

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПЛЕНИЯ И ОХРАНЫ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ «ПАРТИЗАНСКАЯ» ГП «АНТРАЦИТ»

*Е.А. Сдвижкова, А.В. Солодянкин, И.Н. Попович, И.В. Дудка,  
«Национальный горный университет, Украина»*

Приведены результаты исследования геомеханических процессов на сопряжении подготовительных выработок с очистным забоем в условиях шахты «Партизанская» ГП «Антрацит». Визуальные наблюдения и численное моделирование напряженно-деформированного состояния породного массива показали, что традиционный способ охраны штреков угольными целиками не обеспечивает их достаточной устойчивости. Предложен способ крепления и охраны выработок с использованием анкеров и твердеющей смеси «Текхард» и выполнена оценка его эффективности.

Основными направлениями развития угольной отрасли являются оптимизация технологии добычи и повышение нагрузки на очистные забои. При этом немаловажным фактором является сокращение затрат на поддержание подземных выработок и уменьшение потерь угля в целиках. Решение поставленной задачи достигается за счет применения высокотехнологичного оборудования и рациональных способов крепления и охраны выработок. Разработка новых технических решений в сложных условиях шахт Украины требует глубокого геомеханического обоснования.

В настоящее время отработка угольного пласта  $h_{10}$  на шахте «Партизанская» ГП «Антрацит» осуществляется прямым ходом с охраной подготовительных выработок угольными целиками. В частности, такой способ охраны применяется для промштрека 205-й западной лавы, который проводится с опережением забоя лавы на 180-200 м. Вприсечку к выработанному пространству лавы за промштреком по пласту угля проводится конвейерный штрек (рис. 1) с оставлением целика шириной 5 м.

Традиционно полагалось, что, несмотря на значительные потери угля в целиках, такой способ охраны в сочетании с арочной металлической крепью является наиболее предпочтительным, поскольку обеспечивает достаточную устойчивость подготовительной выработки на сопряжении с лавой и при дальнейшей эксплуатации.

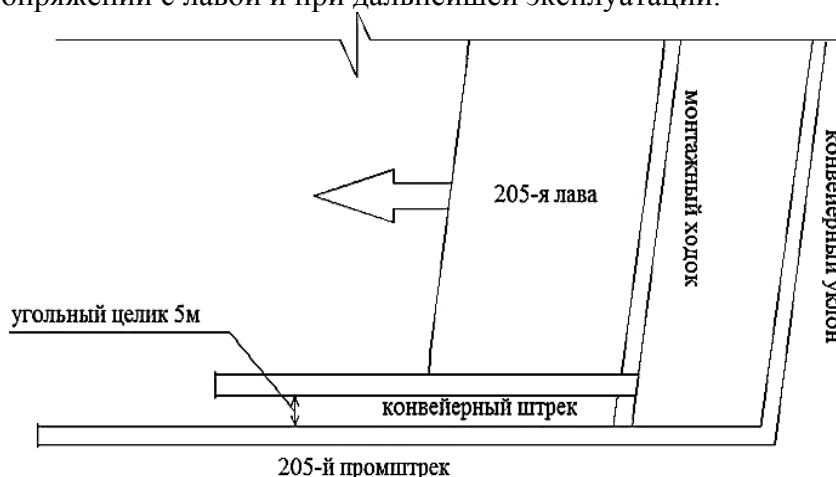


Рис. 1. Схема проведения промштрека 205-й западной лавы пласта  $h_{10}$

Однако с увеличением глубины разработки участились случаи вывалов пород и разрушения элементов крепи при попадании сечения штрека в зону опорного давления впереди движущегося забоя лавы. Таким образом, проблема потерь угля в оставляемых целиках усугубляется затратами на ремонт подготовительных выработок при воздействии повышенного горного давления.

Целью данных исследований является изучение геомеханических процессов, которые имеют место в горно-геологических условиях шахты «Партизанская» при обнажении горных пород подготовительными и очистными выработками и разработка на этой основе технических решений по совершенствованию методов крепления и охраны участков выработок. Исследования направлены на уменьшение металлоемкости крепи, повышение устойчивости выработки и снижение объемов работ, связанных с поддержанием выработки вслед за проходом лавы.

