

Р.М. Терещук, к.т.н., доц.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

## Дослідження параметрів анкерних систем для кріплення похилих виробок

**Мета.** Дослідження стану приконтурного породного масиву похилої гірничої виробки, що закріплена анкерними системами, та визначення раціональних параметрів анкерування при збільшенні глибини її закладення в умовах пласта  $k_7$  шахти «Новодонецька».

**Методи дослідження.** Обґрунтування параметрів анкерних систем для похилих виробок виконувалося шляхом дослідження закономірностей зміни поведінки та напружено-деформованого стану породного масиву і отримання зміщень породного контуру гірничої виробки, та на їх основі визначення раціональних величин довжини анкерних штанг і щільності анкерування. Для досліджень змін поведінки та напружено-деформованого стану приконтурного породного масиву похилої виробки, що закріплена анкерними системами, використовувався метод скінченних елементів.

**Наукова новизна.** Отримано графіки залежностей зміщень породного контуру покрівлі та підшви похилої виробки від глибини її закладення при варіюванні довжини анкерних штанг та щільності анкерування для гірничо-геологічних умов пласта  $k_7$  шахти «Новодонецька».

**Практична значимість.** Результати досліджень можуть бути використані на стадії проектування для прогнозу зміщень покрівлі, підшви та боків похилих виробок в гірничо-геологічних умовах пласта  $k_7$  шахти «Новодонецька» для оптимізації параметрів анкерних систем.

**Результати.** Обґрунтовано спосіб дослідження напружено-деформованого стану приконтурного породного масиву похилої виробки, при її кріпленні анкерними системами. Розроблена розрахункова схема до вирішення задачі визначення раціональної щільності анкерування та довжини анкерів для кріплення похилих виробок при зміні глибини їх закладення. Визначено раціональні параметри анкерних систем, при кріпленні похилих гірничих виробок в конкретних гірничо-геологічних умовах.

**Ключові слова:** похила виробка; математичне моделювання; анкерне кріплення; щільність; довжина.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** За останні роки значно збільшилася глибина розробки вугільних родовищ та погіршилися гірничо-геологічні умови. Однак існуюче металеве аорчне 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 огороджувальними 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].

**Аналіз досліджень і публікацій.** Аналізуючи дослідження, що вивчають способи кріплення, охорону та підтримку підземних гірничих виробок і засоби підвищення їх стійкості, можна зробити висновок, що металеве аорчне 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, 4], 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 [5] і методик визначення параметрів кріплення показав, що, незважаючи на різноманітність і велику кількість виконаних досліджень [6], вплив, створюваних породно-анкерних конструкцій на геомеханічні процеси, що відбуваються в масиві, що вміщує виробку, вивчено недостатньо повно.

В роботах [7–13] 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 [7] і боках [8] монтажного хідника при різних параметрах кріплення для забезпечення їх сталого стану, отримані залежності зміщень покрівлі та підшви 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  $m_5^{1e}$  [9, 11] і  $m_4^0$  [10, 11] шахти «Добропілляська», пласта  $l_8$  [12] шахти «Білозерська» та пласта  $m_4^2$  [13] шахти «Піонер».

**Постановка завдання.** 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».

**Викладення матеріалу та результати.** 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 скінчених 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 [14], які наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Фізико-механічні параметри вугільного пласта  $k_7$  та порід

Матеріал	Модуль пружності, $10^4$ МПа	Коефіцієнт Пуассона	Межа міцності на одновісне стиснення, МПа	Межа міцності на розтягнення, МПа	Щільність порід, $t/m^3$	Потужність шару, м
Пісковик (основна покрівля)	1,8	0,21	65	6,5	2,5	70,0
Аргіліт (безпосередня покрівля)	0,73	0,25	16	1,6	2,3	2,0
Вугільний пласт $k_7$	0,92	0,16	18	1,8	1,32	1,8
Аргіліт (безпосередня підшва)	0,73	0,25	16	1,6	2,3	4,0
Алевроліт (основна підшва)	0,9	0,23	35	3,5	2,4	5,0

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.

Розрахункова схема до вирішення задачі з визначення раціональної щільності анкерування та довжини анкерів для кріплення похилих виробок при зміні глибини закладення виробки наведено на рисунку 1.

