

ДО ПИТАННЯ ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ АНКЕРНИХ СИСТЕМ

Р.М. Терещук, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Україна

Наведено результати математичного моделювання анкерного кріплення, що встановлене в похилій виробці, для гірничо-геологічних умов пласта k_7 шахти «Новодонецька». Розроблена розрахункова схема до вирішення задачі визначення раціональної щільності анкерування та довжини анкерів для кріплення похилих виробок при зміні глибини їх закладення. Отримано залежності зміщень покрівлі та подошви 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.

ВСТУП. За останні роки значно збільшилася глибина розробки вугільних родовищ та погіршилися гірничо-геологічні умови. Однак існуюче металеве арочне піддатливе кріплення не забезпечує збереження похилих виробок в експлуатаційному стані весь термін служби, особливо в зоні впливу очисних робіт.

Часткове вирішення цього питання можливе в початковий період спорудження виробок, якщо використати можливості самого породного масиву, збільшенням його несучої здатності, яке реалізується створенням системи «основне кріплення-породний масив-додаткові заходи». Останнє може бути досягнуто застосуванням способів охорони, які направлені на включення приконтурного породного масиву, в спільну роботу з огорожувальними конструкціями. Одним з видів кріплення, що реалізують це є анкерне кріплення. Основне завдання при цьому полягає в правильності вибору його параметрів.

З досліджень про схему роботи породного приконтурного масиву, що зміцнений анкерним кріпленням, можна виділити кілька гіпотез: I – анкера протидіють породам, що обвалюються, підвищуючи їх до більш стійкого породного масиву; II – встановлення анкерного кріплення в породний приконтурний масив утворює вантажонесучу конструкцію; III – анкерне кріплення є засобом підвищення стійкості приконтурного масиву гірничих виробок. Однак, існуючі методи, методики і способи обґрунтування параметрів анкерних систем (аналітичні, графічний, енергетичний та ін.), які ґрунтуються на вищеописаних гіпотезах, не дозволяють в повній мірі вирішити задачу визначення параметрів анкерного кріплення похилих виробок при різних гірничотехнічних і гірничо-геологічних умовах.

Навіть нормативна література про застосування анкерних систем в гірничих виробках, також не дає однозначної відповіді про параметри анкерного кріплення в складних і особливо складних гірничо-геологічних умовах [1].

СТАН ПИТАННЯ. Аналізуючи дослідження, що вивчають способи кріплення, охорону та підтримку підземних гірничих виробок і засоби підвищення їх стійкості, можна зробити висновок, що металеве арочне піддатливе кріплення виробок, що проводяться на великих глибинах, не може в повній мірі протидіяти гірському тиску, і тому боротися з утворенням зон непружних деформацій шляхом збільшення несучої здатності кріплення недоцільно [2].

Виконаний аналіз існуючих уявлень про взаємодію анкерних систем з приконтурним породним масивом [3], технологій опорно-анкерного кріплення гірничих виробок для керування їх стійкістю за допомогою породно-анкерних опор, формуючи в приконтурному просторі конструкцію з породно-анкерних елементів з високим запасом міцності [4] і методик визначення параметрів кріплення показав, що, незважаючи на різноманітність і велику кількість виконаних досліджень [5], вплив, створюваних породно-анкерних конструкцій на геомеханічні процеси, що відбуваються в масиві, що вміщує виробку, вивчено недостатньо повно.

В роботах [6-11] виконано значний обсяг досліджень спрямованих на вивчення параметрів анкерних систем, що встановлені в неоднорідний приконтурний масив похилих виробок в гірничо-геологічних умовах шахт ТОВ «ДТЕК Добропіллявугілля». Отримані закономірності зміни напружено-деформованого стану закріплених анкерами порід в покрівлі [6] і боках монтажного хідника при різних параметрах кріплення для забезпечення їх сталого стану, отримані залежності зміщень покрівлі та підосви похилої виробки при зміні довжини й кількості анкерів, що встановлені в приконтурний масив, а також глибини закладення виробки, і визначені раціональні параметри анкерування для умов пластів m_3^{1e} [7, 9] і m_4^0 [8, 9] шахти «Добропільська», пласта l_8 [102] шахти «Білозерська» та пласта m_4^2 [11] шахти «Піонер».

