

УДК 622.28.044

DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2019.144.053>

## СПОСІБ АНКЕРНОГО КРІПЛЕННЯ ГІРНИЧОЇ ВИРОБКИ З ПЕРІОДИЧНИМ ПОСИЛЕННЯМ АНКЕРНО-ПОРОДНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

<sup>1</sup>Круковський О.П., <sup>1</sup>Круковська В.В., <sup>1</sup>Хворостян В.О.

<sup>1</sup>Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

## СПОСОБ АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ С ПЕРИОДИЧЕСКИМ УСИЛЕНИЕМ АНКЕРНО-ПОРОДНОЙ КОНСТРУКЦИИ

<sup>1</sup>Круковский А.П., <sup>1</sup>Круковская В.В., <sup>1</sup>Хворостян В.А.

<sup>1</sup>Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины

## METHOD OF ROOF-BOLTING SUPPORT OF MINING WITH THE PERIODIC STRENGTH OF ANCHOR-ROCK STRUCTURE

<sup>1</sup>Krukovskyi O.P., <sup>1</sup>Krukovska V.V., <sup>1</sup>Khvorostian V.O.

<sup>1</sup>Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov NAS of Ukraine

**Анотація.** Як показав практичний досвід, із збільшенням довжини гірничих виробок, які закріплено анкерним кріпленням, відбувається накопичення енергії пружних деформацій. Вивільнення цієї енергії призводить до небезпечного руйнування приконтурного масиву. Крім того, при перетині виробкою ділянок з геологічними порушеннями, на яких спостерігається погіршення міцнісних властивостей гірських порід, несуча здатність анкерно-породної конструкції виявилась недостатньою для збереження виробки у стійкому стані. Для усунення цих недоліків запропоновано періодичне посилення анкерно-породної конструкції за рахунок установки додаткових анкерів, які формують елемент анкерного кріплення – захисну перемичку.

В роботі визначено основні параметри захисних перемичок, які обумовлені гірничо-геологічними умовами, призначенням виробки, терміном її служби. Наведено приклади схем анкерного кріплення з використанням захисних перемичок. Встановлено вплив неоднорідного армування гірських порід уздовж виробки на її стійкість. Для цього виконано дослідження напружено-деформованого стану порід навколо протяжної гірничої виробки із захисними перемичками різної потужності. Показано, що при застосуванні перемичок стан покрівлі поліпшується – значення параметру, що характеризує різнокомпонентність поля напружень, зменшується на 20-67 % на різних ділянках виробки. Захисні перемички протидіють руйнуванню приконтурного масиву внаслідок вивільнення енергії пружних деформацій, які накопичуються із збільшенням довжини виробки. Застосування елемента конструкції анкерного кріплення «перемичка» з періодичністю 20-25 м блокує негативну дію фактору впливу довжини виробки, збільшуючи відносну міцність порід в околі виробки.

Для прикладу розглянуто кріплення 585 збірною штреку шахти «Ювілейна», який проведено в складних гірничо-геологічних умовах і збережено на повторне використання. Виробку було закріплено за посиленою схемою анкерного кріплення з потужними перемичками. Геомеханічні обстеження в період проведення виробки, відпрацювання першої та другої лав показали, що стан виробки в процесі проведення та експлуатації – стійкий. Спосіб анкерного кріплення гірничої виробки з використанням захисних перемичок підтверджується патентом України.

**Ключові слова:** анкерне кріплення, анкерно-породна конструкція, напружений стан порід, стійкість протяжної виробки

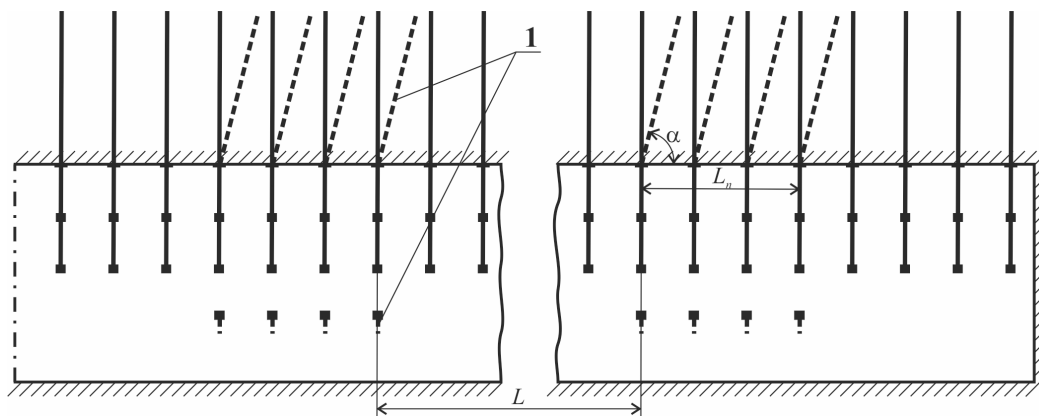
В результаті багаторічних спостережень і експериментів в умовах більш ніж 30-ти вугільних шахт України була вироблена концепція створення анкерно-породної конструкції, яка блокує процес початку розвитку непружних деформацій і розшарування порід в околі виробки, з урахуванням умов її експлуатації та призначення [1, 2]. Як показав практичний досвід [3-6], із збільшенням довжини гірничих виробок, які закріплено анкерним кріпленням (АК), до 400 м і більше відбувається накопичення енергії пружних деформацій. Вивільнення цієї енергії призводить до небезпечного руйнування приконтурного масиву. Крім того, при перетині виробкою ділянок з геологічними порушеннями, на яких спостерігається погіршення міцнісних властивостей гірських порід, несуча здатність анкерно-породної конструкції виявилась недостатньою для збереження виробки у стійкому стані.

