

УДК 622.833

ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КРЕПЛЕНИЯ И ОХРАНЫ УЧАСТКОВЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ «ПАРТИЗАНСКАЯ» ГП «АНТРАЦИТ»**Е. А. Сдвижкова, И. Н. Попович, И. В. Дудка, О. А. Кузьева**

Государственный ВУЗ «Национальный горный университет»

просп. К. Маркса, 19, г. Днепропетровск, 49005, Украина. E-mail: sdvzhkova@front.ru

Приведены результаты исследования геомеханических процессов на сопряжении подготовительных выработок с очистным забоем в условиях глубоких угольных шахт 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. Таким образом, не оправданы потери угля в целиках и затраты на проведения дополнительного конвейерного штрека. Предложен альтернативный способ крепления и охраны выработок с использованием анкеров и твердеющей смеси «Текхард». На основе метода конечных элементов смоделировано последовательное нарастание горного давления под влиянием забоя лавы и выполнена оценка эффективности анкерного крепления на различных стадиях развития очистных работ.

Ключевые слова: штрек, лава, численное моделирование, критерий прочности, анкер.

ГЕОМЕХАНИЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ КРІПЛЕННЯ ТА ОХОРОНИ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК В УМОВАХ ШАХТИ «ПАРТИЗАНСЬКА» ДП «АНТРАЦИТ»**О. О. Сдвижкова, І. М. Попович, І. В. Дудка, О. О. Кузьева**

Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»

просп. К. Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, 49005, Україна. E-mail: sdvzhkova@front.ru

Наведені результати досліджень геомеханічних процесів на сполученні підготовчої виробки з лавою в умовах глибоких вугільних шахт ДП «Антрацит». Візуальні спостереження та чисельне моделювання напружено-деформованого стану породного масиву довели, що традиційний спосіб охорони штреків вугільними ціликами не забезпечує достатньої стійкості виробок. Таким чином, втрати вугілля в ціликах та витрати на проведення додаткового конвеєрного штреку не є виправданими. Запропоновано альтернативний спосіб кріплення та охорони виробок із використанням анкерів і твердої суміші «Текхард». На основі методу скінчених елементів змодельовано послідовне зростання гірського тиску під впливом вибою лави та виконана оцінка ефективності анкерного кріплення на різних етапах розвитку очисних робіт.

Ключові слова: штрек, лава, чисельне моделювання, критерій міцності, анкер.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Основными направлениями развития угольной отрасли являются оптимизация технологии добычи и повышение нагрузки на очистные забои. При этом немаловажным фактором выступает 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.

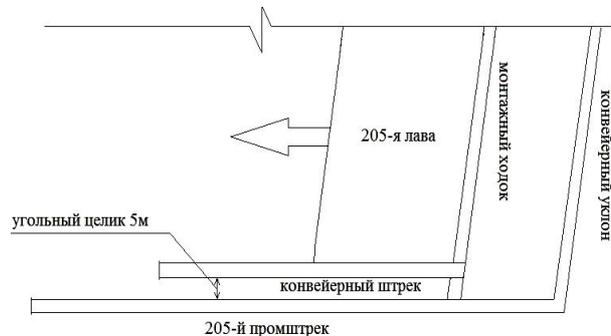


Рисунок 1 – Схема проведения промштрека 205-й западной лавы пласта h_{10}

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 данной работы является изучение геомеханических процессов, имеющих 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 участковых выработок.

Исследования направлены на уменьшение металлоемкости крепи, повышение устойчивости выработки и снижение объемов работ, связанных с поддержанием выработки вслед за проходом лавы.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

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 работе 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 выступает 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 горнотехнических 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 PHASE 2 [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 гранич-

ных условий имитируется проведение протяженной одиночной выработки (промштрека 205-й западной лавы пласта h_{10}) в рамках гипотезы о плоской деформации (стадия 2). После этого с учетом сформировавшегося поля напряжений и реализовавшихся пластических деформаций моделировалось образование следующей выработки (конвейерного штрека) с оставлением охрannого 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 $K_{np} = 1,3$, величина которого обоснована из рассмотрения 3D-модели шахтного поля [2, 3]. 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 [4], составляет 34 МПа. В почве пласта смоделирован менее трещиноватый и более прочный сланец песчаный с пределом прочности 64 МПа. Прочность угля составляет 20 МПа.