*Постановка задачи.* Комплекс изыскательских работ, выполняемых на шахте «Партизанская» включает визуальные и инструментальные наблюдения за деформациями горных пород в выработках, а также математическое моделирование изменений напряженно-деформированного состояния (НДС) пород на различных этапах развития очистных работ и сооружения выработок. В данной статье основное внимание уделено математическому (численному) моделированию.

С точки зрения механики горных пород оценка взаимного влияния участков выработок и забоя лавы, определение нагрузки на крепь и охранные элементы в зоне сопряжения лавы и штрека представляют собой сложную научную задачу, решение которой является актуальным и с теоретической и с практической точки зрения, поскольку является необходимым элементом при выборе средств крепления и охраны выработок.

Применительно к поставленной задаче совершенствования способа крепления участков выработок на сопряжении с лавой, моделирование геомеханических процессов в окрестности выработки разбито на два этапа:

- моделирование поведения массива при существующем способе крепления и охраны с целью калибровки деформационной модели породной среды и выявления особенностей деформирования пород, характерных для данных горно-геологических и горно-технических условий;
- моделирование поведения массива при альтернативном способе крепления и охраны выработок в условиях, где они будут проводиться.

Таким образом, первый этап направлен на адаптацию расчетного алгоритма и отражения в нем реальных свойств пород в известных условиях. На втором этапе на основе адаптированной модели среды выполняется прогноз поведения массива в новых условиях.

*Численное моделирование геомеханических процессов при традиционном способе крепления и охраны выработки.* Анализ НДС массива выполняется методом конечных элементов на основе лицензионной программы PHASE2 [1]. Вертикальная составляющая начального поля напряжений, создаваемого весом вышележащих пород для заданной глубины принималась равной

$$\sigma_y = \gamma \cdot H = 25 \text{ МПа} \quad (1)$$

Здесь  $\gamma = 25 \text{ кН} / \text{м}^3$  – объемный вес пород,  $H$  – глубина разработки, равная 1000 м на данном горизонте. Принимается гипотеза о гидростатическом сжатии. Задача решается в упругопластической постановке. Граница выработок свободна от напряжений. Изначально моделируется нетронутый породный массив (стадия 1), затем путем изменения граничных условий имитируется проведение протяженной одиночной выработки (промштрека 205-й западной лавы пласта  $h_{10}$ ) в рамках гипотезы о плоской деформации (стадия 2). Затем с учетом сформировавшегося поля напряжений и реализовавшихся пластических деформаций моделировалось образование следующей выработки (конвейерного штрека) с оставлением охранного угольного целика шириной 5 метров (стадия 3). Таким образом, имитируется проведение выработки в зоне разгрузки, что имеет место в реальной ситуации. На стадии 4 для учета влияния опорного давления впереди движущегося забоя лавы вводится так называемый коэффициент пригрузки  $K_{пр} = 1,3$ , величина которого обоснована из рассмотрения 3D-модели шахтного поля [2]. С помощью коэффициента пригрузки изменяются условия на вертикальной границе области, т.е. реальная глубина расположения промштрека и конвейерного штрека увеличивается:

$$H_p = K_{np} H = 1300 \text{ м.} \quad (2)$$

На стадии 5 моделируется сопряжение конвейерного штрека с лавой (рис. 2). На каждой последующей стадии учитываются деформации, реализованные на предыдущей стадии.

В кровле пласта согласно стратиграфической колонке смоделирован трещиноватый песчано-глинистый сланец. Предел прочности на сжатие с учетом ослабления за счет трещин [3], составляет 34 МПа. В почве пласта смоделирован менее трещиноватый и более прочный сланец песчаный с пределом прочности 64 МПа. Прочность угля составляет 20 МПа.

