

Подкопаев С. В., д.т.н., проф., Кіпко О. О., аспірант (ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Луцьк, serhii.podkopaiev@donntu.edu.ua, oleksandr.kipko@donntu.edu.ua)

ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ВІДКАТНИХ ШТРЕКІВ КРУТИХ ПЛАСТІВ З УРАХУВАННЯМ ОСОБЛИВОСТЕЙ ДЕФОРМУВАННЯ ОХОРОННИХ СПОРУД

Дослідження стійкості відкатних штреків крутих пластів на виїмкових ділянках вугільних шахт з урахуванням особливостей деформування охоронних споруд для забезпечення їх експлуатаційного стану.

Для досягнення поставленої мети було виконано шахтні інструментальні спостереження стійкості відкатних штреків крутих пластів при охороні ціликами вугілля.

Експериментально встановлено, що стійкий стан відкатних штреків при способі охорони ціликами вугілля забезпечується на ділянці $0 \leq l \leq 50$ м позаду очисного вибою. При цьому відносна зміна об'єму стискаючих охоронних споруд не перевищує значення $\delta V \leq 0,1-0,12$. Залежно від умов формування зовнішнього статичного навантаження, контактної взаємодії ціликів вугілля з бічними породами та зміни їх несучої здатності, в межах безпечного деформаційного ресурсу забезпечується стійкий стан охоронних споруд. Між відносною зміною об'єму δV надштрекових ціликів вугілля та протяжністю підготовчої виробки l (м) в межах безпечного деформаційного ресурсу існує логарифмічна залежність. При $l > 50$ м і $\delta V > 0,1-0,12$ настає втрата стійкості відкатного штреку і деформування контуру. У таких умовах втрати площі поперечного перерізу підготовчої виробки становлять 47–52%, а відносна частота пошкоджень аркового піддатливого кріплення дорівнює $w = 0,54-0,56$.

Встановлено функціональну залежність між відносною зміною об'єму δV ціликів вугілля, що знаходяться під статичним навантаженням у вуглепородному масиві та їх відносною деформацією λ , яка дозволяє оцінити несучу здатність охоронних споруд.

Спосіб охорони підготовчих гірничих виробок ціликами вугілля

дозволяє короткочасно зберігати стійкий стан відкатних штреків і тому має обмежену область застосування.

Ключові слова: аркове піддатливе кріплення; деформаційні процеси; охоронні споруди; стійкість відкатних штреків; цілики вугілля.

Вступ. Актуальність забезпечення експлуатаційного стану підготовчих гірничих виробок зростає у зв'язку із збільшенням глибини гірничих робіт та погіршенням гірничо-геологічних умов розробки корисних копалин.

При традиційній поверховій підготовці крутих вугільних пластів для забезпечення експлуатаційного стану відкатних штреків по довжині виїмкової ділянки використовують цілики вугілля обмежених розмірів або кустове кріплення з дерев'яних стійок. Тривалість експлуатації виробок у вугільній шахті передбачає необхідність їх підтримки у задовільному стані у межах виїмкових ділянок. Однак, застосовувані способи охорони у поєднанні з піддатливим арковим кріпленням не забезпечують безремонтної підтримки підготовчих гірничих виробок.

Незадовільний стан відкатних штреків ускладнює провітрювання виїмкових ділянок, роботу підземного шахтного транспорту і веде до збільшення чисельності ремонтних робітників. Для забезпечення експлуатаційного стану підготовчих виробок необхідно виконувати ремонтні роботи, які полягають у повному перекріпленні відкатного штреку або окремих зон виробки. Для цих цілей демонтують деформовані елементи і встановлюють нове аркове кріплення. Трудомісткість ремонтних робіт залишається високою і досягає 85–87 чол.-см на 1000 т середньодобового видобутку вугілля. Протяжність перекріплюваних виробок становить близько 46% по відношенню до пройдених виробок. Ремонтні роботи з перекріплення до теперішнього часу залишаються не механізованими і становлять небезпеку для гірників. При перекріпленні виробок можливі обвалення бічних порід або сповзання підосви.

Проблема підтримки підготовчих гірничих виробок в експлуатаційному стані зі збільшенням глибини гірничих робіт набуває вирішального значення та вимагає створення та промислового освоєння ефективних способів охорони та підтримки, а також розробки нових конструкцій кріплення.

Аналіз останніх досягнень та публікацій. Відомо [1, С. 36; 2, С. 7], що зі зростанням глибини гірських робіт у вуглепородному масиві з виробками починає виявлятися негативний фактор – розшарування бічних порід. У зонах розвантаження, глинисті породи збільшуючись в об’ємі в часі, сприяють відриву шарів міцніших порід і формують умови обвалення [3, С. 72]. В одних випадках обвалення бічних порід поширюється на привибійний простір (часто по всій довжині лави) та супроводжуються частковим завалом очисного вибою та відкатного штреку. В інших випадках обвалення відбуваються за лавою і призводять до завалу підготовчої виробки [4, С. 42]. Негативні наслідки такої геомеханічної обстановки на виїмкових ділянках можна пояснити погіршенням стійкості бічних порід. Очевидно те, що покрівля не маючи підпори у виробленому просторі, раптово обрушується та неконтрольовано переміщується у привибійному чи виробленому просторі.

