

УДК 622.831.312

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОДОЛЬНО-БАЛОЧНОЙ КРЕПИ УСИЛЕНИЯ В КОНВЕЙЕРНОМ ШТРЕКЕ

Гнидаш М. Е., студент гр. РПМ-13б,
Панин Ф. В., студент гр. РПМ-14,
Соловьев Г. И., канд. техн. наук, доц., науч. рук.
(ГОУВПО «ДОННТУ», г. Донецк, ДНР)

Представлены результаты лабораторных исследований на структурных моделях по оценке эффективности применения жесткой продольной связи комплектов основной крепи конвейерного штрека для обеспечения его устойчивости. Установлено, что продольно-балочная крепь усиления без применения и в сочетании с анкерной крепью обеспечивает снижение вертикальных смещений пород кровли конвейерного штрека соответственно в 1,77–1,25 и в 2,19–1,4 раза по сравнению с обычной технологией.

Ключевые слова: лабораторные исследования, структурная модель, продольная балка, крепь усиления, арочная крепь, анкер, смещения пород кровли, пружинный динамометр, датчик трения, репер.

Актуальность работы. В настоящее время поддержание подготовительных выработок глубоких шахт Донбасса в значительной степени осложняется повышенным горным давлением в зоне влияния очистных работ, что является причиной увеличения затрат на выполнение работ по ремонту и перекреплению выемочных выработок, роста объемов ручного труда, аварийности и травматизма горнорабочих [1–7].

Натурные наблюдения за проявлениями горного давления и особенностями механизма деформирования боковых пород на контуре подготовительных выработок являются основным источником получения достоверной информации для разработки и совершенствования новых способов и средств обеспечения устойчивости выработок. Однако сложность организации и проведения экспериментальных работ является их существенным недостатком, что затрудняет или делает невозможным проведение

Штрек проводился буровзрывным способом тупиковым забоем с опережением лавы не более 20,0 м. Поперечное сечение конвейерного штрека в проходке, в свету до и после осадки соответственно составляло 27,8 м², 21,4 м² и 12,8 м². В качестве основной крепи использовалась металлическая арочная крепь КМП-А5-12,8. Продольно-балочная крепь усиления (ПБКУ) представляла собой отрезки спецпрофиля СВП-27 длиной по 4,5 м, которые соединялись между собой внахлест на 0,5 м двумя стандартными хомутами и подвешивались к верхняку каждой рамы крепи на двух металлических крючьях с планками и гайками (рис. 2).

