

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ АНКЕРОВАНИЯ НАКЛОННЫХ ВЫРАБОТОК

Р. Н. Терещук, О. В. Терещук

Государственный ВУЗ «Национальный горный университет»

просп. К. Маркса, 19, Днепропетровск, 45005, Украина.

E-mail: tereschuk.rm@gmail.com

Приведены результаты математического моделирования рамно-анкерной крепи, установленной в наклонной выработке, для условий пласта m_5^{16} шахты «Добропольская» ООО «ДТЭК Добропольеуголь». Получены зависимости смещений кровли и почвы наклонной выработки при изменении длины и количества анкеров, установленных в приконтурный массив горной выработки, а также глубины заложения выработки. Выполнен анализ полученных результатов. Определены рациональные параметры анкерования наклонных выработок в данных горно-геологических условиях.

Ключевые слова: анкерная крепь, наклонная выработка, плотность анкерования, длина анкеров, математическое моделирование, приконтурный массив.

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ АНКЕРУВАННЯ ПОХИЛИХ ВИРОБОК

Р. М. Терещук, О. В. Терещук

Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»

просп. К. Маркса, 19, Дніпропетровськ, 45005, Україна.

E-mail: tereschuk.rm@gmail.com

Наведено результати математичного моделювання рамно-анкерного кріплення, встановленого в похилій виробці, для умов пласта m_5^{16} шахти «Добропільська» ТОВ «ДТЕК Добропіллявугілля». Отримано залежності зміщень покрівлі та підосви при похилої виробки при зміні довжини та кількості анкерів, що встановлені в приконтурний масив гірничої виробки, а також глибини закладення виробки. Виконано аналіз отриманих результатів. Визначено раціональні параметри анкерування похилих виробок в даних гірничо-геологічних умовах.

Ключові слова: анкерне кріплення, похила виробка, щільність анкерування, довжина анкера, математичне моделювання, приконтурний масив.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Интенсивная разработка угольных месторождений привела к заметному увеличению глубины шахт. Опыт строительства и эксплуатации глубоких шахт показывает, что с увеличением глубины разработки возрастает интенсивность проявлений горного давления, что приводит к деформированию и разрушению крепи и, как следствие, к большим затратам на ремонт выработок. В этой связи обычное решение возведение крепи – оказывается недостаточным, т.к. при этом не учитывается возможное изменение геомеханического состояния породного массива и практически исключается возможность управления им. Направление на увеличение несущей способности крепи для обеспечения эксплуатационного состояния выработок себя не оправ-

дывает. В итоге состояние горных выработок остается неудовлетворительным. Деформируются практически все выработки, но особенно тяжелое положение наблюдается в зоне влияния очистных работ. Решение этого вопроса возможно при использовании несущей способности породного массива, что может быть реализовано созданием системы крепь–порода уже в начальный период сооружения выработок. Последнее может быть достигнуто применением способов охраны – дополнительных – мероприятий, направленных на включение породного массива, прилегающего к выработке, в совместную работу с крепью.

Анализируя результаты научных наблюдений, большинство исследователей пришли к выводу, что никакая технологически выполнимая и экономически целесообразная рамная крепь выработок, проводимых в горных породах на больших глубинах, не может в полной мере противодействовать горному давлению, и поэтому бороться с образованием зон разрушения путем увеличения несущей способности крепи нецелесообразно [1].

Вопросы успешного преодоления трудностей снабжения шахт металлокрепью, обеспечения устойчивости выработок, повышения безопасности ведения горных работ и быстрая подготовка новых выемочных полей могут быть решены путем использования более эффективных и металлосберегающих видов крепи, одним из которых является анкерная.

Исследование взаимодействия одиночного анкера, а тем более системы анкеров, с породным массивом аналитическими методами представляет очень непростую задачу. В этой связи основные параметры анкерной крепи можно определить путем математического моделирования.

В работах [2–5] выполнен значительный объем численного моделирования направленного на изучение параметров одиночного анкера, установленного в однородный и неоднородный приконтурный массив. Эти результаты могут служить только как предварительные для определения параметров крепления горных выработок рамно-анкерной (анкерной) крепью в реальных горно-геологических условиях. Для более точного обоснования рациональных параметров крепления горных нужно дополнительно изучать влияние анкерных систем на приконтурный массив.