Для усунення цього недоліку було запропоновано періодичне посилення анкерно-породної конструкції за рахунок установки додаткових анкерів, які формують елемент анкерного кріплення – захисну перемичку. Практика показала, що застосування схем анкерного кріплення із захисними перемичками значно сприяє підвищенню стійкості гірничої виробки і забезпечує її безремонтну експлуатацію навіть при перетині виробкою ділянок з геологічними порушеннями [7] та у випадках, коли її довжина набагато перевищує 400 м.

**Основні параметри захисних перемичок.** Захисні перемички – це елементи конструкції, призначені для протидії небезпечному руйнуванню приконтурного масиву внаслідок вивільнення енергії пружних деформацій, які накопичуються із збільшенням довжини виробки. Елемент захисна перемичка (ділянка з повним перекриттям) складається з 3 і більше послідовних рядів анкерного кріплення більш потужної конструкції, ніж основне кріплення (неповне перекриття). Потужність конструкції АК визначається кутом нахилу анкерів:

- в простій конструкції (АКпр) анкери розташовані в площині перетину;
- в посиленій (АКпс) – з нахилом на вибій виробки;
- в потужній (АКпт) – частина з нахилом на вибій, частина – на устя виробки.

При основному виді кріплення АКпр перемички формуються установкою додаткових анкерів за схемою АКпс або АКпт, рис. 1, рис. 2; при основному АКпс – за рахунок установки додаткових анкерів за схемою АКпт, рис. 3, рис. 4.

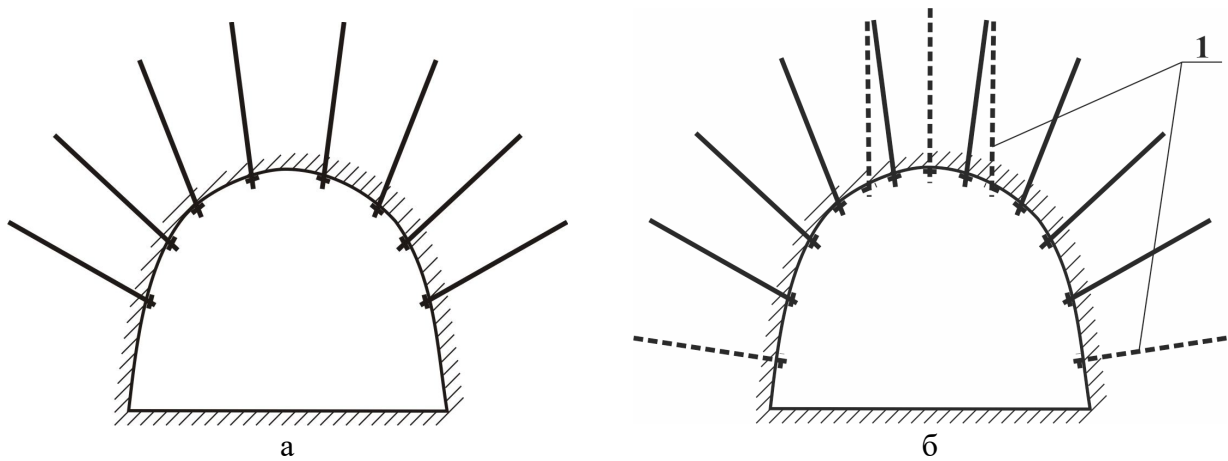


$\alpha$  – кут нахилу анкера на вибій виробки;  $L$  – відстань між захисними перемичками;  $L_n$  – довжина захисної перемички; 1 – додаткові анкери

Рисунок 1 – Приклад схеми анкерного кріплення у подовжньому перерізі гірничої виробки при застосуванні простої анкерно-породної конструкції у якості основного кріплення і посиленних перемичок

