

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ АНКЕРНИХ СИСТЕМ ДЛЯ КРІПЛЕННЯ ПОХИЛИХ ВИРОБОК

Р.М. Терещук, В.Р. Терещук, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», Україна

Наведено результати математичного моделювання анкерного кріплення, що встановлене в похилій виробці, для гірничо-геологічних умов пластів m_4^0 та m_5^{1e} шахти «Добропільська». Отримано залежності зміщень покрівлі та підшви для похилих виробок при зміні довжини та кількості анкерів, що встановлені в приконтурний масив гірничих виробок, а також глибини закладення виробок. Визначено раціональні параметри анкерування похилих виробок в даних гірничо-геологічних умовах.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Підтримка капітальних і підготовчих виробок у нормальному експлуатаційному стані, є неодмінною умовою безпеки підземних робіт і стабільності високих техніко-економічних показників вуглевидобувних підприємств, пов'язана зі значними витратами на ремонтно-відновлювальні роботи.

Тому успішне вирішення питання забезпечення стійкості капітальних і підготовчих гірничих виробок може бути при використанні нових технологій проходження виробок і впровадження більш ефективних і ресурсозберігаючих видів кріплення, одним з яких є анкерне кріплення. Основне завдання при цьому полягає в правильності вибору його параметрів: щільності встановлення та їх довжини.

Аналізуючи результати наукових спостережень [1-6], більшість дослідників прийшли до висновку, що ніяке технологічно здійсненне і економічно доцільне рамне кріплення виробок, що проводяться в гірських породах на великих глибинах, не може в повній мірі протидіяти гірському тиску, і тому боротися з утворенням зон руйнування шляхом збільшення несучої здатності кріплення недоцільно.

Вирішення цього питання можливе при використанні несучої здатності породного масиву, що може бути реалізовано створенням системи кріплення-порода вже в початковий період спорудження виробок. Останнє може бути досягнуто застосуванням способів охорони – додаткових заходів, що спрямовані на включення породного масиву, який знаходиться навколо виробки, в спільну роботу з кріпленням.

Виконаний аналіз існуючих уявлень про взаємодію анкерного кріплення з породним масивом і методик визначення параметрів кріплення показав, що, незважаючи на різноманітність і велику кількість виконаних досліджень [7, 8], вплив породно-анкерних конструкцій на геомеханічні процеси, що відбуваються у породному масиві, який розташований навколо виробки, вивчено недостатньо повно.

Дослідження взаємодії одиночного анкера, а тим більше системи анкерів, з породним масивом аналітичними методами представляє дуже непросту задачу. Тому основні параметри анкерного кріплення можна визначити шляхом математичного моделювання.

У роботах [9, 10] виконано значний обсяг чисельного моделювання з вивчення та обґрунтування параметрів, як одиночного анкера, так і систем анкерного кріплення, що встановлені в неоднорідний приконтурний масив капітальних і підготовчих виробок. Але для більш точного обґрунтування та визначення раціональних параметрів кріплення гірничих виробок в конкретних гірничо-геологічних умовах потрібно додатково вивчати вплив анкерних систем на приконтурний масив.

Мета роботи – вивчити поведінку приконтурного масиву похилої гірничої виробки, що закріплена рамно-анкерним кріпленням, і визначити раціональну щільність встановлення та довжину анкерів при збільшенні глибини розробки в умовах пластів m_4^0 та m_5^{1e} шахти «Добропільська».

МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Обґрунтування параметрів анкерного кріплення виконувалося на основі вивчення закономірностей зміни напружено-деформованого стану приконтурного масиву порід і зводилося до визначення очікуваних змінь породного контуру виробки, що зумовлює відповідні величини довжини і щільності встановлення анкерів.

Для вирішення поставленої задачі використовувалися чисельні методи механіки деформованого твердого тіла. Вони мають найбільшу спільність при описі механічних процесів в породних масивах і конструкціях, так як вільні від впливу чинників, що відображають специфіку гірничотехнічної ситуації. Ці методи також дозволяють досліджувати механічні процеси в більш широкому діапазоні, тобто дають можливість не тільки якісно, але і кількісно прогнозувати результати проявів гірського тиску.

Математична модель, що моделює стан породи навколо місцевих порушень суцільності, повинна відображати основні явища, що з'являються внаслідок виникнення концентрації напружень і можливої супутньої зміни фізико-механічних властивостей навколишнього матеріалу.