Цель работы – изучить поведение приконтурного массива наклонной горной выработки, закрепленной рамно-анкерной крепью, и определить рациональную плотность установки и длину анкеров при увеличении глубины разработки в условиях пласта m_5^{16} шахты «Добропольская» ООО «ДТЭК Добропольеуголь».

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Решение задачи о напряженно-деформированном состоянии (НДС) породного массива в окрестности горной выработки может быть получено путем применения методов механики сплошной среды, механики дискретной среды, на основе экспериментально-аналитических методов, использующих закономерности, полученные экспериментальным путем в сочетании с аналитическими решениями. Выбор расчетного метода определяется принятой гипотезой горного давления и соответствующей моделью среды.

Математическая модель деформирования породной среды в окрестности местных нарушений сплошности, в том числе в окрестности выработки, должна

отображать основные явления, возникающие вследствие концентрации напряжений и возможного сопутствующего изменения физико-механических свойств окружающего материала.

Получение замкнутых математических решений для такого сложного объекта, каким является горная выработка, находящаяся в породном массиве с неоднородной структурой, невозможно в принципе. Единственный путь, ведущий к эффективному решению поставленной задачи, заключается в разработке и исследовании компьютерных моделей на основе какого-либо хорошо разработанного численного метода.

На основе анализа численных методов исследования НДС горного массива можно сделать вывод о целесообразности применения для расчета напряженно-деформированного состояния массива в окрестности горной выработки метода конечных элементов.

Математическая модель взаимодействия рамно-анкерной крепи с приконтурным массивом горных пород была реализована путем решения упругопластической задачи в плоско деформированной постановке.

Методом конечных элементов моделировались условия грузового ходка уклона пласта m_5^{16} гор. 450 м шахты «Добропольская». Выработка пройдена комбайновым способом и закреплена арочной крепью АП–13,8 с установкой дополнительно четырех анкеров длиной 2,4 м. Сечение выработок в свету 12,8 м². Бока и кровля выработки затягивались деревянной затяжкой. Расстояние между рамами крепи 500 мм. Угол наклона выработки 10 градусов.

Физико-механические параметры угольного пласта и вмещающих пород, используемые при математическом моделировании, приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Физико-механические параметры угольного пласта и вмещающих пород

	Модуль упругости, МПа	Коэффициент Пуассона	Предел прочности на одноосное сжатие, МПа	Предел прочности на растяжение, МПа	Плотность пород, т/м ³
Песчаник (основная кровля)	$1,8 \cdot 10^4$	0,2	35	3,5	2,6
Аргиллит (непосредственная кровля)	$1,1 \cdot 10^4$	0,23	55	5,5	2,5
Угольный пласт m_5^{16}	$0,9 \cdot 10^4$	0,16	15	1,5	1,4
Аргиллит (непосредственная почва)	$0,8 \cdot 10^4$	0,24	35	3,5	2,5

Исследования были направлены на определение рациональной плотности установки анкерной крепи и длины анкеров при изменении глубины заложения

выработки. При моделировании изменялись следующие параметры: количество анкеров $N_a = 3 \dots 9$ шт., длина анкеров $l_a = 2,2 \dots 3,5$ м и глубина заложения выработки $H = 700 \dots 1500$ м.

Расчетная схема к решению задачи определения рациональной плотности анкерования и длины анкеров для крепления наклонных выработок при изменении глубины заложения выработки приведена на рис. 1.

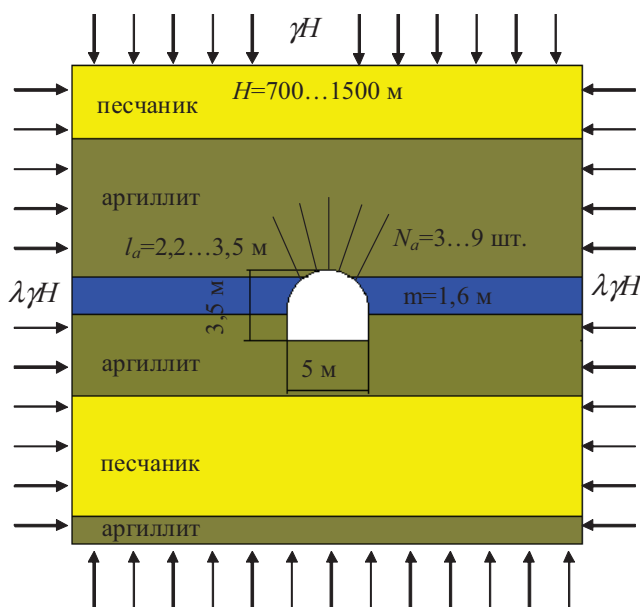


Рисунок 1 – Расчетная схема к решению поставленной задачи

Результаты математического моделирования рамно-анкерной крепи, установленной в наклонной выработке, приведены на рис. 2–9.