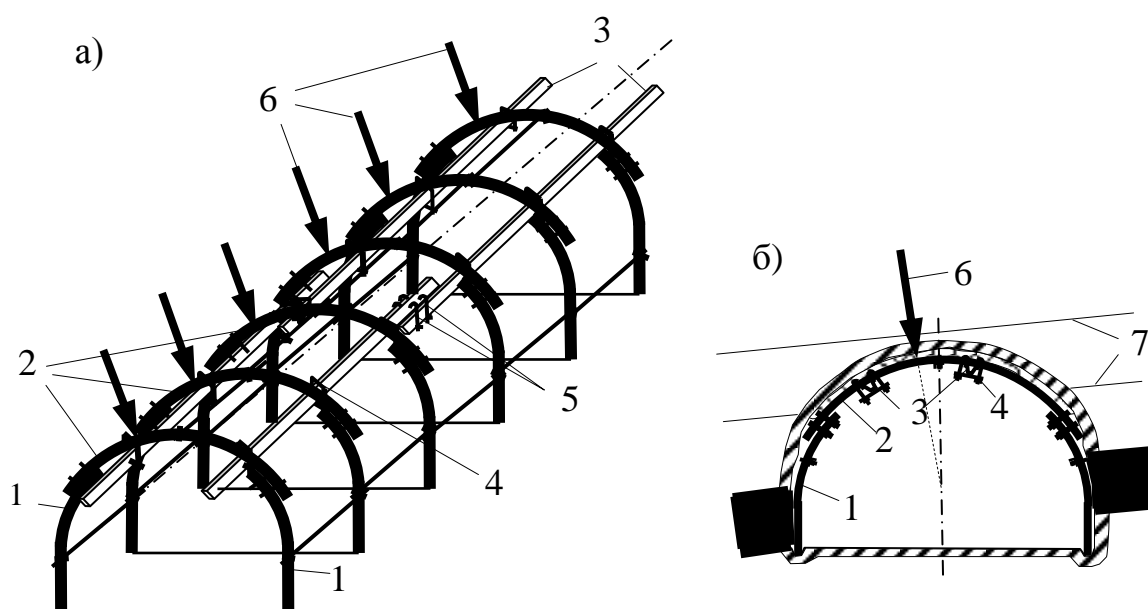


Рис. 2. Схема расположения двойной продольно-балочной крепи усиления по длине подготовительной выработки (а) и в ее поперечном сечении (б): 1 – стойки рам основной крепи; 2 – верхняки крепи; 3 – продольные балки усиливающей крепи; 4 – соединительные хомуты для подвешивания балки к верхнякам крепи; 5 – соединительные крючья с планками для связи отрезков балки; 6 – направление вектора максимального горного давления на раму крепи; 7 – плоскости напластования пород кровли

Опытная проверка продольно-балочной крепи (ПБКУ) проводилась в условиях 2-й западной лавы с 2012 по 2015 год. За это время были опробованы различные варианты конструкций усиливающей крепи: одинарная ПБКУ с расположением балки по центру верхняка; двойная ПБКУ с симметричным расположением балок относительно вертикальной оси выработки и расстоянии

между балками в поперечном сечении равным 2,5 м; двойная ПБКУ с асимметричным расположением балок по верхняку крепи, когда одна балка подвешивалась по центру верхняка, а вторая – по нормали к напластованию пород кровли.

Для моделирования использовался плоский стенд с линейными размерами $0,62 \times 0,50 \times 0,05$ м, который представлял собой жесткую рамную конструкцию, выполненную из отрезков швеллеров № 5 (рис. 3).

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

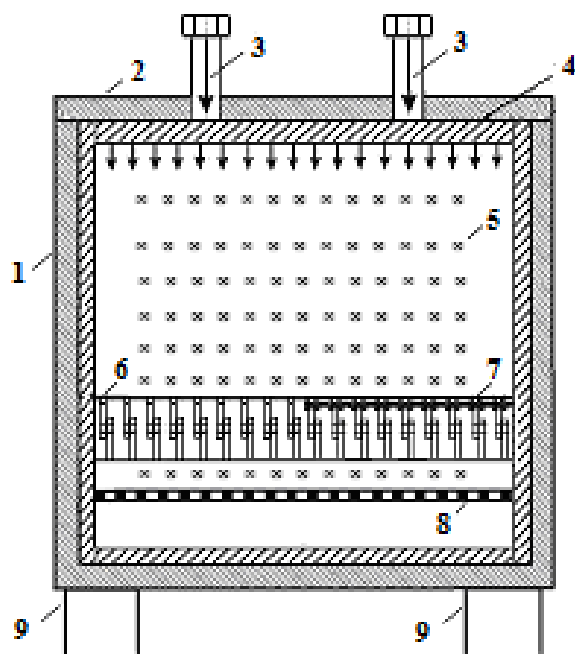


Рис. 3. Конструкция стенда для структурного моделирования:

- 1 – корпус стенда; 2 – верхняя крышка стенда; 3 – верхние прижимные винты; 4 – верхняя подвижная прижимная планка; 5 – реперы; 6 и 7 – комплекты основной крепи соответственно при отсутствии и при использовании продольно-балочной крепи усиления; 8 – датчики трения; 9 – опоры стенда

С задней стороны модели в качестве боковой опалубки 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. Верхняя часть модели (крышка) была выполнена съемной и соединялась с боковыми стойками с помощью четырех винтов (по 2 винта с каждой стороны).

В верхней части стенда были расположены два прижимных винта (рис. 3), которые передавали усилия на подвижную прижимную планку, равномерно нагружавшую эквивалентный материал модели.

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

Для эквивалентного материала, имитирующего породы кровли как зернисто-блочную среду, использовались деревянные цилиндры длиной равной 0,025 м и диаметром равным 0,008; 0,011; 0,014; 0,017; 0,02 м.

Подготовительная выработка располагалась по длине модели. Комплекты основной крепи устанавливались по длине выработки с шагом крепи 0,016 м, что в натуре соответствовало 0,8 м (рис. 3).

Комплект крепи представлял собой конструкцию, состоящую из податливой стойки и верхняка крепи (рис. 4).

Податливая стойка была изготовлена из двух деревянных брусков с размерами 0,1×0,025×0,005 м, которые были соединены между собой с нахлестом 0,04 м, что обеспечивало податливость каждой стойки равную 0,03 м.

Верхняк крепи был изготовлен из деревянных брусков с размерами 0,025×0,007×0,005 м. Все верхняки фиксировались на стойках крепи с помощью двух симметрично расположенных металлических шпилек, установленных на расстоянии 0,006 м от вертикальной оси стойки (рис. 4).