Як спосіб вирішення граничної задачі про напружено-деформований стан масиву навколо похилої виробки, закріпленої рамно-анкерним або анкерним кріпленням, використовувався метод скінченних елементів.

Математична модель взаємодії анкерного кріплення з приконтурним масивом гірських порід була реалізована шляхом вирішення пружно-пластичної задачі.

При виконанні досліджень моделювалися умови вантажного хідника уклону пласта m_4^0 (задача 1) та m_5^{1g} (задача 2) горизонту 450 м шахти «Добропільська». Виробки пройдені комбайновим способом і закріплені арковим кріпленням АП-13,8. Переріз виробок у світлі 12,8 м². Кут нахилу виробок 10 градусів. Фізико-механічні параметри гірських порід та вугільного пласта, що використовувалися при математичному моделюванні, наведені в [9, 10].

Дослідження були спрямовані на визначення раціональної щільності встановлення анкерного кріплення і довжини анкерів при зміні глибини закладення виробки. При моделюванні змінювалися такі параметри: кількість анкерів $N_a = 3...9$ шт., довжина анкерів $l_a = 2,2...3,5$ м і глибина закладення виробки $H = 700...1500$ м.

Розрахункові схеми до вирішення задач визначення раціональної щільності анкерування та довжини анкерів для кріплення похилих виробок при зміні глибини закладення виробок приведені на рис. 1.

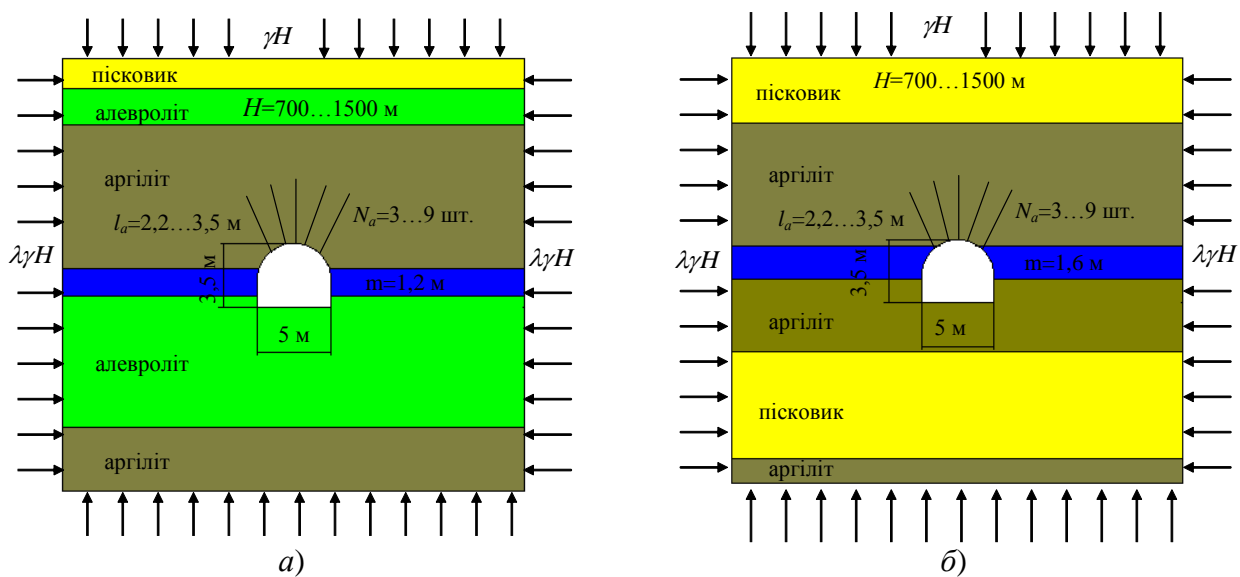


Рис. 1. Розрахункові схеми до вирішення поставлених задач:

- а – вантажний хідник уклону пласта m_4^0 (задача 1),
- б – вантажний хідник уклону пласта m_5^{1g} (задача 2).

Результати математичного моделювання похилої виробки, що закріплена анкерним кріпленням (задача 1), наведені на рис. 2.