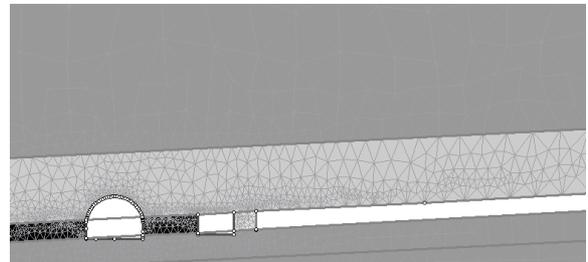


Рисунок 2 – Расчетная схема к решению плоской задачи о НДС породного массива в момент сопряжения лавы с конвейерным штреком (стадия 5).

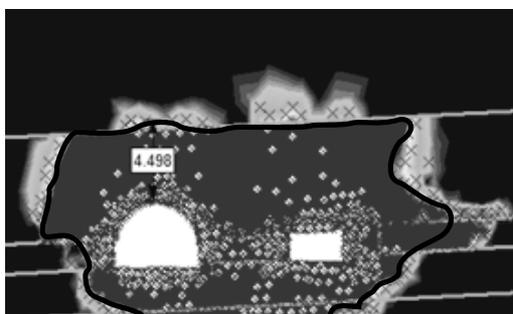
Анализируются изменения напряженного состояния массива на каждом этапе моделирования. С практической точки зрения интерес представляет определение области массива, где породы перешли в неупругую стадию деформирования. Именно породы, заключенные в этой зоне (зоне разрушения), создают нагрузку на крепь выработок. В данной работе зоны разрушения определяются на основе хорошо апробированного критерия прочности Хока–Брауна [5], 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 [6]. Количественные параметры, входящие в критерий, выбираются из базы данных RockLab, прилагаемой к вы-

числительному модулю PHASE2, на основе визуальных обследований степени нарушенности пород в проводимой выработке.

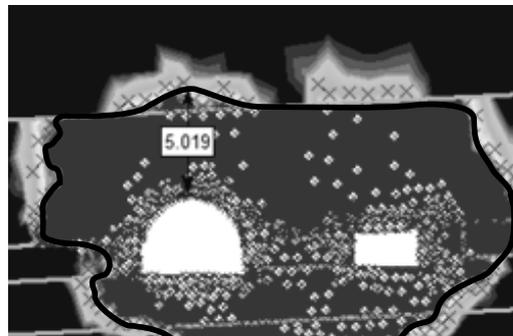
На рис. 3 в цветовой гамме показаны зоны неупругих деформаций (разрушения) в соответствии с критерием Хока–Брауна на различных стадиях формирования выработок.



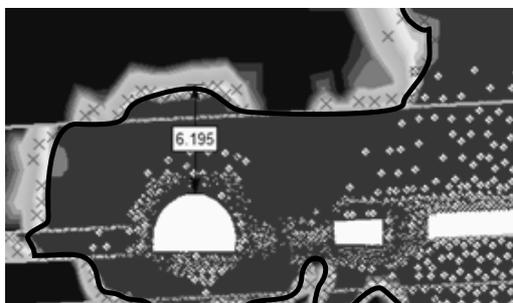
а)



б)



в)



г)

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

Из рис. 3 видно, что при проходке промштрека вне зоны влияния очистных работ, вокруг него образуется зона разрушения, размер которой по нормали к напластованию составляет 4,3 м. При ширине выработки 5,09 м площадь разрушения составляет 21,8. Вес пород, создающий нагрузку на 1 м выработки, составляет 530 кН. Такая нагрузка сопоставима с несущей способностью крепи КМП–А3Р3–13,4 ($P = 550$ 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 воздействию 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–А3Р3–13,4 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 два раза больше несущей способности крепи КМП–А3Р3–13,4, а также превышает суммарный отпор рамы крепи и деревянной ремонтин.

При установке рам с шагом 1 м каждая рама перегружена, работает в критическом режиме на исчерпании своей податливости и несущей способности. В таких условиях возможны разрушения элементов крепи, вывалы пород кровли и боков. Следовательно, 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 сталеполимерных 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.

Сталеполимерные 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.