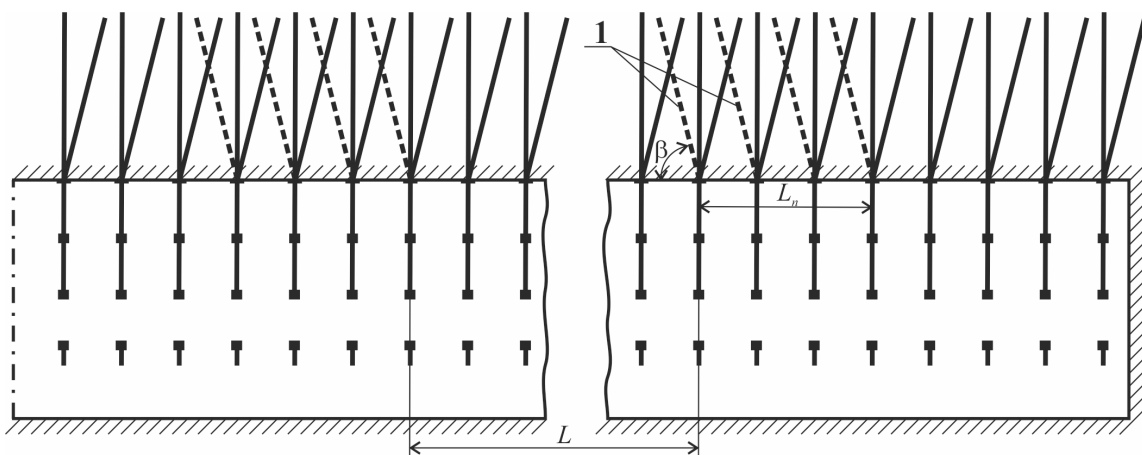
Довжина кожної захисної перемички і відстань між ними визначаються гірничо-геологічними умовами, призначенням виробки, терміном її служби. Зазвичай довжина перемички становить 4-5 рядів, відстань між ними – 20 м.

За схемою з повним перекриттям кріпляться ділянки на початку і в кінці виробки з АК (перехідні ділянки); зі зміною геометрії перерізу виробки; геологічних порушень; сполучення з іншими виробками; підробки і надробки інших виробок. Застосування захисних перемичок в конструкції АК є необхідним для будь-яких виробок з анкерним і анкерно-рамним кріпленням.



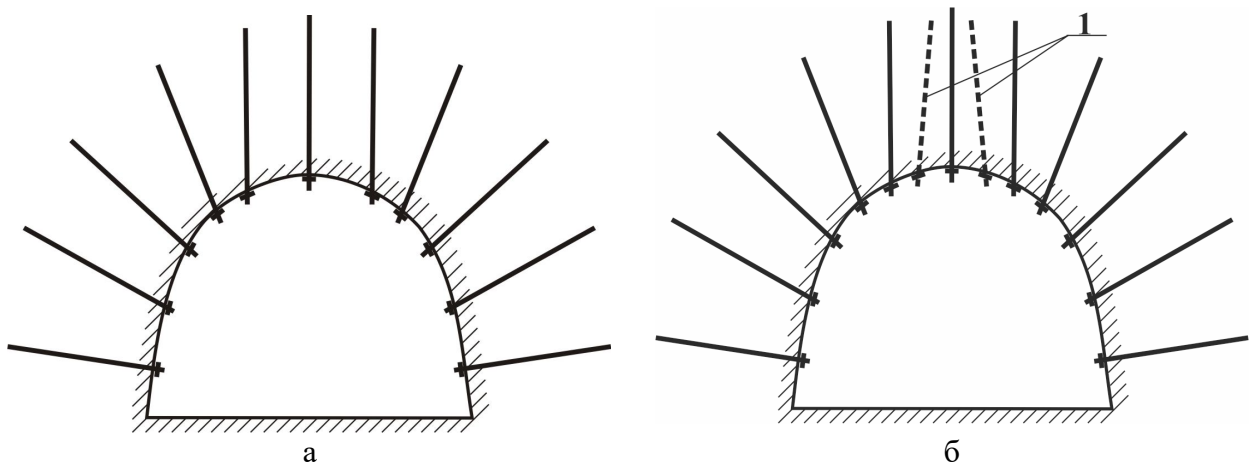
а) основне кріплення; б) посилені перемички; 1 – додаткові анкери

Рисунок 2 – Схема анкерного кріплення у поперечному перерізі гірничої виробки з АКпр у якості основного кріплення і посиленими перемичками



$\beta$  – кут нахилу анкера на устя виробки;  $L$  – відстань між захисними перемичками;  $L_n$  – довжина захисної перемички; 1 – додаткові анкери

Рисунок 3 – Приклад схеми анкерного кріплення у подовжньому перерізі виробки з АКпс у якості основного кріплення і потужними перемичками



а) основне кріплення; б) посилені перемички; 1 – додаткові анкери

Рисунок 4 – Схема анкерного кріплення у поперечному перерізі гірничої виробки з АКпс у якості основного кріплення і потужними перемичками

**Дослідження напружено-деформованого стану порід навколо протяжної гірничої виробки із захисними перемичками.** З використанням методу скінченних елементів розрахуємо параметри напруженого стану порід навколо

протяжної гірничої виробки, закріпленої анкерним кріпленням без посилення і з захисними перемичками довжиною 4 м через кожні 20 м. На рис. 5 показано розподіл значень параметра  $Q$ , що характеризує ступінь різнокомпонентності поля напружень, в першому випадку, коли елемент «перемичка» в конструкції АК відсутній. З рисунка видно, що в вибої виробки відбувається концентрація напружень. У покрівлі за допомогою сталевих-полімерних анкерів створено породно-анкерне перекриття, значення параметра  $Q$  в якому не перевищує 0,8, а поблизу вибою – навіть 0,4. Але з відходом вибою область білого кольору всередині перекриття, де  $Q < 0,4$ , поступово зменшується, і зникає зовсім. Анкери з відходом вибою все більше навантажуються, даний вид конструкції АК не може нейтралізувати напруження, що накопичуються зі збільшенням довжини виробки, можлива втрата несучої здатності перекриття.

