

УДК 622.281.74

МОДЕЛИРОВАНИЕ АНКЕРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ НАКЛОННЫХ ВЫРАБОТОК

Р. Н. Терещук

Государственный ВУЗ «Национальный горный университет»

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

E-mail: tereschuk.rm@gmail.com

Приведены результаты математического моделирования анкерной крепи, установленной в наклонной выработке, для условий пласта m_4^0 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: шахта, крепь, анкер, выработка, массив, моделирование, плотность, длина.

МОДЕЛЮВАННЯ АНКЕРНИХ СИСТЕМ ДЛЯ КРІПЛЕННЯ ПОХИЛИХ ВИРОБОК

Р. М. Терещук

Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»

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

E-mail: tereschuk.rm@gmail.com

Наведено результати математичного моделювання анкерного кріплення, встановленого в похилій виробці, для умов пласта m_4^0 шахти «Добропільська» ТОВ «ДТЕК Добропіллявугілля». Отримано залежності зміщень покрівлі та підошви для 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: шахта, кріплення, анкер, виробка, масив, моделювання, щільність, довжина.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Поддержание капитальных и подготовительных выработок в нормальном эксплуатационном состоянии, являющееся непрерывным условием безопасности подземных работ и стабильности высоких технико-экономических показателей угледобывающих предприятий, сопряжено со значительными затратами на ремонтно-восстановительные работы.

Основным видом крепи горных выработок угольных шахт в Украине является металлическая арочная податливая крепь из спецпрофиля. В настоящее время наибольшее распространение получила трехзвенная арочная крепь. Однако существующие арочные крепи не позволяют сохранять капитальные и подготови-

тельные выработки в эксплуатационном состоянии весь срок службы. Неудовлетворительное состояние выработок и связанные с этим затраты на укрепление, главным образом, обусловлены несоответствием конструктивных параметров арочных крепей характеру и величине проявления горного давления. Применяемые конструкции крепи при низкой несущей способности не влияют на геомеханические процессы, протекающие вокруг выработки, являясь, по сути, пассивной ограждающей конструкцией, функции которой сводятся к предохранению выработки от вывалов и высыпания разрушенных и отслоившихся от нарушенного массива пород.

Поэтому успешное решение вопроса обеспечения устойчивости капитальных и подготовительных горных выработок может быть при применении новых технологий прохождения выработок и использования более эффективных и металлоберегающих видов крепи, одной из которых является анкерная крепь. Основная задача при этом состоит в правильности выбора ее параметров: плотности установки и их длины.

Анализируя результаты научных наблюдений [1–3], 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.

Выполненный анализ существующих представлений о взаимодействии анкерной крепи с вмещающим массивом и методик определения параметров крепи показал, что, несмотря на разнообразие и большое количество выполненных исследований [4–6], влияние, создаваемых породно-анкерных конструкций на геомеханические процессы, происходящие во вмещающем выработку массиве, изучено не достаточно полно.

В работах [7–10] выполнен значительный объем исследований направленных на изучение параметров анкерного крепления, установленного в неоднородный приконтурный массив капитальных и подготовительных выработок. Но для более точного обоснования рациональных параметров крепления горных выработок в конкретных горно-геологических условиях нужно дополнительно изучать влияние анкерных систем на приконтурный массив.

Цель работы – изучить поведение приконтурного массива наклонной горной выработки, закрепленной анкерной крепью, и определить рациональную плотность установки и длину анкеров при увеличении глубины разработки в условиях пласта m_4^0 шахты «Добропольская» ООО «ДТЭК Добропольеуголь».

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Обоснование параметров анкерной крепи выполнялось на основе изучения закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния приконтурного массива пород и сводилось к определению ожидаемых смещений породного контура выработки, что предопределяет соответствующие величины длины и плотности установки анкеров.

Для решения поставленной задачи использовались численные методы механики деформируемого твердого тела. Они обладают наибольшей общностью при описании механических процессов в породных массивах и конструкциях, так как

Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. Випуск 2/2015(16).