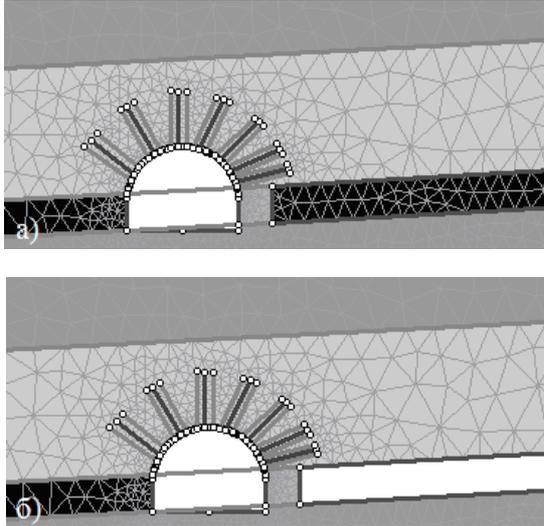


Рисунок 4 – Расчетные схемы для определения смещения контура выработки: *а* – штрек вне зоны очистных работ, *б* – штрек в окне лавы

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

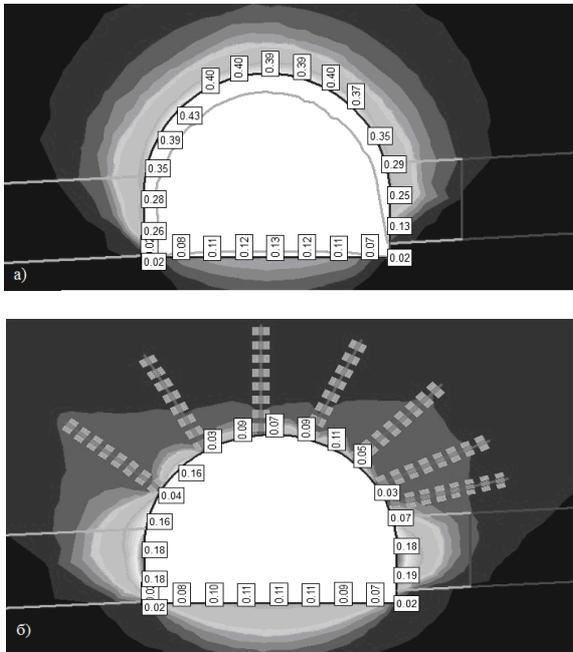


Рисунок 5 – Смещения пород на контуре выработки: *а* – свободные, *б* – с установкой анкеров

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.

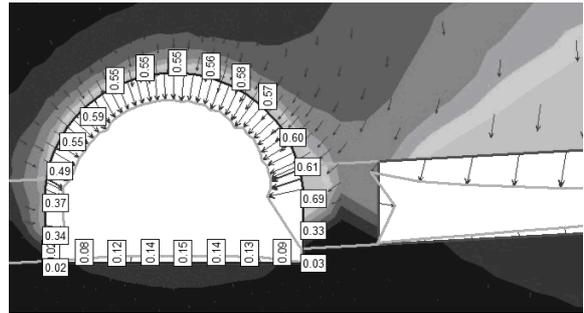


Рисунок 6 – Векторы смещения в незакрепленной выработке при подходе лавы

На рис. 7 показаны смещения контура выработки при установке двух сталеполимерных анкеров в бровке. Их установка 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).