На рис. 6 показаний розподіл значень параметра  $Q$  в другому випадку, коли ділянки з неповним перекриттям за посиленою схемою чергуються з потужними перемичками.

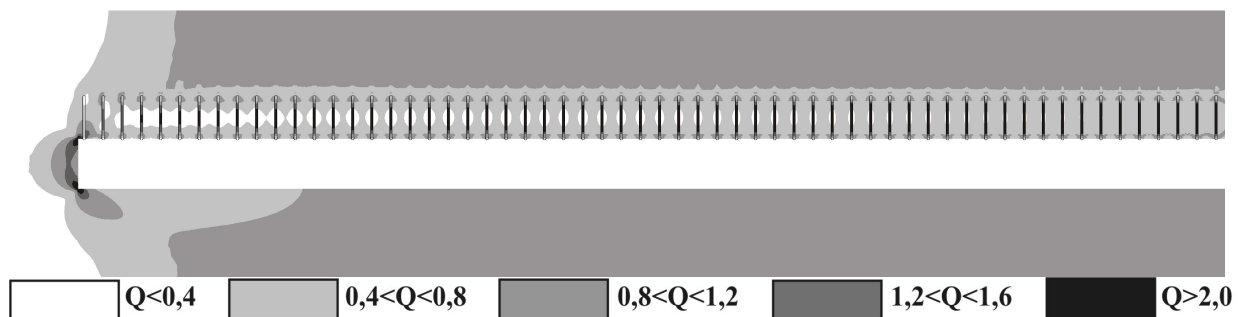


Рисунок 5 – Розподіл значень параметра  $Q$  навколо протяжної виробки, яку закріплено АКпр без перемичок

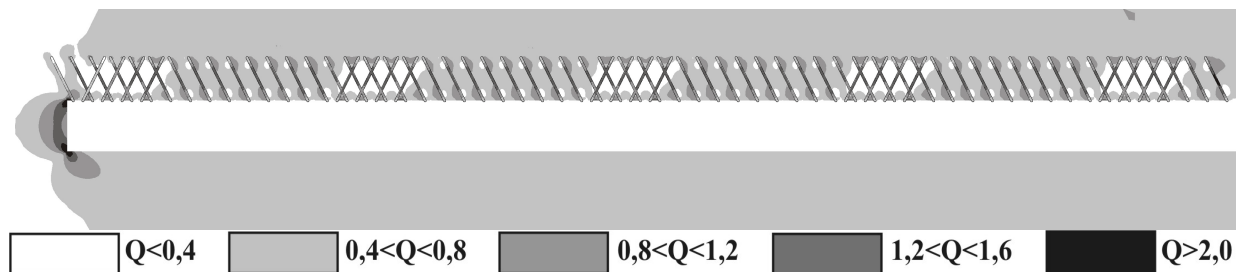


Рисунок 6 – Розподіл значень параметра  $Q$  навколо протяжної виробки, яку закріплено АКпс з потужними перемичками

На перемичках розрізнені області білого кольору, де  $Q < 0,4$ , об'єднуються в єдині області, в яких збережено природний напружений стан і породи не розвантажені від гірського тиску. На ділянках з неповним перекриттям значення параметра  $Q$  також не виходить за межі допустимих значень для збереження стану, близького до стану непорушеного масиву –  $Q < 0,8$ .

При застосуванні перемичок стан покрівлі поліпшується – значення параметру  $Q$  зменшується на 20-67 % на різних ділянках виробки. Захисні перемички протидіють руйнуванню приконтурного масиву внаслідок вивільнення енергії пружних деформацій, які накопичуються із збільшенням довжини виробки, застосування елемента конструкції анкерного кріплення «перемичка» з періодичністю 20-25 м блокує негативну дію фактору впливу довжини виробки, збільшуючи відносну міцність порід в околі виробки [8, 9].

**Приклад застосування захисних перемичок.** Потужні перемички при посиленій схемі кріплення на основних ділянках застосовувалися при проведенні 585 збірної штреку шахти «Ювілейна». Виробка проводилася по пласту С<sub>6</sub> з верхньою та нижньою підриркою. Потужність вугільного пласта – 0,94-1,12 м. Фізико-механічні характеристики вугільного пласта і порід, що його вміщують, представлені в табл. 1.