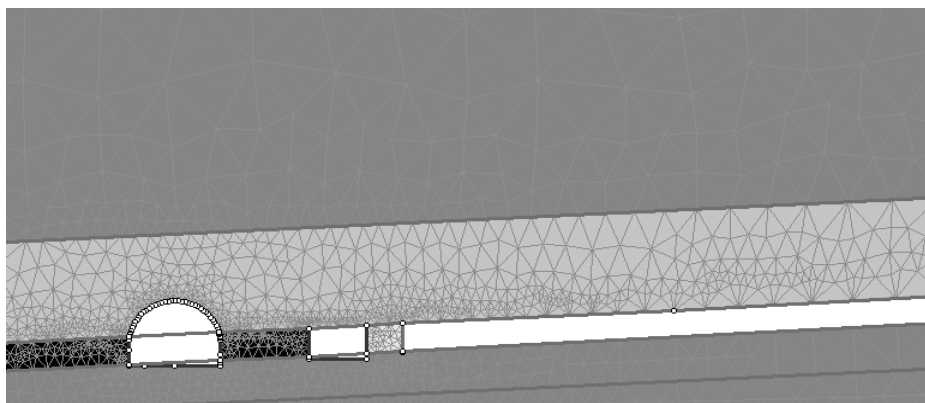


Рис. 2. Расчетная схема к решению плоской задачи о НДС породного массива в момент сопряжения лавы с конвейерным штреком (стадия 5).

Анализируются изменения напряженного состояния массива на каждом этапе моделирования. С практической точки зрения интерес представляет определение области массива, где породы перешли в неупругую стадию деформирования. Именно породы, заключенные в этой зоне (зоне разрушения), создают нагрузку на крепь выработок. В данной работе зоны разрушения определяются на основе хорошо апробированного критерия прочности Хока-Брауна [4], который позволяет оценить степень разрушения породы в рассматриваемой точке среды от совокупного воздействия нормальных и касательных напряжений, учитывая при этом природную и техногенную нарушенность пород. Количественные параметры, входящие в критерий, выбираются из базы данных RockLab, прилагаемой к вычислительному модулю PHASE2, на основе визуальных обследований степени нарушенности пород в проводимой выработке.

На рис. 3 в цветовой гамме показаны зоны неупругих деформаций (разрушения) в соответствии с критерием Хока – Брауна на различных стадиях формирования выработок.

Из рис. 3 видно, что при проходе промштрека вне зоны влияния очистных работ вокруг него образуется зона разрушения, размер которой по нормали к напластованию составляет 4,3 м. При ширине выработке 5,09 м площадь разрушения составляет 21,8, а вес пород, создающий нагрузку на 1 м выработки составляет 530 кН. Такая нагрузка сопоставима с несущей способностью крепи КМП-АЗРЗ-13,4 ( $P = 550 \text{ кН/м}$ ), традиционно применяемой на шахте «Партизанская».

Проведение конвейерного штрека на расстоянии 5 м не вносит существенных изменений в напряженное состояние массива до момента попадания сечения выработок в зону влияния очистных работ. Но при приближении лавы к рассматриваемому сечению штреков и воздействии опорного давления от очистного забоя зона разрушения вокруг выработки увеличивается до 26 м, соответственно нагрузка на крепь достигает 700 кН/м, что уже превышает несущую способности крепи КМП-АЗРЗ-13,4 и требует установки дополнительных усиливающих элементов, в частности деревянных ремонтин.

Когда штрек находится в окне лавы, разрушением охвачена большая область, формирующаяся и над штреком и над очистной выработкой. Непосредственно над

промштреком высота зоны разрушения достигает 6,2 м, следовательно, нагрузка на крепь возрастает до 900 кН/м. Это почти в 2 раза больше несущей способности крепи КМП-АЗРЗ-13,4, а также превышает суммарный отпор рамы крепи и деревянной ремонтинь.