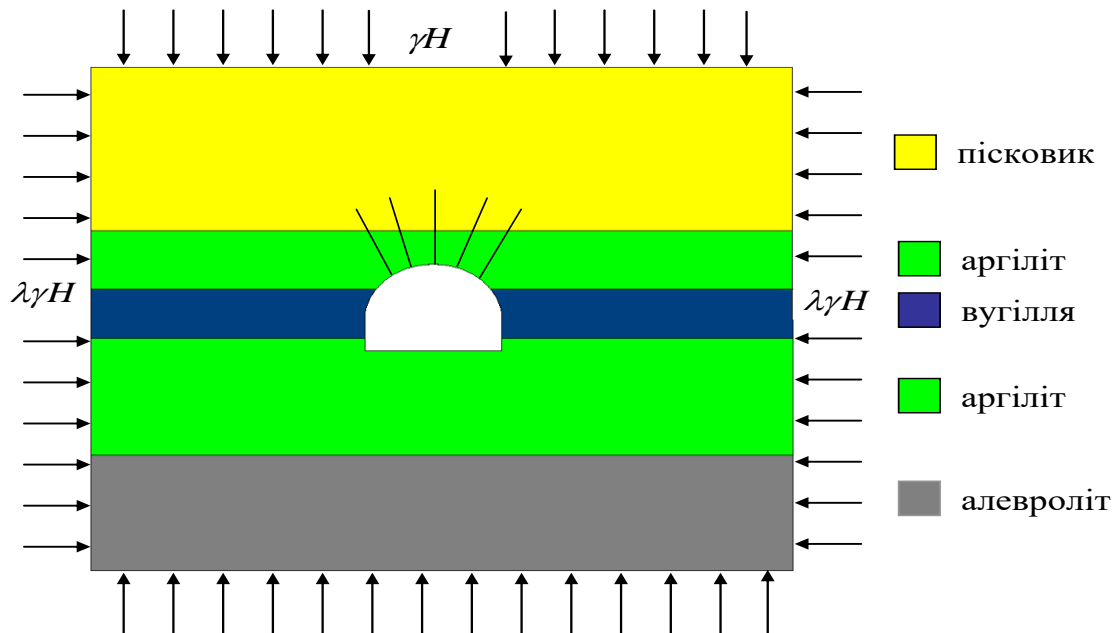


Рис. 1. Розрахункова схема до вирішення задачі з визначення параметрів анкерних систем для похилих виробок, що пройдені в умовах пласта  $k_7$

Результатом математичного моделювання похилої виробки в гірничо-геологічних умовах пласта  $k_7$  шахти «Новодонецька», що закріплена анкерним кріпленням, при зміні параметрів анкерування ( $N_a = 3 \dots 9$  анк.) та ( $l_a = 2,2 \dots 3,5$  м), а також глибини закладення ( $H = 700 \dots 1500$  м), були отримані залежності величин зміщень породного приконтурного масиву (покрівлі та підшви 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. 2–5), від довжини анкерних штанг при глибині розташування виробки 700 і 1500 м (рис. 6), від щільності анкерування при глибині розташування виробки 700 і 1500 м (рис. 7).

Аналіз отриманих результатів досліджень:

- залежності змін зміщень покрівлі та підшви 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. 2–5).
- 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. 2–5);
- величина зміни зміщень підшви 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. 6, а), на глибині 1500 м – 199, 198 і 211 мм (рис. 6, б);
- величина зміщень покрівлі виробки зменшується при варіюванні довжини анкерних штанг 2,2...3,5 м ( $H = 700$  м) і описується поліноміальною залежністю:  
 для  $N_a = 3$  анк.  $u_{\text{покр}} = 63,204l_a^2 - 421,11l_a + 905,61$ ,  
 для  $N_a = 9$  анк.  $u_{\text{покр}} = 13,128l_a^2 - 92,207l_a + 277,04$ ;
- величина зміщень покрівлі виробки зменшується при варіюванні довжини анкерних штанг 2,2...3,5 м ( $H = 1500$  м) і описується поліноміальною залежністю:  
 для  $N_a = 3$  анк.  $u_{\text{покр}} = 177,34l_a^2 - 1164,4l_a + 2721,7$ ,  
 для  $N_a = 9$  анк.  $u_{\text{покр}} = 191,39l_a^2 - 1253,7l_a + 2312,2$ ;
- при збільшенні глибини розташування виробки різниця між зміщеннями підшви (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 підшви виробки зменшується при варіюванні довжини анкерних штанг 2,2...3,5 м ( $H = 700$  м) і описується поліноміальною залежністю:  
 для  $N_a = 3$  анк.  $u_{\text{під}} = 21,241l_a^2 - 146,91l_a + 1085,1$ ,  
 для  $N_a = 9$  анк.  $u_{\text{під}} = 83,981l_a^2 - 554,45l_a + 1550$ ;

- величина зміщень підосви виробки зменшується при варіюванні довжини анкерних штанг 2,2...3,5 м ( $H = 1500$  м) і описується поліноміальною залежністю:  
 для  $N_a = 3$  анк.  $u_{\text{нід}} = 168,11l_a^2 - 1106,7l_a + 3549,1$ ,  
 для  $N_a = 9$  анк.  $u_{\text{нід}} = 123,7l_a^2 - 814,7l_a + 2629,3$ ;
- 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. 7,а), на глибині 1500 м – 538, 545, 551 і 551 мм (рис. 7,б);

