

УДК622.831.312

## **ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБА ОХРАНЫ КОНВЕЙЕРНОГО ШТРЕКА ОПОРАМИ ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ**

Панин Ф.В., Панин А.В., студенты гр. РПМ-14

Научный руководитель Соловьев Г.И., к.т.н., доцент,  
«Донецкий национальный технический университет», г. Донецк,  
Донецкая Народная Республика

**1. Актуальность работы.** Переход горных работ на шахтах Донбасса на глубины более 800-1000 м привел к интенсификации проявлений горного давления и значительным смещениям боковых пород при использовании бутовых полос для охраны подготовительных выработок [1-4].

Поэтому в последние годы широкое распространение получили комбинированные способы охраны подготовительных выработок, основанные на возведении вдоль подготовительных выработок опорных полос переменной жесткости. К таким способам следует отнести: охрану конвейерных штреков жесткими полосами из железобетонных блоков [1, 3], возведение вдоль выработок литых полос [3], полос из породных полублоков и пенобетона [3].

Аналитические исследования с использованием численных методов позволили установить [3], 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 вертикальных смещений лишь на 6%. Увеличение ширины жесткого опорного элемента на 1 м приводит к снижению смещений пород кровли и почвы на 1%.

**2. Целью работы** является определение рациональных параметров комбинированной охранной конструкции с жестким опорным элементом с использованием структурного моделирования на плоском стенде.

**3. Основное содержание работы.** 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 0,62x0,50x0,05 м, который представлял собой жесткую раму из отрезков швеллеров №5 (рис. 1).

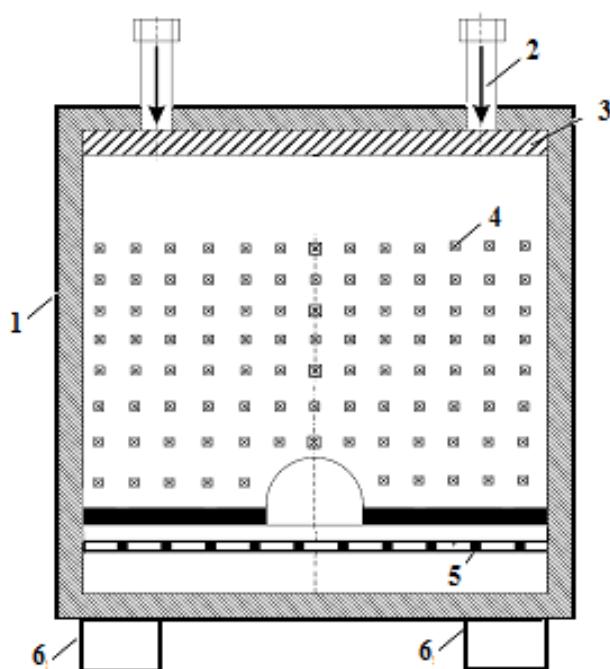


Рис. 1. Конструкция стенда для структурного моделирования:  
1 – корпус стенда; 2 – прижимные винты; 3 – подвижная прижимная планка; 4 - реперы; 5 – датчики трения; 6 – опоры стенда

Подбор эквивалентного материала осуществлялся исходя из требований механического подобия, сущность которого сводилась к определению линейных параметров модели [4, 5].

Такие размеры стендса 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) была выполнена съемной. Она соединялась с боковыми стойками с помощью четырех винтов (по 2 винта с каждой стороны).

В верхней части стендса были расположены 2 прижимных винта, в нижней части стендса и в его боках размещались по одному прижимному винту (рис. 1).

Прижимные винты 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. Использование деревянных цилиндров в качестве эквивалентного материала позволило обеспечить в модели двухосное напряженное состояние.

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

Размеры стенда, представляющего собой разборную конструкцию, были рассчитаны так, чтобы у его границ на всех этапах моделирования условия оставались неизменными, что отвечает требованиям методики [4, 5], при масштабе моделирования 1:50.

