

**ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
НА СОПРЯЖЕНИИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ С ЛАВОЙ
В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ «КОМСОМОЛЬСКАЯ» ГП «АНТРАЦИТ»**

Е. А. Сдвижкова, И. Н. Попович, И. В. Дудка

Государственный ВУЗ «Национальный горный университет»

просп. К. Маркса, 19, г. Днепропетровск, 49005, Украина.

E-mail: sdvizhkova@front.ru

Приведены результаты исследования геомеханических процессов на сопряжении подготовительной выработки с очистным забоем в условиях шахты «Комсомольская» ГП «Антрацит». Исследования выполнены методом конечных элементов с помощью лицензионной вычислительной программы «Phase-2». Численное моделирование напряженно-деформированного состояния геомеханической системы «лава–подготовительная выработка» показали, что обеспечить ее устойчивость можно комбинированной арочной металлической крепью с установкой системы сталеполимерных анкеров и канатного анкера глубокого заложения. Охрана выработки со стороны лавы должна выполняться с помощью полосы из твердеющей смеси «Текхард». Исследована возможность обеспечения устойчивости при минимальном количестве анкеров.

Ключевые слова: подготовительная выработка, лава, бесцеликовая охрана, численное моделирование, сталеполимерный анкер, канатный анкер.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОМЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА СПОЛУЧЕННІ
ПІДГОТОВЧОЇ ВИРОБКИ З ЛАВОЮ**

В УМОВАХ ШАХТИ «КОМСОМОЛЬСЬКА» 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: sdvizhkova@front.ru

Наведені результати дослідження геомеханічних процесів на сполученні підготовчої виробки з очисним вибоєм в умовах шахти «Комсомольська» ДП «Антрацит». Дослідження виконані методом скінчених елементів за допомогою ліцензійної обчислювальної програми "Phase-2". Чисельне моделювання напружено-деформованого стану геомеханічної системи «лава–підготовча виробка» показали, що забезпечити її стійкість можна комбінованим арочним металевим кріпленням з установкою системи сталеполімерних анкерів і канатного анкера глибокого закладення. Охорона виробки з боку лави повинне виконуватися за допомогою полоси з твердіючої суміші «Текхард». Досліджена можливість забезпечення стійкості при мінімальній кількості анкерів.

Ключові слова: підготовча виробка, лава, безціликова охорона, чисельне моделювання, сталеполімерний анкер, канатний анкер.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. В результате перехода горных работ на более глубокие горизонты четко прослеживается тенденция снижения устойчивости

поддерживаемых подготовительных выработок. Часто деформации контура проводимых выработок превышают допустимые пределы и требуют увеличения площади сечения уже после прохода первого очистного забоя. В результате этого повторное использование выработки становится невозможным, что приводит к большим материальным затратам при отработке угольных запасов.

Чрезвычайно актуальным данный вопрос является для шахт ГП «Антрацит», в частности для шахты «Комсомольская, где в настоящее время реализуется программа перехода на бесцеликовую отработку угольных пластов с внедрением анкерной крепи. В данной ситуации для обоснования параметров систем крепления подготовительных выработок требуется глубокое изучение геомеханических процессов, происходящих в зоне влияния очистных работ в горно-геологических условиях шахты «Комсомольская».

Целью данной работы является оценка степени влияния элементов системы крепления на повышение устойчивости сопряжения «лава–штрек» в третьем восточном конвейерном штреке пласта h_8 ОП «Шахта «Комсомольская» ГП «Антрацит».

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Целью выполнения исследований, представленных в статье, является воссоздание картины формирования поля напряжений, деформаций и перемещений пород при проведении подготовительных и очистных выработок 32-й восточной лавы пласта h_8 в горно-геологических условиях шахты «Комсомольская». Это осуществлялось путем математического моделирования геомеханических процессов на основе методов механики деформируемого тела и современных численных методов исследования.

При сопряжении с 32-й восточной лавой конвейерный штрек охраняется сборной полосой из твердеющей смеси «Текхард». Для повышения устойчивости штрека в окне лавы и позади лавы, а также для обеспечения технологичности концевых операций предполагается использование анкеров различных уровней (сталеполимерные и канатные). Основной задачей данного этапа исследований является моделирование работы анкерной системы и оценка эффективности инсталляции анкеров на различных этапах функционирования выработки.