свободны от влияния частных факторов, отражающих специфику горнотехнической ситуации. Эти методы также позволяют исследовать механические процессы в более широком диапазоне, т.е. дают возможность не только качественно, но и количественно прогнозировать результаты проявления горного давления.

Математическая модель, моделирующая состояние породы в окрестности местных нарушений сплошности, должна отображать основные явления, возникающие вследствие возникновения концентрации напряжений и возможного сопутствующего изменения физико-механических свойств окружающего материала.

В качестве способа решения граничной задачи о напряженно-деформированном состоянии массива в окрестности наклонной выработки, закрепленной рамно-анкерной и анкерной крепью, использовался метод конечных элементов.

Математическая модель взаимодействия 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_4^0 горизонта 450 м шахты «Добропольская». Выработка пройдена комбайновым способом и закреплена арочной крепью АП-13,8. 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, 10 ⁴ МПа	Коэффициент Пуассона	Предел прочности на одноосное сжатие, МПа	Предел прочности на растяжение, МПа	Плотность пород, т/м ³	Мощность слоя, м
Песчаник (основная кровля)	1,6	0,2	52	5,2	2,6	4,0
Алевролит (основная кровля)	1,0	0,23	40	4,0	2,4	1,5
Аргиллит (непосредственная кровля)	0,8	0,24	30	3,0	2,5	7,0
Угольный пласт m_4^0	0,9	0,16	15	1,5	1,6	1,2
Алевролит (непосредственная почва)	0,9	0,23	35	3,5	2,4	7,0
Аргиллит	0,8	0,24	30	3,0	2,5	4,5

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.

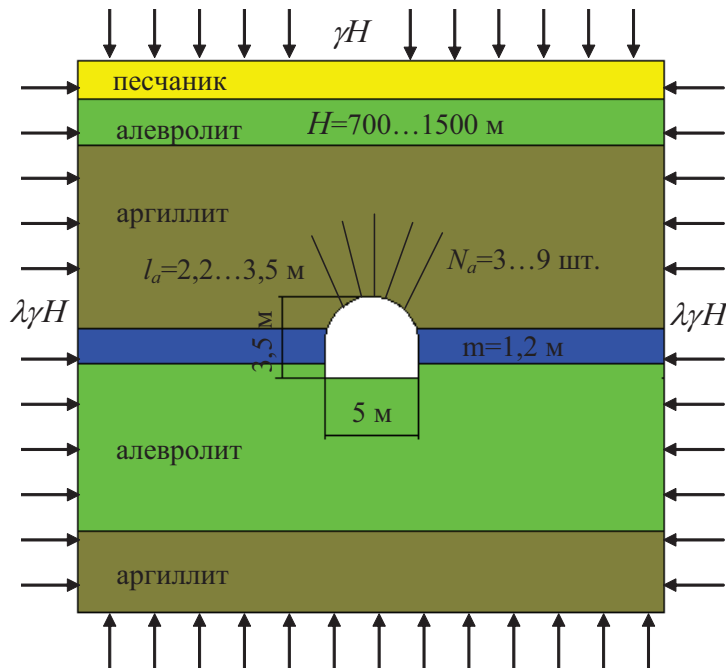


Рисунок 1 – Расчетная схема к решению поставленной задачи

Результаты математического моделирования наклонной выработки, закрепленной анкерной крепью, приведены на рис. 2 и 3.

В результате математического моделирования были получены 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. В работе приведены зависимости смещений кровли и почвы выработки от глубины ее заложения при установке анкеров длиной 3 м (рис. 4 и 5).