Арочная крепь моделировалась конструкцией из трех элементов – верхняка и двух стоек. Элементы изготавливались из полосы латунной фольги шириной 10 мм. Замки имитировались при помощи полоски алюминиевой фольги шириной 6 мм и полоски изоляционной ленты такой же ширины. Соединение элементов крепи производилось внахлестку. В зависимости от усилий затяжки изоляционной ленты на соединении верхняка с ножками была определена податливость рамы, которая податливость начиналась при нагружении до 80% от предельной несущей способности (при 0,005-0,0055 МПа).

Затяжка крепи моделировалась полоской вощеной бумаги длиной 20 мм, шириной 5 мм и толщиной 0,8 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 при сооружении модели в маркирующих слоях кровли располагались 8 рядов реперов по 13 штук в каждом из них (рис. 1).

Из-за небольшой высоты стенда для принятого геометрического масштаба отсутствовала возможность моделирования всей толщи пород, залегающей над выработкой вплоть до поверхности. Поэтому вес недостающей части толщи горных пород заменялся пригрузкой, которая осуществлялась двумя прижимными винтами, располагаемыми в верхней части стенда (рис. 1).

При линейных размерах стенда 0,62x0,50x0,05 м с учетом геометрического масштаба моделирования ( $l_m / l_n = 1 / 50$ ) рассматривалась часть горного массива с размерами 0,50x0,44x0,025 м, что соответствовало участку горного массива 25,0x22,0x1,25 м. При реальных размерах выработки по высоте – 4,5 м и ширине – 5,20 м, в плоской модели с учетом геометрического масштаба высота выработки 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 [15].

Замеры давления в моделях осуществлялись динамометрами в виде пружинных весов (типа «Кантор») [4]. При выполнении замеров с помощью динамометра измерялась сила сопротивления трению для каждого датчика. Каждый замер давления представлял собой среднее значение из шести продергиваний динамометром металлического полотна датчика - по три раза с каждой стороны модели.

За период проведения лабораторных исследований было отработано 4 структурных модели из дискретных материалов.

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

Во всех моделях рассматривалась выемочная выработка, условия расположения которой соответствовали условиям залегания конвейерного штрука 2-й западной лавы пласта  $h_{10}$  «Ливенский» шахты им. М.И.Калинина.

В выемочной выработке модели №1 (рис. 2, а) использовалась традиционная бутовая полоса шириной 9,0 м.

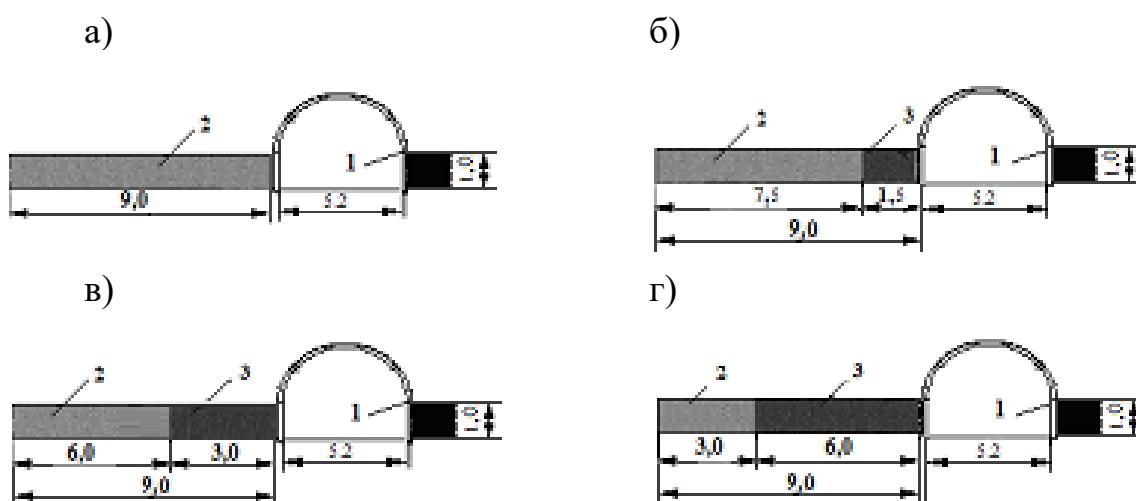


Рис. 2. Схема расположения опорных конструкций на сопряжении конвейерного штрука по сравниваемым вариантам охраны: 1 – арочная крепь; 2 – бутовая полоса; 3 – жесткий опорный элемент

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). 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).