Продольная балка моделировалась прямолинейными отрезками алюминиевого прута диаметром 0,003 м и длиной по 0,09 м (4,5 м в натуре), которые соединялись между собой внахлест на 0,01 м (0,5 м в натуре) двумя витками медной проволоки (рис. 5). Для предотвращения продольных перемещений витков медной проволоки по отрезкам балки для них были выполнены кольцевые пропилы на балке.

Представленная на рис. 5 конструкция соединительных стыков продольной балки обеспечивала соосность и прямолинейность ее отрезков по длине выработки, а также позволяла разместить балку в пазах верхней части податливой стойки при ее подвешивании к верхнякам крепи.

Породы почвы в меньшей степени оказывающие влияние на деформационные процессы, протекающие в породах кровли без применения и при использовании продольно-балочной крепи усиления, были представлены плоскими деревянными пластинками с размерами 0,01×0,02×0,006 м, выкладываемые слоями в шахматном порядке (рис. 3).

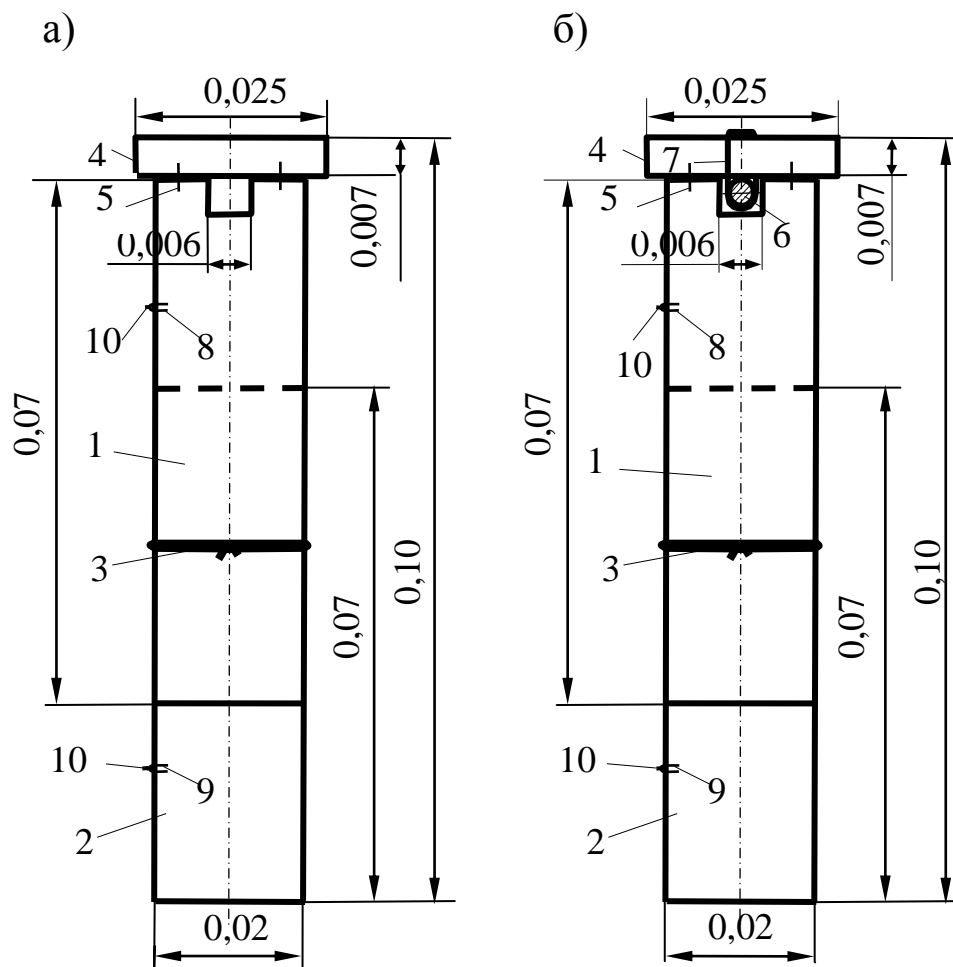


Рис. 4. Конструкция основной крепи (а) с балкой ПБКУ (б): 1, 2 – верхняя и нижняя части стойки основной крепи; 3 – замок крепи из 2-х витков медной проволоки; 4 – верхняк крепи; 5 – металлическая шпилька для фиксации верхняка на стойке крепи; 6 – продольная балка; 7 – хомут соединяющий верхняк и балку из одного витка медной проволоки; 8 и 9 – верхняя и нижняя металлические скобы для межрамных стяжек; 10 – межрамная стяжка из отрезка прочной шелковой нити

