3,0 и 6,0 м. При этом рост ширины жесткого элемента на 1,0 м позволяет снизить вертикаль-

ные смещения боковых пород на контуре штрека в среднем на 5,3 %. Также следует отметить, что увеличение ширины жесткого элемента на 1,5 и 3,0 м привело к снижению жесткости системы «охранная опорная конструкция – крепь конвейерного штрека» соответственно на 67 и 17 %, что позволяет сделать вывод о нецелесообразности применения жестких опор шириной более 3,0 м.

Полученные результаты лабораторных исследований предоставляют возможность дальнейшего совершенствования способов охраны выемочных выработок в части уточнения их параметров для конкретных условий применения.

### Библиографический список

1. Бажин, Н. П. Охрана подготовительных выработок без целиков [Текст] / Н. П. Бажин, В. В. Райский, Ю. В. Волков, Л. И. Добрица, В. Е. Кардаков, В. Н. Корнилков. – М. : Недра, 1975. – 296 с.
2. Худин, Ю. Л. Бесцеликовая выемка пластов [Текст] / Ю. Л. Худин, М. И. Устинов, А. В. Брайцев, К. А. Ардашев, Н. Н. Бажин и др. – М. : Недра, 1983. – 280 с.
3. Черняк, И. Л. Повышение устойчивости подготовительных выработок [Текст] / И. Л. Черняк. – М. : Недра, 1993. – 256 с.
4. Черняк, И. Л. Управление состоянием массива горных пород [Текст] / И. Л. Черняк, С. А. Ярунин. – М. : Недра, 1995. – 395 с.
5. Якоби, О. Практика управления горным давлением [Текст] / О. Якоби. – М. : Недра, 1987. – 566 с.
6. Заславский, И. Ю. Повышение устойчивости подготовительных выработок угольных шахт [Текст] / И. Ю. Заславский, В. Ф. Компанец, А. Г. Файвишенко, В. М. Клещенко. – М. : Недра, 1991. – 235 с.
7. Борзых, А. Ф. Содержание, ремонт и ликвидация выработок угольных шахт [Текст] / А. Ф. Борзых, Ю. Е. Зюков, С. Н. Княжев – Алчевск: ДонГТУ, 2004. – 614 с.
8. Байсаров, Л. В. Геомеханика и технология поддержания повторно используемых горных выработок [Текст] / Л. В. Байсаров, М. А. Ильяшов, А. И. Демченко. – Днепрпетровск: Лира, 2005. – 240 с.
9. Соловьёв, Г. И. Особенности поддержания конвейерных штреков при сплошной системе разработки [Текст] / Г. И. Соловьёв, П. П. Голембиевский, Р. С. Муляр // Проблемы горного давления. – Донецк, 2016. – №2(29) – С. 17–29.
10. Канин, В. А. Охрана горных выработок газобетонной крепью [Текст] / В. А. Канин, А. В. Анциферов. – Донецк: Тов. «АЛАН», 2004. – 396 с.

11. Стулишенко, А. Ю. Прогнозирование сближений пород контура проводимых вслед за лавой подготовительных выработок на пологих пластах: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.15.02. / А. Ю. Стулишенко ; Стулишенко Алексей Юрьевич.; ГВУЗ ДонНТУ. – Донецк, 2002. – 16 с.

12. Соловьёв, Г. И. Лабораторные исследования особенностей механизма проявления горного давления на контуре выемочных выработок глубоких шахт [Текст] / Г. И. Соловьёв, А. Л. Касьяненко [и др.] // Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Гірничо-геологічна» – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2010. – вип. 11(161) – С. 100–107.

13. Кузнецов, Г. Н. Моделирование проявлений горного давления [Текст] / Г. Н. Кузнецов, М. Н. Будько, Ю. И. Васильев, М. Ф. Шклярский, Г. Г. Юревич – Л. : Недра, 1968.– 280 с.

14. Глушихин, Ф. П. Моделирование в геомеханике [Текст] / Ф. П. Глушихин, Г. Н. Кузнецов, М. Ф. Шклярский и др. – М.: Недра, 1991. – 240 с.

15. Зоря, Н. М. Датчики давлений [Текст] / Н. М. Зоря, В. П. Стукальский // Разработка месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра, 1967. – №11. – С. 22–24.

**Ivashchenko D. S., Panin A. V., Solovyev G. I., Kasyanenko A. L.**  
(SEI HPE «Donetsk national technical university», Donetsk, DPR)

### **LABORATORY STUDIES OF THE EFFICIENCY USE OF SUPPORTS OF VARIABLE HARDNESS FOR THE PROTECTION OF A CONVEYOR ROADWAY**

*The article presents the results of laboratory studies on structural models to assess the effectiveness of the use of pillars of variable stiffness to ensure the stability of the conveyor roadway. It has been established that the use of combined protection construction, including rigid support strips, ensures a reduction in the vertical displacements of the roof rocks of the conveyor roadway by 4.0; 9.0 and 20% with the width of a rigid support, respectively 1.5; 3.0 and 6.0 m, and an increase in the width of a rigid element by 1.0 m reduces the vertical displacement by an average of 5.3%.*

**Keywords:** laboratory studies, structural model, protection construction, rigid support element, arch support, roof rock displacements, spring dynamometer, friction sensor, mark.