Давление на эквивалентный материал в модели осуществлялось двумя рабочими винтами через прижимную планку (рис. 1) и его величина определялась из выражения [4]:

$$F_{\text{зат}} = 50 \cdot \Pi_{\text{круч}}, \text{Н}, \quad (1)$$

Режим приложения нагрузки в структурных моделях представлен в табл. 1.

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	550	-
Модель №3	10	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
Модель №4	10	10	100	150	200	250	300	350	400	459	500	550	600

Для определения усилий в датчиках трения, позволяющих установить давление на крепь подготовительной выработки, использовалось выражение [17]:

$$F = k_{\text{тр}} P, \text{Н} \quad (2)$$

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

$P$  – нормальное давление на датчик;

$k$  – коэффициент трения скольжения, который был принят равным 0,25.

Перед началом испытания модели с помощью динамометра измерялась сила сопротивления трению для каждого датчика. Давление на датчик трения на каждом из этапов приложения нагрузки определялось по формуле:

$$P = F / k_{\text{тр}}, \text{Н} \quad (3)$$

На рис. 3 представлены фотографии, иллюстрирующие режим нагружения (начальный – а, конечный – б) структурной модели №1 в которой для охраны конвейерного шtreка применялась бутовая полоса шириной 9,0 м. Давление в модели (согласно табл. 1) варьировалось от 50 до 600 Н.

На рис. 4 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. Давление в модели (согласно табл. 1) изменялось от 50 до 600 Н.

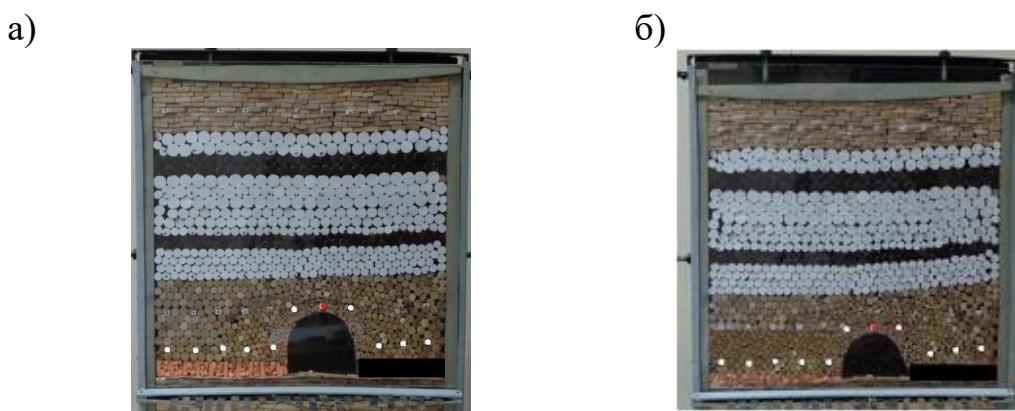


Рис. 3. Общий вид модели №1 на начальном (а) и конечном (б) этапах нагружения для средней части выработки (репер №6)

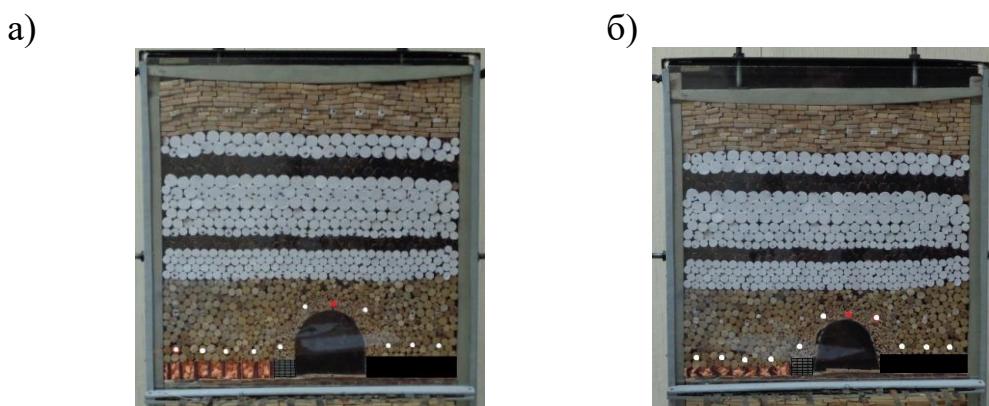


Рис. 4. Общий вид моделей на начальном (а) и конечном (б) этапах нагружения для средней части выработки (репер №6)

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.