В дальнейшем при осуществлении всего комплекса работ (визуальные и инструментальные наблюдения, анализ статистической информации, многовариантные расчёты на основе разработанной модели) полученные результаты послужат основой для рекомендаций в отношении рациональных параметров крепления и охраны третьего восточного конвейерного штрека при сопряжении его с лавой.

Для реализации метода конечных элементов в данной работе используется лицензионная вычислительная программа “Phase-2” компании Rocscience [1].

Первый этап расчетов был направлен на адаптацию деформационной модели породного массива и расчетного алгоритма к реальным свойствам пород и известным условиям эксплуатации выработок, т.е. осуществлялась «калибровка» модели и вычислительной процедуры.

Начальное поле напряжений, создаваемое весом вышележащих пород для заданной глубины:

$$\sigma_y = \gamma H = 19 \text{ МПа} . \quad (1)$$

Здесь $\gamma = 25 \text{кН} / \text{м}^3$ – объемный вес пород, H – глубина разработки, принятая равной 750 м. Граничные условия задаются в перемещениях – все границы жестко закреплены. Граница выработок свободна от напряжений.

На первом этапе моделировалось поведение породного массива в окрестности сопряжения подготовительной и очистной выработки в отсутствии крепи с целью определения свободных перемещений пород и размеров зон разрушения пород (неупругих деформаций) которые создают давление на крепь.

Моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) области массива, включающего третий восточный конвейерный штрек, и, собственно, очистную выработку 32-й восточной лавы пл. h_8 осуществлялось посредством нескольких расчетных стадий (моделирование нетронутого породного массива согласно данным геологической службы шахты; имитация проведения третьего восточного конвейерного штрека, путем «снятия» напряжений по заданному контуру выработки, имитация подхода лавы (штрек в окне лавы) путем изменения граничных условий по контуру сечения очистной выработки.

Изначально моделировалась одиночная выработка. Затем с учетом сформировавшегося поля напряжений и реализовавшихся пластических деформаций путем изменения граничных условий имитировался подход лавы к штреку. Охрану выработки в окне лавы осуществляют путем выкладки охранной полосы шириной 1,5 м.

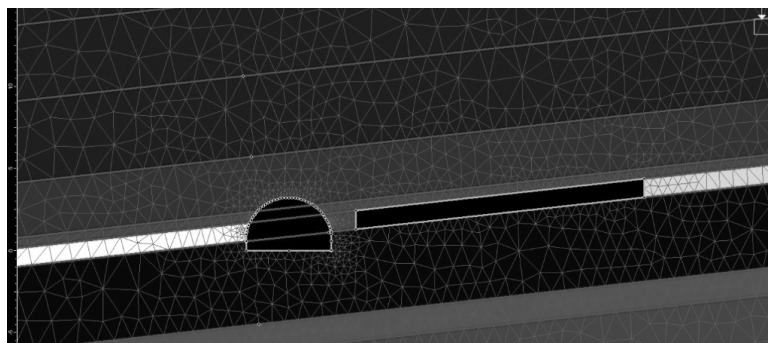


Рисунок 1 – Расчетная схема к решению задачи об оценке НДС в окрестности системы «лава-штрек» (стадия 3)

Метод конечных элементов позволяет определить все компоненты напряжений и перемещений в породной среде в окрестности выработки и любой точке породного массива. Однако с практической точки зрения интерес представляет определение области пород, где породы разрушены (перешли в неупругую стадию деформирования). Именно породы, заключенные в этой зоне, создают нагрузку на крепь выработок. Определить указанную область можно на основе той или иной теории прочности.

Наиболее апробированным, хорошо развитым и широко применяемым в прикладных программных пакетах, является критерий прочности Хоека-Брауна, 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.

Вычислительная программа “Phase-2” содержит модуль, реализующий проверку обобщенного критерия Хоека-Брауна. Критериальные соотношения проверяются в каждой точке массива и таким образом выявляется зона разрушения, образующаяся в результате концентрации напряжений в окрестности выработок.

В результате моделирования установлено, что максимальный размер зоны разрушения (неупругих деформаций) по нормали к напластованию составляет 2,7 м. Непосредственно на контуре имеет место зона разрушения от растягивающих напряжений, которую можно трактовать как зону интенсивной трещиноватости. Вне зоны влияния лавы ее размер не превосходит 0,45 м.