Анализируя полученные результаты можно сделать следующие выводы:

– результаты численных расчетов и шахтные замеры смещений кровли и почвы для выработки, закрепленной арочной крепью и дополнительно четырьмя анкерами, отличаются на 4,3 % и 2,4 % соответственно. Таким образом, можно сделать вывод об адекватности разработанной математической модели;

– смещения кровли и почвы выработки, для всех рассмотренных вариантов установки анкерной крепи, описываются уравнениями типа $y = ax + b$ (рис. 4 и 5). 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;

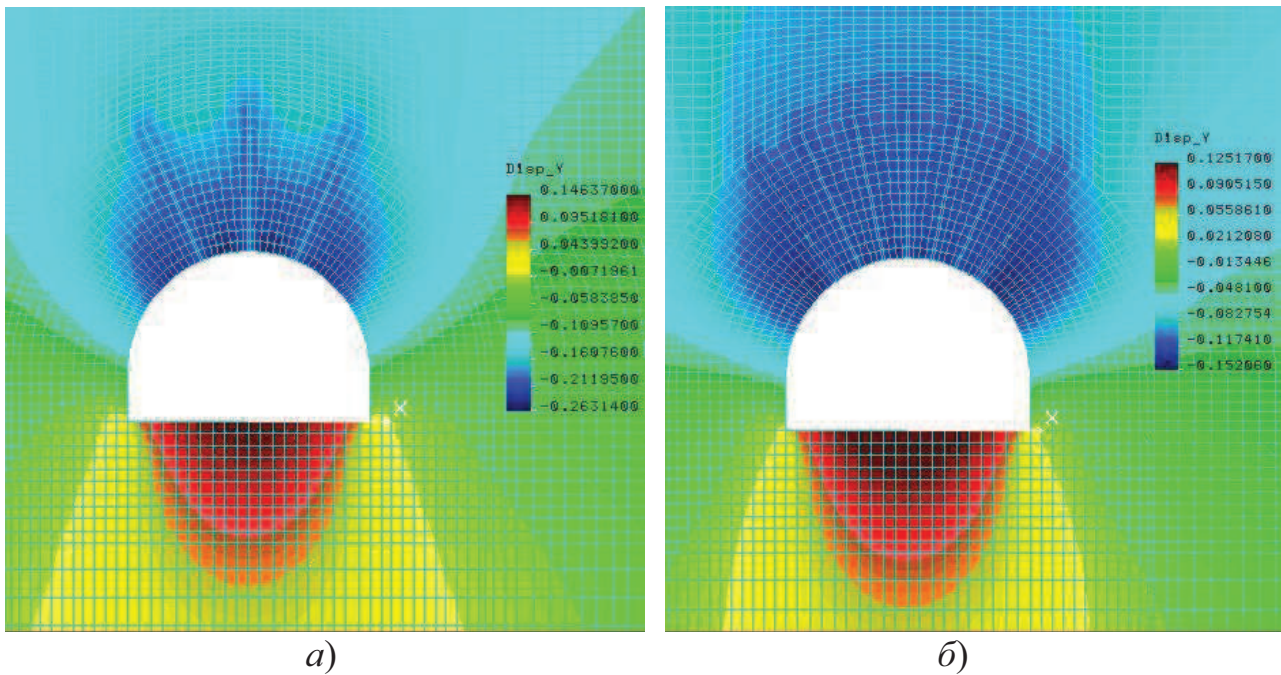


Рисунок 2 – Картина распределения полных перемещений при креплении выработки арочной крепью и дополнительно анкерами длиной 3,0 м на глубине заложения выработки 700 м (а – 3 анкера, б – 7 анкеров)