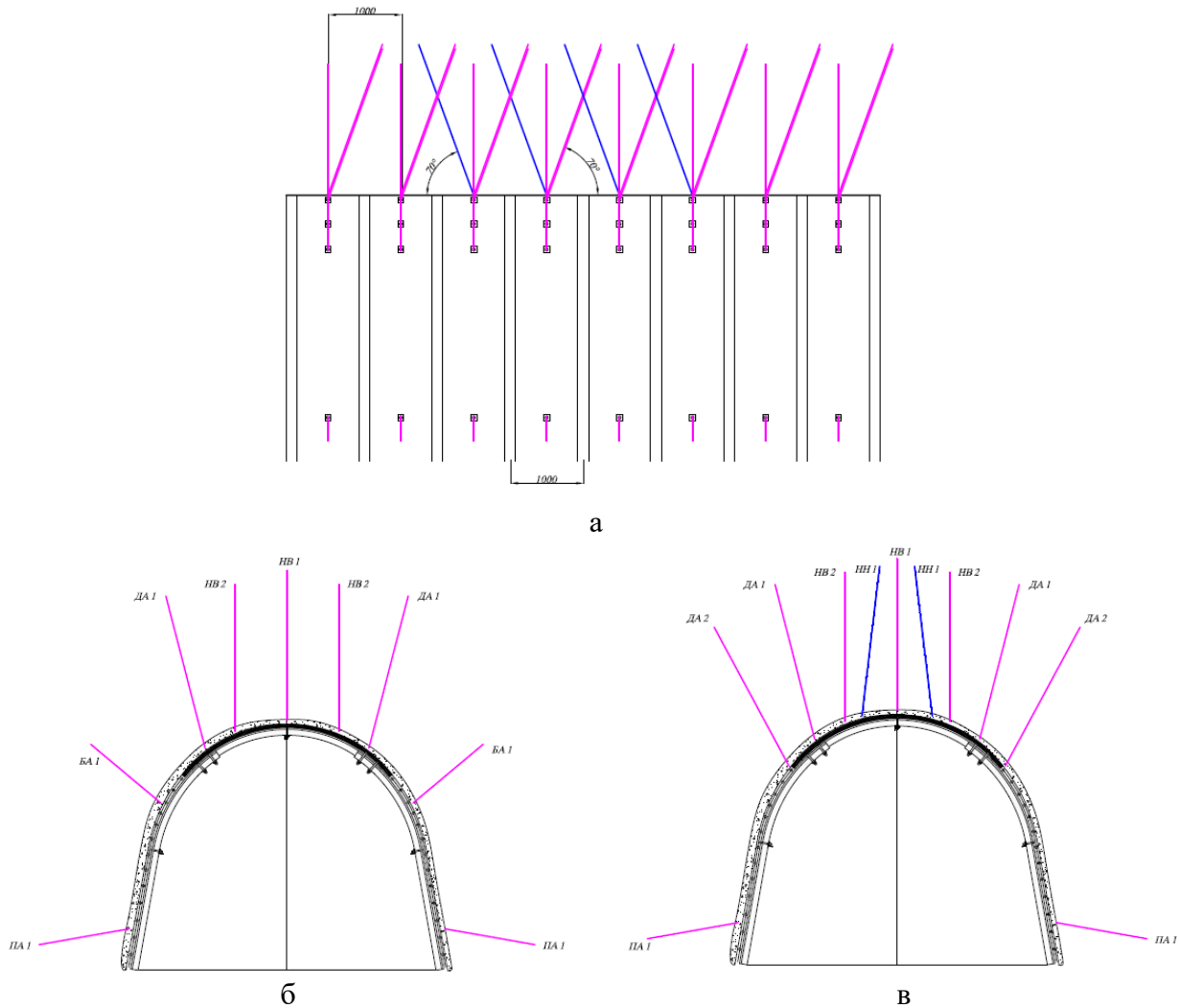
Таблиця 1 – Характеристики вугільного пласта і порід

Опис порід	Потужність, м	Щільність $\rho \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_{cm}$ , МПа	$\sigma_p$ , МПа	Катег. по бур.
Пісковик сірий, дрібнозернистий, міцний абразивний	0,0-2,30	2,36-2,51	400	10-31	VII
Вугільний пласт С <sub>6</sub> <sup>1</sup>	0,46-0,84	1,25	300		IV
Алевроліт темно-сірий, горизонтально шаруватий, в покрівлі шару – «кучерявчик»	0,0-9,28	2,15-2,36	128-174	17-30	VI
Аргіліт темно-сірий, горизонтально шаруватий	0,0-9,36	2,10-2,13	61-184	7-30	VI
Вугільний пласт С <sub>6</sub>	0,94-1,12	1,21	442	22	IV
Вуглистий аргіліт, який грає роль «хибної» підшви	0,0-0,10	2,1	55	9	IV
Аргіліт темно-сірий, грудкуватої текстури «кучерявчик», далі горизонтально шаруватий	0,0-4,30	2,36	60	9	VI
Алевроліт темно-сірий, шаруватий, місцями з прошарками кварцового пісковика	0,0-3,00	2,36	105	8-9	VI
Вугільний прошарок	0,0-0,14	1,26	300-442		IV
Пісковик сірий, дрібнозернистий, на глинистому цементі	0,0-2,20	2,36-2,51	400	10-31	VII
Алевроліт темно-сірий, горизонтально шаруватий за рахунок перешарування з пісковиком	7,08-11,80	2,36	95-108	19-40	VI

Прогнозна конвергенція контуру для незакріпленої виробки, обчислена за стандартною методикою [10, 11], склала 203 мм поза зоною впливу очисних робіт і 345 мм в зоні впливу очисних робіт.