При ширине выработки 5,2 м площадь разрушения непосредственно над выработкой составляет $14,04 \text{ м}^2$, а вес пород, создающий нагрузку на 1 м выработки составляет 31,1 т/м при отсутствии динамического эффекта. Такая нагрузка сопоставима с несущей способностью крепи АП–13,8 ($P_{\text{нес}} = 25 \text{ т/м}$ при использовании планок ЗЗД с шагом установки 0,8 м [2]). Создаваемый ею отпор составляет $25/0,8 = 32 \text{ т/м}$.

Таким образом, при отсутствии переборов при проведении штрека нагрузка со стороны массива вне зоны влияния лавы вполне компенсируется установкой металлической крепи АП–13,8. Однако при наличии зазоров между породным обнажением и крепью возможно динамическое нагружение арки крепи весом пород, потерявших сцепления с основным массивом. Тогда, принимая коэффициент динамичности, равным 2,0, получим нагрузку на крепь, равную 62 т/м. Для реализации отпора такому давлению пород необходимо устанавливать не менее двух арок крепи на 1 м, что значительно повысит металлоемкость крепи, либо предусмотреть усиление рамной крепи анкерами.

В вертикальном направлении непосредственно над правым бортом выработки зона разрушения простирается на высоту 8,1 м. Над охранным элементом высота зоны разрушения составляет 9,4 м (рис. 2). Над очистной выработкой общая зона разрушения, где реализуется разрушение и сдвигом и отрывом, составляет 12 м. Породы, в которых реализуется разрушение от растяжения, распространяются на высоту 9,8 м. Борт выработки, охраняемый со стороны лавы полосой из твердеющей смеси испытывает значительное давление от веса разрушенных пород.

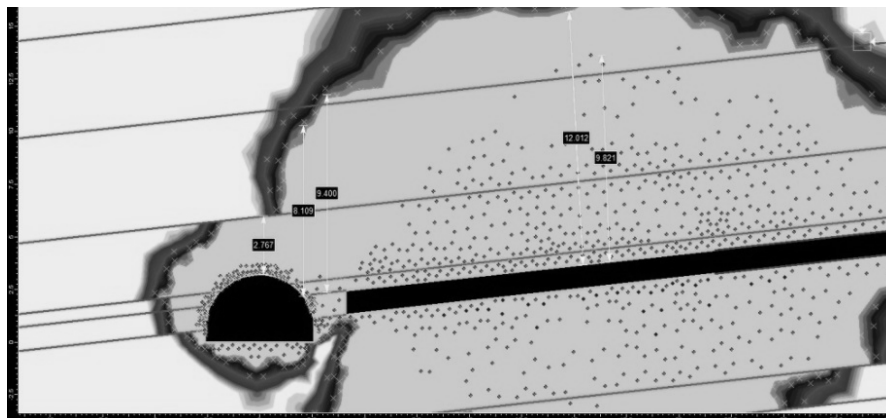


Рисунок 2 – Зона разрушения при сопряжении конвейерного штрека с лавой (третья стадия моделирования)

Нижче буде показано, що укріплення порід со стороны массива, разрушенного над очистной выработкой, возможно путем установки сталеполлимерных анкеров в кровле выработки непосредственно над бровкой.

Проанализируем свободные перемещения контура выработки (в отсутствии и рамной и анкерной крепи) (рис. 3,а).

Для их определения использована упруго-пластическая модель деформирования, основанная на соотношениях теории прочности Хоека-Брауна. Значения перемещений составляют: 0,08 м в почве, 0,49 м в кровле и 0,23...0,24 м в боках. Таким образом, уменьшение сечения третьего восточного конвейерного штрека пласта h_8 до попадания в зону влияния очистных работ составляет (по сравнению с сечением в проходке) $B = 4,73$ м, $H = 2,65$.