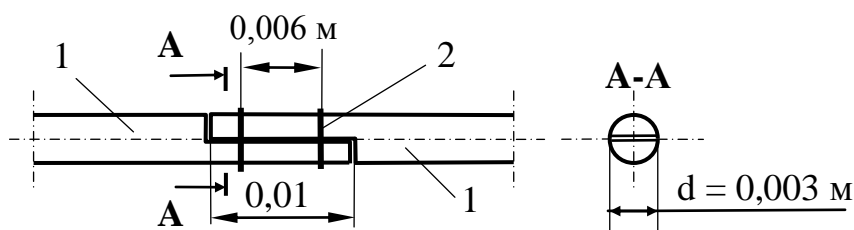


Рис. 5. Конструкция соединения отрезков продольной балки: 1 – отрезки жесткой продольной балки; 2 – соединительные хомуты из 2-х витков медной проволоки

Измерения смещений в модели осуществлялось с помощью 7 рядов реперов (в каждом по 13 штук), шесть из которых располагались в кровле и один в почве пласта (рис. 3).

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. 3).

При линейных размерах стенда $0,62 \times 0,50 \times 0,05$ м с учетом геометрического масштаба моделирования ($l_m / l_n = 1 / 50$) рассматривалась часть горного массива с размерами $0,50 \times 0,44 \times 0,025$ м, что соответствовало участку горного массива $25,0 \times 22,0 \times 1,25$ м.

Измерение нагрузок на основную крепь в модели осуществлялось с помощью 22 датчиков трения конструкции Н. И. Зори [14], которые располагались в почве пласта на расстоянии 0,03 м ниже выработки. Датчики были изготовлены из полосок металлической ленты шириной 0,01 м, расположенной между двумя отрезками стекла с размерами $0,05 \times 0,015$ м. Отрезки стекла составленным между ними металлическим полотном соединялись между собой двумя витками изоляционной ленты. На концах металлического полотна датчика имелись отверстия, в которые были вставлены металлические кольца из тонкой стальной проволоки диаметром 0,001 м, при помощи которых датчик соединялся с динамометром. Длина полотна каждого датчика составляла 0,12 м. Для фиксации датчика в модели по его концам располагались двусторонние упоры, закрепленные на внешних сторонах стекол изоляционной лентой. Датчики по длине модели располагались в один ряд с размещением их под стойками основной крепи выработки.

Для выполнения замеров давления в моделях применялись динамометры в виде пружинных весов (типа «Кантор»), которые обычно используются в практике эквивалентного моделирования [11–13]. Для удобства выполнения замеров на этих весах была снято верхнее стекло и добавлена нижняя стрелка-указатель, располагающаяся под рабочей стрелкой весов. При взвешивании стрелка-указатель перемещалась стрелкой динамометра на

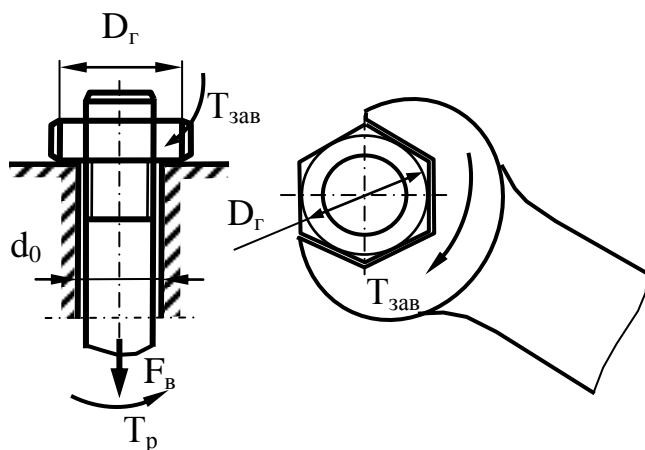


Рис. 6. Схема к определению момента затяжки резьбового соединения

максимальное значение и оставалась на месте после прекращения замера и возвращения на нулевую позицию основной стрелки.

На рис. 6 приведена схема резьбового соединения для определения величины давления, создаваемого рабочими винтами в структурной модели (рис. 3).