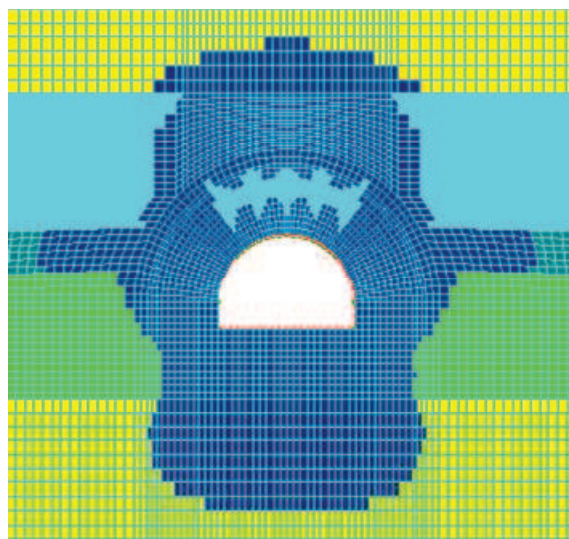


Рисунок 2 – Прилегающая к выработке зона разрыхления и зоны упрочненных пород при креплении выработки арочной крепью и дополнительно пятью анкерами длиной 3,0 м на глубине заложения выработки 700 м

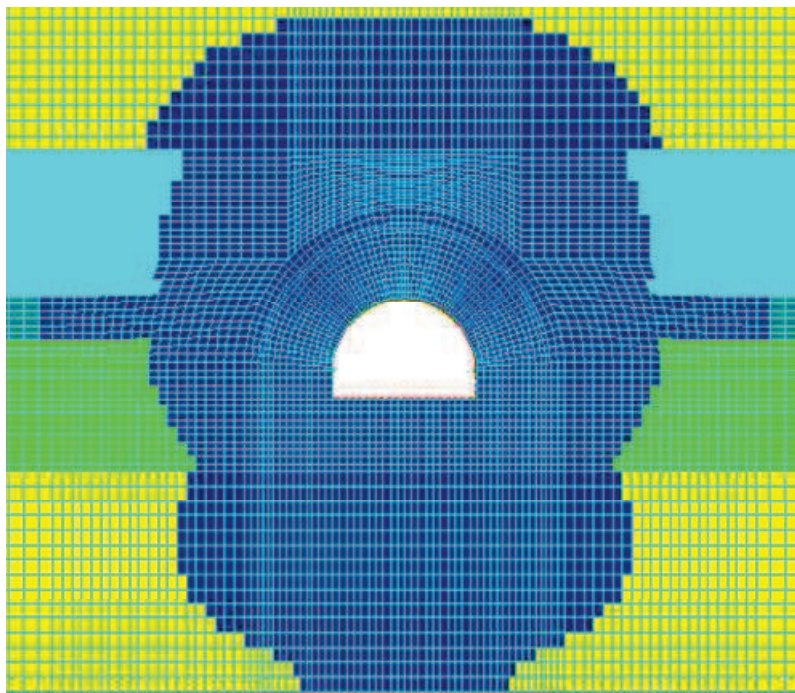


Рисунок 3 – Прилегаюча к выработке зона разрыхления при креплении выработки арочной крепью и дополнительно пятью анкерами длиной 3,0 м на глубине заложения выработки 1500 м