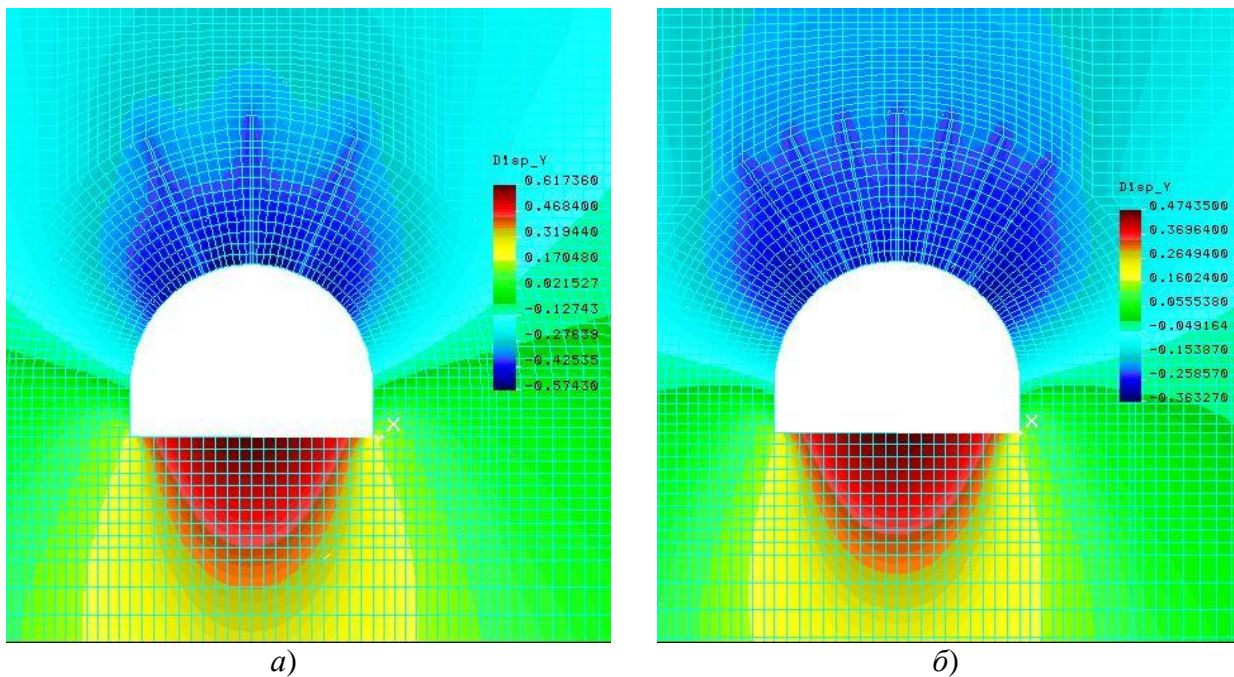


Рис. 2. Картина розподілу повних переміщень при кріпленні виробки арочним кріпленням і додатково анкерами довжиною 3,0 м на глибині закладення виробки 1500 м (а – 3 анкери, б – 7 анкерів) (задача 1)

В результаті математичного моделювання були отримані залежності зміщень покрівлі і підшови виробки від глибини її закладення (700...1500 м) при зміні кількості (3...9 шт.) і довжини (2,2...3,5 м) анкерів. В роботі наведено залежності зміщень покрівлі і підшови виробки від глибини її закладення при встановленні анкерів довжиною 3 м (рис. 3, 4 задача 1 та рис. 5, 6 задача 2).

Аналізуючи отримані результати (задача 1) можна зробити висновки:

- результати чисельних розрахунків і шахтні виміри зміщень покрівлі та підшови для виробки, що закріплена арковим кріпленням і додатково чотирма анкерами, відрізняються на 4,3 % та 2,4 % відповідно. Таким чином, можна зробити висновок про адекватність розробленої математичної моделі;

- зміщення покрівлі та підшови виробки, для всіх розглянутих варіантів встановлення анкерного кріплення, описуються рівняннями типу $y = ax + b$ (рис. 3 і 4). Для випадку, коли встановлені анкери довжиною 3 м і глибина закладення виробки від 700 до 1500 м значення a і b представлені в табл. 1;

Таблиця 1. Значення a і b

Кількість анкерів, шт.	3	4	5	6	7	8	9
Покрівля							
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
Підшва							
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