В даних гірничо-геологічних умовах, з урахуванням необхідності збереження виробки після проходу першої лави і підтримки її на повторне використання для відпрацювання другої лави, застосовувалися такі схеми конструкцій АК: посилені з нахилом на вибій основних анкерів на ділянках з неповним перекриттям, рис. 7а, б, і потужні, з установкою додаткових підсилюючих анкерів з нахилом назад, на устя виробки, на ділянках з повним перекриттям, рис. 7а, в.

В період проведення виробки, відпрацювання першої та другої лав виконувалися її геомеханічні обстеження, які показали, що стан виробки в процесі проведення та експлуатації – стійкий, рис. 8.



а) поздовжній перетин; б) поперечний переріз; в) поперечний переріз на перемичках  
Рисунок 7 – Схема кріплення 585 збірного штреку шахти «Ювілейна»

**Висновки.** В роботі визначено основні параметри захисних перемичок, які формуються установкою додаткових анкерів за посиленою або потужною схемою. Довжина кожної захисної перемички і відстань між ними обумовлені гірничо-геологічними умовами, призначенням виробки, терміном її служби. Зазвичай довжина перемички становить 4-5 рядів, відстань між ними – 20 м. Наведено приклади схем анкерного кріплення з використанням захисних перемичок.

Встановлено вплив неоднорідного армування гірських порід уздовж



Рисунок 8 – Стан 585 збірного штреку на вікні першої лави

виробки на її стійкість. Для цього виконано дослідження напружено-деформованого стану порід навколо протяжної гірничої виробки із захисними перемичками різної потужності. Показано, що при застосуванні перемичок стан покрівлі поліпшується – значення параметру, що характеризує різнокомпонентність поля напружень, зменшується на 20-67 % на різних ділянках виробки. Захисні перемички протидіють руйнуванню приконтурного масиву внаслідок вивільнення енергії пружних деформацій, які накопичуються із збільшенням довжини виробки, застосування елемента конструкції анкерного кріплення «перемичка» з періодичністю 20-25 м блокує негативну дію фактору впливу довжини виробки, збільшуючи відносну міцність порід в околі виробки.

Для прикладу розглянуто кріплення 585 збірною штреку шахти «Ювілейна», який проведено в складних гірничо-геологічних умовах і збережено на повторне використання. Виробку було закріплено за посиленою схемою анкерного кріплення з потужними перемичками. Геомеханічні обстеження в період проведення виробки, відпрацювання першої та другої лав показали, що стан виробки в процесі проведення та експлуатації – стійкий.

Спосіб анкерного кріплення гірничої виробки з використанням захисних перемичок підтверджується патентом України № 98831 [12].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булат А.Ф., Виноградов В.В. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт. Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины, 2002. 372 с.
2. Спосіб кріплення гірничої виробки: пат. 93779 UA / А.Ф. Булат, О.П. Круковський, А.В. Смірнов та ін. № u201405651; заявл. 26.05.2014; опубл. 10.10.2014, Бюл. № 19. 7 с.
3. Исследования параметров крепи и состояния боков подготовительных выработок / С.А. Курносков, И.Н. Слащев, Е.А. Слащева и др. *Геотехническая механика*. Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2012. № 98. С. 262-272.
4. Interaction of deformation-strength characteristics of the support load-bearing elements in the preparatory workings / Kovalevska I., Barabash M., Husiev O., Snihur V. // *Web of Conferences*. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000002> (browsing data: 21.05.2019).
5. Шашенко А.Н., Солодянкин А.В., Мартовицкий А.В. Управление устойчивостью протяженных выработок глубоких шахт. Днепропетровск: ЛизуновПрес, 2012. 384 с.
6. Комбинированные анкерные системы для повторного использования горных выработок / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович и др. Днепр: ЛизуновПрес, 2017. 188 с.
7. Круковский А.П., Круковская В.В. Технология анкерного крепления горной выработки при переходе геологического нарушения. *Геотехническая механика*. Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2017. № 132. С. 17-26.
8. Виноградов В.В., Круковский А.П. Методология опорно-анкерного кріплення гірничих виробок вугільних шахт // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках: матер. XIX Межд. науч. школы. Симферополь: Таврич. нац. ун-т, 2009. С. 78-80.
9. Круковский А.П. Исследование влияния элементов анкерной крепи на напряженно-деформированное состояние в приконтурном массиве горной выработки / *Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых*: матер. 7-й Международной научной школы молодых ученых и специалистов. Москва: ИПКОН РАН, 2010. С. 133-136.
10. СОУ 10.1.05411357.010:2014. Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Загальні технічні вимоги. [Чинний з 2014.11.10]. К.: Мінвуглепром України, 2014. 69 с. (Стандарт Міністерства вугільної промисловості України).
11. Круковский А.П., Круковская В.В., Хворостян В.А. Технология опорно-анкерного крепления горных выработок угольных шахт Украины. *Уголь Украины*. 2013. № 2. С. 13-16.
12. Спосіб анкерного кріплення гірничої виробки з використанням захисних перемичок: пат. 98831 UA / О.П. Круковський, В.В. Круковська, В.О. Хворостян та ін. № u201412269; заявл. 14.11.2014; опубл. 12.05.2015, Бюл. № 9. 8 с.