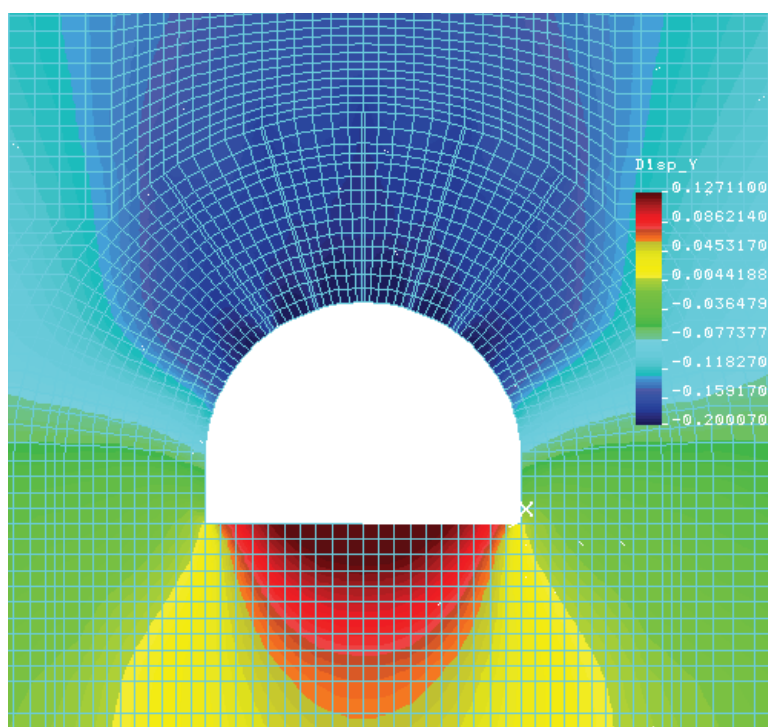


Рисунок 4 – Картина распределения полных перемещений при креплении выработки арочной крепью и дополнительно пятью анкерами длиной 3,0 м на глубине заложения выработки 700 м

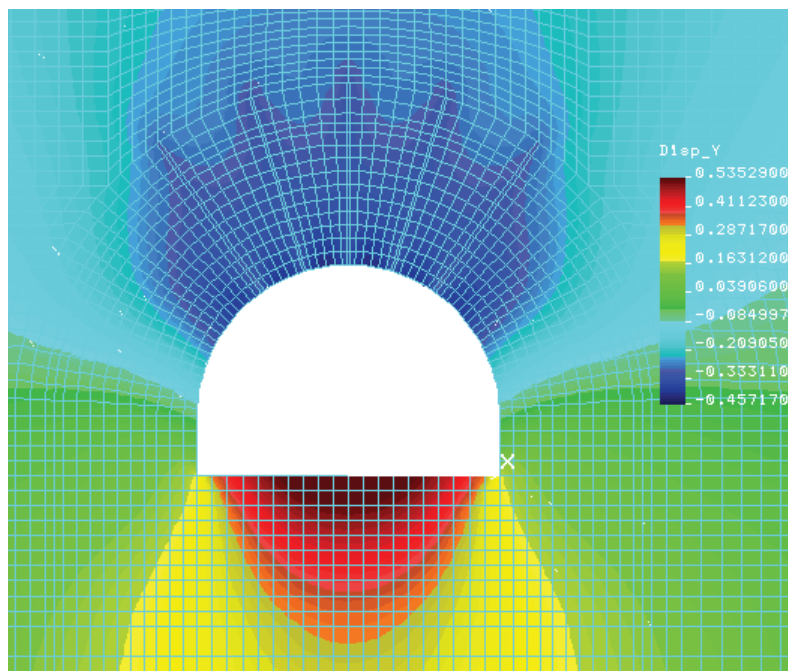


Рисунок 5 – Картина распределения полных перемещений при креплении выработки арочной крепью и дополнительно пятью анкерами длиной 3,0 м на глубине заложения выработки 1500 м