МЕТА РОБОТИ. Дослідити стан приконтурного породного масиву похилої виробки, що закріплена анкерними системами, з використанням математичних методів моделювання, і на основі результатів досліджень визначити раціональну щільність анкерування і довжину анкерних штанг при збільшенні глибини її закладення в гірничо-геологічних умовах пласта k_7 шахти «Новодонецька» ТОВ «ДТЕК Добропіллявугілля».

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Обґрунтування параметрів анкерних систем для похилих виробок здійснювалося шляхом дослідження закономірностей зміни поведінки та напружено-деформованого стану породного масиву і знаходженню зміщень породного контуру гірничої виробки, і на їх основі визначення раціональних величин довжини анкерних штанг і щільності анкерування.

Для дослідження змін поведінки і напружено-деформованого стану приконтурного породного масиву похилої виробки, що закріплена анкерними системами, використовувався метод скінченних елементів. Математична модель взаємодії анкерних систем з породним масивом була реалізована шляхом вирішення пружно-пластичної задачі.

При дослідженнях моделювалися гірничо-геологічні умови південного хідника центрального уклону пласта k_7 шахти «Новодонецька».

При математичному моделюванні анкерних систем для кріплення похилих виробок використовувалися фізико-механічні параметри вугільного пласта і вміщуючих порід з урахуванням результатів, отриманих в роботі [12]. Розрахункова схема до вирішення задачі з визначення раціональної щільності анкерування та довжини анкерів для кріплення похилих виробок при варіюванні глибини закладення виробки наведена в роботах [13-15].

Дослідження були спрямовані на визначення раціональної щільності анкерування та довжини анкерних штанг в залежності від глибини розташування гірничої виробки. При чисельному моделюванні варіювалися наступні параметри: щільність анкерування $N_a = 3...9$ анк., довжина анкерних штанг $l_a = 2,2...3,5$ м і глибина розташування виробки $H = 700...1500$ м.

Результатом математичного моделювання похилої виробки в гірничо-геологічних умовах пласта k_7 шахти «Новодонецька», що закріплена анкерним кріпленням, при зміні параметрів анкерування ($N_a = 3...9$ анк.) та ($l_a = 2,2...3,5$ м), а також глибини закладення ($H = 700...1500$ м), були отримані залежності величин зміщень породного приконтурного масиву (покрівлі та підосви виробки). В роботі наведені графіки залежностей зміни зміщень покрівлі виробки: від глибини її закладення при використанні анкерних штанг довжиною 2,2; 2,5; 3,0 і 3,5 м (рис. 1-4), від довжини анкерних штанг при глибині розташування виробки 700 і 1500 м (рис. 5), від щільності анкерування при глибині розташування виробки 700 і 1500 м (рис. 6).

Аналіз отриманих результатів досліджень:

– залежності змін зміщень покрівлі та підосви похилої виробки, що закріплена анкерними системами, для всіх досліджуваних варіантів встановлення анкерних штанг при збільшенні глибини її закладення, описуються рівняннями вигляду $u_i = a_1 H_i + a_2$ (рис. 1-4).

– величина зміни зміщень покрівлі при збільшенні глибини розташування гірничої виробки і застосуванні анкерних штанг довжиною 2,2; 2,5; 3,0 і 3,5 м, відповідно, становить: для 3 анкерів 92, 84, 77 і 76 мм на 100 м, для 9 анкерів 42, 31, 19 і 19 мм на 100 м (рис. 1-4);