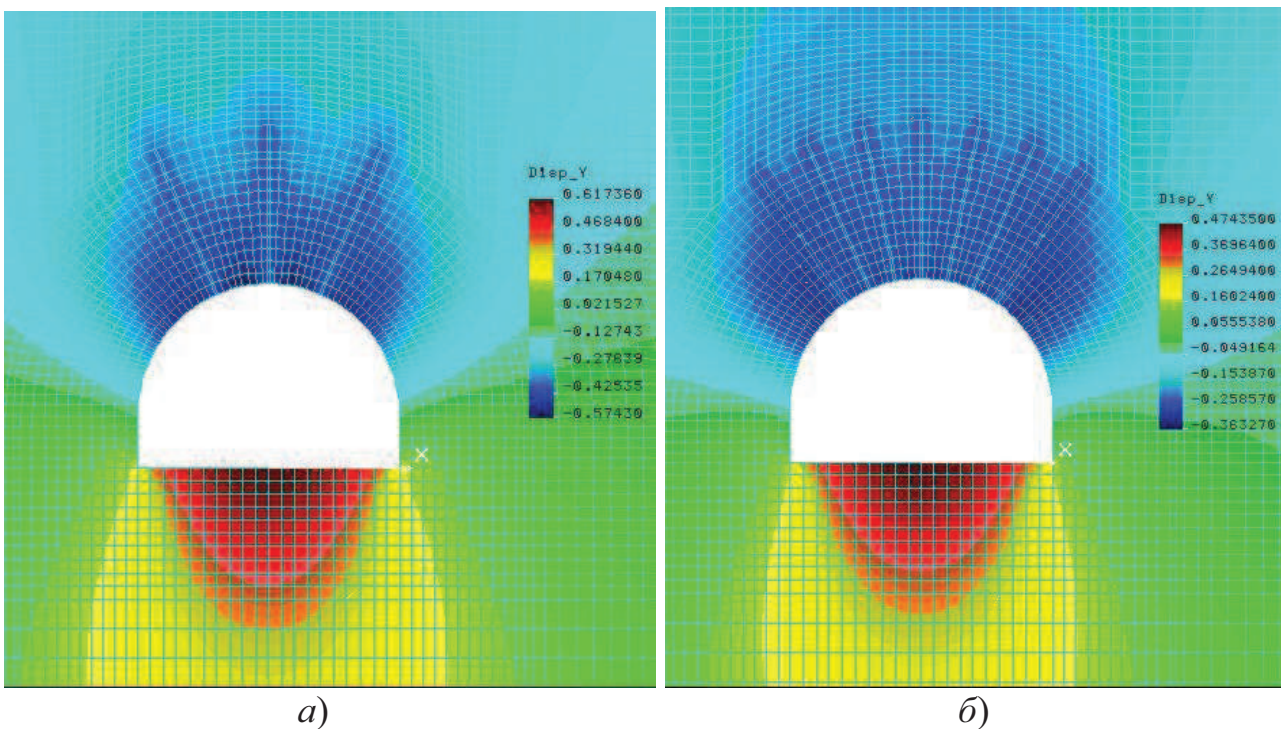


Рисунок 3 – Картина распределения полных перемещений при креплении выработки арочной крепью и дополнительно анкерами длиной 3,0 м на глубине заложения выработки 1500 м (а – 3 анкера, б – 7 анкеров)

– величина изменения смещений кровли при увеличении глубины заложения выработки и установке анкеров длиной 3 м составляет: для 3 анкеров 39 мм на 100 м, для 9 анкеров 17 мм на 100 м (рис. 4);