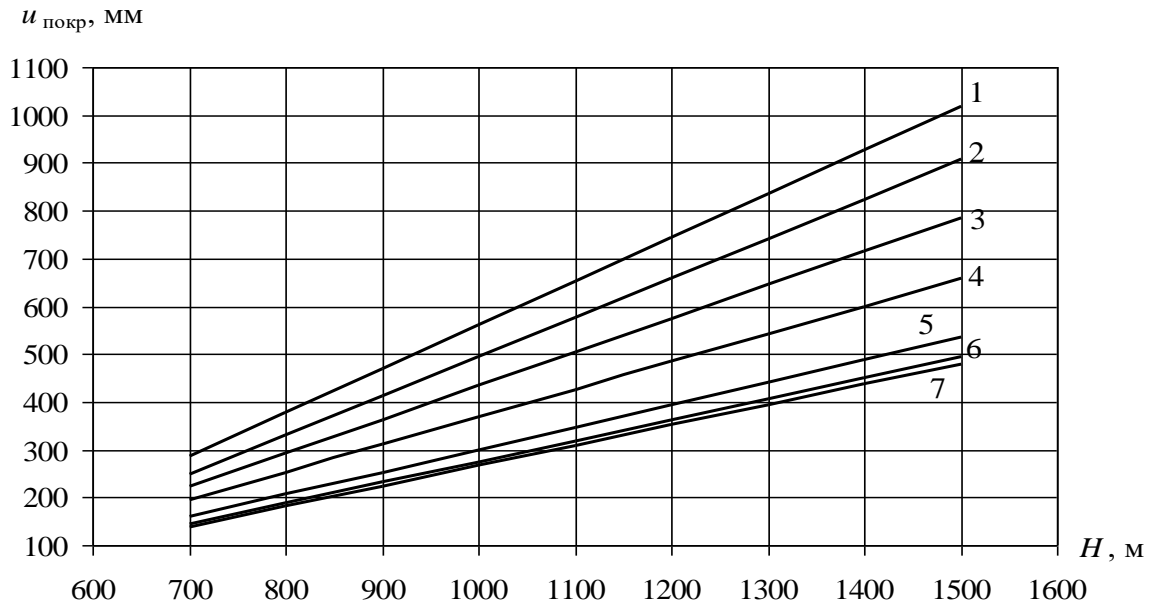


Рис. 2. Графіки зміни величини зміщень покрівлі залежно від глибини закладення виробки при довжині анкера 2,2 м:  
 1 – 3 анк., 2 – 4 анк., 3 – 5 анк., 4 – 6 анк., 5 – 7 анк., 6 – 8 анк., 7 – 9 анк.

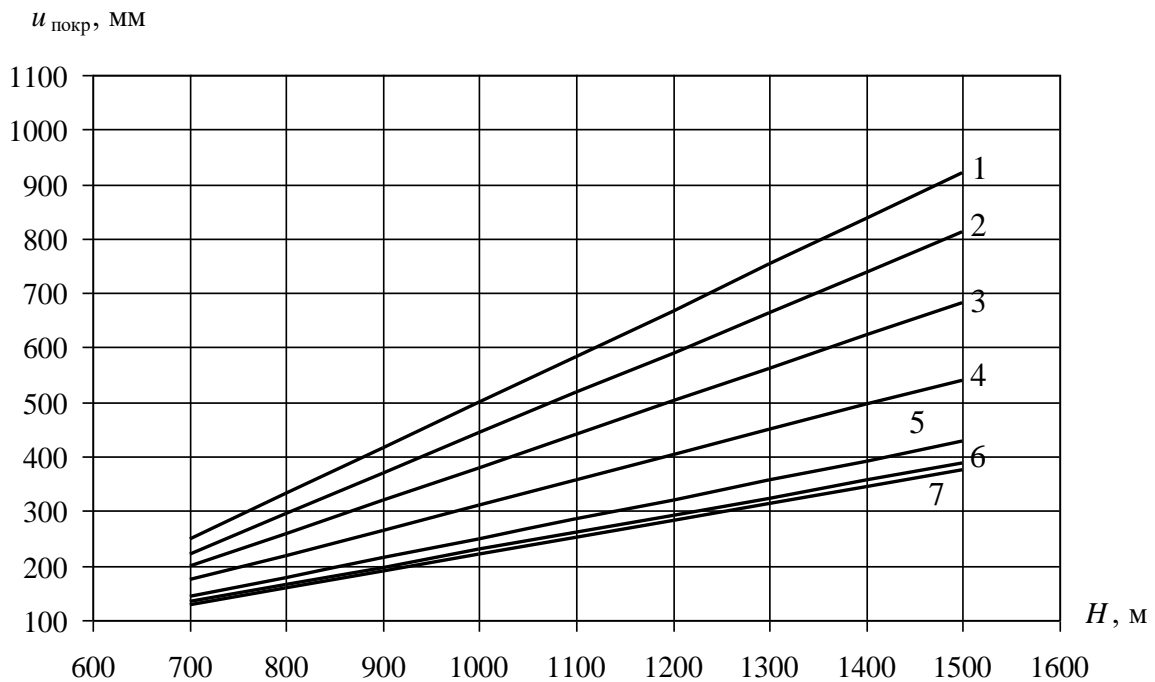


Рис. 3. Графіки зміни величини зміщень покрівлі залежно від глибини закладення виробки при довжині анкера 2,5 м:  
 1 – 3 анк., 2 – 4 анк., 3 – 5 анк., 4 – 6 анк., 5 – 7 анк., 6 – 8 анк., 7 – 9 анк.