#### REFERENCES

1. Bulat, A.F. and Vinogradov, V.V. (2002), *Oporno-ankernoe kreplenie gornykh vyrobotok ugolnykh shaht* [Support-anchor fastening of mine workings of coal mines], IGTM NAS of Ukraine, Dnipropetrovsk, Ukraine.
2. Bulat, A.F., Krukovskiy, O.P., Smirnov, A.V., et al., IGTM NASU (2014), *Sposib kriplennia hirmynchoi vyrobky* [Method of fastening of mining work], Dnipro, Ukraine, Pat. 93779.
3. Kurnosov, S.A., Slashev, I.N., Slasheva, E.A., et al. (2012), "Study of the parameters of mining support and state of the sides development workings", *Geo-Technical Mechanics*, no. 98, pp. 262-272.

4. Kovalevska, I., Barabash, M., Husiev, O. and Snihur, V. (2018), Interaction of deformation-strength characteristics of the support load-bearing elements in the preparatory workings, *Web of Conferences*, URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000002> (browsing data: 21.05.2019).
5. Shashenko, A.N., Solodyankin, A.V. and Martovitskiy, A.V. (2012), *Upravlenie ustoychivostyu protyazhennykh vyirabotok glubokikh shaht* [Managing the stability of long workings deep mines], LizunovPres, Dnipropetrovsk, Ukraine.
6. Bondarenko, V.I., Kovalevskaya, I.A., Simanovich, G.A., et al. (2017), *Kombinirovannyye ankernyye sistemy dlya povtornogo ispolzovaniya gornyykh vyirabotok* [Combined anchor systems for re-use of mine workings], LizunovPres, Dnipro, Ukraine.
7. Krukovskiy, O.P. and Krukovska, V.V. (2017), "Technology of roof bolting of mine working at crossing of geological fault", *Geo-Technical Mechanics*, no. 132, pp. 17-26.
8. Vynogradov, V.V. and Krukovskiy, O.P. (2009), "Methodology of support-anchoring of mine workings of coal mines", *Deformirovaniye i razrusheniye materialov s defektami i dinamicheskie yavleniya v gornyykh porodakh i vyirabotkakh: Mater. XIX Mezhd. nauch. Shkoly* [Deformation and destruction of materials with defects and dynamic phenomena in rocks and workings: Materials of the XIX International Scientific School], Tavricheskiy natsionalnyy universitet, Simferopol, Ukraine, pp. 78-80.
9. Krukovskiy, O.P. (2010), "Study of the effect of anchor lining elements on the stress-strain state in the marginal array of mine workings", *Problemy osvoyeniya nedr v XXI veke glazami molodykh: mater. 7-y Mezhdunarodnoy nauchnoy shkoly molodykh uchennykh i spetsialistov* [Problems of subsoil development in the XXI century through the eyes of the young: mater. 7th International Scientific School of Young Scientists and Specialists], IPKON RAN, Moscow, Russia, pp. 133-136.
10. Ministry of coal industry of Ukraine (2014), *SOU 10.1.05411357.010:2014. Systema zabezpechennya nadiynoho ta bezpechnoho funktsionuvannya himychnykh vyrobok iz ankernym kriplennyam. Zahal'ni tekhnichni vymohy* [JUJ 10.1.05411357.010: 2014. System for ensuring reliable and safe operation of mining workings with anchorage. General technical requirements], Ministry of coal industry of Ukraine, Kyiv, Ukraine.
11. Krukovskiy, O.P., Krukovska, V.V. and Khvorostian, V.O. (2013), "Technology of support-anchoring of mine workings of coal mines of Ukraine", *Ugol Ukrainy*, no. 2, pp. 13-16.
12. Krukovskiy, O.P., Krukovska, V.V., Khvorostian, V.O., et al., IGTM NASU (2015), *Sposib ankernoho kriplennia himychoi vyrobky z vykorystanniam zakhysnykh peremychok* [Method of anchoring of mining work with the use of safety jumper], Dnipro, Ukraine, Pat. 98831.

### Про авторів

**Круковський Олександр Петрович**, член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, заступник директора інституту з наукової роботи, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАНУ), Дніпро, Україна, [igtm@ua.fm](mailto:igtm@ua.fm).