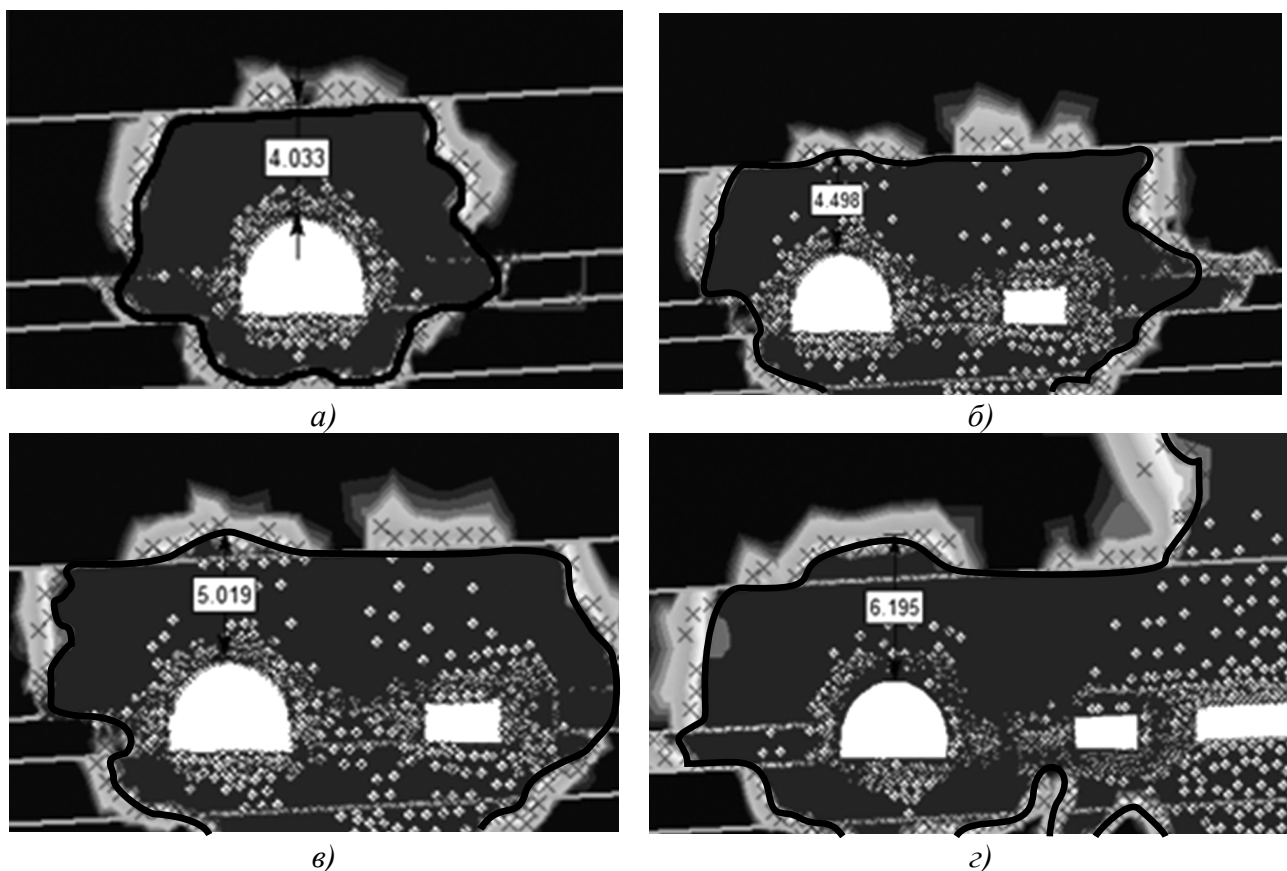


Рис. 3. Зоны разрушения: *а* – при проведении одиночной выработки (промштрека), *б* – при проведении конвейерного штрека, *в* – при воздействии волны горного давления, *з* – при подходе лавы

При установке рам с шагом 1 м каждая рама перегружена, работает в критическом режиме на исчерпание своей податливости и несущей способности. В таких условиях возможны разрушения элементов крепи, вывалы пород кровли и боков. Таким образом, на рассматриваемой глубине отработки (1000 м) охрана выработки целиком угля не обеспечивает эксплуатационную устойчивость промштрека. Таким образом, не оправдывают себя потери угля в целике и затраты на проведение и поддержание конвейерного штрека.

