

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.

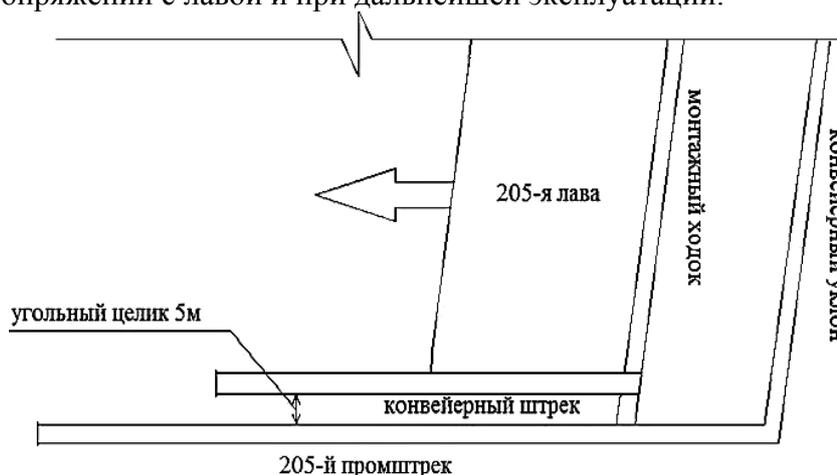


Рис. 1. Схема проведения промштрека 205-й западной лавы пласта h_{10}

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.

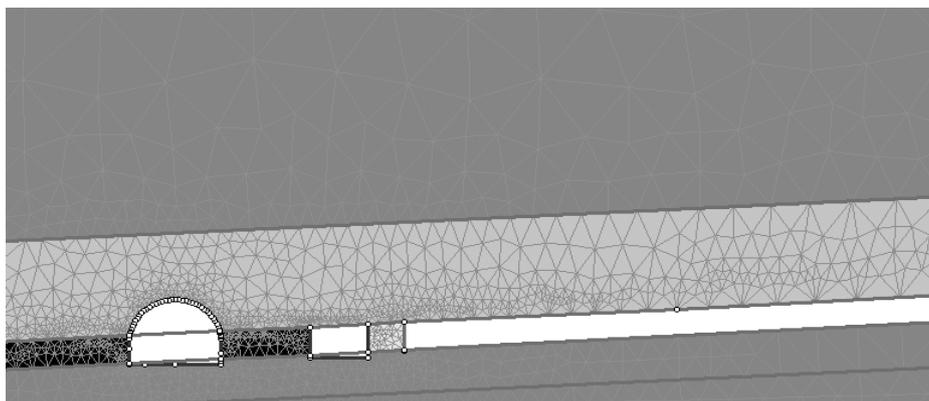


Рис. 2. Расчетная схема к решению плоской задачи о НДС породного массива в момент сопряжения лавы с конвейерным штреком (стадия 5).

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 ремонтиньы.