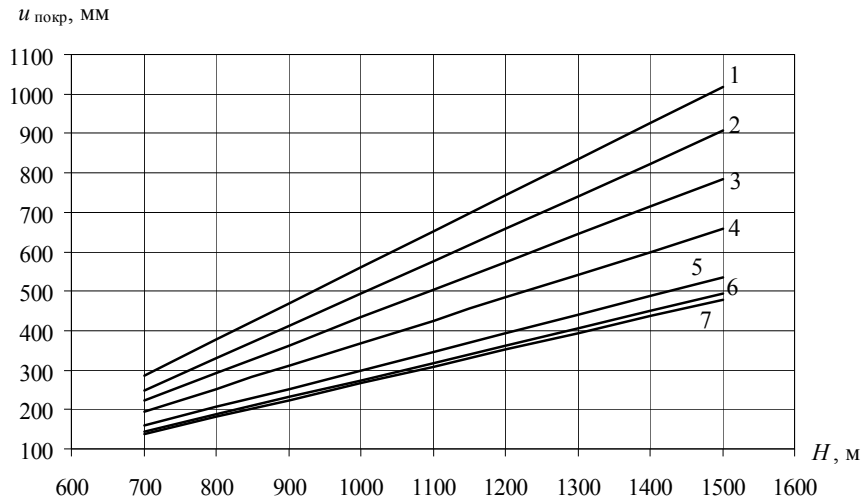


Рис. 1. Графіки зміни величини зміщень покрівлі залежно від глибини закладення виробки при довжині анкера 2,2 м:
1 – 3 анк., 2 – 4 анк., 3 – 5 анк., 4 – 6 анк., 5 – 7 анк., 6 – 8 анк., 7 – 9 анк.

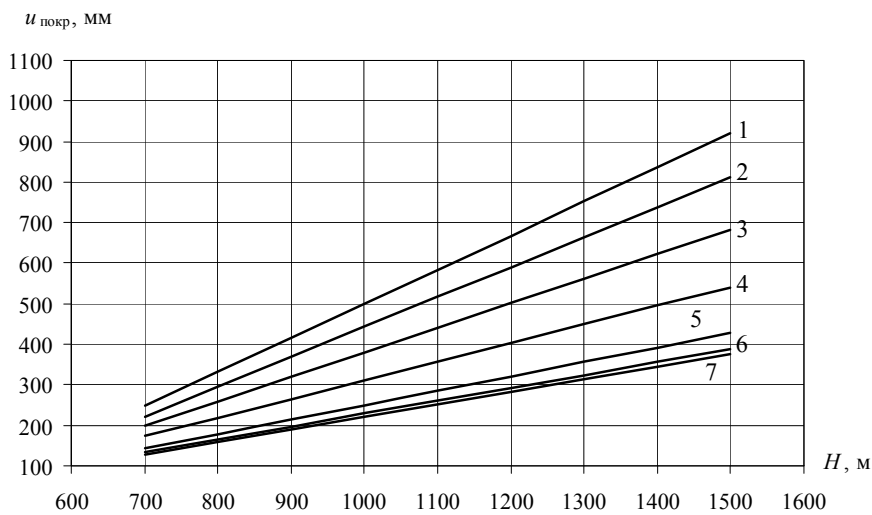


Рис. 2. Графіки зміни величини зміщень покрівлі залежно від глибини закладення виробки при довжині анкера 2,5 м:
1 – 3 анк., 2 – 4 анк., 3 – 5 анк., 4 – 6 анк., 5 – 7 анк., 6 – 8 анк., 7 – 9 анк.