**Круковська Вікторія Вікторівна**, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу управління динамічними проявами гірського тиску, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАНУ), Дніпро, Україна, [igtm@ukr.net](mailto:igtm@ukr.net).

**Хворостян Віктор Олексійович**, молодший науковий співробітник відділу механіки гірських порід, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАНУ), Дніпро, Україна.

### About the authors

**Krukovskiy Olexandr Petrovych**, Corresponding Member of NAS of Ukraine, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Deputy Director of the institute, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov NAS of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, [igtm@ua.fm](mailto:igtm@ua.fm).

**Krukovska Victoriya Viktorivna**, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Control of Dynamic Demonstrations of Rock Pressure, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov NAS of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, [igtm@ukr.net](mailto:igtm@ukr.net).

**Khvorostian Viktor Oleksiiovych**, Junior Researcher of Department of Rocks Mechanics, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov NAS of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine.

**Аннотация.** Как показал практический опыт, с увеличением длины горных выработок, закрепленных анкерной крепью, происходит накопление энергии упругих деформаций. Высвобождение этой энергии приводит к опасному разрушению приконтурного массива. Кроме того, при пересечении выработкой участков с геологическими нарушениями, на которых наблюдается ухудшение прочностных свойств горных пород, несущая способность анкерно-породной конструкции оказалась недостаточной для сохранения выработки в устойчивом состоянии. Для устранения этих недостатков предложено периодическое усиление анкерно-породной конструкции за счет установки дополнительных анкеров, которые формируют элемент анкерного крепления – защитную перемычку.

В работе определены основные параметры защитных перемычек, которые обусловлены горно-геологическими условиями, назначением выработки, сроком её службы. Приведены примеры схем анкерного крепления с использованием защитных перемычек. Установлено влияние неоднородного армирования горных пород вдоль выработки на её устойчивость. Для этого выполнено исследование напряженно-деформированного состояния пород вокруг протяжённой горной выработки с защитными перемычками различной мощности. Показано, что при применении перемычек состояние кровли улучшается – значение параметра, характеризующего разнокомпонентность поля напряжений, уменьшается на 20-67 % на различных участках выработки. Защитные перемычки



противодействуют разрушению приконтурного массива вследствие высвобождения энергии упругих деформаций, которые накапливаются с увеличением длины выработки. Применение элемента конструкции анкерного крепления «перемычка» с периодичностью 20-25 м блокирует негативное воздействие фактора влияния длины выработки, увеличивая относительную прочность пород в окрестности выработки.

Для примера рассмотрено крепление 585 сборного штрека шахты «Юбилейная», проведённого в сложных горно-геологических условиях и сохранённого на повторное использование. Выработка была закреплена по усиленной схеме анкерного крепления с мощными перемычками. Геомеханические обследования в период проведения выработки, отработки первой и второй лавы показали, что состояние выработки в процессе проведения и эксплуатации – устойчивое. Способ анкерного крепления горной выработки с использованием защитных перемычек подтверждён патентом Украины.

**Ключевые слова:** анкерная крепь, анкерно-породная конструкция, напряженное состояние пород, устойчивость протяженной выработки

**Abstract.** As practice shows, with an increase in the length of mine workings fixed by anchors, the energy of elastic deformations accumulates. The release of this energy leads to the dangerous destruction of the marginal rocks. In addition, at the intersection of areas with geological dislocations where the strength properties of rocks deteriorate, the bearing capacity of the anchor-rock structure is not sufficient to mine working in a steady state. Periodic reinforcement of the anchor-rock structure by installing additional anchors was proposed to eliminate these shortcomings. Additional anchors form element of the anchor-rock structure – a protective crosspiece.

In this paper, the main parameters of protective crosspieces are determined, which depend on the geological conditions, the function of mine working, its service life. Examples of anchoring schemes using protective crosspieces are given. The influence of inhomogeneous reinforcement of rocks along the mine working on its stability is established. For this purpose, a study of the stress-strain state of the rocks around an extended mine working with protective crosspieces of various power was performed. It is shown that with the use of crosspieces, the roof state improves – the value of the parameter characterizing the different components of the stress field decreases by 20-67 % at different sections of mine working. Protective crosspieces counteract the destruction of the marginal rocks due to the release of energy of elastic deformations that accumulate with an increase in the length of mine working. The use of element of the anchor-rock structure “crosspiece” with a frequency of 20-25 m blocks the negative impact of the factor influencing the length of the mine working, increasing the relative strength of rocks around the mine working.

For example, the anchoring of 585 gateway of the mine “Yubileinaya”, carried out in difficult mountain-geological conditions and stored for reuse, is considered. The mine working was supported in a reinforced anchoring scheme with powerful crosspieces. Geomechanical surveys during the period of making, working out the first and second wall showed that the gateway state in the process of building and use is steady. The method of anchoring with the use of protective crosspieces confirmed by the patent of Ukraine.

**Keywords:** bolting, anchor-rock structure, the stress state of rocks, the stability of long mine working

*Статья поступила в редакцию 24.01.2019*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук В.Г. Шевченко*