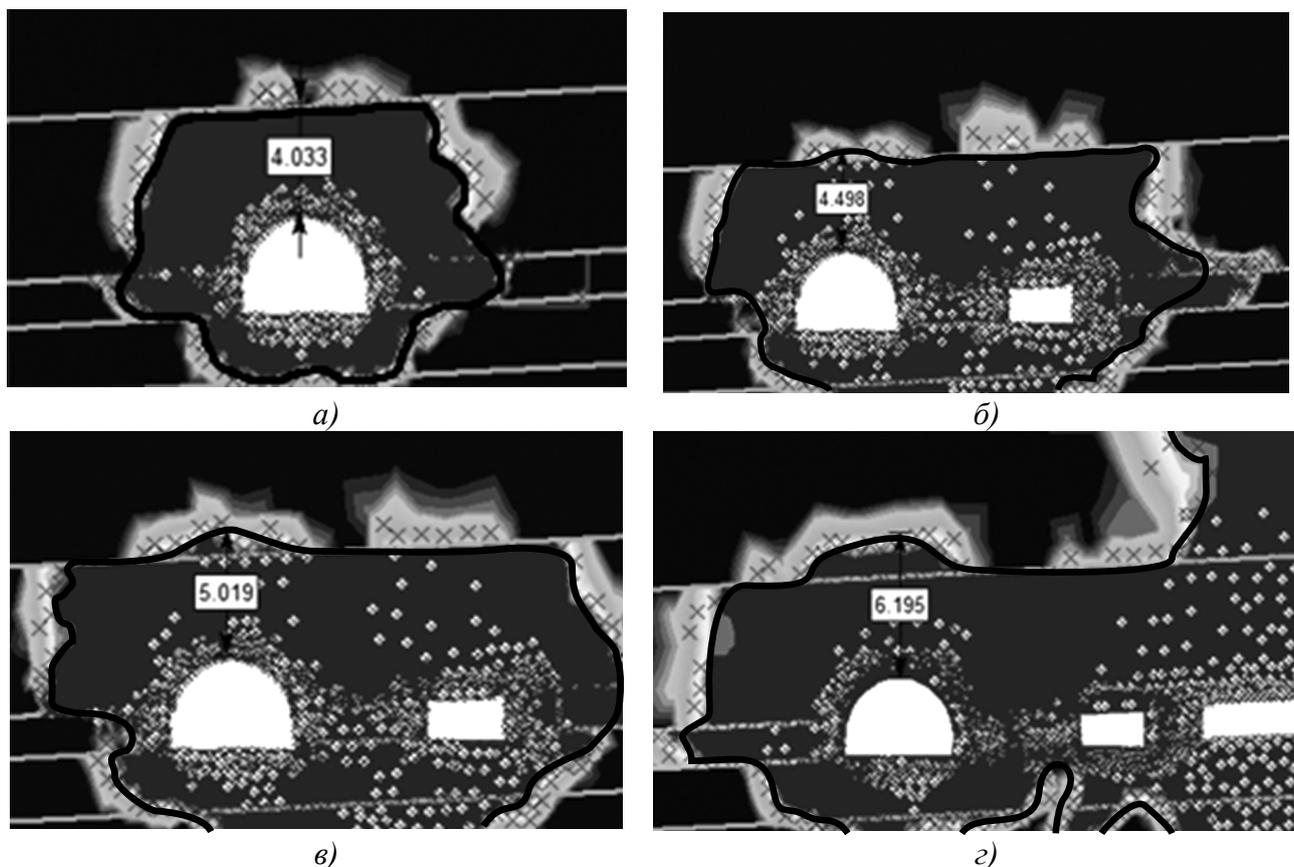


Рис. 3. Зоны разрушения: *а* – при проведении одиночной выработки (промштрека), *б* – при проведении конвейерного штрека, *в* – при воздействии волны горного давления, *г* – при подходе лавы

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.

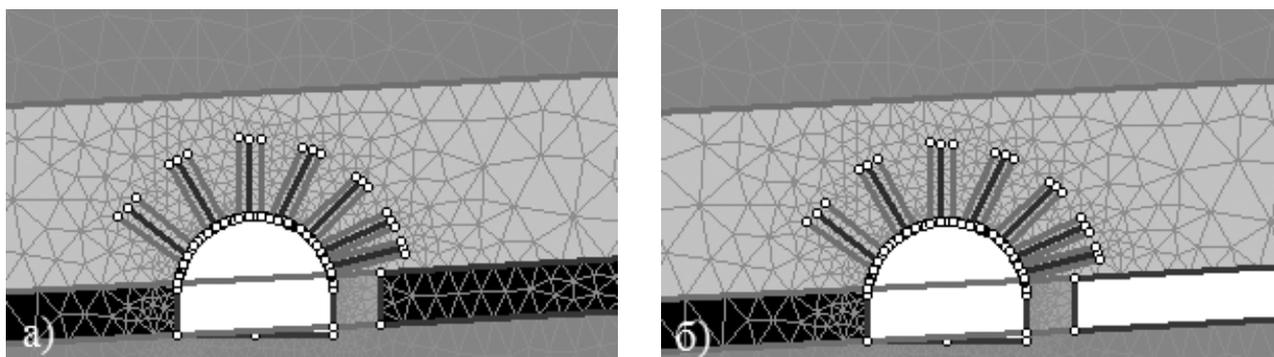


Рис. 4. Расчетные схемы для определения смещения контура выработки: *а* – штрек вне зоны очистных работ, *б* – штрек в окне лавы