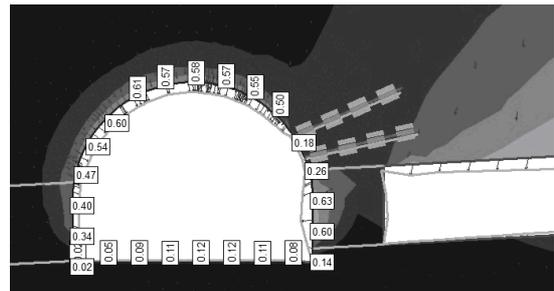


Рисунок 7 – Смещение контура выработки при закрепленной бровке

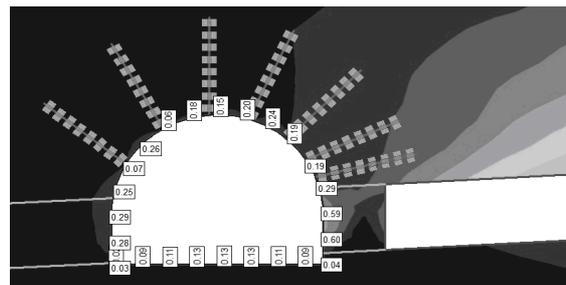


Рисунок 8 – Смещения контура выработки, закрепленной анкерами при подходе лавы

В окне лавы наличие предварительно установленных пяти анкерів в кровле и двух анкерів – 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 не обеспечивает эксплуатационную устойчивость промштрека, а это не оправдывает потерь угля в целике и затрат 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 два анкера в бровке и не менее пяти анкерів в кровле и боках штрека с расстоянием 1,5 м между ними. Таким образом, общее число анкерів в кровле и боках составляет 7 штук.

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 анкерів, смещения удается 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 увеличения длины участка, закрепленного твердеющей смесью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Phase². Finite Element Analysis for Excavations and Slopes. version 8.0 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://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. – Вип. 2/2012 (73). – С. 121–127.
3. Метод граничных элементов в задачах геомеханики /Л.В. Новикова, П.И. Пономаренко, В.В. Приходько, И.Т. Морозов. – Днепропетровск: Наука и образование, 1997. – 201 с.
4. Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижкова Е.А. Некоторые задачи статистической геомеханики. – К.: Пульсари, 2001. – 243 с.
5. Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Гапеев С.Н. Деформационные модели в геомеханике. – Днепропетровск: НГУ, 2008. – 223 с.
6. Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Кужель С.В. Масштабный эффект в горных породах. – Днепропетровск: Арт-Пресс, 2004. – 136 с.

GEOMECHANICAL ESTIMATING THE EFFICIENCY OF A ROADWAY SUPPORT AND PROTECTION UNDER CONDITIONS OF «PARTIZANSKAJA» COAL MINE GP ««ANTRANSIT»»

O. Sdvyzhkova, I. Popovich, I. Dudka, O. Kuziaieva

State Higher Education Institution "National Mining University"

prosp. K. Marks, 19, Dnipropetrovsk, 49005, Ukraine, E-mail: sdvyzhkova@front.ru

Results of geomechanical research are given concerning an intersection of a maingate and longwall under geological condition of the "Antracit" coal company. Visual observations and numerical rock stress state simulation show that the roadway protection by means of coal pillars does not ensure the excavation stability. Therefore the coal loss in the pillars and additional costs connected with conveyor drift driving are not justified. The alternative method of maingate support and protection using the anchors and hardening mixture "Tekhard" has been proposed. Based on FEM-analyses the sequential increase in rock pressure under the longwall affect is simulated. The estimation of anchoring efficiency at different stages of longwalling has been carried out.

Key words: Drift, longwall, numerical simulation, failure criterion, anchor.

REFERENCES

1. Phase². Finite Element Analysis for Excavations and Slopes. version 8.0 [Electronic resources]. – Режим доступа: <http://www.roscience.com/products/3/Phase2>.
2. Sdvyzhkova, O.O., Kravchenko, K.V. and Martovitsky, A.V. (2012) Modeling the geomechanical processes in rocks under longwall moving away of dismantling chamber and defining a moment of roof caving under conditions of coal-mine "Stepnaya" of private stock company "DTEK Pavlogradugol", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, iss. 2 (73), pp. 121–127.
3. Novikova, L., Ponomarenko, P., Prihodko, V. and Morozov, I. (1997) *Metod granichnyh elenentov v zadachah geomechaniki* [Boundary method at geomechanics], Nauka i obrazovanie, Dnepropetrovsk, Ukraine.
4. Shashenko, A., Tulub, S. and Sdvyzhkova E. (2001) *Nekotorye zadachi statisticheskoy mekhaniki* [Some problems of statistical mechanics], «Pulsary», Kyiv, Ukraine.
5. Shashenko, A., Sdvyzhkova, O. and Gapeev, S. (2008) *Deformacionnye modeli v geomecanice* [Deformation model in geomechanics], NМУ, Dnepropetrovsk, Ukraine.
6. Shashenko, A., Sdvyzhkova, E. and Kuzhel, A. (2004) *Masshtabnyi effect v gorhyh porodah* [Sale effect in rocks], Art-Press, Dnepropetrovsk, Ukraine.

Стаття надійшла 30.06.2014.