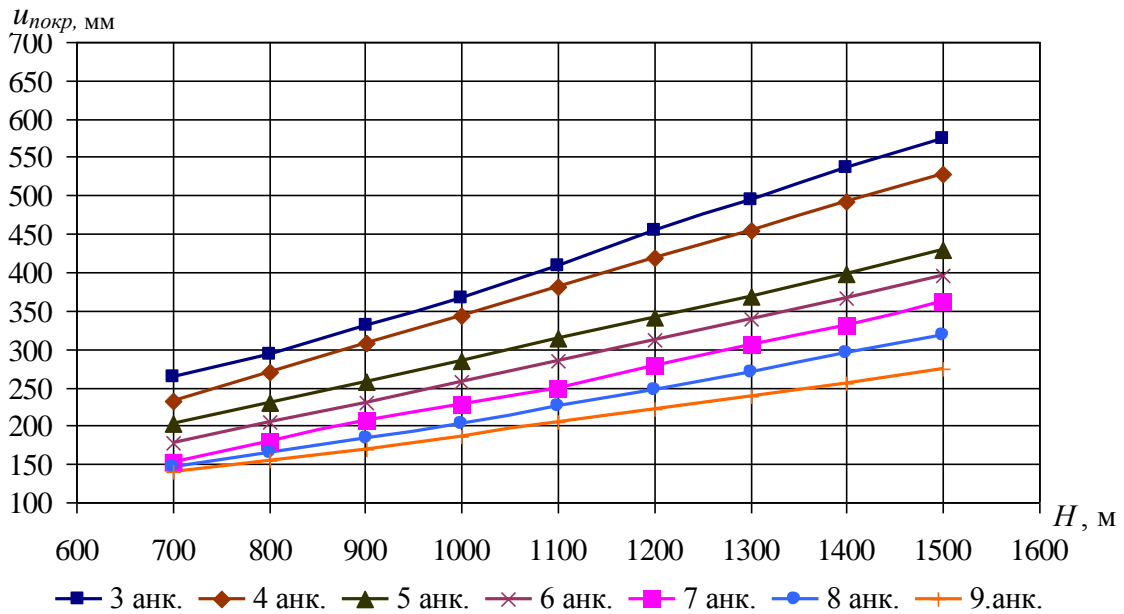


Рис. 3. Зміна величини зміщень покрівлі в залежності від глибини закладення виробки при довжині анкера 3,0 м

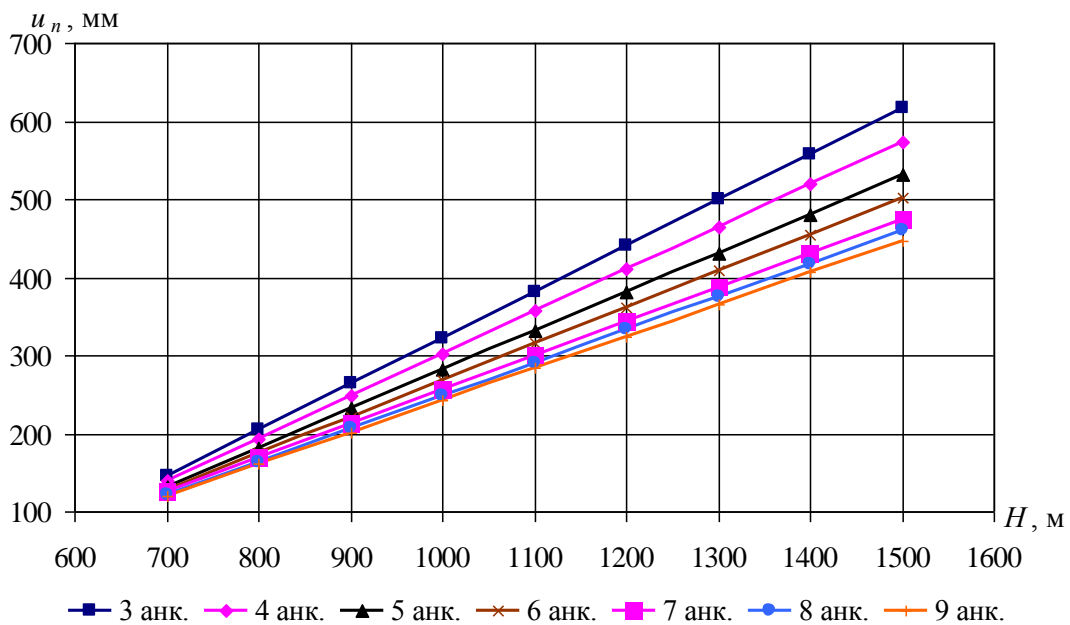


Рис. 4. Зміна величини зміщень підоснови в залежності від глибини закладення виробки при довжині анкера 3,0 м