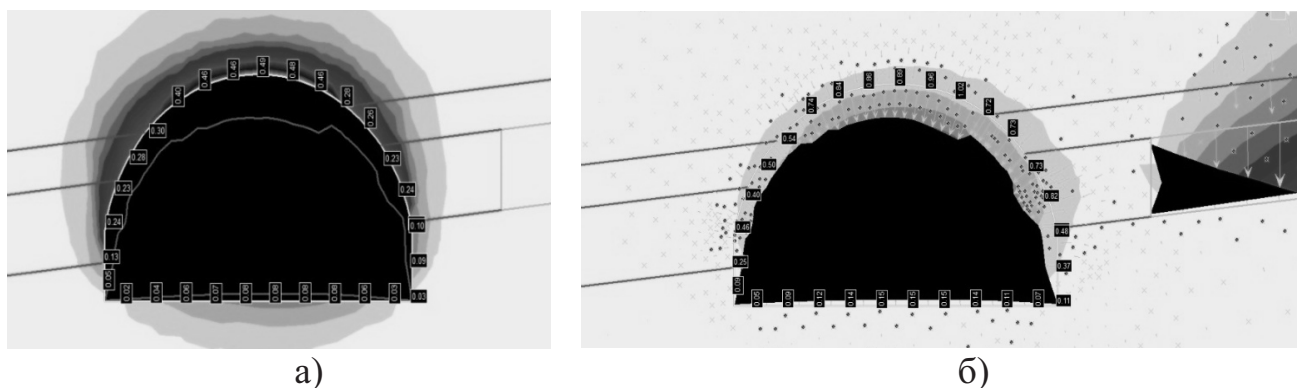


Рисунок 3 – Свободные перемещения контура выработки:

а – при отсутствии крепи; б – при отсутствии крепи при сопряжении с лавой, но с учетом охранного элемента из смеси «Текхард»

При попадании сечения штрека в окно лавы интенсивность смещений значительно возрастает (рис. 3,б).

Из рисунка видно, что смещения в кровле со стороны примыкающей лавы развиваются до 1,02 м. Смещения в почве увеличиваются незначительно благодаря прочности песчаного сланца, залегающего в почве угольного пласта. Со стороны угольного пласта смещения в боках составляют 0,46 м. Смещения борта выработки, охраняемого полосой «Текхард» достигают 0,8 м. Уменьшение сечения третьего восточного конвейерного штрека после прохода лавы (по сравнению с сечением в проходке) следует ожидать по ширине до величины 3,92 м, по высоте – до 2,18 м.

Таким образом, в зоне влияния очистных работ выработка испытывает значительные деформации со стороны разрушенного над лавой массива, для компенсации которых недостаточно установки рамной крепи с шагом 0,8 м. Поскольку увеличение плотности металлической крепи ведет к значительным затратам, наиболее рациональным решением является укрѐпление пород анкерами, т. е. использование рамно-анкерной комбинированной крепи.

На втором этапе на основе адаптированной модели среды выполняется прогноз поведения породного массива в данных условиях при различных вариантах охраны выработки и параметров крепи. Деформации борта выработки со стороны лавы могут быть стабилизированы путем установки двух анкеров над бров-

кой под углом 40° к горизонтали, длиной 2,4 м. Сталеполімерные анкера имитировались средствами программы “Phase-2” как стальные стержни, которые закреплены в массиве полимером по всей длине.

Как и в предыдущей задаче, моделировалось четыре стадии для определения смещений контура выработки.

Основной величиной, которая показывает степень эффективности анкерной системы, являются смещения пород в приконтурной зоне. На рис. 4 показаны смещения контура выработки при установке двух анкеров над бровкой до и после подхода лавы.