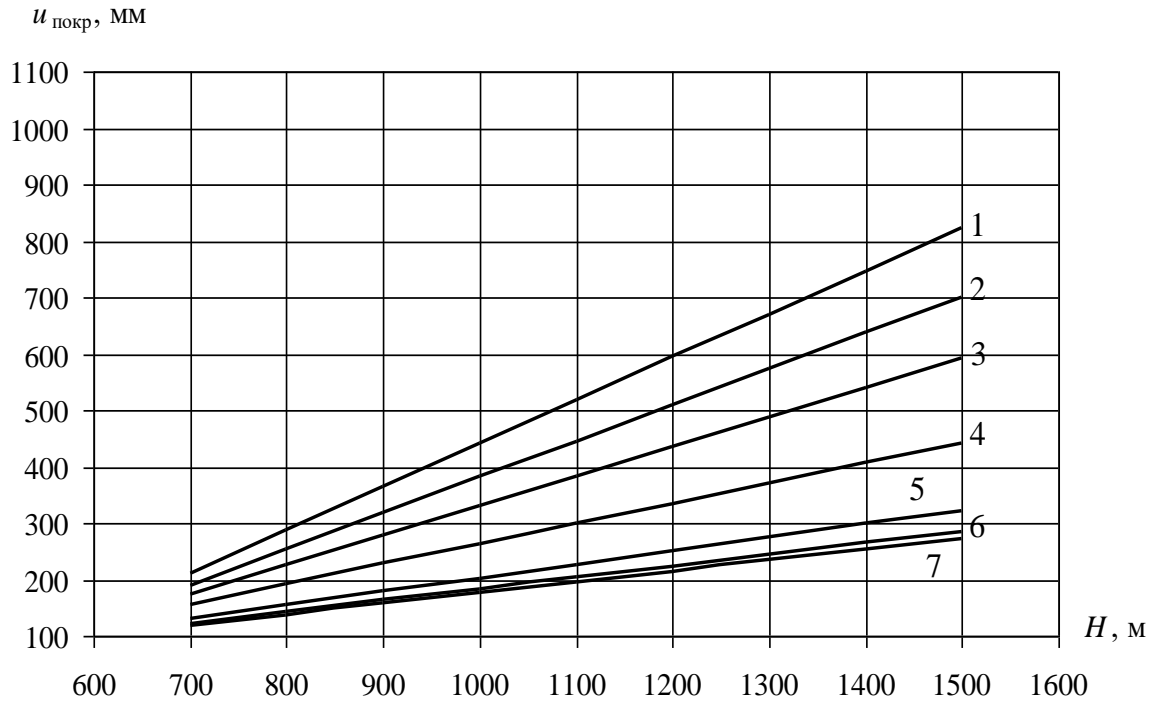


Рис. 4. Графіки зміни величини зміцень покрівлі залежно від глибини закладення виробки при довжині анкера 3 м:

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

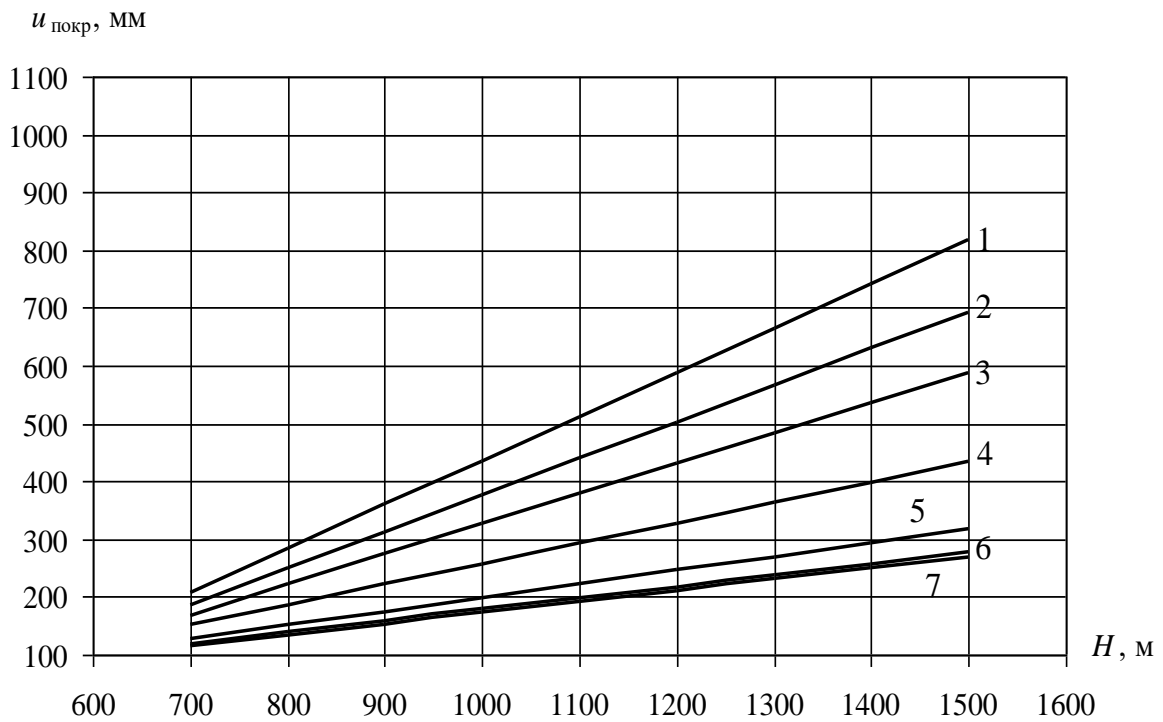


Рис. 5. Графіки зміни величини зміцень покрівлі залежно від глибини закладення виробки при довжині анкера 3,5 м:

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

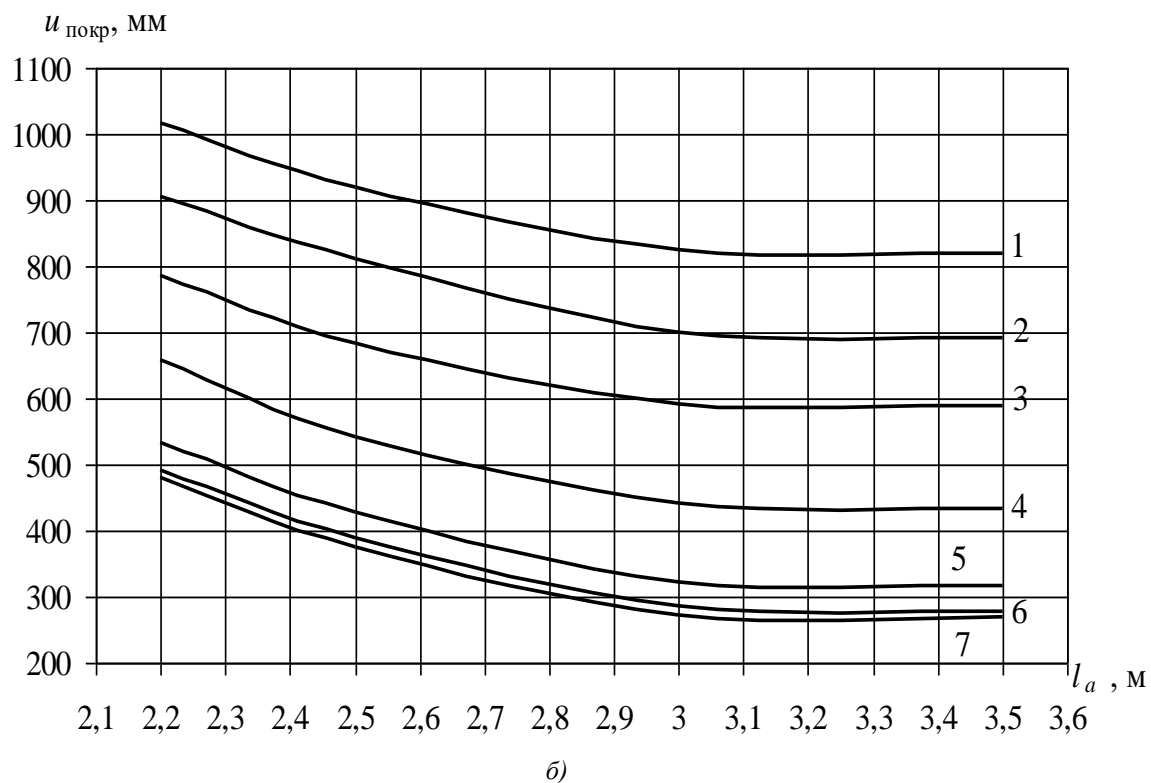
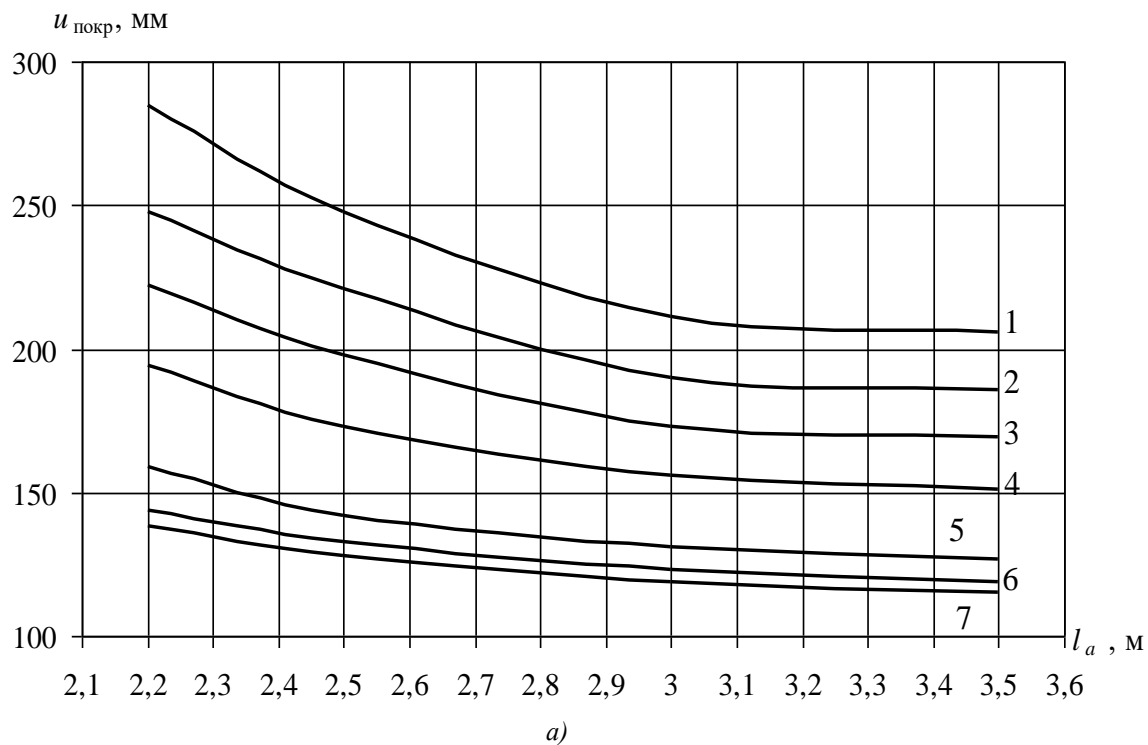