- величина зміни зміщень покрівлі при збільшенні глибини закладення виробки та встановлення анкерів довжиною 3 м становить: для 3 анкерів 39 мм на 100 м, для 9 анкерів 17 мм на 100 м (рис. 3);
- величина зміни зміщень підоснови при збільшенні глибини закладення виробки та встановлення анкерів довжиною 3 м становить: для 3 анкерів 59 мм на 100 м, для 9 анкерів 41 мм на 100 м (рис. 4);
- при збільшенні глибини закладення виробки різниця між зміщеннями покрівлі (при установці від 3 до 9 анкерів) збільшується, так для випадку анкерів довжиною 3 м вона становить: на глибині 700 м – 123 мм, на глибині 1500 м – 299 мм;

– при збільшенні глибини закладення виробки різниця між зміщеннями підшови (при встановленні від 3 до 9 анкерів) збільшується, так для випадку анкерів довжиною 3 м вона становить: на глибині 700 м – 26 мм, на глибині 1500 м – 170 мм;

– величина зміщень покрівлі виробки зменшується при зміні кількості анкерів від 3 до 9 ($H = 700$ м) і описується поліноміальною залежністю:

$$u_{\text{покр}} = 2,9405N_a^2 - 44,631N_a + 303,57;$$

– величина зміщень підшови виробки зменшується при зміні кількості анкерів від 3 до 9 ($H = 700$ м) і описується поліноміальною залежністю:

$$u_n = 0,619N_a^2 - 9,0238N_a + 151,29;$$

– величина зміщень покрівлі виробки зменшується при зміні довжини анкерів від 2,2 до 3,5 м ($N_a = 7$ шт. та $H = 700$ м) і описується поліноміальною залежністю:

$$u_{\text{покр}} = 38,015l_a^2 - 254,33l_a + 573,37;$$

– в умовах пласта m_4^0 шахти «Добропільська» при кріпленні похилих гірничих виробок рамно-анкерним кріпленням раціональна довжина анкерів, що встановлені в покрівлі виробки за технологічними параметрами, становить близько 2,9...3,1 м, а щільність анкерування 0,925...0,74 анк./м² ($N_a = 4-5$ шт.).

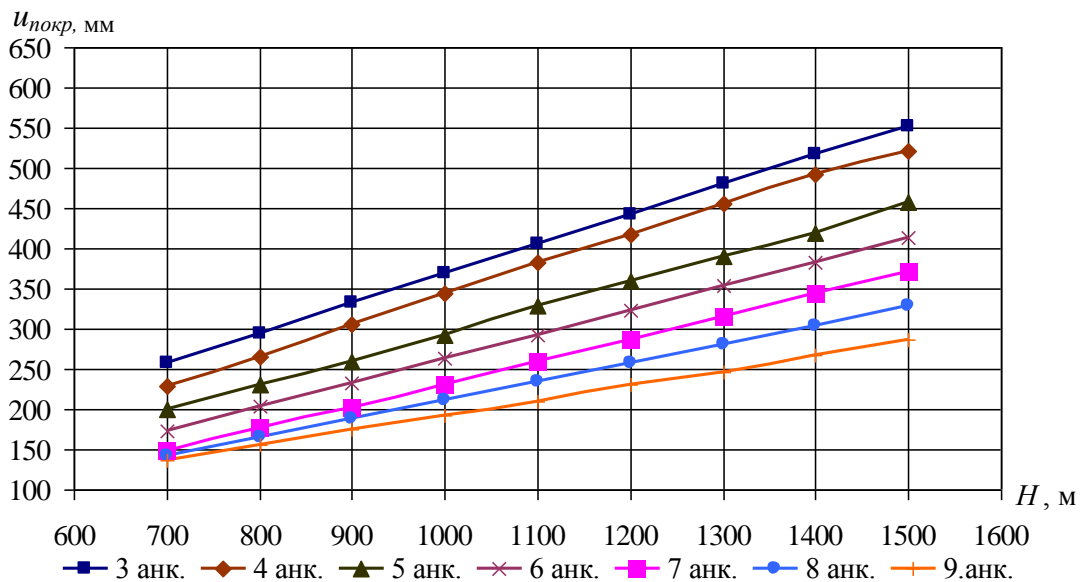


Рис. 5. Зміна величини зміщень покрівлі в залежності від глибини закладення виробки при довжині анкера 3,0 м