Аналіз відомих способів охорони відкатних штреків при розробці крутих пластів свідчить про їх різноманітність [5, С. 6; 6, С. 11; 7, С. 3]. Встановлено [8, С. 15], що при застосуванні ціликів вугілля для охорони підготовчих виробок, близько 50% протяжності штреків перебуває у незадовільному стані.

Пояснити такий стан можна тим, що в реальному вуглепородному масиві цілики перебувають у граничному напружено деформованому стані [9, С. 268; 10, С. 221]. Міцнісні та деформаційні властивості вугільних ціликів визначаються наявністю в них дефектів. Більш того, у лінійній механіці руйнування, крихке руйнування розглядають з позиції механізму накопичення пошкоджень та розповсюдження тріщин [11, С. 16].

У таких умовах охоронні вугільні цілики обмежених розмірів схильні до руйнування та висипання, після чого відбувається деформування контуру виробки, пошкодження аркового піддатливого кріплення. Збільшення розмірів ціликів призводить до втрат вугілля та зниження ефективності вуглевидобування.

Для визначення раціональних параметрів ціликів вугілля, дотримання яких дозволить забезпечити стійкість підготовчих виробок, необхідно дослідження деформаційних властивостей охоронних споруд. Це дозволить встановити їх деформаційний ресурс, у межах якого забезпечуються експлуатаційний стан відкатних штреків.

Постановка завдання дослідження. Дослідити стійкість відкатних штреків по довжині виїмкової ділянки при охороні ціликами вугілля з урахуванням особливостей їх деформування при розвантаженні вуглепородного масиву.

Матеріали та методи дослідження. Для дослідження деформаційних процесів охоронних споруд підготовчих гірничих виробок та стійкості відкатних штреків при способі охорони ціликами вугілля, були проведені натурні експерименти на гор. 1146 м на виїмкових ділянках пласта l_5 та пласта l_6 в умовах шахти «Центральна» ДП «Торецьквугілля» (у проведенні шахтних експериментів, обробки результатів брала участь асп. Бессараб І. М.). Схему експериментальної ділянки наведено на рис. 1. Гірничо-геологічні умови виїмкових ділянок пластів l_5 та l_6 наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Гірничо-геологічні умови експериментальних ділянок

Індекс пласта	Кут падіння α , град.	Потужність m , м	Бічні породи			
			Покрівля		Підошва	
			Безпосередня	Основна	Безпосередня	Основна
l_5	59	0,6	Глинистий сланець потужністю до $m = 1,7-2,5$ м	Глинистий сланець потужністю до $m = 10$ м	Глинистий сланець піщано-глинистий сланець потужністю до $m = 2,0$ м	Пісковик потужністю $m = 10$ м
l_6	59	0,62	Глинистий сланець потужністю до $m = 1,1$ м	Глинистий сланець потужністю до $m = 8-10$ м	Глинистий сланець потужністю до $m = 0,8-2,5$ м	Глинистий сланець потужністю до $m = 2,5 - 4,4$ м

Оцінка працездатності аркового кріплення у відкатних штреках визначалася на експериментальних ділянках протяжністю $l = 100$, коли на випробування було поставлено $n = 125$ однотипних аркових піддатливих кріплень (АП-3).

Відносна частота ω пошкодженого аркового піддатливого кріплення у відкатному штреку, визначалася за виразом [12, С. 321]

$$\omega = \frac{m}{n}, \quad (1)$$

де m – число пошкоджених кріплень на експериментальній ділянці, од.;

n – загальна кількість розглянутих кріплень, од.

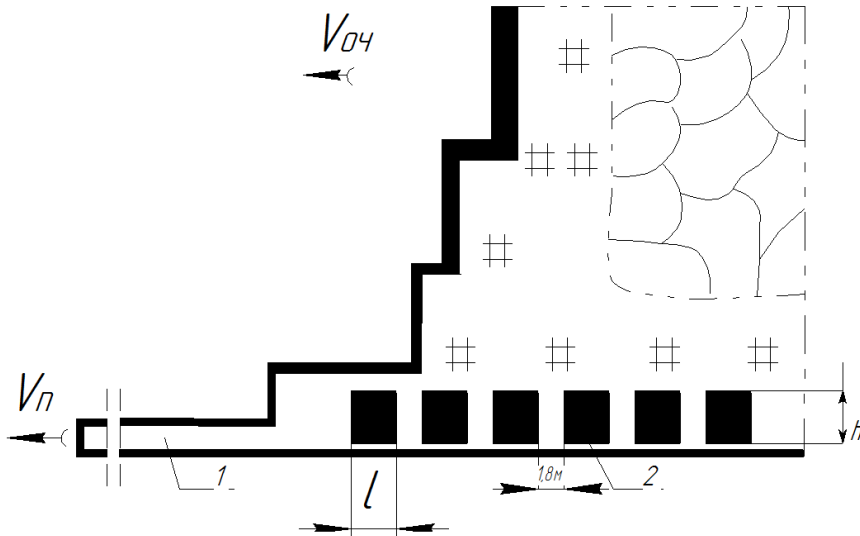


Рис. 1. Схема експериментальної ділянки для визначення конвергенції бічних порід на контурі відкатного штреку за способом охорони ціликами вугілля: $h_u = 8$ м – висота цілика, $l_u = 5$ м – ширина цілика; $V_n, V_{оч}$ – напрями підготовчих та очисних робіт; ЗС – вимірні станції: 1 – відкатний штрек; 2 – цілики вугілля