Рис. 6. Графіки зміни величини зміщень покрівлі залежно від довжини анкерів при глибині закладення виробки: а – 700 м, б – 1500 м (1 – 3 анк., 2 – 4 анк., 3 – 5 анк., 4 – 6 анк., 5 – 7 анк., 6 – 8 анк., 7 – 9 анк.)

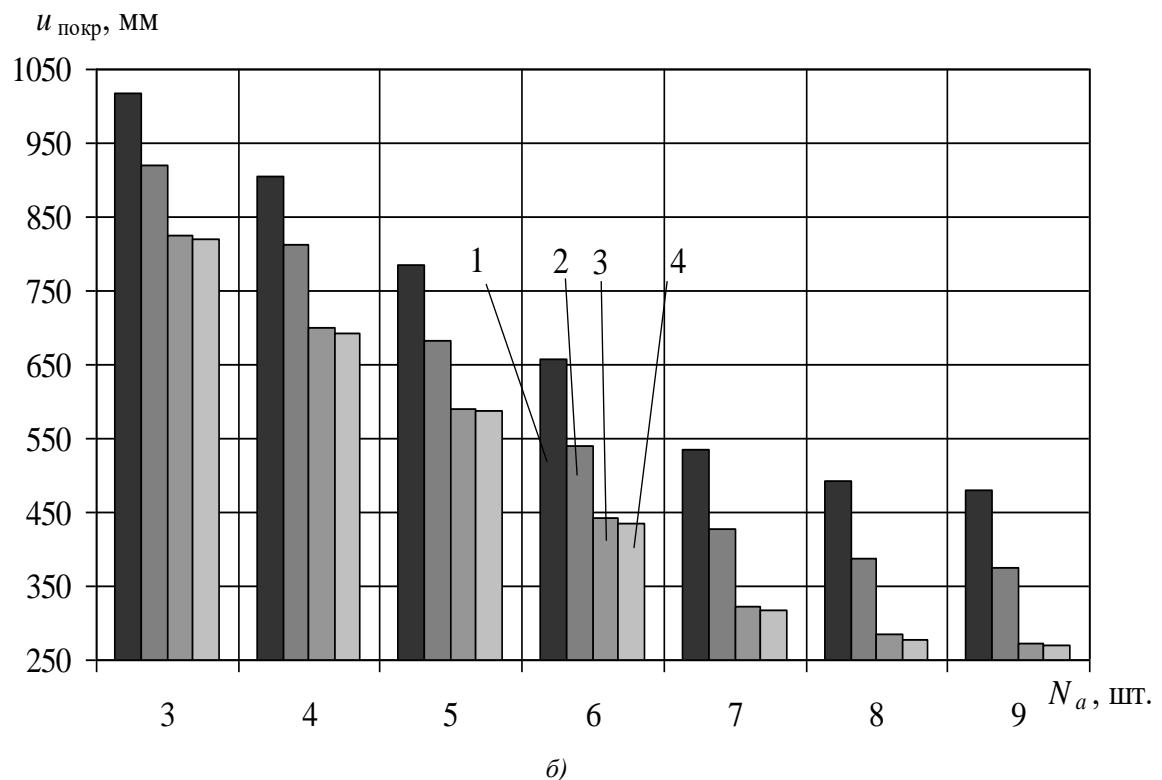
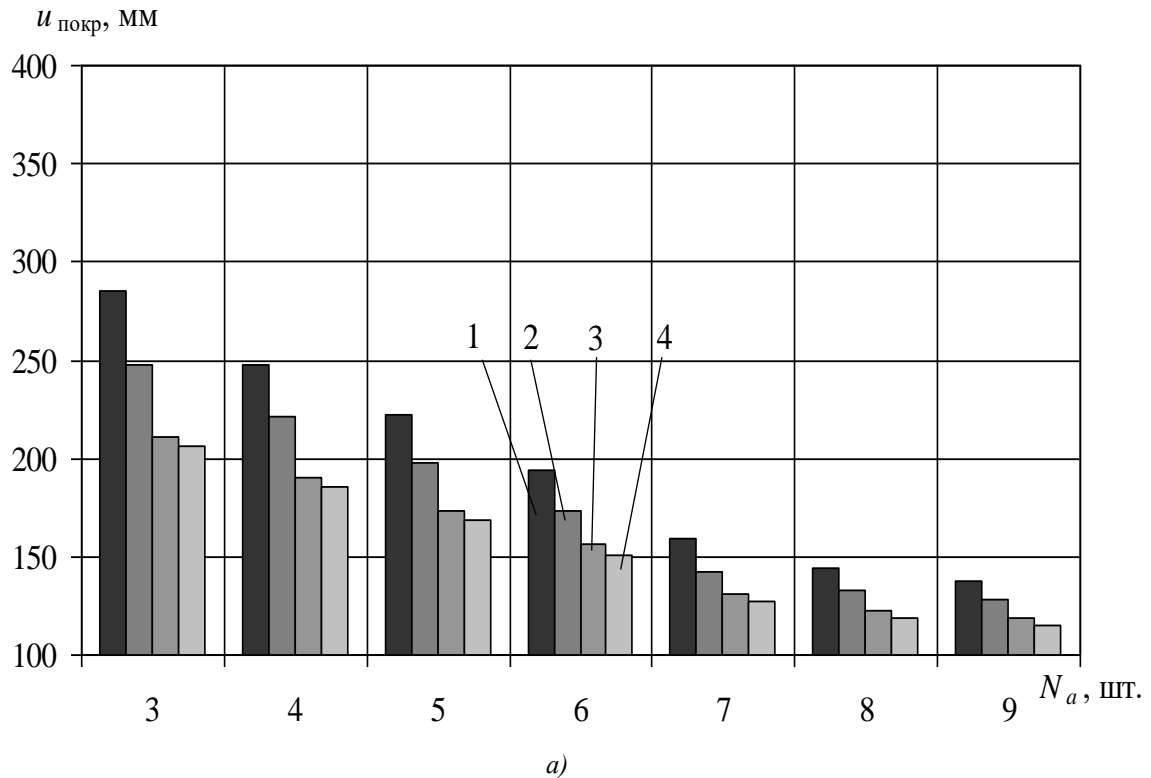