Аналізуючи отримані результати (задача 2) можна зробити висновки:

– результати чисельних розрахунків і шахтні виміри зміщень покрівлі та підшови для виробки, що закріплена арковим кріпленням і додатково чотирма анкерами, відрізняються на 2,1 % та 3,4 % відповідно. Таким чином, можна зробити висновок про адекватність розробленої математичної моделі;

– зміщення покрівлі та підшови виробки, для всіх розглянутих варіантів встановлення анкерного кріплення, описуються рівняннями типу $y = ax + b$ (рис. 5 і 6). Для випадку, коли встановлені анкери довжиною 3 м і глибина закладення виробки від 700 до 1500 м значення a і b представлені в табл. 2;

– величина зміни зміщень покрівлі при збільшенні глибини закладення виробки та встановлення анкерів довжиною 3 м становить: для 3 анкерів 37 мм на 100 м, для 9 анкерів 19 мм на 100 м (рис. 5);

– величина зміни зміщень підосви при збільшенні глибини закладення виробки та встановлення анкерів довжиною 3 м становить: для 3 анкерів 54,5 мм на 100 м, для 9 анкерів 40 мм на 100 м (рис. 6);

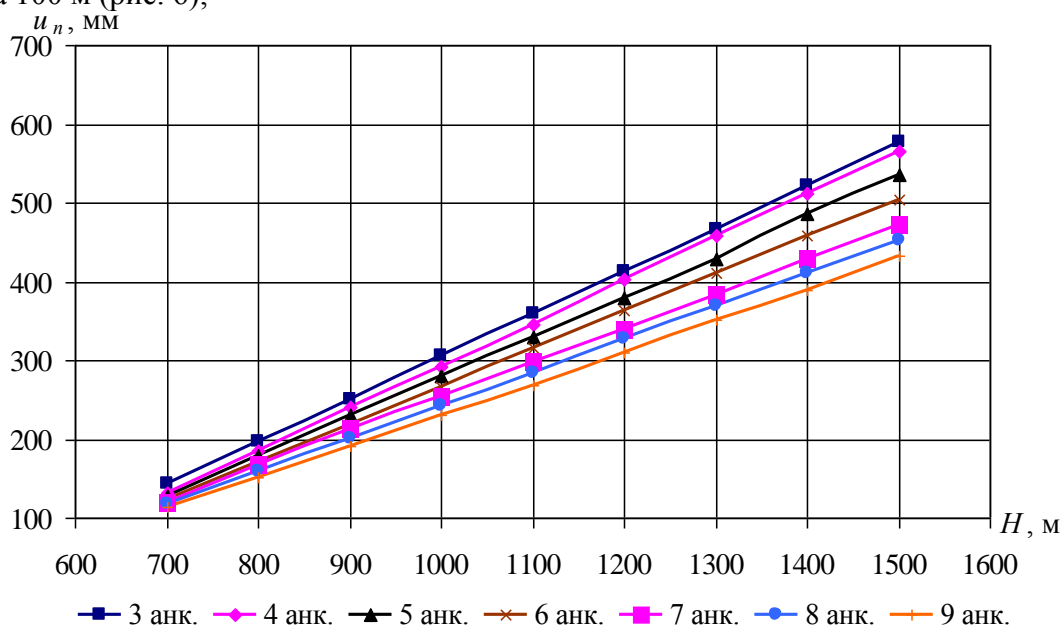


Рис. 6. Зміна величини зміщень підосви в залежності від глибини закладення виробки при довжині анкера 3,0 м

Таблиця 2. Значення a і b

Кількість анкерів, шт.	3	4	5	6	7	8	9
Покрівля							
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
Підосва							
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

– при збільшенні глибини закладення виробки різниця між зміщеннями покрівлі (при установці від 3 до 9 анкерів) збільшується, так для випадку анкерів довжиною 3 м вона становить: на глибині 700 м – 121 мм, на глибині 1500 м – 264 мм;

