

REFERENCES

1. The calculation of the pillars in the salt mines / Stamatiou M. - М.: Gosgortekhzdat, 1963. – 236 p. [in Russian]
2. Baryakh A. A, Heghin A. S., Estimating of the pillars interchamber stability // *FTPRPI*. – 1997. – № 1. - PP. 30-38. [in Russian]
3. Lavrikov S. V., Revuzhenko A. F., About models of pillars deformation, with allowance effects of energy accumulation and softening materials // *FTPRPI*. – 1994. - № 6. - PP. 15-22. [in Russian]
4. Bagel F. P., The research results of pillars bearing capacity // *Proceedings VNIMI*. - 1970. - № 76. - PP. 138-157. [in Russian]
5. Control methods of physico-mechanical parameters of underground ore mining / Baikonurov O. A. - Nauka, 1979. – 298 p. [in Russian]
6. Kuznetsov G. N., Bagel F. P., Kuznetsov S. T., The durability inhomogeneous interchamber pillars // *Proceedings VNIMI*. – 1962. - № 45. - PP. 35-38. [in Russian]
7. Bagel F. P., To the calculation of the heterogeneous pillars strength // *Proceedings VNIMI*. – 1968. - № 64. - PP. 24-25. [in Russian]
8. Controlling of the rock massif state at underground mining / Galaev N. Z. - Textbook for universities. - Nedra, 1990. – 176 p. [in Russian]

Стаття надійшла 26.05.2014.

УДК 622.831

**УПРАВЛЕНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ
В ОКРЕСТНОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК
С ПОМОЩЬЮ АНКЕРНЫХ СИСТЕМ**

А. О. Логунова

ГВУЗ «Национальный горный университет»

просп. К. Маркса, 19, г. Днепропетровск, 49000, Украина.

E-mail: lajana@inbox.ru

Рассмотрено моделирование геомеханической системы «выработка–массив» для условий поддержания нижнего сопряжения 18-й северной лавы пл. l_1 . ОП «Шахта 1/3 «Новгородовская» ГП «Селидовуголь» постадийным методом. Выполнено численное моделирование с целью установления влияния различных вариантов установки анкеров на НДС геомеханической системы «крепь–выработка–массив». Определен коэффициент влияния забоя, обоснованы параметры анкерных систем, рациональные в конкретных горно-геологических условиях.

Ключевые слова: численное моделирование, анкерная система, пучение, устойчивость выработки, геомеханические процессы.

**УПРАВЛІННЯ ГЕОМЕХАНІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ НАВКОЛО
ПІДЗЕМНИХ ВИРОБОК ЗА ДОПОМОГОЮ АНКЕРНИХ СИСТЕМ**

О. О. Логунова

ДВНЗ «Національний гірничий університет»

просп. К. Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, 49000, Україна.

E-mail: lajana@inbox.ru

Розглянуто моделювання геомеханічної системи «виробка–масив» для умов підтримки нижнього сполучення 18-й північної лави пл. l_1 . ВП «Шахта 1/3 «Новогродівська» ДП «Селідовугілля» постадійний методом. Виконано чисельне моделювання з метою встановлення впливу різних варіантів установки анкерів на НДС геомеханічної системи «кріплення–виробка–масив». Визначено коефіцієнт впливу забою, обґрунтовано параметри анкерних систем, раціональні в конкретних гірничо-геологічних умовах.

Ключові слова: чисельне моделювання, анкерна система, здимання, стійкість виробки, геомеханічні процеси.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. С увеличением глубины разработки угольных месторождений геомеханические процессы в горных выработках характеризуются большими деформациями контура, которые по скорости протекания могут быть разделены на статические и динамические. Если рассматривать такие процессы с точки зрения влияния их на устойчивость горной выработки, и те, и другие являются признаками неблагоприятных условий эксплуатации подземного объекта, которые проявляются по-разному. Главная опасность динамических процессов заключается в быстротечности их развития и протекания. Их реализация в выработках связана с накоплением большого количества потенциальной энергии и быстрым ее переходом в кинетическую. Высвобождение энергии в таких хрупких материалах, которыми являются уголь и горные породы, сопровождается глубокой деструкцией и выбросом разрушенного материала на значительное расстояние от исходного положения забоя выработки. После реализации динамического процесса породный массив разгружается и переходит в новое равновесное состояние. Статические, или квазистатические, процессы, в отличие от динамических, развиваются в течение сравнительно длительного периода времени, который измеряется сутками, месяцами и даже годами с достаточной малой скоростью. Одним из наиболее распространенных проявлений таких квазистатических процессов является пучения пород почвы горных выработок.