Рис. 7. Графіки зміни величини зміщень покрівлі залежно від кількості анкерів при глибині закладення виробки: а – 700 м, б – 1500 м  
(1 –  $l_a = 2,2$  м, 2 –  $l_a = 2,5$  м, 3 –  $l_a = 3,0$  м, 4 –  $l_a = 3,5$  м)

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

$$\begin{aligned} \text{для } l_a = 2,2 \text{ м} \quad & u_{\text{покр}} = 0,5556N_a^3 - 4,3333N_a^2 - 21,317N_a + 308,29; \\ \text{для } l_a = 3,5 \text{ м} \quad & u_{\text{покр}} = 0,5N_a^3 - 4,6548N_a^2 - 6,2976N_a + 215,57; \end{aligned}$$

- величина зміщень покрівлі виробки зменшується при варіюванні кількості анкерів 3...9 анк. ( $H = 1500$  м) і описується поліноміальною залежністю:  
 для  $l_a = 2,2$  м  $u_{\text{покp}} = 3,5278N_a^3 - 31,643N_a^2 - 37,028N_a + 1082,3$ ;  
 для  $l_a = 3,5$  м  $u_{\text{покp}} = 3,8056N_a^3 - 33,893N_a^2 - 36,484N_a + 882,86$ ;
- 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:  
 для  $l_a = 2,2$  м  $u_{\text{під}} = 0,9167N_a^3 - 8,3333N_a^2 - 6,6786N_a + 879,57$ ;  
 для  $l_a = 3,5$  м  $u_{\text{під}} = 0,9722N_a^3 - 7,2976N_a^2 - 28,841N_a + 866,43$ ;
- величина зміщень підшви виробки зменшується при варіюванні кількості анкерів 3...9 анк. ( $H = 1500$  м) і описується поліноміальною залежністю:  
 для  $l_a = 2,2$  м  $u_{\text{під}} = 3,75N_a^3 - 35,119N_a^2 - 14,369N_a + 1975,6$ ;  
 для  $l_a = 3,5$  м  $u_{\text{під}} = 3,1667N_a^3 - 28,905N_a^2 - 22N_a + 1780,6$ ;
- 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./м<sup>2</sup> ( $N_a = 6$  анк.), а раціональна довжина анкерних штанг, що встановлені в покрівлі виробки, становить близько  $l_a = 2,9...3,1$  м.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Таким чином, отримані залежності зміщень підшви 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 використаної літератури:

1. Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Загальні технічні вимоги : СОУ 10.1.05411357.010:2014 / Стандарт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України. – К. : Міненерговугілля України : ІГТМ НАН України, 2014. – 84 с.
2. Булат А.Ф. Передові технології кріплення гірничих виробок вугільних шахт України / А.Ф. Булат // Вісник НАН України. – 2014. – № 1. – С. 74–79.
3. Технологія анкерного кріплення гірничих виробок на шахтах України: стан і перспективи / А.Ф. Булат, І.М. Попович, О.В. Вівчаренко, О.П. Круковський // Уголь України. – 2014. – № 2. – С. 3–7.
4. 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.
5. Круковський А.П. Технология опорно-анкерного крепления горных выработок / А.П. Круковський, В.А. Хворостян, В.В. Круковская // Уголь Украины. – 2013. – № 2. – С. 13–16.
6. Круковський А.П. Технология опорно-анкерного крепления горных выработок угольных шахт / А.П. Круковський // Научно-техническое обеспечение горного производства : сб. тр. ИГД им. Д.А. Кунаева. – Алматы : РГП «НЦ КППМС РК», 2014. – Вып. 86. – С. 26–33.
7. 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.
8. Новиков А.О. Математическая модель напряженно-деформированного состояния армированных анкерами пород в стенке монтажного ходка / А.О. Новиков, С.Ю. Гладкий // Розробка родовищ 2015: щорічний науково-технічний збірник. – Д. : Літограф, 2015. – С. 319–325.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.