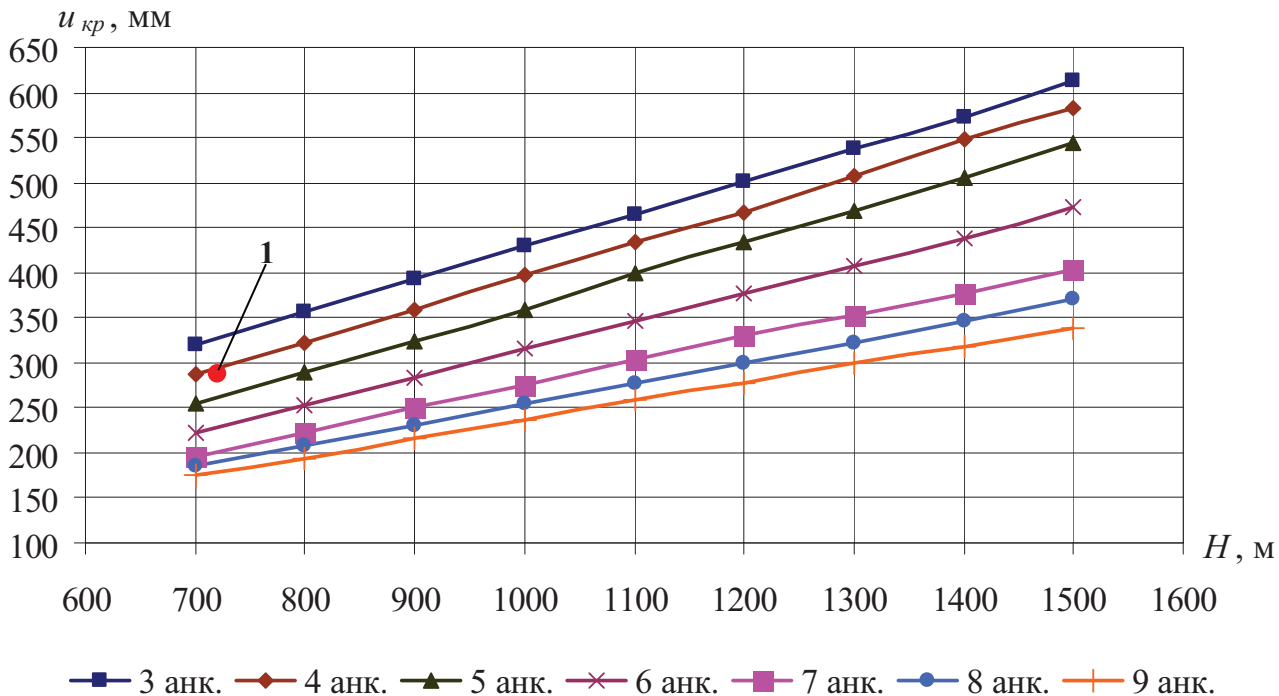


Рисунок 6 – Изменение величины смещения кровли в зависимости от глубины заложения выработки при длине анкера 2,2 м (точка 1 – результаты шахтных наблюдений)

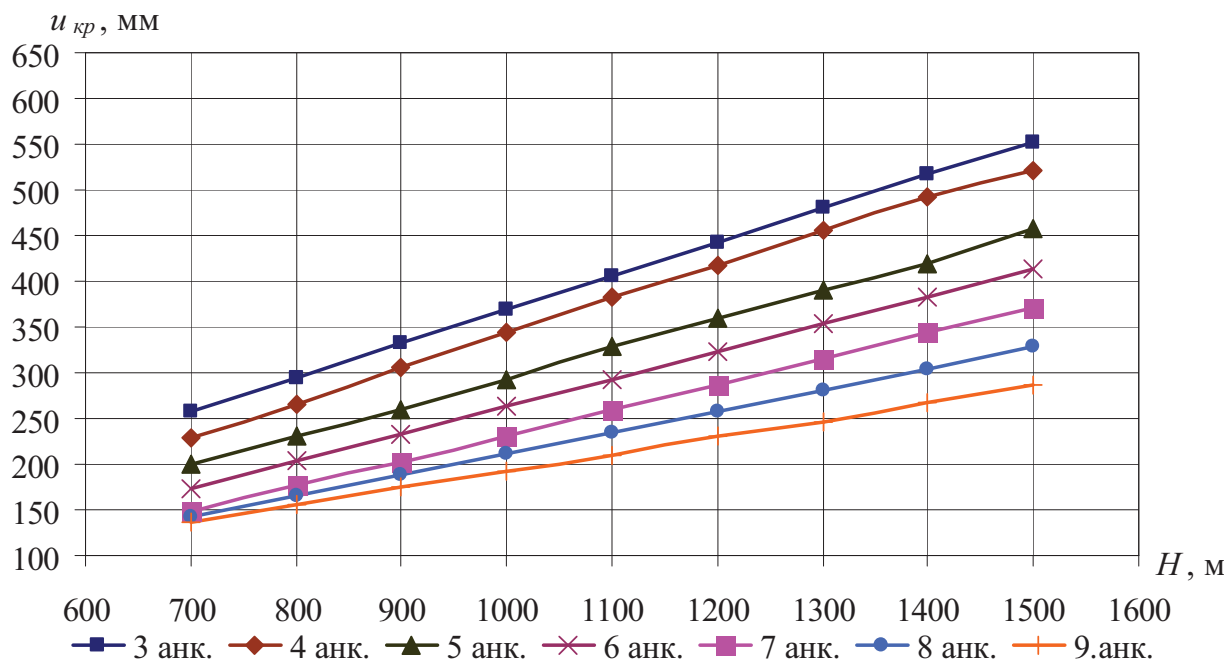


Рисунок 7 – Изменение величины смещения кровли в зависимости от глубины заложения выработки при длине анкера 3,0 м