Наиболее физически и математически обоснованной является бифуркационная теория пучения горных пород, рассматривающая это явление как потерю упругопластической устойчивости приконтурного породного массива, ослабленного выработкой [1, 2]. Применительно к этой теории предложен критерий оценки устойчивости в виде:

$$\varepsilon_V r_L^{*2} \ln^2 r_L^* - 2 = 0. \quad (1)$$

Здесь ε_V – средняя величина относительного объемного разрыхления пород; r_L^* – критический радиус зоны неупругих деформаций, отнесенный к радиусу выработки, соответствует глубине, с которой начинается вспучивание почвы в выработке.

Приведенный выше критерий (1) позволяет определить возможность возникновения бифуркации энергетического состояния геомеханической системы, что соответствует началу возмущенного процесса потери ее устойчивости, и разработан для простого случая: круглая выработка в изотропном однородном породном массиве при действии на неё гидростатических сил горного давления. Кроме того, он основан на оценке размеров зоны неупругих деформаций r_L , получение достоверных значений которых связано со значительными трудностями. В таких условиях основным инструментом исследований становятся натурные измерения и моделирование с применением физических и численных моделей

Целью настоящей работы является изложение результатов численного моделирования геомеханических систем «выработка–рамно-анкерная крепь–породный массив» для условий шахты 1/3 «Новгородовская».

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Согласно [3], устойчивость выработки в момент времени определяется показателем устойчивости ω , который численно равен:

$$\omega = \frac{\bar{S}}{S}, \quad (2)$$

где S – общая длина, \bar{S} – длина ненарушенных участков.

Изменение показателя устойчивости выработки ω может быть представлено в зависимости от изменения смещений контура (рис. 1).

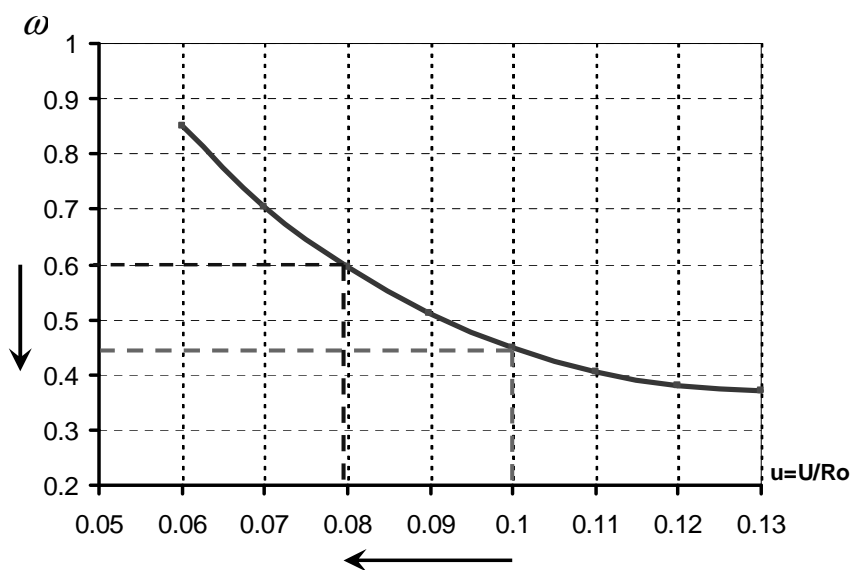


Рисунок 1 – Зависимость показателя устойчивости, как функция смещений контура выработки, после стабилизации геомеханических процессов [3]

Смещения контура выработки определяют эксплуатационное состояние крепи и выработки в целом. Большие смещения породного контура приведут к существенному снижению устойчивости выработки и увеличению затрат на ремонт и поддержание. Поэтому повышение устойчивости выработок должно быть основано, главным образом, на применении способов и средств, направленных на снижение расслоений приконтурного массива, одним из которых является применение анкерных систем.