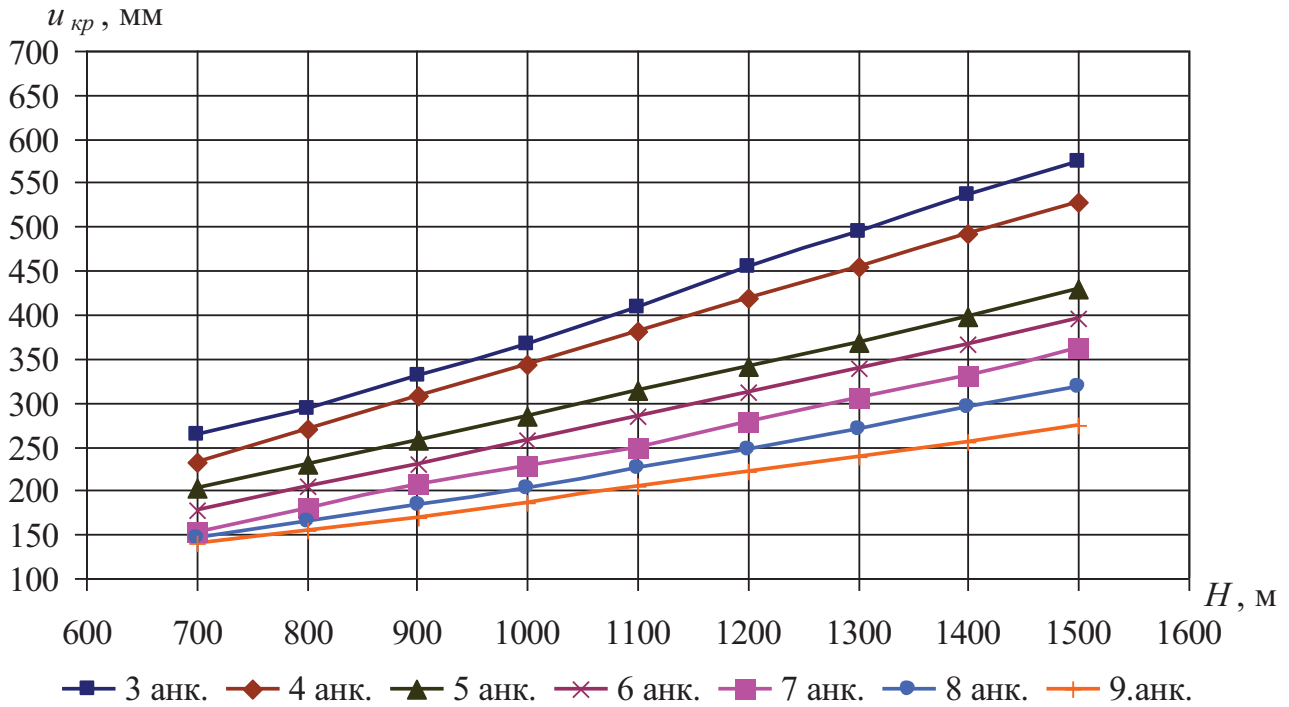


Рисунок 4 – Изменение величины смещения кровли в зависимости от глубины заложения выработки при длине анкера 3,0 м