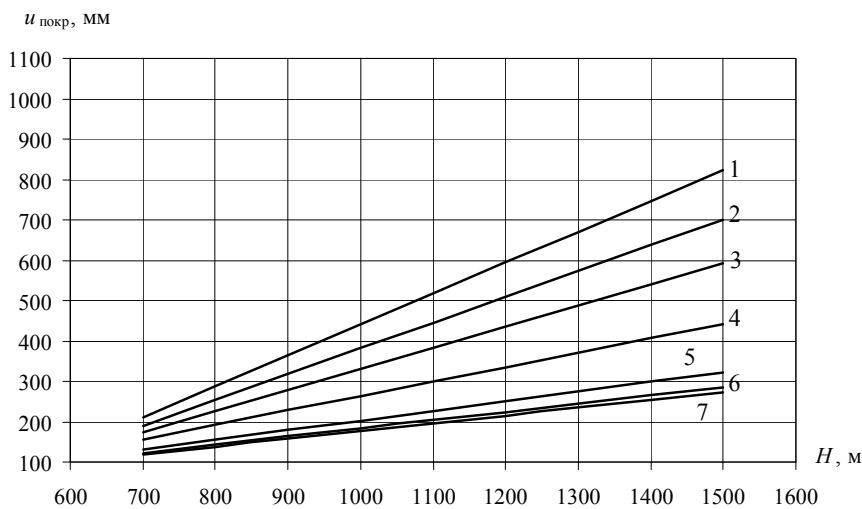


Рис. 3. Графіки зміни величини зміщень покрівлі залежно від глибини закладення виробки при довжині анкера 3 м:
1 – 3 анк., 2 – 4 анк., 3 – 5 анк., 4 – 6 анк., 5 – 7 анк., 6 – 8 анк., 7 – 9 анк.

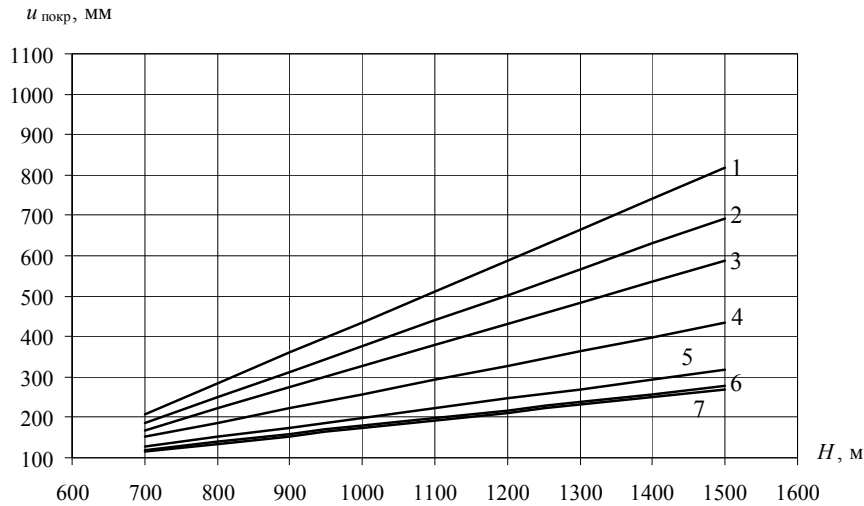


Рис. 4. Графіки зміни величини зміщень покрівлі залежно від глибини закладення виробки при довжині анкера 3,5 м:

1 – 3 анк., 2 – 4 анк., 3 – 5 анк., 4 – 6 анк., 5 – 7 анк., 6 – 8 анк., 7 – 9 анк.

– величина зміни зміщень підосви при збільшенні глибини розташування гірничої виробки і застосуванні анкерних штанг довжиною 2,2; 2,5; 3,0 і 3,5 м, відповідно, становить: для 3 анкерів 134, 123, 113 і 113 мм на 100 м, для 9 анкерів 87, 85, 82 і 82 мм на 100 м;

– при збільшенні глибини розташування виробки різниця між зміщеннями покрівлі (при кріпленні анкерними штангами довжиною 2,2...3,5 м) збільшується при кількості анкерів 3, 5 і 9 анк., відповідно, і становить: на глибині 700 м – 79, 53 і 23 мм (рис. 5, а), на глибині 1500 м – 199, 198 і 211 мм (рис. 5, б);

– величина зміщень покрівлі виробки зменшується при варіюванні довжини анкерних штанг 2,2...3,5 м ($H = 700$ м) і описується поліноміальною залежністю:

$$\text{для } N_a = 3 \text{ анк.} \quad u_{\text{покр}} = 63,204l_a^2 - 421,11l_a + 905,61,$$

$$\text{для } N_a = 9 \text{ анк.} \quad u_{\text{покр}} = 13,128l_a^2 - 92,207l_a + 277,04;$$

– величина зміщень покрівлі виробки зменшується при варіюванні довжини анкерних штанг 2,2...3,5 м ($H = 1500$ м) і описується поліноміальною залежністю:

$$\text{для } N_a = 3 \text{ анк.} \quad u_{\text{покр}} = 177,34l_a^2 - 1164,4l_a + 2721,7,$$

$$\text{для } N_a = 9 \text{ анк.} \quad u_{\text{покр}} = 191,39l_a^2 - 1253,7l_a + 2312,2;$$