В дальнейшем для моделирования геомеханических процессов, протекающих в окрестности выработок на различных стадиях ведения горных работ, а также для оценки эффективности различных средств и мероприятий по обеспечению их устойчивости, используется программный комплекс "Phase 2" канадской лаборатории геомеханики *Rocscience*. Программа базируется на использовании метода конечных элементов (МКЭ). Возможности программы позволяют учитывать в расчете упругопластические свойства вмещающих пород, что, помимо прочего, позволяет моделировать постадийное раскрытие выработок в неупругой среде, учитывая на каждой последующей стадии в качестве начальных те деформации, которые реализованы на предыдущей стадии формирования напряженно-деформированного состояния (НДС) [4, 5].

Рассмотрим моделирование геомеханической системы «выработка-массив» для условий поддержания нижнего сопряжения 18-й северной лавы пл. l_1 . ОП «Шахта 1/3 «Новгородовская» ГП «Селидовуголь» постадийным методом. Конечноэлементная аппроксимация области осуществлялась посредством трехузловых треугольных элементов. Граничные условия задаются в виде перемещений: жестко закрепляется нижняя граница, то есть горизонтальные и вертикальные перемещения равны нулю; боковые вертикальные границы также фиксируются в горизонтальном направлении (горизонтальные перемещения равны нулю). К контуру выработки прикладывается распределенная нагрузка, численно равная γH , чем моделируется нетронутый массив по трассе выработки. Последняя стадия уменьшения нагрузки γH соответствует раскрытию выработки на полное сечение.

Моделируется арочное сечение одиночной выработки в упруго-пластической постановке. Для условий поставленной задачи начальное поле напряжений, создаваемое весом вышележащих пород для заданной глубины, составляет: $\sigma_y = \gamma H$. Здесь $\gamma = 25 \text{ кН/м}^3$ – объемный вес пород, H – глубина разработки, принятая равной 780 м.

На рис. 2 приведена конечно-элементная модель и область разрушения при нагружении одиночной выработки с предварительно введенными в расчетную схему структурными элементами, моделирующие анкера. Учитывая, что зона неупругих деформаций вокруг раскрытой в массиве выработки формируется практически мгновенно, развиваясь впоследствии в части разрыхления и реализации смещений контура выработки, фактически крепь ставится в выработке в условиях уже реализовавшихся начальных смещений. Они, хотя и невелики, указывают на изменившееся начальное НДС массива в окрестности выработки, что должно быть учтено в построении численной модели.

Для того, чтобы рассчитать, на какой стадии следует «поставить» крепь, воспользуемся формулой [6], введя в нее параметр k – коэффициент влияния забоя:

$$r_L = \exp\left(\sqrt{\frac{k\gamma H}{2R_c k_c}} - 0,5\right), \quad (3)$$

где R_c – предел прочности на одноосное сжатие, МПа; k_c – коэффициент структурного ослабления пород; r_L – радиус зоны неупругих деформаций.