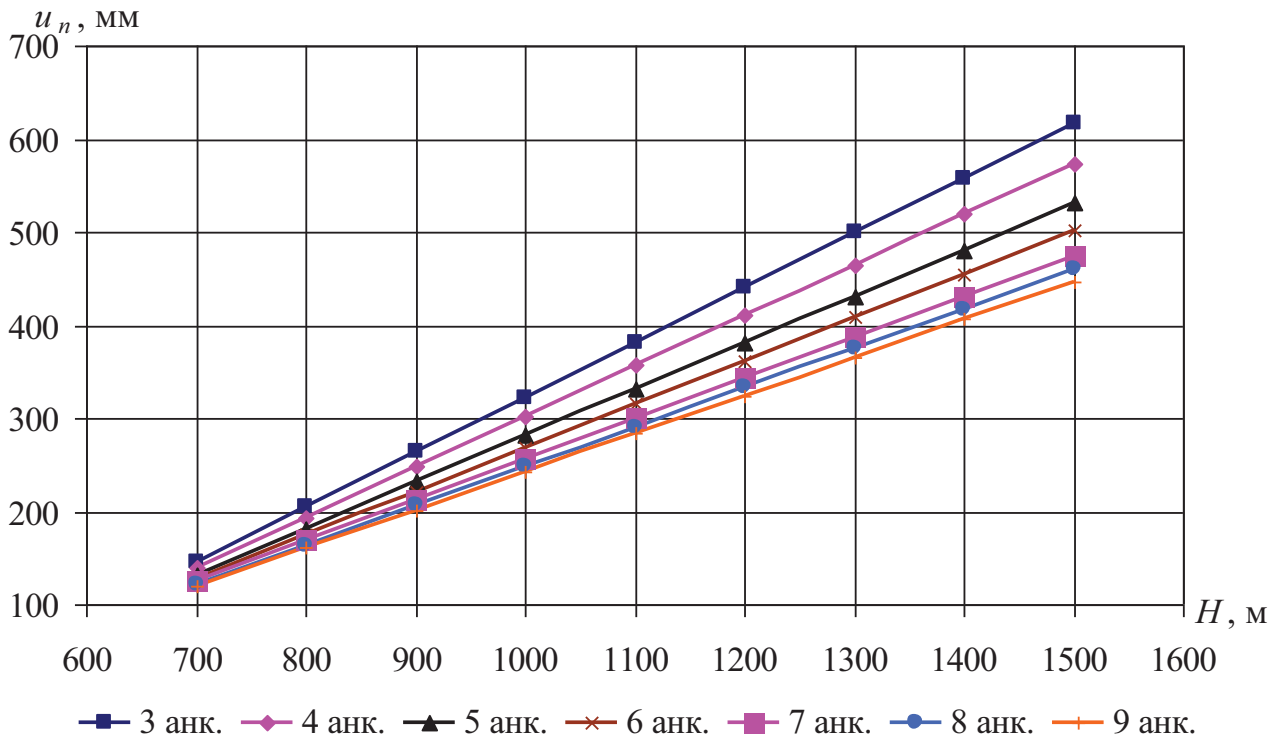


Рисунок 5 – Изменение величины смещения почвы в зависимости от глубины заложения выработки при длине анкера 3,0 м

– величина изменения смещений почвы при увеличении глубины заложения выработки и установке анкеров длиной 3 м составляет: для 3 анкеров 59 мм на 100 м, для 9 анкеров 41 мм на 100 м (рис. 5);

Таблица 2 – Значения a и b

Количество анкеров, шт.	3	4	5	6	7	8	9
Кровля							
a	0,3988	0,396	0,2817	0,2722	0,2565	0,2165	0,1685
b	-25,002	-25,161	3,9295	-14,167	-27,15	-9,9829	19,65
Почва							
a	0,5888	0,5438	0,4988	0,4675	0,4363	0,4225	0,4088
b	-266,13	-241,63	-217,13	-199,25	-180,38	-172,75	-166,13

– при увеличении глубины заложения выработки разница между смещениями кровли (при установке от 3 до 9 анкеров) увеличивается, так для случая анкеров длиной 3 м она составляет: на глубине 700 м – 123 мм, на глубине 1500 м – 299 мм (рис. 4);

– 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 – 26 мм, на глубине 1500 м – 170 мм (рис. 5);

– величина смещений кровли выработки уменьшается при изменении количества анкеров от 3 до 9 ($H = 700$ м) и описывается полиномиальной зависимостью: $u_{кр} = 2,9405N_a^2 - 44,631N_a + 303,57$;

– величина смещений почвы выработки уменьшается при изменении количества анкеров от 3 до 9 ($H = 700$ м) и описывается полиномиальной зависимостью: $u_n = 0,619N_a^2 - 9,0238N_a + 151,29$;

– величина смещений кровли выработки уменьшается при изменении длины анкеров от 2,2 до 3,5 м ($N_a = 7$ шт. и $H = 700$ м) и описывается полиномиальной зависимостью: $u_{кр} = 38,015l_a^2 - 254,33l_a + 573,37$;

– в условиях пласта m_4^0 шахты «Добропольская» при креплении наклонных горных выработок рамно-анкерной крепью рациональная длина анкеров, установленных в кровле выработки по технологическим параметрам, составляет около 2,9...3,1 м, а плотность анкерования 0,925...0,74 анк./м² ($N_a = 4-5$ шт.);

– полученные зависимости смещений кровли и почвы выработки от глубины ее заложения ($H = 700...1500$ м) при изменении количества ($N_a = 3...9$ шт.) и длины ($l_a = 2,2...3,5$ м) анкеров могут служить для прогноза смещений в подобных горно-геологических условиях для строящихся выработок.

ВЫВОДЫ. Таким образом, для условий пласта m_4^0 шахты «Добропольская» полученные зависимости смещений кровли и почвы наклонной выработки от глубины ее заложения при изменении количества и длины анкеров. Данные за-