*Моделирование альтернативного способа крепления и охраны выработки.* Альтернативным вариантом является отказ от проведения конвейерного штрека и оставления угольного целика между ним и промштреком. Рассматривается вариант крепления промштрека комбинированной рамно-анкерной крепью с использованием сталеполлимерных анкеров (между рамами крепи). Охрану выработки в окне лавы предполагается осуществлять полосой «Текхард» шириной 1,5 м. На данном этапе исследований ставится задача оценить эффективность работы анкерной крепи в сочетании с охранным элементом из твердеющего материала.

Сталеполлимерные анкера имитировались средствами программы PHASE 2 как стальные стержни, закрепленные в массиве полимером по всей длине. Для этого использованы специальные конечные элементы «interface» соответствующей жесткости, контактирующие с узлами основной конечно-элементной сетки.

Как и в предыдущей задаче, решение также осуществлялось путем организации нескольких стадий, имитирующих последовательность горных работ: проходку штрека, установку анкеров, влияние волны горного давления до подхода лавы, сопряжение

штрека с лавой (рис. 4). При этом основной анализируемой величиной являются смещения контура штрека, поскольку именно на уменьшение смещений направлено анкерование пород.

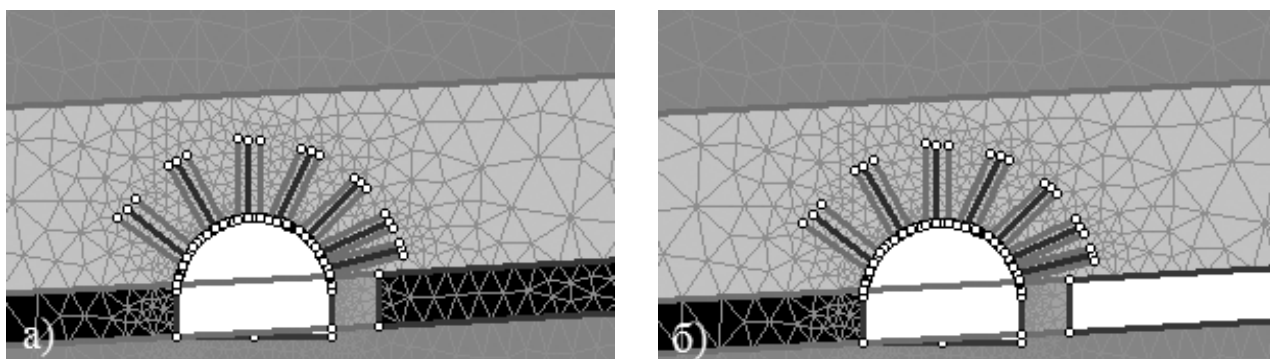


Рис. 4. Расчетные схемы для определения смещения контура выработки: *а* – штрек вне зоны очистных работ, *б* – штрек в окне лавы

На рис. 5 показаны свободные смещения незакрепленной выработки и смещения, которые имеют место после установки анкеров при проходке штрека.