– при збільшенні глибини розташування виробки різниця між зміщеннями підосви (при кріпленні анкерними штангами довжиною 2,2...3,5 м) збільшується при кількості анкерів 3, 5 і 9 анк., відповідно, і становить: на глибині 700 м – 34, 67 і 99 мм, на глибині 1500 м – 193, 169 і 143 мм;

– величина зміщень підосви виробки зменшується при варіюванні довжини анкерних штанг 2,2...3,5 м ($H = 700$ м) і описується поліноміальною залежністю:

$$\text{для } N_a = 3 \text{ анк.} \quad u_{\text{нід}} = 21,241l_a^2 - 146,91l_a + 1085,1,$$

$$\text{для } N_a = 9 \text{ анк.} \quad u_{\text{нід}} = 83,981l_a^2 - 554,45l_a + 1550;$$

– величина зміщень підосви виробки зменшується при варіюванні довжини анкерних штанг 2,2...3,5 м ($H = 1500$ м) і описується поліноміальною залежністю:

$$\text{для } N_a = 3 \text{ анк.} \quad u_{\text{нід}} = 168,11l_a^2 - 1106,7l_a + 3549,1,$$

$$\text{для } N_a = 9 \text{ анк.} \quad u_{\text{нід}} = 123,7l_a^2 - 814,7l_a + 2629,3;$$

– при збільшенні глибини розташування виробки різниця між зміщеннями покрівлі (при кріпленні 3...9 анк.) збільшується при довжині анкерних штанг 2,2; 2,5; 3,0 і 3,5 м, відповідно, і становить: на глибині 700 м – 147, 120, 92 і 91 мм (рис. 6, а), на глибині 1500 м – 538, 545, 551 і 551 мм (рис. 6, б);

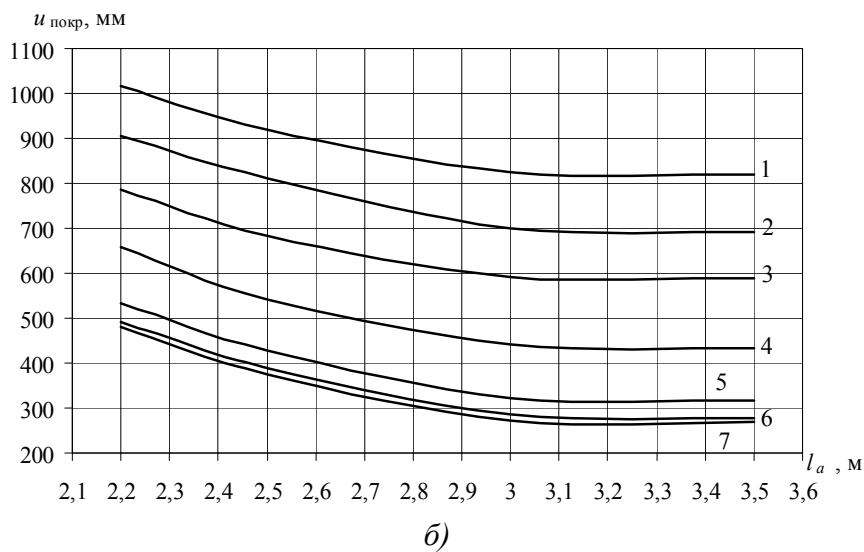
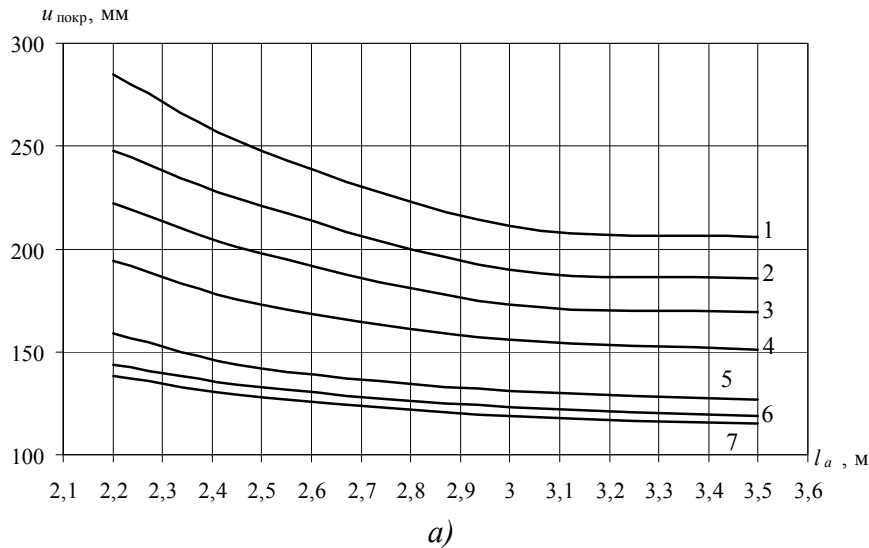