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

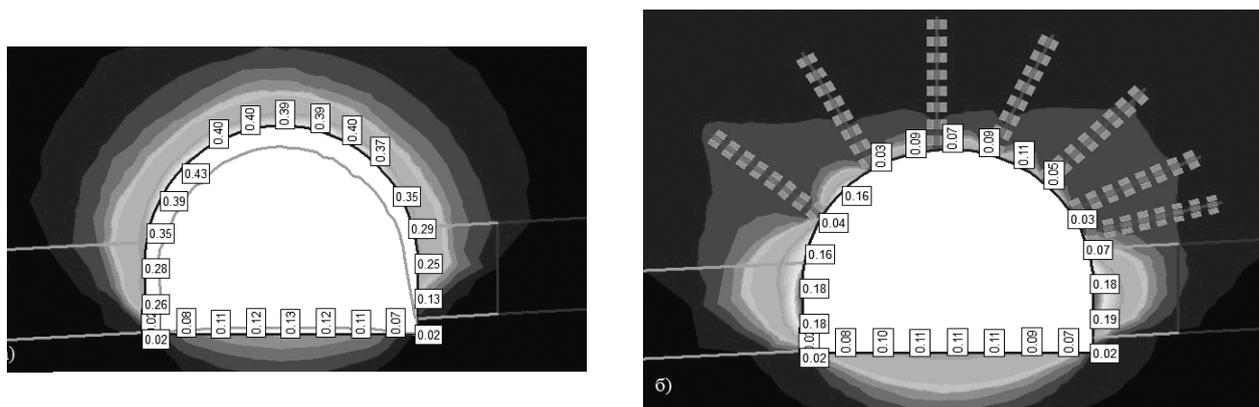


Рис. 5. Смещения пород на контуре выработки: *а* – свободные, *б* – с установкой анкеров

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).

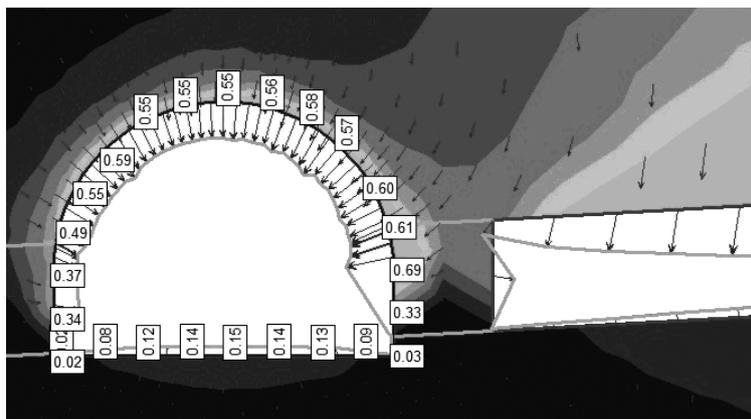


Рис. 6. Векторы смещения в незакрепленной выработке при подходе лавы

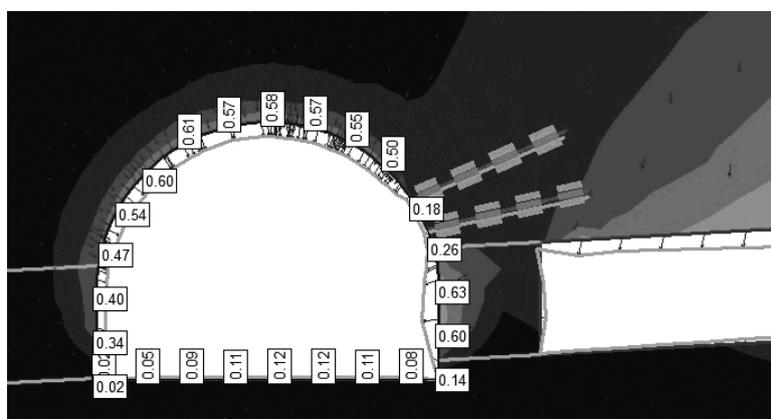


Рис. 7. Смещение контура выработки при закрепленной бровке

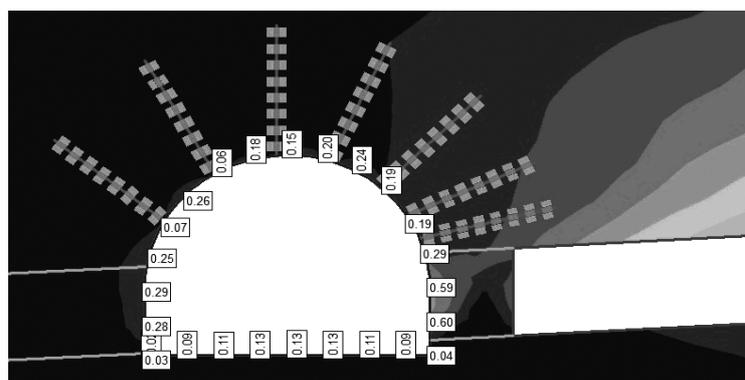


Рис. 8. Смещения контура выработки, закрепленной анкерами при подходе лавы

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 анкера 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. Phase². 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.