Крутящий момент на ключе идет на преодоление

момента, создаваемого силой трения торца гайки о неподвижную опорную поверхность стягиваемых деталей и момента сопротивления в резьбе и определяется из выражения:

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

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 можно найти как:

$$M_T = F_{ZAT} \cdot f_T \cdot R_{TR}, \quad (2)$$

где F_{ZAT} – 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 можно найти как:

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

где d_0 – диаметр сверления под болт, м;

D – диаметр опорной поверхности гайки, головки болта (винта), который можно принимать равным размеру «под ключ», м;

Момент сопротивления в резьбе можно найти как:

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

где d_2 – средний диаметр резьбы, м, который определяется 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;

β – угол подъема винтовой линии, град.

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

ρ – угол трения резьбовой пары, град.

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

где f_R – коэффициент трения 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 осуществляется на эквивалентный материал двумя рабочими винтами через прижимную планку, можно определить как усилие затяжки винтов. После преобразования выражения (9) с учетом (2–8) получим:

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

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

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

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

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

Давления на крепь подготовительной выработки определялось с помощью датчиков трения из выражения [17]:

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

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

P – нормальное усилие на датчик; Н;

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

Перед началом испытания модели с помощью динамометра измерялась сила сопротивления трению для каждого датчика.

Давление на каждый датчик в массиве определялось как:

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

где S – площадь датчика трения, м^2 .

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

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

Согласно выражению (14) осуществлялся поэтапный режим приложения нагрузки на три структурные модели (табл. 1).

Таблица 1

Значения величины давления в структурных моделях

Название показателей	Поэтапное повышение давления в модели, кПа												
	P_0	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}	P_{11}	P_{12}
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

За время моделирования всего было отработано три структурных модели из дискретных материалов.

Во всех моделях рассматривалась выемочная выработка, условия расположения которой соответствовали условиям залегания конвейерного штрека 2-й западной лавы пласта h_{10} «Ливенский» шахты им. М. И. Калинина (рис. 1).

Перед отработкой всех трех моделей производилось начальное нагружение массива модели для создания в нем 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 затяжки модели рабочими винтами согласно выражения (14) и данных табл. 1 принято, что величина первоначального давления в модели составляла $P_0 = 10$ кПа. Во всех моделях, давление изменялось от 50 до 600 кПа.

На рис. 7 представлены фотографии, иллюстрирующие режим нагружения (начальный – а, конечный – б) структурной модели № 1 без применения крепи усиления.

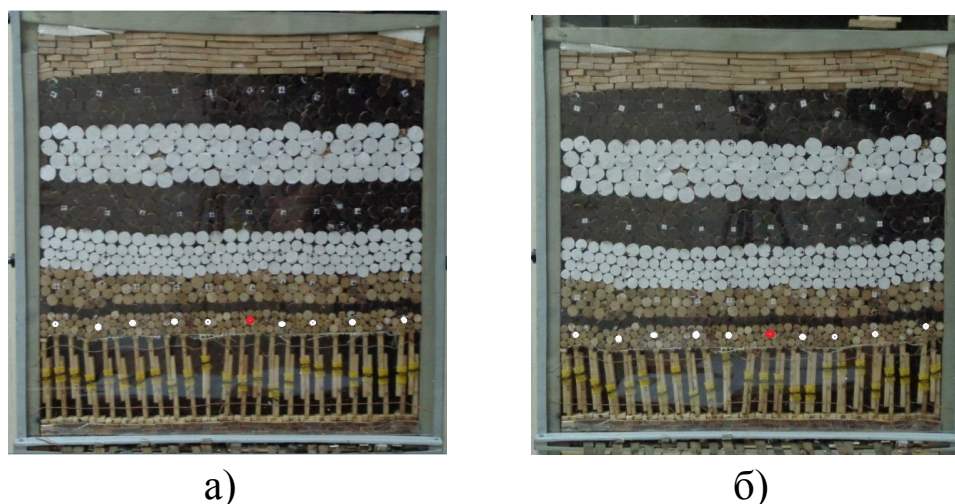


Рис. 7. Общий вид модели №1 на начальном (а) и конечном (б) этапах нагружения для средней части выработки (репер №6)

В структурной модели № 2 (рис. 8) комплекты основной крепи были взаимоувязаны по длине выработки продольно-балочной крепью усиления.

В модели № 3 комбинированная крепь усиления состояла из продольно-балочной крепи усиления и одного ряда химических

анкеров длиной по 3,0 м (рис. 9), устанавливаемых с шагом 1,6 м и наклоном 20° от вертикали в сторону подвигания лавы.