– при збільшенні глибини закладення виробки різниця між зміщеннями підосви (при встановленні від 3 до 9 анкерів) збільшується, так для випадку анкерів довжиною 3 м вона становить: на глибині 700 м – 30 мм, на глибині 1500 м – 145 мм;

– величина зміщень покрівлі виробки зменшується при зміні кількості анкерів від 3 до 9 ($H = 700$ м) і описується поліноміальною залежністю:

$$u_{\text{покр}} = 2,9833N_a^2 - 47,138N_a + 342,37;$$

– величина зміщень підосви виробки зменшується при зміні кількості анкерів від 3 до 9 ($H = 700$ м) і описується поліноміальною залежністю:

$$u_n = 0,8844N_a^2 - 13,148N_a + 170,76;$$

– величина зміщень покрівлі виробки зменшується при зміні довжини анкерів від 2,2 до 3,5 м ($N_a = 7$ шт. та $H = 700$ м) і описується поліноміальною залежністю:

$$u_{\text{покр}} = 41,051l_a^2 - 269,87l_a + 594,27;$$

– в умовах пласта m_5^{1g} шахти «Добропільська» при кріпленні похилих гірничих виробок рамно-анкерним кріпленням раціональна довжина анкерів, що встановлені в покрівлі виробки

за технологічними параметрами, становить близько 3,0 м, а щільність анкерування 0,83 анк./м² ($N_a = 4-5$ шт.).

ВИСНОВКИ. Таким чином, для умов пластів m_4^0 та m_5^{16} шахти «Добропільська» отримані залежності зміщень покрівлі та підшови похилих виробок від глибини їх закладення ($H = 700 \dots 1500$ м) при зміні кількості ($N_a = 3 \dots 9$ шт.) та довжини анкерів ($l_a = 2,2 \dots 3,5$ м) можуть служити для прогнозу зміщень в подібних гірничо-геологічних умовах для виробок, що будуть споруджуватись. Дані залежності можуть служити для прогнозу зміщень контуру для похилих виробок, що будуть споруджуватися в подібних гірничо-геологічних умовах, що в свою чергу дозволить оптимізувати параметри анкерного і рамно-анкерного кріплення.

Подальші дослідження будуть спрямовані на обґрунтування та визначення раціональних параметрів анкерування похилих виробок в інших гірничо-геологічних умовах ТОВ «ДТЕК Добропіллявугілля».

Список літератури

1. Булат А.Ф. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт / А.Ф. Булат, В.В. Виноградов. – 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. Наумович А.В., Терещук Р.Н., Гапеев С.Н. Натурные исследования закономерностей проявлений горного давления в подготовительных выработках шахты «Шахтерская-Глубокая» // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2009. – № 6. – С. 8–10.
4. Солодянкин А.В. Геомеханические модели в системе геомониторинга глубоких угольных шахт и способы обеспечения устойчивости протяженных выработок: дисс.... доктора техн. наук: 05.15.04.; 05.15.09 / Солодянкин Александр Викторович. – Днепропетровск, 2009. – 426 с.
5. Халимендик Ю.М. Шахтные исследования состояния наклонных выработок / Ю.М. Халимендик, В.Ф. Панибратченко, Р.Н. Терещук, Е.А. Колесниченко, А.Е. Григорьев // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. – 2011. – Вип. 94. – С. 229–238.
6. Наумович А.В., Терещук Р.Н. Исследование устойчивости подготовительных выработок глубоких горизонтов вне зоны влияния очистных работ // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2009. – № 11. – С. 3–5.
7. 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.
8. Терещук Р.Н. Определение зоны влияния одиночного анкера на однородный приконтурный массив // Зб. наук. пр. Проблеми гірського тиску. – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – №19. – С. 183–195.
9. 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.
10. Терещук Р.Н. Моделирование анкерных систем для крепления наклонных выработок // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Науково-виробничий журнал: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 2 (16). – С. 81–90.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ РАМНОЙ ПОДАТЛИВОЙ КРЕПИ ИЗ КОРОБЧАТОГО ПРОФИЛЯ

Э.В. Фесенко, Донбасский государственный технический университет, Украина

Обоснована форма поперечного сечения для крепления горных выработок в условиях пологого и наклонного залегания пород. Исследована работа полигональной рамной крепи из