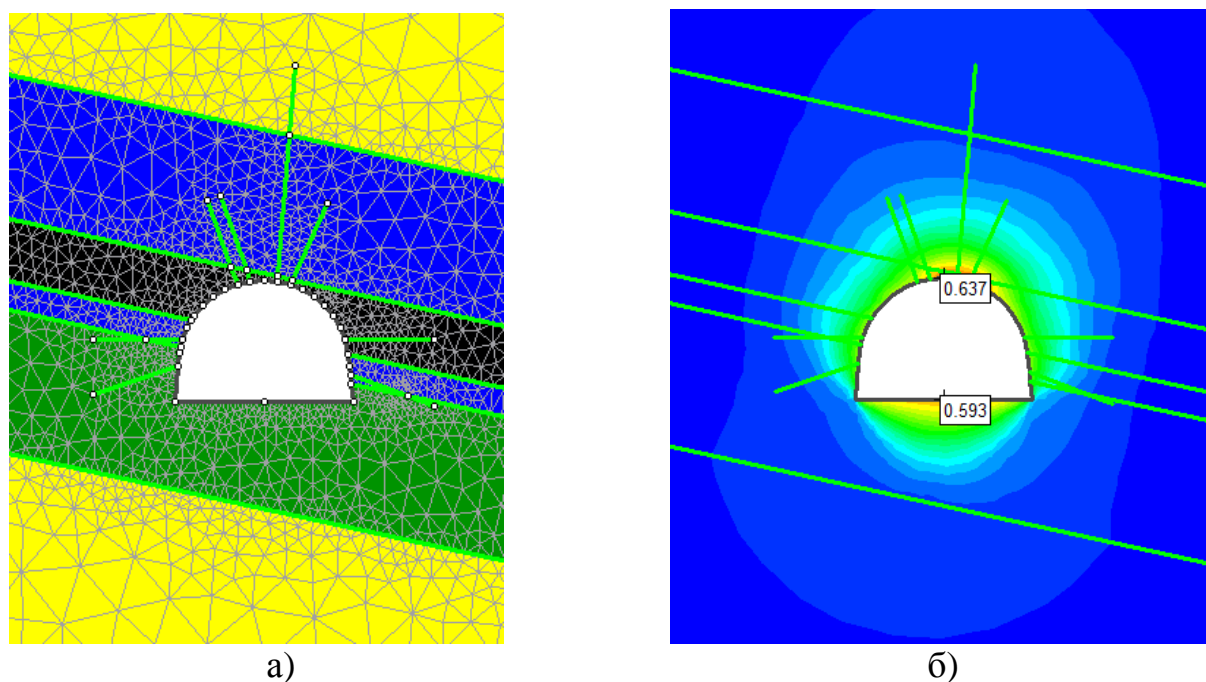


Рисунок 2 – Численная модель одиночной выработки:

а) конечно-элементная аппроксимация; б) область разрушения при нагружении

Откуда

$$k = \frac{2R_c k_c}{\gamma H} (\ln r_L^2 + 0,5)^2. \quad (4)$$

Исходя из (4), в рассмотренных условиях для соблюдения соответствия условий модели фактическому технологическому регламенту крепления, крепь следует устанавливать на пятой стадии расчета.

Для данной модели будем считать, что анкера устанавливаются одновременно с крепью. На рис. 3 представлены конечно-элементная модель одиночной выработки и область разрушения при нагружении с учетом рамной крепи из профиля СВП–27, установленной на пятом этапе согласно алгоритму, описанному выше.

Для того, чтобы обосновать параметры анкерных систем (количество, места и последовательность их установки), рациональные в конкретных горно-геологических условиях, выполним численное моделирование с целью установления влияния различных вариантов установки анкеров на НДС геомеханической системы «крепь-выработка-массив». Все задачи (модели) разбивались на

две группы: в задачах первой группы анкера устанавливались по часовой стрелке с постепенным их вводом в расчет, а в задачах второй группы – против часовой стрелки. Порядок введения анкеров в модели приведен в табл. 1, схема расположения анкеров по контуру выработки в рассматриваемой группе задач представлена на рис. 4.