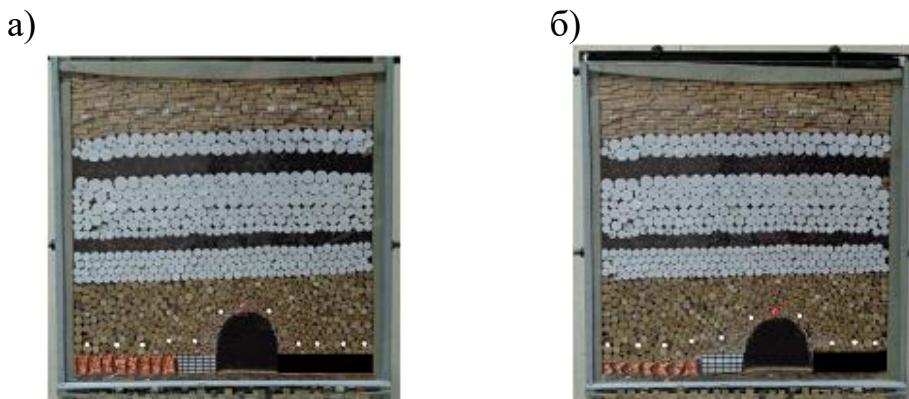


Рис. 5. Общий вид модели №3 на начальном и конечном этапах нагружения для средней части выработки (репер №6)

На рис. 6 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.

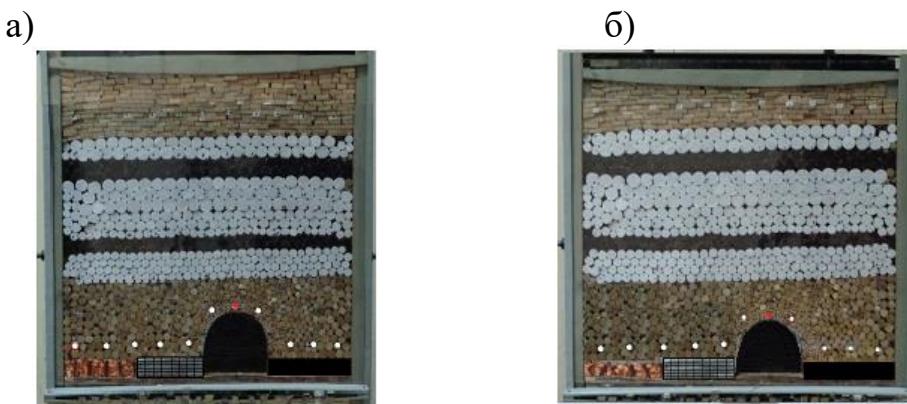


Рис. 6. Общий вид модели №4 на начальном и конечном этапах нагружения для средней части выработки (репер №6)

На рис. 7 приведены совмещенные графики зависимости средних вертикальных смещений комплектов основной крепи выработки в средней части выработки (репер №6) в зависимости от давления в моделях № 1 - 4.

Анализ полученных результатов показывает существенное отличие величин вертикальных смещений кровли в рассмотренных моделях (рис. 7).

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. 3) при минимальной нагрузке – 190 кПа (рис. 7). 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.