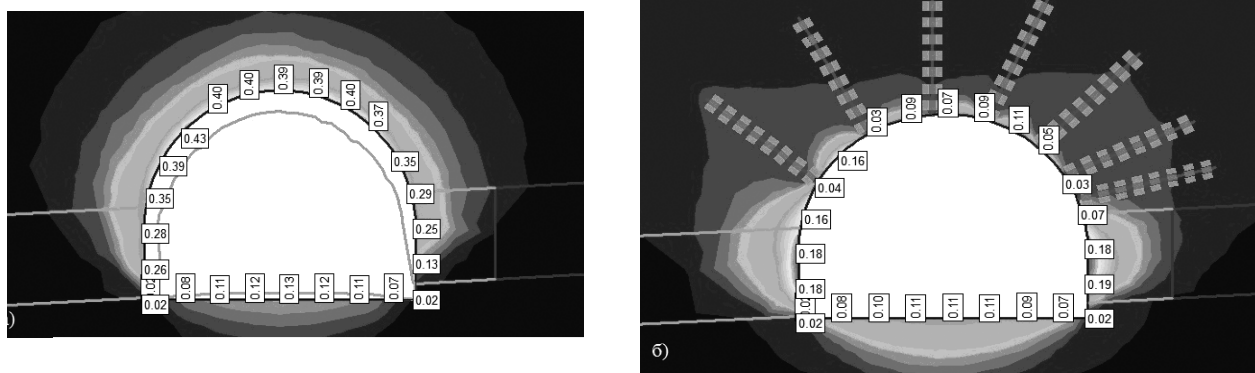


Рис. 5. Смещения пород на контуре выработки: *а* – свободные, *б* – с установкой анкеров

Из рисунков видно, что в районе бровки при установке сталеполимерных анкеров смещения на контуре выработки уменьшились, особенно в местах их непосредственной установки (от 0,35 м вплоть до 0,03 м), а в кровле выработки смещения уменьшились на 70...75 % ( от 0,40 до 0,07...0,09 м). Ниже анкеров, в угольном пласте смещения стабилизируются на уровне 0,18...0,19 м. Установка анкеров также повлияла и на смещения в почве, но не значительно.

При попадании сечения промштрека в окно лавы интенсивность смещений значительно возрастает. На рис. 6 показаны векторы смещений в незакрепленной выработке. Как и следовало ожидать, наибольшие смещения развиваются со стороны лавы и достигают 0,6...0,7 м.

На рис. 7 показаны смещения контура выработки при установке двух сталеполимерных анкеров в бровке. Их инсталляция уменьшает смещения в местах их непосредственной установки от 0,57...0,6 м до 0,18...0,26 м. Очевидно, что удержание пород только над бровкой не способствует стабилизации перемещений по всему контуру выработки.

Для создания несущей породно-анкерной конструкции в кровле выработки предполагается установить 5 дополнительных анкеров с расстоянием 1,5 м между ними (рис. 8).