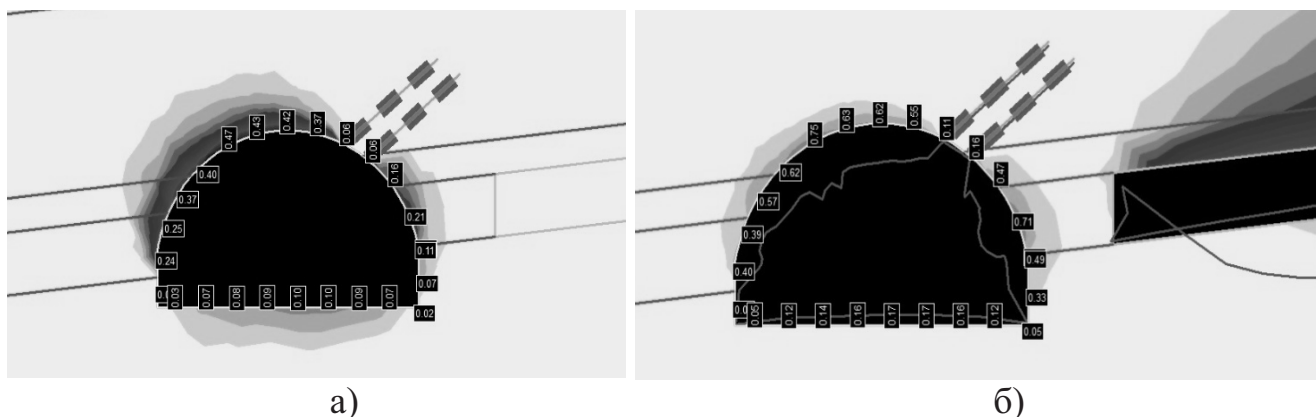


Рисунок 4 – Смещения контура при установке двух анкеров над бровкой:
а – до прохода лавы; б – в момент прохода лавы

Из рисунков видно, что непосредственно в месте установки анкеров перемещения контура составляют всего 0,06 м. По сравнению с вариантом отсутствия крепи (рис. 3,а) смещения в этой части контура уменьшились в четыре раза. Однако, установка только двух анкеров не компенсирует смещения в целом по контуру выработки. Позитивная, но недостаточная роль только двух анкеров показана на рис. 4,б, где приведен результат расчетов при моделировании попадания сечения выработки в створ лавы. Рассмотрен также вариант укрепления анкером противоположного борта выработки. Анкер устанавливается под углом 50° к горизонтали.

На рис. 5 показана зона разрушения при условии своевременной установки анкеров в бортах выработки.

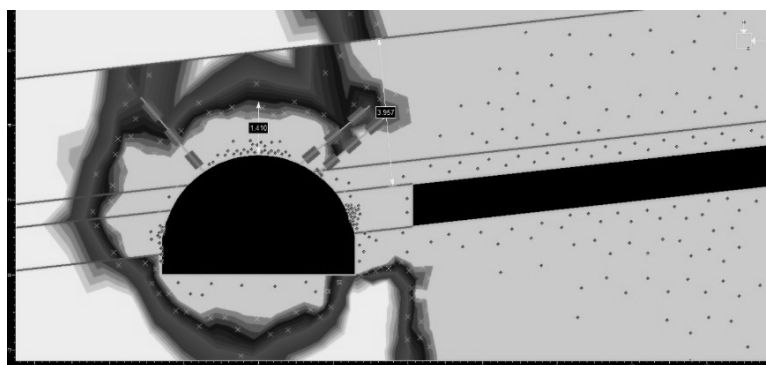


Рисунок 5 – Зоны разрушения в районе сопряжения конвейерного штрека с лавой при установке анкеров при проведении выработки

С учетом того, что третий восточный конвейерный штрек планируется использовать повторно, необходимо стабилизировать расслоение и трещинообразование в кровле в момент сопряжения с лавой, когда выполняется операция снятия и последующего восстановления ножки крепи. Это может быть достигнуто путем применения анкеров второго уровня – канатных анкеров.

На рис. 6 показана расчетная схема для моделирования установки анкеров двух уровней (показана расчетная схема для заключительной – четвертой стадии, когда сечение штрека находится в створе лавы).

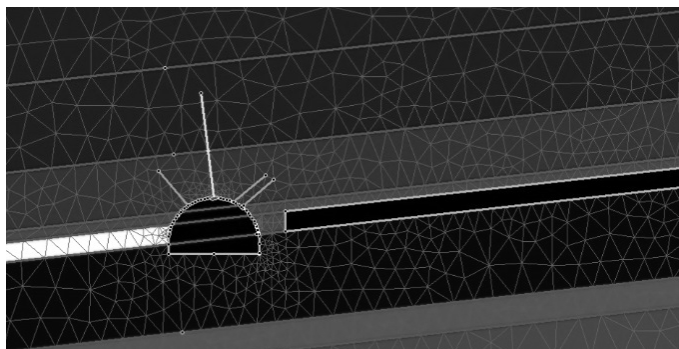


Рисунок 6 – Расчетная схема – подход лавы к сечению выработки, закрепленной анкерами первого уровня в боках с двух сторон и канатным анкером