висимости могут служить для прогноза смещений контура для вновь строящихся наклонных выработок в подобных горно-геологических условиях, что в свою очередь позволит оптимизировать параметры анкерной и рамно-анкерной крепи для их крепления.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Булат А.Ф., Виноградов В.В. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт. – Днепропетровск: Ин-т геотехнической механики НАН Украины, 2002. – 372 с.
2. Булат А.Ф. О внедрении новой технологии опорного крепления выработок анкерами // Уголь Украины. – 2000. – № 9. – С. 4–7.
3. Виноградов В.В., Круковский А.П. К вопросу об особенностях применения анкерной крепи // Геотехническая механика: Сб. науч. трудов. – Днепропетровск. ИГТМ НАН Украины, 2001. – Вип. 25. – С. 28–33.
4. Новиков А.О. Метод расчета параметров анкерных породо-армирующих систем для крепления горных выработок // Разработка рудных месторождений: научно-технический сборник. – Кривой Рог: Криворожский технический университет, 2010. – Вип. 93. – С. 260–264.
5. Петренко Ю.А., Касьян Н.Н., Новиков А.О. и др. Новый подход к расчету параметров анкерной крепи // Физико-технические проблемы горного производства: сб. науч. тр. – ИФГП НАН Украины. – 2004. – №1. – С. 67–172.
6. Виноградов, В.В., Круковский А.П., Хворостян В.А. Опорно-анкерне кріплення гірничих виробок вугільних шахт України // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. – Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины, 2010. – Вип. 88. – С. 170–179.
7. Круковский А.П. Оценка устойчивости горных выработок с опорно-анкерной крепью в сложных горно-геологических условиях // Геотехническая механика: Сб. науч. тр. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2002. – Вип. 38. – С. 41–54.
8. Круковский А.П. Анализ влияния плотности установки анкерной крепи на состояние приконтурных пород выработки арочного сечения // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. – Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины, 2011. – Вип. 94. – С. 95–104.
9. Терещук Р.Н. Определение рациональной плотности анкерования наклонных выработок // Уголь Украины. – 2014. – №10. – С. 8–11.
10. Терещук Р.Н., Терещук О.В. Определение рациональных параметров анкерования наклонных выработок // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Науково-виробничий журнал: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2014. – Вип. 2 (14). – С. 104–113.

MODELING OF ANCHORING SYSTEMS FOR FASTENING OF INCLINED WORKINGS

R. Tereschuk

State Higher Educational Establishment "National Mining University"

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

E-mail: tereschuk.rm@gmail.com

Purpose. To study the behavior of marginal rock massif of inclined working fixed with roof bolting, and to determine the rational density of the installation the anchors and length while increasing depth development in the conditions of formation m_4^0 of mine "Dobropolskaya" LLC "DTEK Dobropolyeugol". **Methodology.** Substantiation of parameters of roof bolting is done by studying the patterns of change in the stress-strain state of marginal rock massif and presented the determination of the expected displacement of rock margins of working that determines the corresponding values of the length and density of installation of anchors. As a method of solving boundary problem of the stress-strain state of massif in the vicinity of the inclined working fixed with arch and roof bolt and bolting, it was used finite element method. **Results.** The rational parameters of anchors installed in the roof, when fixing inclined mine workings are determined. **Originality.** Dependencies of displacements of the roof and ground of working on the laying depth when changing the number and length of the anchors in mining and geological conditions of the formation m_4^0 of the mine "Dobropolskaya" are achieved. **Practical value.** These studies can be used to forecast displacement contour for newly constructed inclined workings in mining and geological conditions of the formation m_4^0 of the mine "Dobropolskaya", which in turn will optimize the parameters of anchor support and arch and roof bolting for fastening. References 10, tables 2, figures 5.

Key words: mine, roof support, anchor, working, massif, modeling, density, length.