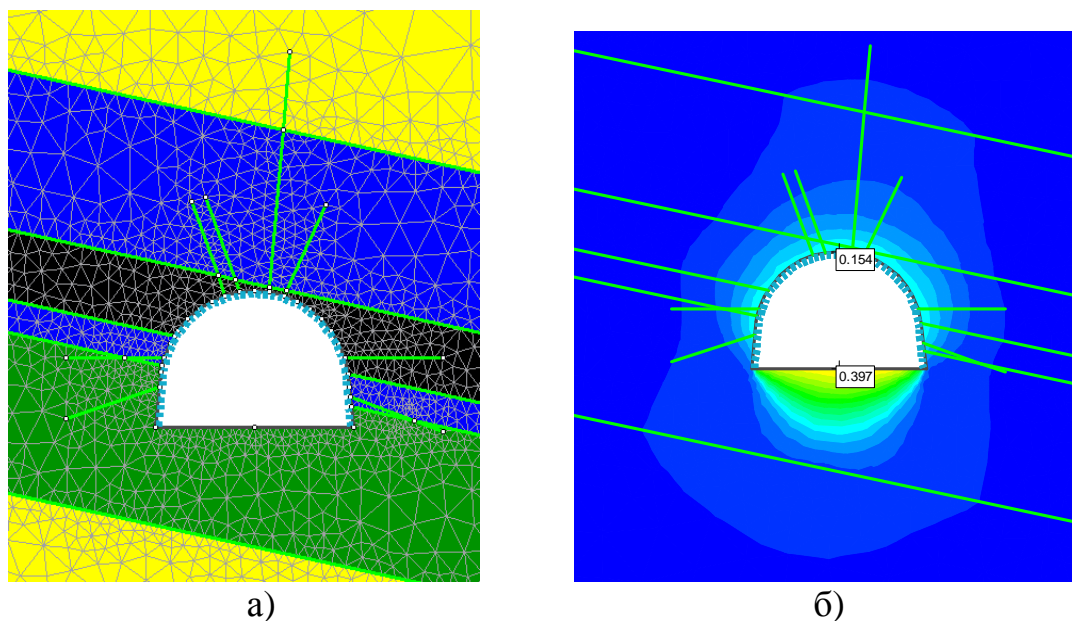


Рисунок 3 – Численная модель одиночной выработки с рамной крепью:
а) конечно-элементная аппроксимация; б) область разрушения при нагружении

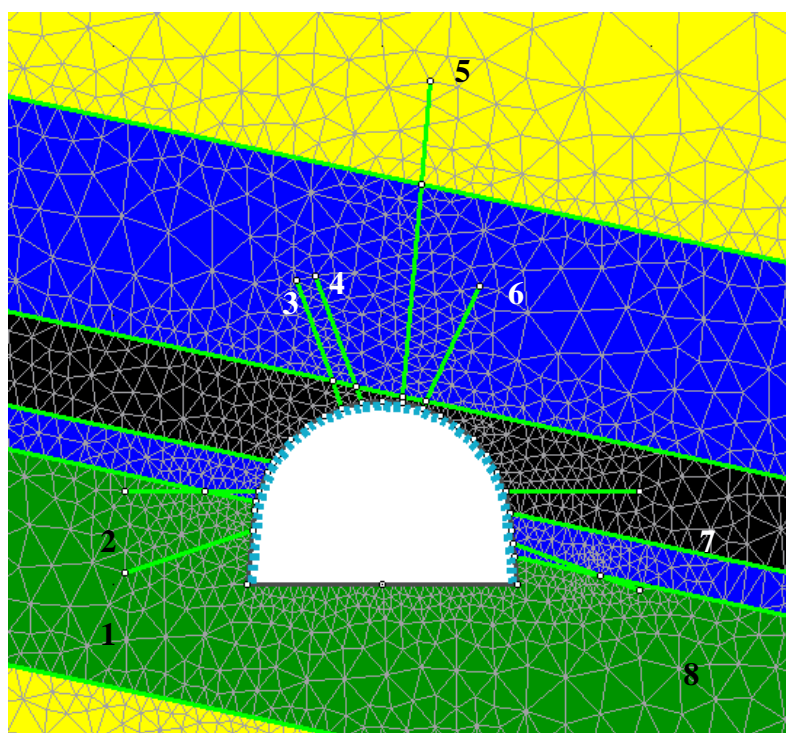


Рисунок 4 – Схема расположения анкеров по контуру выработки в рассматриваемой группе задач: 5 – канатный анкер длиной 6 м; 1–4, 7–8 – стальные анкера из арматурного железа длиной 2,5 м; 6 – спаренный стальной анкер длиной 6 м

ТЕХНІКА Й ТЕХНОЛОГІЯ ЗАСТОСУВАННЯ ПІДРИВНИХ РОБІТ НА ДЕННІЙ ПОВЕРХНІ Й У ПІДЗЕМНИХ УМОВАХ

Таблица 1 – Параметры численных задач, учитывающих анкера

Номер задачи	Кол-во анкеров	Номер анкера в задачах:	
		группы I	группы II
Задача 1	1 анкер	№5	№5
Задача 2	2 анкера	№5 и 6	№4 и 5
Задача 3	3 анкера	№4-6	№3-5
Задача 4	4 анкера	№3-6	№3-6
Задача 5	5 анкеров	№3-7	№2-6
Задача 6	6 анкеров	№ 2-7	№ 2-7
Задача 7	7 анкеров	№2-8	№1-7
Задача 8	8 анкеров	№1-8	№1-8

Результаты моделирования сведены в табл. 2. Они показывают, как в одних и тех же условиях на величину пучения пород почвы влияет установка рамной крепи, а также параметры установки анкеров в поперечном сечении. Итоговые результаты сравнения величины смещений в контрольных точках, находящихся в почве выработки по ее вертикальной оси, приведены на рис. 5.