Рис. 5. Графіки зміни величини зміщень покрівлі залежно від довжини анкерів при глибині закладення виробки: *a* – 700 м, *б* – 1500 м (1 – 3 анк., 2 – 4 анк., 3 – 5 анк., 4 – 6 анк., 5 – 7 анк., 6 – 8 анк., 7 – 9 анк.)

– величина зміщень покрівлі виробки зменшується при варіюванні кількості анкерів 3...9 анк. ($H = 700$ м) і описується поліноміальною залежністю:

$$\text{для } l_a = 2,2 \text{ м} \quad u_{\text{покр}} = 0,5556N_a^3 - 4,3333N_a^2 - 21,317N_a + 308,29,$$

$$\text{для } l_a = 3,5 \text{ м} \quad u_{\text{покр}} = 0,5N_a^3 - 4,6548N_a^2 - 6,2976N_a + 215,57;$$

– величина зміщень покрівлі виробки зменшується при варіюванні кількості анкерів 3...9 анк. ($H = 1500$ м) і описується поліноміальною залежністю:

$$\text{для } l_a = 2,2 \text{ м} \quad u_{\text{покр}} = 3,5278N_a^3 - 31,643N_a^2 - 37,028N_a + 1082,3,$$

$$\text{для } l_a = 3,5 \text{ м} \quad u_{\text{покр}} = 3,8056N_a^3 - 33,893N_a^2 - 36,484N_a + 882,86;$$

– при збільшенні глибини розташування виробки різниця між зміщеннями підшви (при кріпленні 3...9 анк.) збільшується при довжині анкерних штанг 2,2; 2,5; 3,0 і 3,5 м, відповідно, і становить: на глибині 700 м – 128, 162, 193 і 193 мм, на глибині 1500 м – 492, 468, 443 і 442 мм;

– величина зміщень підшви виробки зменшується при варіюванні кількості анкерів 3...9 анк. ($H = 700$ м) і описується поліноміальною залежністю:

$$\text{для } l_a = 2,2 \text{ м} \quad u_{\text{нід}} = 0,9167N_a^3 - 8,3333N_a^2 - 6,6786N_a + 879,57,$$

$$\text{для } l_a = 3,5 \text{ м} \quad u_{\text{нід}} = 0,9722N_a^3 - 7,2976N_a^2 - 28,841N_a + 866,43;$$