13. 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.
14. 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.

#### References:

1. Minenergougillja Ukrainy (2014), *Systema zabezpechennja nadijnogo ta bezpechnogo funkcionuvannja girnychyh vyrobok iz ankernym kriplennjam. Zagal'ni tehnicni vymogy*, SOU 10.1.05411357.010:2014, IGTM NAN Ukrainy, Kyi'v, 84 p.
2. Bulat, A.F. (2014), «Peredovi tehnologii' kriplennja girnychyh vyrobok vugil'nyh shaht Ukrainy», *Visnyk NAN Ukrainy*, Vol. 1, Pp. 74–79.
3. Bulat, A.F., Popovych, I.M., Vivcharenko, O.V. and Krukovskiy O.P. (2014), «Tehnologija ankernogo kriplennja girnychyh vyrobok na shahtah Ukrainy: stan i perspektyvy», *Ugol' Ukrainy*, Vol. 2, Pp. 3–7.
4. Tereschuk, R., Hryhoriev, O and Tikhonenko, V. (2016), «Parameters of single anchor effect area in homogeneous border rock mass», *Zb. nauk. pr. «Visnyk Kryvoriz'kogo nacional'nogo universytetu»*, Vol. 41, Pp. 22–25.
5. Krukovskiy, A.P., Khvorostyan, V.A. and Krukovskaya, V.V. (2013), «Tehnologiya oporno-ankernogo krepleniya gornyykh vyrabotok», *Ugol' Ukrainy*, Vol. 2, Pp. 13–16.
6. Krukovskiy, A.P. (2014), «Tehnologiya oporno-ankernogo krepleniya gornyykh vyra-botok ugol'nykh shakht», *Sb. tr. IGD im. D.A. Kunaeva «Nauchno-tekhnicheskoe obespechenie gornogo proizvodstva»*, Vol. 86, Pp. 26–33.
7. Novikov, A.O. and Gladkiy, S.Yu. (2014), «Matematicheskaya model' napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya porod krovli montazhnogo khodka, armirovannykh ankerami», *Mizhvid. zb. nauk. pr. «Geotekhnichna mekhanika»*, Vol. 119, Pp. 205–220.
8. Novikov, A.O. and Gladkiy, S.Yu. (2015), «Matematicheskaya model' napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya armirovannykh ankerami porod v stenke montazhnogo khodka», *Shchorichniy naukovu-tekhnicniy zbirnik «Rozrobka rodovishch 2015»*, Pp. 319–325.
9. Tereshchuk, R.N. and Tereshchuk, O.V. (2014), «Opredelenie ratsional'nykh parametrov ankerovaniya na-klonnykh vyrabotok», *Up-to-date resource- and energy- saving technologies in mining industry» Research and production journal: Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University*, Vol. 2 (14), Pp. 104–113.
10. Tereshchuk, R.N. (2014), «Modelirovanie ankernyykh sistem dlya krepleniya na-klonnykh vyrabotok», *Up-to-date resource- and energy- saving technologies in mining industry» Research and production journal: Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University*, Vol. 2 (16), Pp. 81–90.
11. Tereshchuk, R.M. and Tereshchuk, V.R. (2017), «Vyznachennja parametriv ankernyykh sistem dlja kriplennja pohylyh vyrobok», *Materialy mizhnarodnoi' konferencii' (4–7 zhovtnja) «Forum girnykiv-2017»*, DVNZ «Nacional'nyj girnychij universytet», D., Pp. 107–113.
12. Tereshchuk, R.M. (2017), «Kriplennja pohylyh vyrobok ankernymy systemamy», *Up-to-date resource- and energy- saving technologies in mining industry» Research and production journal: Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University*, Vol. 2 (20), Pp. 50–60.
13. Tereshchuk, R.M., Khoziaikina, N.V. and Babets, D.V. (2018), «Substantiation of rational roof-bolting parameters», *Scientific bulletin of National Mining University*, Vol. 1, Pp. 19–26.
14. Babets, D.V., Sdvyzhkova, O.O., Larionov, M.H. and Tereshchuk, R.M. (2017), «Estimation of rock mass stability based on probability approach and rating systems», *Scientific bulletin of National Mining University*, Vol. 2, Pp. 58–64.

**Терещук Роман Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Наукові інтереси:

- стійкість гірничих виробок;
- математичне моделювання.

E-mail: Tereschuk.rm@gmail.com.

Стаття надійшла до редакції 11.09.2018.