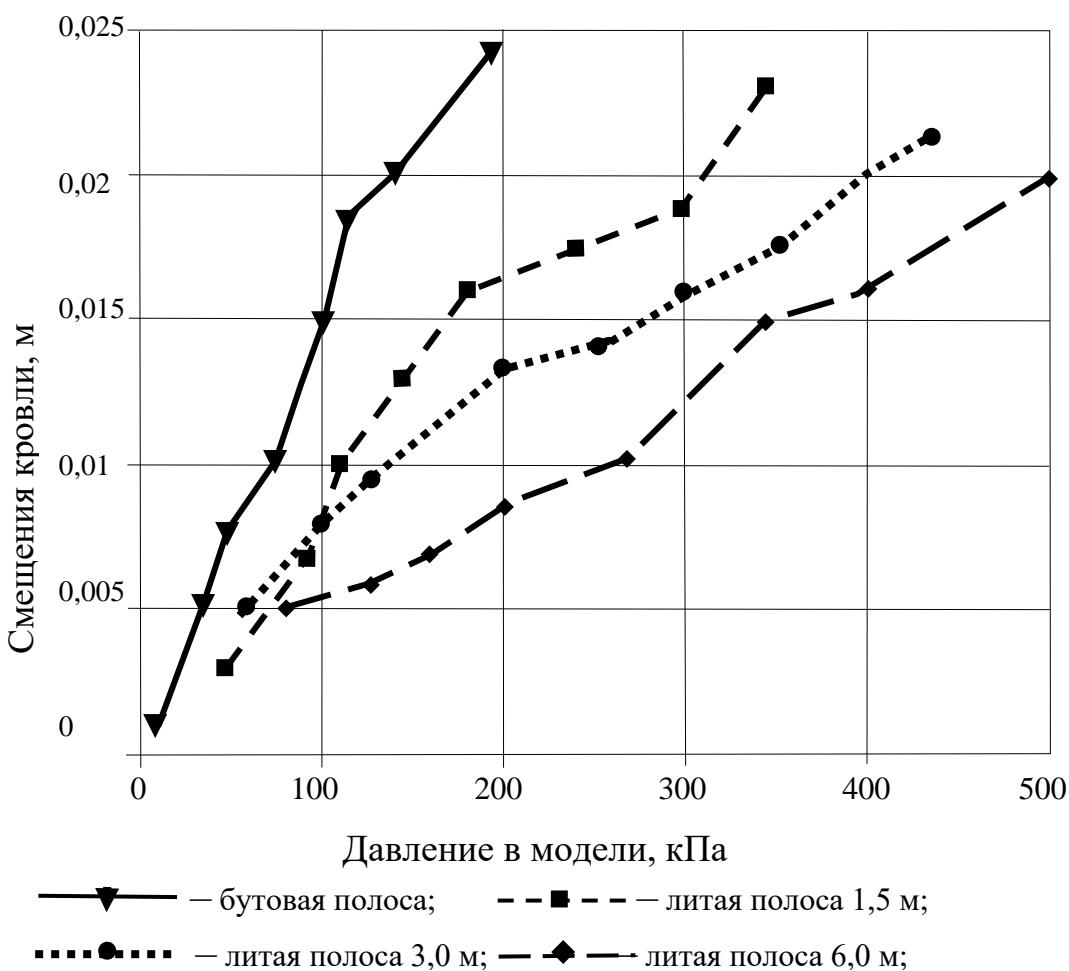


Рис. 7. Графики зависимостей смещений от давления в моделях №1-4

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 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 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 вертикальные 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.

### Список литературы

1. Худин, Ю.Л. Бесцеликовая выемка пластов / Ю.Л. Худин, М.И. Устинов, А.В. Брайцев, К.А. Ардашев, Н.Н. Бажин и др. – М.: Недра, 1983. – 280с.
2. Черняк, И.Л., Ярунин, С.А. Управление состоянием массива горных пород [Текст] / И.Л. Черняк, С.А. Ярунин // М. : Недра, 1995. – 395с.
3. 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. - 235с.
4. Соловьев, Г. И. Лабораторные исследования особенностей механизма проявления горного давления на контуре выемочных выработок глубоких шахт [Текст] / Г. И. Соловьев, А. Л. Касьяненко [и др.] // Наукові праці ДонНТУ. Серия: «Горно-геологическая» – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2010. – вып. 11(161) – С. 100-107.
5. Глущихин, Ф.П. Моделирование в геомеханике [Текст] / Ф.П. Глущихин, Г.Н. Кузнецов, М.Ф. Шклярский и др. – М.: Недра, 1991. – 240с.