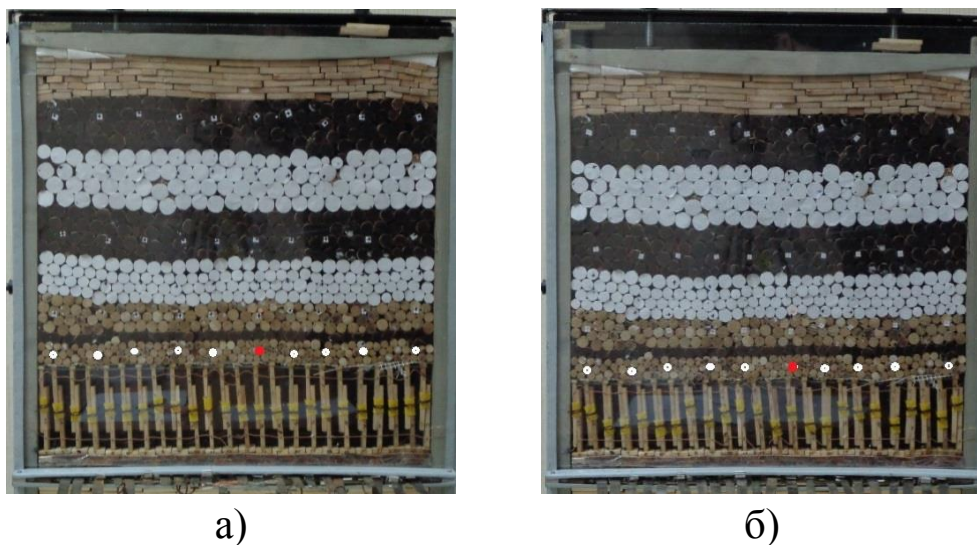


Рис. 8. Общий вид моделей на начальном (а) и конечном (б) этапах нагружения для средней части выработки (репер №6)

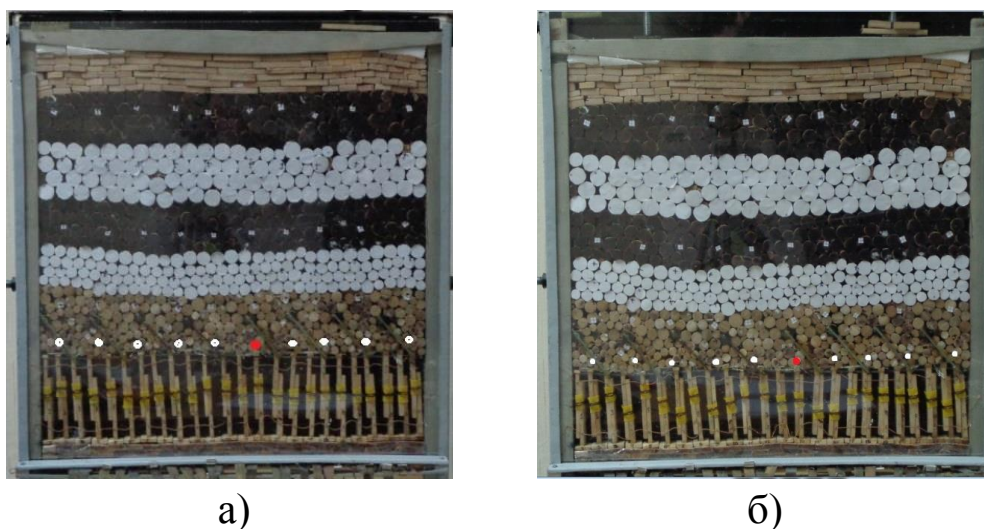


Рис. 9. Общий вид модели № 3 на начальном и конечном этапах нагружения для средней части выработки (репер №6)

Анкеры закреплялись между породными отдельностями кровли (деревянными цилиндрами) с помощью клея ПВА

На рис. 10 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 и 3.

Анализ полученных результатов показывает, что в зоне влияния очистных работ при традиционной разобранной схеме работы комплектов арочной крепи по длине конвейерного штрека каждый комплект крепи из-за перекосов, заклиниваний и разрыва замков крепи переходит в жесткий режим работы. При этом запредельные деформации разрушающегося комплекта крепи сопровождаются интенсивными смещениями пород кровли, почвы и боков в полость выработки.

Из графика 1 рис. 10 видно, что при шахтной технологии поддержания выработки при начальном давлении (200 кПа) смещения пород кровли составили 0,013 м, а при давлении 400 кПа величина смещений составила 0,023 м. При максимальном давлении 420 кПа, при котором основная крепь исчерпала свою податливость и перешла в жесткий режим работы, величина вертикальных смещений достигла 0,025 м. Условная жесткость крепи при начальном нагружении составила 15385 кПа/м, а при максимальной нагрузке – 18260 кПа/м или возросла в 1,19 раза.