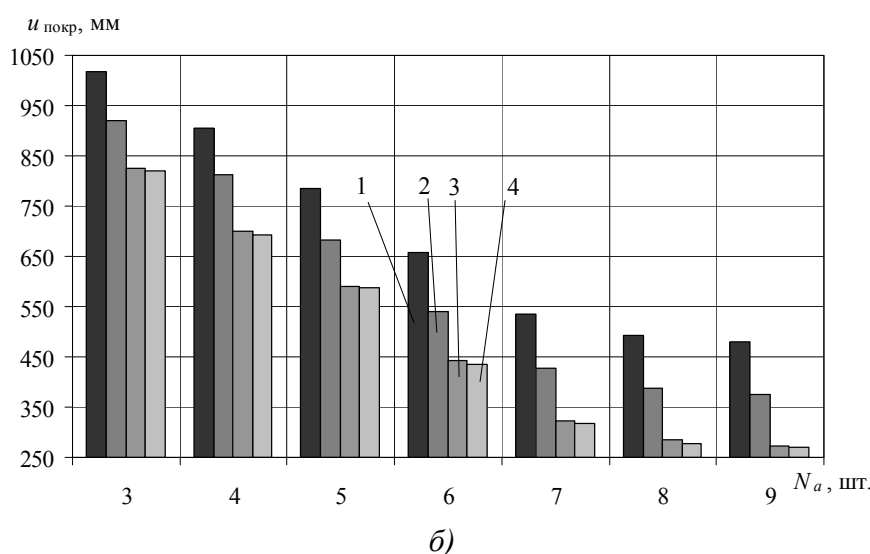
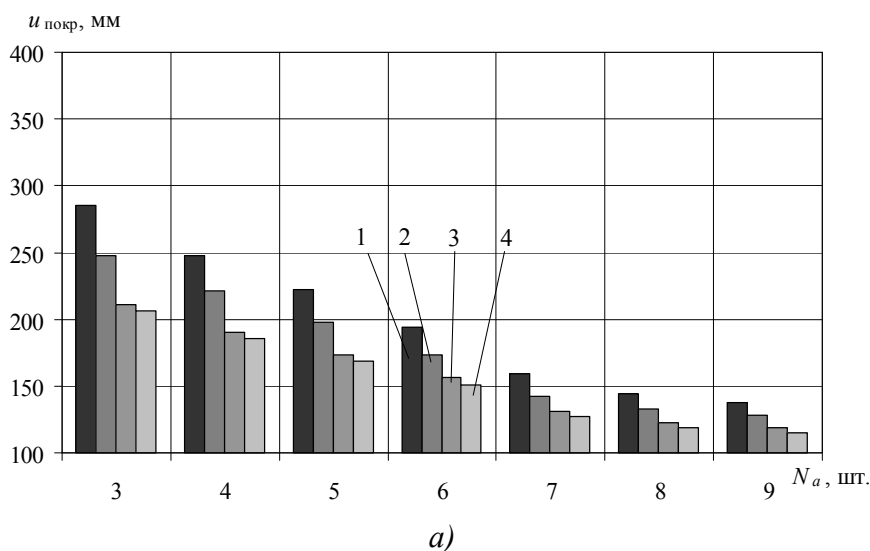


Рис. 6. Графіки зміни величини зміщень покрівлі залежно від кількості анкерів при глибині закладення виробки: *a* – 700 м, *б* – 1500 м (1 – $l_a = 2,2$ м, 2 – $l_a = 2,5$ м, 3 – $l_a = 3,0$ м, 4 – $l_a = 3,5$ м)

– величина зміщень підосви виробки зменшується при варіюванні кількості анкерів 3...9 анк. ($H = 1500$ м) і описується поліноміальною залежністю:

$$\text{для } l_a = 2,2 \text{ м} \quad u_{\text{нід}} = 3,75N_a^3 - 35,119N_a^2 - 14,369N_a + 1975,6,$$

$$\text{для } l_a = 3,5 \text{ м} \quad u_{\text{нід}} = 3,1667N_a^3 - 28,905N_a^2 - 22N_a + 1780,6;$$

– при кріпленні похилих виробок анкерним кріпленням в гірничо-геологічних умовах пласта k_7 шахти «Новодонецька» раціональна щільність анкерування покрівлі виробки становить близько 0,8...0,85 анк./м² ($N_a = 6$ анк.), а раціональна довжина анкерних штанг, що встановлені в покрівлі виробки, становить близько $l_a = 2,9...3,1$ м.

ВИСНОВКИ. Таким чином, отримані залежності зміщень підосви та покрівлі похилої виробки від глибини її розташування (700...1500 м) при варіюванні довжини (2,2...3,5 м) анкерних штанг та щільності анкерування (3...9 анк.). Ці залежності можуть бути використані для прогнозу зміщень при проектуванні похилих виробок k_7 шахти «Новодонецька» або в подібних гірничо-геологічних умовах для похилих виробок, що будуть споруджуватися, при розробці їх паспортів проведення і кріплення.