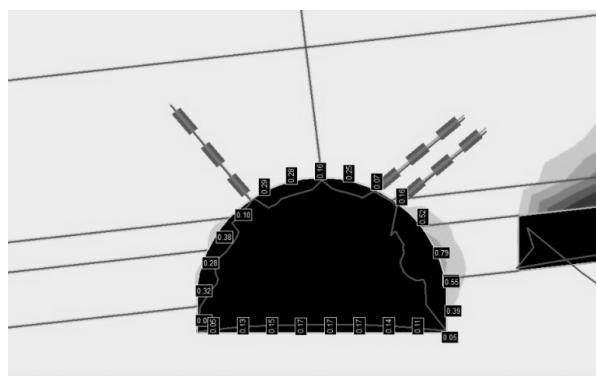


Рисунок 7 – Смещения контура выработки при установке двух уровневых анкеров

При рассмотренных вариантах крепления интенсивные деформации по-прежнему ожидаются в боках выработки, особенно со стороны лавы. Стабилизация их на уровне 0,3 м (борт, противоположный лаве) и 0,8 м (сопряжение с лавой) возможна только при условии, что элемент охраны из твердеющей смеси (либо лесоматериалов) обладают достаточной жесткостью, выкладываются в сроки, минимально возможные технологически после обнажения пород. Во всех расчетных схемах, имитирующих сопряжение сечения выработки с лавой предполагается, что охранный элемент имеет длину не менее 1,5 м.

ВЫВОДЫ. Дополнительное усиление рамной крепи сталеполимерными анкерами длиной 2,4 м, установленными над бровкой и в кровле с противоположной стороны выработки уменьшает смещения контура выработки по сравнению с вариантом отсутствия анкеров (свободные смещения).

Максимальные перемещения в кровле составляют 0,5 м, в боках со стороны массива – 0,28...38 м, со стороны лавы – 0,75 м. При этом уменьшается зона разрушения над выработкой, что снижает нагрузку на рамную крепь.

Установка анкеров второго уровня уменьшает перемещения в кровле до 0,3 м. Эффективность канатного анкера будет проанализирована на следующем этапе работ при моделировании повторного использования третьего восточного штрека .

Таким образом на данном этапе выполнен анализ механизма укрепления пород анкерами двух уровней при сопряжении третьего восточного конвейерного штрека с 32-й лавой. Рассмотрена возможность обеспечения устойчивости при минимальном количестве анкеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Phase2. Finite Element Analysis for Excavations and Slopes, version S.O [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.roscience.com/products/3/Phase2>.

2. Механика горных пород / А.Н. Шашенко, В.П. Пустовойтенко. – К. : Новый друк, 2003. – 399 с.

STUDIES OF GEOMECHANICAL PROCESSES IN THE CONJUNCTION OF THE DEVELOPMENT WORKING WITH LONGWALL IN THE MINE "KOMсомOLSKAYA" SE "ANTHRACITE"

O. Sdvyzhkova, I. Popovich, I. Dudka

State Higher Education Institution "National Mining University"

prosp. K. Marks, 19, Dnipropetrovs'k, 49005, Ukraine,

E-mail: sdvzhkova@front.ru

Results of the study of geomechanical processes at the conjunction of development working with longwall face in the mine "Komsomolskaya" SE "Anthracite" are given. Studies were carried out using finite element method by means of the licensed computational program "Phase-2". Numerical simulation of stress-strain state of geomechanical system "longwall - development working" showed that it is possible to ensure its stability by combined arched metal roof supports with the installation of the system of steel polymer anchors and anchor rope of deep foundations. Maintenance of mine working from the side of longwall must be performed by means of strip with hardening mixture "Tekhard." Possibility of ensuring the stability of the working with a minimum number of anchors was studied.

Key words: development working, longwall, non-pillar maintenance, numerical modeling, steel polymer anchor, anchor rope

REFERENCES

1. Phase2. Finite Element Analysis for Excavations and Slopes, version 8.0 [Electronic resources], - Access mode: <http://www.roscience.com/products/3/Phase2>.

2. Shashenko A., Pustovojtenko V. (2003) *Mechanica gornyh porod* [Rock mechanics], Novi druk, Kyiv, Ukraine.

Стаття надійшла 20.11.2014.