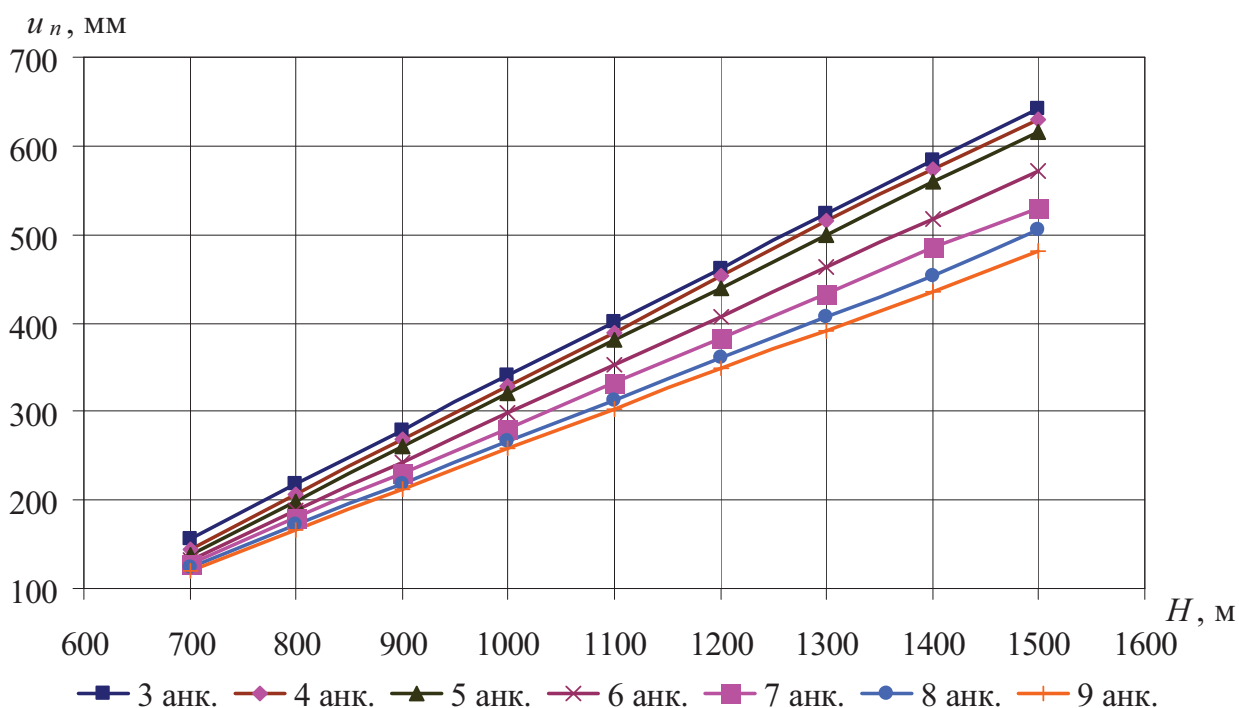


Рисунок 8 – Изменение величины смещения почвы в зависимости от глубины заложения выработки при длине анкера 2,2 м

В результате математического моделирования были получены зависимости смещений кровли и почвы выработки от глубины ее заложения ($H = 700\text{--}1500$ м) при изменении количества ($N_a = 3\text{--}9$ шт.) и длины ($l_a = 2,2\text{--}3,5$ м) анкеров. В работе приведены зависимости смещений кровли и почвы выработки от глубины ее заложения при установке анкеров длиной 2,2 и 3 м.