Подальші дослідження будуть спрямовані на визначення технологічно і економічно раціональних параметрів анкерних систем похилих виробок для інших гірничо-геологічних умов.

Список літератури

1. Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Загальні технічні вимоги : СОУ 10.1.05411357.010:2014. – К. : Мінерговугілля України : ІГТМ НАН України, 2014. – 84 с. (Стандарт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України).
2. Булат А.Ф. Передові технології кріплення гірничих виробок вугільних шахт України / А.Ф. Булат // Вісник НАН України. – 2014. – №1. – С. 74–79.
3. Tereschuk R. Parameters of single anchor effect area in homogeneous border rock mass / R. Tereschuk, O. Hryhoriev, V. Tikhonenko // Вісник Криворізького національного університету: Зб. наук. пр. – Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ», 2016. – Вип. 41. – С. 22–25.
4. Круковский А.П. Технология опорно-анкерного крепления горных выработок / А.П. Круковский, В.А. Хворостян, В.В. Круковская // Уголь Украины. – 2013. – №2. – С. 13–16.
5. Круковский А.П. Технология опорно-анкерного крепления горных выработок угольных шахт / А.П. Круковский // Научно-техническое обеспечение горного производства: Сб. тр. ИГД им. Д.А. Кунаева. – Алматы: РГП «НЦ КПМС РК», 2014. – Вып. 86. – С. 26–33.
6. Новиков А.О. Математическая модель напряженно-деформированного состояния пород кровли монтажного ходка, армированных анкерами / А.О. Новиков, С.Ю. Гладкий // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. пр. – Д.: ІГТМ НАН України, 2014. – Вип. 119. – С. 205–220.
7. Терещук Р.Н. Определение рациональных параметров анкерования наклонных выработок / Р.Н. Терещук, О.В. Терещук // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Науково-виробничий журнал: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2014. – Вип. 2 (14). – С. 104–113.
8. Терещук Р.Н. Моделирование анкерных систем для крепления наклонных выработок / Р.Н. Терещук // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Науково-виробничий журнал: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 2 (16). – С. 81–90.
9. Терещук Р.М. Визначення параметрів анкерних систем для кріплення похилих виробок / Р.М. Терещук, В.Р. Терещук // Матеріали міжнародної конференції (4-7 жовтня 2017 р.) «Форум гірників-2017». – Д.: ДВНЗ «Національний гірничий університет», 2017. – С. 107–113.
10. Терещук Р.М. Кріплення похилих виробок анкерними системами / Р.М. Терещук // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Науково-виробничий журнал: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2017. – Вип. 2 (20). – С. 50–60.
11. Tereshchuk R.M. Substantiation of rational roof-bolting parameters / R.M. Tereshchuk, N.V. Khoziaikina, D.V. Babets // Scientific bulletin of National Mining University. – 2018. – no. 1. – P. 19–26.
12. Babets D.V. Estimation of rock mass stability based on probability approach and rating systems / D.V. Babets, O.O. Sdvyzhkova, M.H. Larionov, R.M. Tereshchuk // Scientific bulletin of National Mining University. – 2017. – no. 2. – P. 58–64.
13. Терещук Р.М. Дослідження параметрів анкерних систем для кріплення похилих виробок // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – Житомир: ЖДТУ. – 2018. – №2 (82). С. 268–276.
14. Дараган Т.В. Обґрунтування раціональної довжини анкерів / Т.В. Дараган, Р.М. Терещук, Т.І. Жадленко // Перспективи розвитку будівельних технологій : 13-та міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, аспірантів і студентів (18-19 квіт. 2019 р., м. Дніпро) : доповіді / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка». – Д., 2019. – С. 45–49.
15. Паульс І.М. Обґрунтування раціональної щільності встановлення анкерів / І.М. Паульс, Р.М. Терещук, А.М. Пленник // Перспективи розвитку будівельних технологій : 13-та міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, аспірантів і студентів (18-19 квіт. 2019 р., м. Дніпро) : доповіді / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка». – Д., 2019. – С. 53–57.