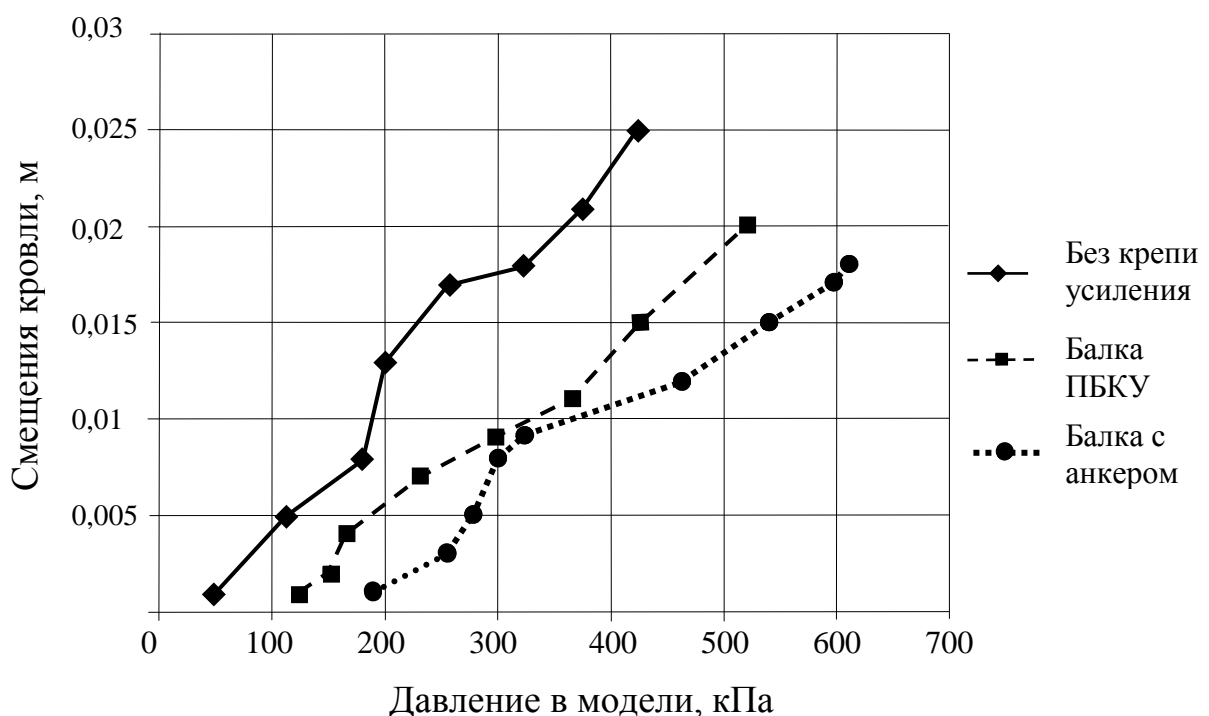


Рис. 10. Графики зависимостей смещений от давления в моделях №1, 2 и 3

При использовании продольно-балочной крепи усиления, обеспечивающей жесткую связь комплектов основной крепи в продольно-поперечном направлении выработки, при давлении в модели 200 кПа вертикальные смещения составили 0,0055 м (в 2,4 раза ниже, чем при обычной технологии поддрожения). При давлении 400 кПа величина смещения составили 0,013 м (ниже в 1,77 раза), а при максимальном давлении 520 кПа смещения были равны 0,02 м (ниже в 1,25 раза). При этом жесткость конструкции «основная крепь – продольная балка» при начальном нагружении составила 36363 кПа/м, при нагрузке 400 кПа – 30769 кПа/м, а при максимальном давлении – 26000 кПа/м или возросла в 1,42 раза по сравнению с первой моделью.

Применение комбинированной продольно-балочно-анкерной крепи усиления позволило повысить эффективность работы комплектов основной крепи и обеспечить снижение величины вертикальных смещений пород кровли. При давлении 200 кПа смещения составили 0,0015 м (в 8,7 раза ниже, чем при обычной технологии поддрожения). При давлении 400 кПа смещения составили 0,0105 м (ниже в 2,19 раза), а максимальное смещение кровли равное 0,018 м (ниже в 1,4 раза) было достигнуто при давлении 610 кПа. При этом жесткость конструкции «основная крепь – продольная балка» при начальном нагружении составила 133333 кПа/м, при нагрузке 400 кПа жесткость была равна 38095 кПа/м, а при максимальной нагрузке – 33889 кПа/м или возросла в 1,86 раза по сравнению с первой моделью.