Таблица 2 – Результаты численного моделирования

Задачи	Смещения в почве, м, при задачах									
	Без крепи	Рамная крепь	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8
группы I	0,59	0,40	0,30	0,28	0,29	0,28	0,27	0,22	0,20	0,21
группы II	0,59	0,40	0,30	0,26	0,27	0,28	0,24	0,22	0,22	0,21

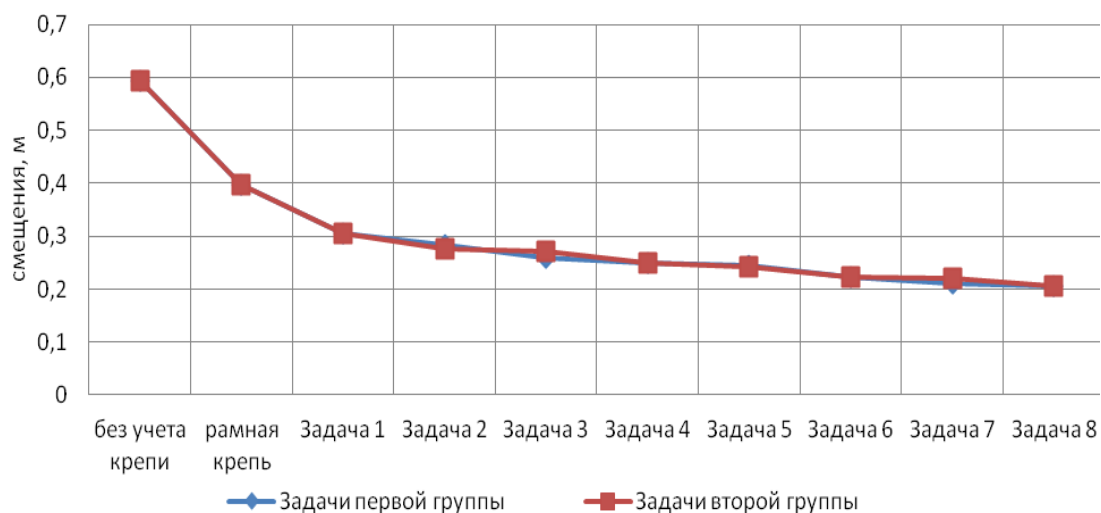


Рисунок 5 – График смещений в почве выработки в зависимости от количества анкеров

Из рис. 5 видно, что использование в численной модели рамной крепи позволило снизить пучение почвы с 0,593 м до 0,397 м, (т.е., на 33%). Однако, этого недостаточно для эффективной эксплуатации выработки, так как смещения все равно превышают предел, когда эксплуатация выработки происходит без заметных затруднений, поэтому было принято решение дополнительно устанавливать анкера.

Анализ результатов показал, что установка одного канатного анкера в кровле выработки позволила уменьшить величину пучения в почве выработки на 23,4 % по сравнению с использованием только рамной крепи, а установка анкеров только в кровлю (в боках анкера отсутствуют) оказывает влияние на величину пучения пород почвы выработки, снижая их. Посредством установки рамной крепи и 8 анкеров для условий шахты ОП «Шахта 1/3 «Новгородовская» удалось уменьшить пучение почвы с 0,593 до 0,207 м, что составляет 65 %.

Кроме того, можно сделать вывод, что порядок установки анкеров незначительно влияет на величину смещений, имеющих место на контуре выработки, при условии, что анкера устанавливаются в непосредственной близости к проходческому забою.

ВЫВОДЫ.