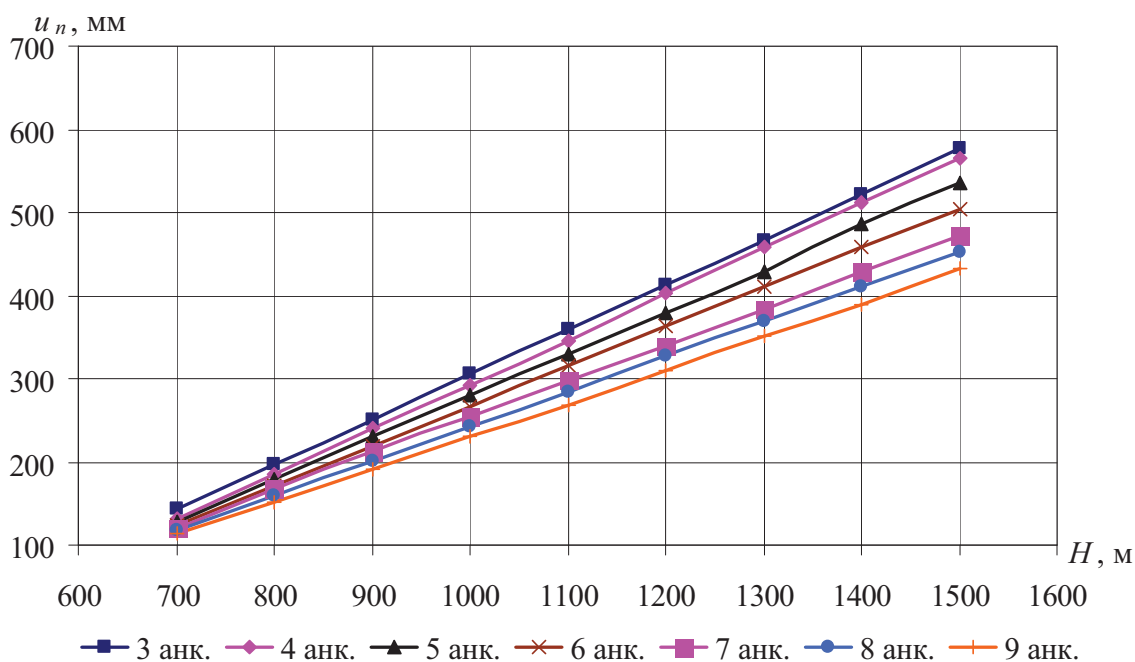


Рисунок 9 – Изменение величины смещения почвы в зависимости от глубины заложения выработки при длине анкера 3,0 м

Анализируя полученные результаты можно сделать следующие выводы:

– результаты численных расчетов и шахтные замеры для выработки, закрепленной арочной крепью и дополнительно четырьмя анкерами, отличаются в кровле на 2,1 % (6 мм) (рис. 6, точка 1). Таким образом, можно сделать вывод об адекватности разработанной математической модели;

– усредненный радиус r_l зоны разрыхления, прилегающей к выработке, на глубине 700 м составляет около 6,75 м, а отношение усредненного радиуса зоны разрыхления к радиусу выработки r_0 составит $r_l/r_0 = 2,7$, на глубине 1500 м $r_l = 10$ м, а $r_l/r_0 = 4$ (рис. 2 и 3);

– зона упрочненных пород в кровле выработки (рис. 2) при установке анкеров длиной 3 м исчезает при: пяти анкерах на глубине 1000 м (рис. 3), шести анкерах – 1100 м, семи анкерах – 1200 м, восьми анкерах – 1300 м, девяти анкерах – 1400 м;

– смещения кровли и почвы выработки, для всех рассмотренных вариантов установки анкерной крепи, описываются уравнениями типа $y = ax + b$ (рис. 6–9). Для случая, когда установлены анкера длиной 3 м и глубине заложения выработки от 700 до 1500 м значения a и b представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Значения a и b

Кол-во анкеров, шт.	3	4	5	6	7	8	9
Кровля							
a	0,368	0,3715	0,3208	0,3	0,2795	0,2313	0,1855
b	0,8667	-29,298	-26,472	-37	-48,002	-19,244	7,0611
Почва							
a	0,5413	0,5449	0,508	0,478	0,4374	0,4193	0,398
b	-236,24	-251	-228,02	-211,13	-183,46	-176,38	-166,91

– величина изменения смещений кровли при увеличении глубины заложения выработки и установке анкеров длиной 3 м составляет: для трех анкеров 37 мм на 100 м, для девяти анкеров 19 мм на 100 м (рис. 7);

– величина изменения смещений почвы при увеличении глубины заложения выработки и установке анкеров длиной 3 м составляет: для трех анкеров 54,5 мм на 100 м, для девяти анкеров 40 мм – на 100 м (рис. 9);

– при увеличении глубины заложения выработки разница между смещениями кровли (при установке от трех до девяти анкеров) увеличивается, так для случая анкеров длиной 3 м она составляет: на глубине 700 м – 121 мм, на глубине 1500 м – 264 мм (рис. 7);