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. Bulat, A.F., (2000), "O vnedrenii novoy tekhnologii opornogo krepleniya vyrabotok ankerami", *Ugol Ukrainy*, no. 9. pp. 4–7.
3. Vinogradov, V.V., Krukovskiy, A.P., (2001), "K voprosu ob osobenostyakh primeneniya ankernoy krepki", *Zb. nauk. prac Geo-Technikal Mechanics*, Iss. 25, pp. 28–33.
4. Novikov, A.O., (2010), "Metod rascheta parametrov ankernykh porod-armiruyushchikh system dlya krepleniya gornykh vyrabotok", *Razrabotka rudnykh mestorozhdeniy: nauchno-tekhnicheskij sbornik*, Iss. 93, pp. 260–264.
5. Petrenko, YU.A., Kasyan, N.N., Novikov, A.O., i dr., (2004), "Novyy podkhod k raschetu parametrov ankernoy krepki", *Zb. nauk. prac Fiziko-tekhnicheskie problemy gornogo proizvodstva*, no. 1, pp. 67–172.
6. Vinogradov, V.V., Krukovskiy, A.P., KHvorostyan, V.A., (2010), "Oporno-ankerne kriplennya girnyykh vyrobok vugilnykh shakht Ukrainy", *Zb. nauk. prac Geo-Technikal Mechanics*, Iss. 88, pp. 170–179.
7. Krukovskiy, A.P., (2002), "Otsenka ustoychivosti gornykh vyrabotok s oporno-

ankernoy krepyu v slozhnykh gorno-geologicheskikh usloviyakh”, *Zb. nauk. prac Geo-Technikal Mechanics*, Iss. 38, pp. 41–54.

8. Krukovskiy, A.P., (2011), “Analiz vliyaniya plotnosti ustanovki ankernoy krepі na sostoyanie prikonturnykh porod vyrabotki arochnogo secheniya” *Zb. nauk. prac Geo-Technikal Mechanics*, Iss. 94, pp. 95–104.

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

10. Tereschuk, R., Tereschuk, O. (2014), “Determination of rational parametres for anchoring inclined workings”, *Up-to-date resource- and energy- saving technologies in mining industry» Research and production journal: Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University*, Iss. 2, no. 14, pp. 104–113.

Стаття надійшла 13.12.2015.

УДК 622.831

КРИТЕРИАЛЬНАЯ ВЕЛИЧИНА ОСТАТОЧНОГО СЕЧЕНИЯ КОНВЕЙЕРНОГО ШТРЕКА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ПОВТОРНО

С. Н. Гапеев, А. Е. Григорьев, А. О. Логунова

ГВУЗ «Национальный горный университет»

просп. Карла Маркса, 19, г. Днепропетровск, 49600, Украина.

E-mail: sergey.gapeev@hotmail.com, grigoriev.nmu@gmail.com, lajana@inbox.ru

В статье на основе анализа данных натуральных наблюдений и сведений о состоянии конвейерных штреков пласта l_1 ОП «Шахта 1/3 Новогородовская» ГП «Селидовуголь» выполнено обоснование критериальной величины параметра «остаточное сечение выработки». Показано, что именно остаточное сечение выработки после прохода лавы может выступать тем оценочным параметром, по которому может быть оценена целесообразность принятия решения о использовании выработки повторно. Установлен вид функций, связывающей объемы ремонтных работ и их стоимость с остаточным сечением штрека и обоснована его минимально рациональная для повторного использования величина, равная $8,5 \text{ м}^2$, что позволяет обосновывать параметры систем крепления штрека и определять параметры охранных конструкций на сопряжении «лава-штрек».

Ключевые слова: конвейерный штрек, повторное использование, остаточное сечение, стоимость ремонтно-восстановительных работ, натурные измерения

КРИТЕРІАЛЬНА ВЕЛИЧИНА ЗАЛИШКОВОГО ПЕРЕРІЗУ КОНВЕЙЕРНОГО ШТРЕКУ, ЩО ВИКОРИСТОВУЄТЬСЯ ПОВТОРНО

С. М. Гапеев, О. Є. Григор'єв, О. О. Логунова

ДВНЗ «Національний гірничий університет»

просп. Карла Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, 49600, Україна.

E-mail: sergey.gapeev@hotmail.com, grigoriev.nmu@gmail.com, lajana@inbox.ru

В статті на підставі аналізу даних натурних спостережень та відомостей про стан конвейерних штреків пласта l_1 ВП «Шахта 1/3 Новогродівська» ДП «Селидівугілля» виконано обґрунтування критериальної величини залишкового перерізу виробки. Показано, що саме залишковий переріз виробки після проходу лави може виступати тим оціночним параметром, за яким може бути оцінена доцільність прийняття рішення про використання виробки повторно. Встановлений

Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. Випуск 2/2015(16).