1) Выполнено численное моделирование системы «выработка-крепь-массив» для условий поддержания нижнего сопряжения 18-й северной лавы пл. 1₁. ОП «Шахта 1/3 «Новгородовская» ГП «Селидовуголь» методом постадийного решения.

2) Определен коэффициент влияния забоя для данных горно-геологических условий, что позволило установить стадию выполнения численной процедуры решения задачи, на которой необходимо «устанавливать» крепь.

3) Анализ результатов численного моделирования одиночной выработки с учетом рамной крепи и без учета крепи показал, что использование рамной крепи в численной модели позволяет снизить смещения в почве выработки на 33%.

4) Установка одного канатного анкера в кровле выработки позволила уменьшить величину пучения в почве выработки на 23,4 % по сравнению с использованием только рамной крепи. Посредством установки рамной крепи и восьми анкеров для условий шахты ОП «Шахта 1/3 «Новгородовская» удалось уменьшить пучение почвы с 0,593 до 0,207 м, что составляет 65 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Некоторые задачи статистической геомеханики / А.Н. Шашенко, С.Б. Тулуб, Е.А. Сдвижкова. – К.: Універ. вид-во “Пульсари”, 2002. – 304 с.

2. Деформируемость и прочность массивов горных пород: Монография / А.Н. Шашенко, Е.А. Сдвижкова, С.Н. Гапеев. – Днепропетровск: НГУ, 2008. – 224 с.

3. Шашенко О.М. Управління стійкістю протяжних виробок глибоких шахт: монографія / О.М. Шашенко, О.В. Солодянкін, А.В. Мартовицький. – Дніпропетровськ: ЛізуновПрес, 2012. – 400 с.

4. Hoek E. (2002). *Practical Rock Engineering*. – London: Institution of Mining and Metallurgy. – P. 325.
5. Hoek, E., Carranza-Torres, C. and Corkum, B. (2002), “Hoek-Brown criterion”, *Proc. NARMS-TAC Conference*. – Toronto, Vol. 1. – PP. 267–273.
6. Механика горных пород: учебник для вузов / А.Н. Шашенко, В.П. Пустовойтенко. – К.: Новый друк, 2003. – 400 с.

CONTROL OF GEOMECHANICAL PROCESSES AROUND EXCAVATIONS USING ANCHOR SYSTEMS

O. Logunova

National Mining University

prosp. Karl Marx, 19, Dnepropetrovsk, 49000, Ukraine.

E-mail: lajana@inbox.ru

The modelling of geomechanical system ‘excavation-rock’ to the conditions of lower roadhead of 18-th northern face bank 11 of "Mine 1/3 "Novogradovskaja" SE "SelidovUgol" by stepwise method is considered. Numerical modeling is completed for determining the impact of various variants of anchors installation on stress strain behavior of geomechanical system ‘support-excavation-rock’. The coefficient of the face influence is determined, settings of anchor systems that are rational in specific geological conditions are substantiated.

Key words: numerical modeling, anchor system, rock heaving, staying of excavation, geomechanical processes.

REFERENCES

1. Shashenko, A.N., Sdvyzhkova, Ye.A. and Tulub, S.B (2002), Some problems of statistical geomechanics, Pulsar, Kiev, Ukraine.
2. Shashenko, A.N., Sdvyzhkova, Ye.A. and Gapieiev, S.N. (2008), *Deformiruemost i prochnost gornykh porod* [Deformability and Strength of Rocks], National Mining University, Dnepropetrovsk, Ukraine.
3. Shashenko, A.N., Solodyankin, A.V. and Martovytskyi, A.V. (2012) *Upravlinnya stiykisty protyazhnykh vyrobok hlybokykh shakht* [Management stability of extended excavations in deep mines], LizunovPres, Dnepropetrovsk, Ukraine.
4. Hoek E. (2002). *Practical Rock Engineering*. London: Institution of Mining and Metallurgy. p. 325.
5. Hoek, E., Carranza-Torres, C. and Corkum, B.(2002), “Hoek-Brown criterion”, *Proc. NARMS-TAC Conference*, Toronto, Vol. 1, pp. 267–273.
6. Shashenko, A.N., Pustovojtenko, V.P. (2003), *Rock mechanics*. New Druk Kiev, Ukraine.

Стаття надійшла 26.05.2014.