– при увеличении глубины заложения выработки разница между смещениями почвы (при установке от 3 до 9 анкеров) увеличивается, так для случая анкеров длиной 3 м она составляет: на глубине 700 м – 30 мм, на глубине 1500 м – 145 мм (рис. 9);

– полученные зависимости смещений кровли и почвы выработки от глубины ее заложения ($H = 700 \dots 1500$ м) при изменении количества ($N_a = 3 \dots 9$ шт.) и длины ($l_a = 2,2 \dots 3,5$ м) анкеров могут служить для прогноза смещений в подобных горно-геологических условиях для строящихся выработок. Например, для глубины 1200 м при установке анкеров длиной 2,2 м нужно получить смещения в кровле 300 мм. Из рис. 6 видно, что при данных условиях нужно установить восемь анкеров, при этом смещения в почве (рис. 8) составят 360 мм.

ВЫВОДЫ. Таким образом, для условий пласта m_s^{16} шахты «Добропольская» полученные зависимости смещений кровли и почвы наклонной выработки от глубины ее заложения при изменении количества и длины анкеров. Данные зависимости могут служить для прогноза смещений в подобных горно-геологических условиях для вновь строящихся наклонных выработок, что в свою очередь, позволит оптимизировать параметры рамно-анкерной крепи для их крепления.

Дальнейшие исследования будут направлены на определение рациональных параметров анкерования наклонных выработок в горно-геологических условиях ООО «ДТЭК Добропольеуголь».

ЛИТЕРАТУРА

1. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт / А.Ф. Булат, В.В. Виноградов. – Днепропетровск: Ин-т геотехнической механики НАН Украины, 2002. – 372 с.

2. Терещук Р.Н. Определение рациональной плотности анкерования однородного приконтурного массива // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва”. – 2013. – Вип. 2 (12). – С. 130-137.

3. Терещук Р.Н. Определение зоны влияния одиночного анкера на однородный приконтурный массив // Збір. наук. праць «Проблеми гірського тиску». – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – № 19. – С. 183–195.

4. Терещук Р.Н. Определение рациональной зоны влияния одиночного анкера на неоднородный приконтурный массив // Збір. наук. праць «Проблеми гірського тиску». – Донецьк: ДонНТУ, 2013. – № 1 (22) – №2 (23). – С. 80–94.

5. Терещук Р.Н. Определение рациональной плотности анкерования наклонных выработок // Уголь Украины. – 2014. – № 10. – С. 8–11.

DETERMINATION OF RATIONAL PARAMETRES FOR ANCHORING INCLINED WORKINGS

R. Tereschuk, O. Tereschuk

State Higher Educational Establishment “National Mining University”

prosp.Karl Marx, 19, Dnipropetrovsk, 49005, Ukraine.

E-mail: tereschuk.rm@gmail.com

The results of mathematical simulation frame-roof bolts installed in the inclined workings for conditions of m_5^{16} coal layer at the mine “Dobropolskaya” LLC “DTEK Dobropolyeugol” are presented. The dependences of the roof and ground displacement in the inclined workings by changing the length and number of anchors installed in the edge massif of the excavation, as well as the depth of the excavation, are obtained. The analysis of the results is carried out. The rational parameters of anchoring in inclined workings under certain mining and geological conditions are determined.

Key words: anchoring, inclined working, anchoring density, length of anchors, mathematical simulation, edge massif.

REFERENCES

1. Bulat, A.F. and Vinogradov, V.V. (2002) *Oporno-ankernoe kreplenie gornykh vyrabotok ugolnykh shakht* [Support-anchoring of mine workings of coal mines], The institute of geotechnical mechanics, Dnipropetrovsk, Ukraine.

2. Tereschuk, R. (2013) “Definition of rational anchoring density of homogenous surrounding massif”, *Up-to-date resource- and energy- saving technologies in mining industry» Research and production journal: Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, vol. 2, no. 12, pp. 130–137.

3. Tereschuk, R. (2011) “Determination of influence a single anchor on a uniform surrounding massif”, *Ground control in mining*, no. 19, pp. 183-195.

4. Tereschuk, R. (2013), “Rational zone of influence of a single anchor on the heterogeneous surrounding massif”, *Zb. nauk. prac Ground control in mining*, vol. 1–2, no. 22–23, pp. 80–94.

5. Tereschuk, R. (2014) “Determination of rational density of anchoring the inclined workings”, *Ugol Ukrainy*, no. 10, pp. 8–11.

Стаття надійшла 01.12.2014.