Выводы. Таким образом, из представленных результатов моделирования видно, что продольно-балочная крепь усиления без применения и при использовании сталеполимерных анкеров обеспечивает снижение вертикальных смещений пород кровли в 1,77 и 1,25 раза и в 2,1 и 1,4 раза по сравнению с шахтной технологией поддержания выработки соответственно при давлении 400 кПа и при максимально достигнутом давлении в моделях.

Это позволяет сделать вывод о том, что продольно-балочная крепь усиления обеспечивает торможение деформационных процессов в зоне неупругих деформаций породных отдельностей непосредственной кровли и способствует перераспределению по-

вышенной и неравномерной нагрузки между комплектами крепи по длине выработки.

Предлагаемый способ обеспечения устойчивости подготовительной выработки отличаются простотой конструкции, незначительными затратами на его реализацию и отсутствием zagrożения поперечного сечения выработки на участке ее сопряжения с лавой.

Полученные результаты подтверждают эффективность применения продольно-балочной крепи усиления для обеспечения устойчивости интенсивно деформирующихся конвейерных штреков, что предоставляет возможность дальнейшего совершенствования данного способа путем уточнения его параметров для конкретных условий применения.

Библиографический список

1. Заславский, Ю. З. Исследование проявлений горного давления в капитальных выработках глубоких шахт Донецкого бассейна [Текст] / Ю. З. Заславский – М. : Недра, 1966. – 180 с.
2. Заславский, И. Ю. Повышение устойчивости подготовительных выработок угольных шахт [Текст] / И. Ю. Заславский, В. Ф. Компанец, А. Г. Файвишенко, В. М. Клещенков. – М. : Недра, 1991. – 235 с.
3. Литвинский, Г. Г. Стальные рамные крепи горных выработок [Текст] / Г. Г. Литвинский, Г. И. Гайко, М. И. Кулдыркаев. – К. : Техника, 1999. – 216 с.
4. Бабиюк, Г. В. Управление надежностью горных выработок: монография [Текст] / Г. В. Бабиюк. – Донецк: «Світ книги», 2012. – 420 с.
5. Черняк, И. Л. Повышение устойчивости подготовительных выработок [Текст] / И. Л. Черняк. – М. : Недра, 1993. – 256 с.
6. Черняк, И. Л. Управление состоянием массива горных пород [Текст] / И. Л. Черняк, С. А. Ярунин. – М. : Недра, 1995. – 395 с.
7. Якоби, О. Практика управления горным давлением [Текст] / О. Якоби. – М. : Недра, 1987. – 566 с.
8. Соловьев, Г. И. О результатах опытно-промышленной проверки эффективности способа продольно-жесткого усиления арочной крепи выемочных выработок глубоких шахт [Текст] / Г. И. Соловьев // Геотехнічна механіка: Міжвід. збірн. наук. праць. ІГТМ ім. М.С.Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2005. – Вип. 61. – С. 274–284.
9. Соловьев, Г. И. Определение параметров силового взаимодействия арочной крепи и жесткой продольной балки [Текст] / Г. И. Соловьев // Вісті Донецького гірничого інституту. – Донецк, 2005. – №2. – С. 90–100.

10. Соловьев, Г. И. Особенности физической модели самоорганизации боковых пород на контуре выемочной выработки при продольно-жестком усилении арочной крепи [Текст] / Г. И. Соловьев // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ, 2006. – №1. – С. 11–18.

11. Соловьев, 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.

12. 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.

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

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

Gnidash M. E., Panin F. V., Solovyev G. I.

(SEI HPE «Donetsk national technical university», Donetsk, DPR)

LABORATORY STUDIES OF THE EFFICIENCY USE OF A LONG-BALTIC STRENGTH ENHANCEMENT IN A CONVEYOR ROADWAY

The results of laboratory studies on structural models on the effectiveness of the use of rigid longitudinal connection of sets of main lining of the conveyor roadway to ensure its stability are presented. It has been established that longitudinal girder reinforcement without use and in combination with anchor lining provides a reduction in vertical displacements of roof rocks of the conveyor roadway, respectively, 1.25-1.66 and 1.92-2.38 times compared to regular technology.

Keywords: laboratory studies, structural model, longitudinal beam, strengthening support, arch support, anchor, roof rock displacements, spring dynamometer, friction sensor, mark.