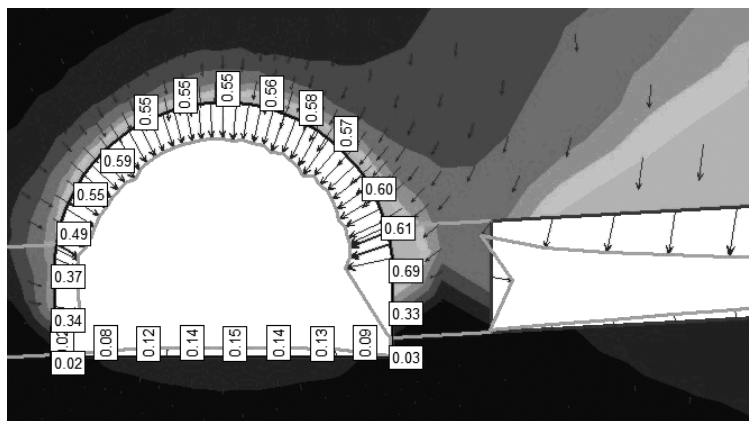


Рис. 6. Векторы смещения в незакрепленной выработке при подходе лавы

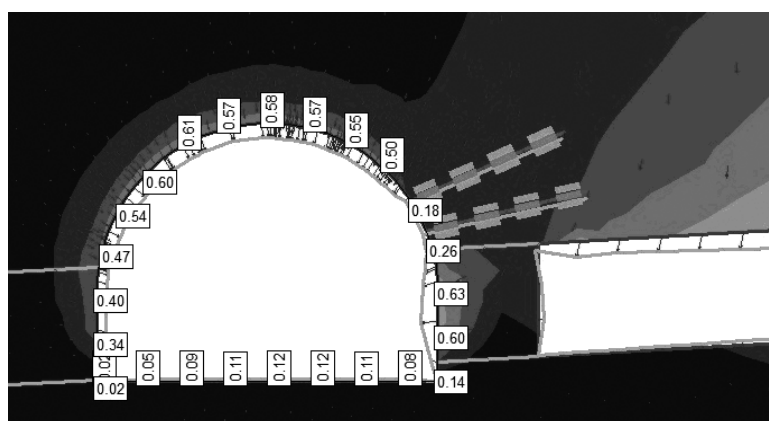


Рис. 7. Смещение контура выработки при закрепленной бровке

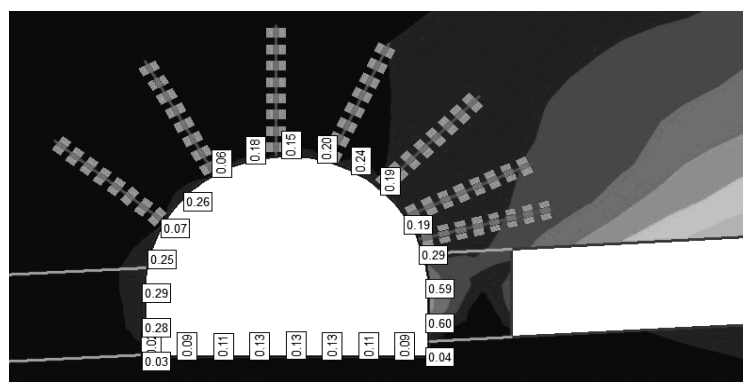


Рис. 8. Смещения контура выработки, закрепленной анкерами при подходе лавы

В окне лавы наличие предварительно установлен-ных 5-ти анкеров в кровле и 2-х анкеров в бровке уменьшили перемещения со стороны нетронутого массива до 0,25...0,3 м. В кровле выработки смещения контура уменьшились до 0,15...0,25 м. Таким образом, в окне лавы предварительно установленные анкеры уменьшают смещения в боках выработки почти на 70 %, в кровле – на 60 %.

**Выводы.** Численное моделирование возрастания горного давления при приближении фронта очистных работ к рассматриваемому сечению штрека в условиях 205-й западной лавы пласта  $h_{10}$  шахты «Партизанская» показало, что на рассматриваемой глубине отработки (1000 м) охрана выработки целиком угля не обеспечивает эксплуатационную

устойчивость промштрека. Таким образом, не оправдывают себя потери угля в целике и затраты на проведение и поддержание конвейерного штрека, проводимого следом за промштреком.

Альтернативой охраны выработки целиками является формирование охранной конструкции из смеси «Текхард» и применение анкерной крепи.

Для создания несущей породно-анкерной конструкции в кровле выработки предлагается установить 2 анкера в бровке и не менее 5 анкеров в кровле и боках штрека с расстоянием 1,5 м между ними. Таким образом, общее число анкеров в кровле и боках составляет 7 шт.

Создание несущей породно-анкерной конструкции позволяет стабилизировать перемещения борта выработки со стороны нетронутого массива на уровне 0,25...0,30 м. В кровле смещения стабилизированы на уровне 0,15...0,25 м. По сравнению с вариантом отсутствия анкеров, смещения удастся снизить почти на 70 % в боках выработки, а в кровле – на 60 %.

Наиболее деформированным по-прежнему остается борт выработки со стороны лавы, где перемещения достигают 0,6 м. Уменьшение перемещений возможно за счет увеличения жесткости охранной конструкции либо увеличении длины участка, закрепленного твердеющей смесью.

#### Литература

1. Phase<sup>2</sup>. Finite Element Analysis for Excavations and Slopes. version 8.0 // <https://www.roscience.com/products/3/Phase2>.

2. Сдвижкова Е.А., Кравченко К.В., Мартовицкий А.В. Моделирование геомеханических процессов в углепородном массиве при отходе лавы от монтажной камеры и определение шага посадки основной кровли в условиях ПСП «Шахта Степная» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» // Вестник Кременчугского национального университета имени Михаила Остроградского. – 2012. – №2. – С. 121-127.

3. Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижкова Е.А. Некоторые задачи статистической геомеханики. К.: Пульсари, 2001. – 243 с.

4. Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Гапеев С.Н. Деформационные модели в геомеханике. – Днепропетровск: НГУ, 2008. – 223 с.