При поверховій підготовці крутих вугільних пластів у очисному заробі застосовувався спосіб управління гірським тиском утриманням покрівлі на кострах. Відкатний штрек по пласту l_5 охороняли ціликами вугілля шириною 5 м та висотою 8 м. Площа поперечного перерізу $S = 8,5$ м². Відстань між рамами аркового кріплення (АП-3) – 0,8 м. Швидкість проведення відкатного штреку $V_n = 17$ м/міс., очисних робіт $V_{оч} = 14$ м/міс. Відкатний штрек по пласту l_6 охороняли ціликами вугілля (5м×8 м). Площа поперечного перерізу $S = 8,5$ м². Відстань між рамами АП-3 – 0,8 м, $V_n = 18$ м/міс, $V_{оч} = 15$ м/міс. Штреки проводились за допомогою буропідричних робіт (БПР).

Для того, щоб оцінити стійкість відкатних штреків по довжині експериментальної ділянки, застосовувалася наступна методика: по мірі посування очисного вибою визначалася ширина B (м) та висота H (м) підготовчої виробки на вимірній станції. Після виконання вимірів у

відкатному штреку по довжині виїмкової ділянки фіксувалася зміна площі поперечного перерізу.

При проведенні експериментів у відкатних штреках пластів l_5 і l_6 встановлювалася величина зміщення бічних порід на контурі виробки по мірі посування очисного вибою. Гірничо-геологічні умови виїмкових ділянок пласта l_5 та l_6 наведені у табл. 1. На спеціально обладнаних вимірювальних станціях за допомогою маркшейдерської рулетки (похибка вимірів ± 2 мм) визначалася величина зсувів контрольних точок (реперів), встановлених за контуром виробки. Схема вимірної станції наведено на рис. 2. Такі експерименти дозволили вивчити деформаційні особливості ціликів вугілля, які перебували під статичним навантаженням у вуглепородному масиві під час гірничих робіт.

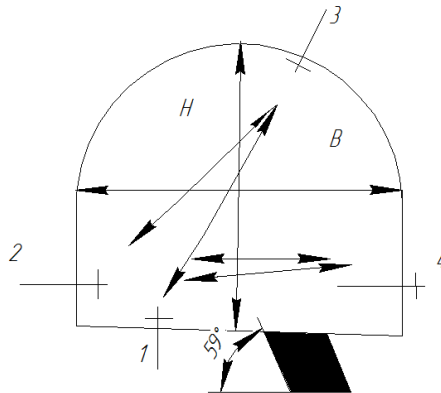


Рис. 2. Схема вимірної станції для визначення конвергенції бічних порід на контурі відкатного штреку та зміни площі його перетину:

1, 2 – репери з боку підшви пласта;

3, 4 – репери з боку покрівлі пласта; H – висота; B – ширина, м

Відносна деформація ціликів вугілля визначалася за виразом [13, С. 186, 14, С. 75]

$$\lambda = \frac{\Delta h}{h_0}, \quad (3)$$

де Δh – конвергенція бічних порід за даними вимірів у штреку, м;

h_0 – висота охоронної споруди (відповідає потужності вугільного пласта), м.

У цьому дослідженні за величину Δh (м) приймалася відстань між репером 1–3 на контурі відкатного штреку, тобто $\Delta h = U_{1-3}$ (м).

Відносну зміну об'єму δV ціликів вугілля визначали за виразом [14, С. 75]

$$\delta V = (1 - 2\nu)\lambda, \quad (4)$$

де ν – коефіцієнт Пуассона.

Значення коефіцієнта Пуассона для вугільних ціликів приймаємо рівним $\nu = 0,3$.

Результати досліджень. Для встановлення відносної частоти ω пошкоджень аркового кріплення зафіксована їх кількість по довжині виїмкової ділянки У табл. 2 наведено результати досліджень, які дозволили встановити кількість пошкоджених аркових піддатливих кріплень m (од) у відкатному штреку виїмкових ділянок пластів l_5 та l_6 . При цьому відносна частота пошкоджень аркового кріплення становить:

- у відкатному штреку пласта l_5 $\omega = 0,54$;
- у відкатному штреку пласта l_6 $\omega = 0,56$.

За результатами спостережень побудовано гістограму розподілу кількості m (од) пошкоджених аркових кріплень, встановлених у відкатному штреку по довжині експериментальної ділянки l (м).

Таблиця 2

Кількість пошкоджених кріплень m (од) у відкатному штреку по довжині експериментальної ділянки l (м) при способі охорони ціликами вугілля

Відстань l , м	Кількість пошкоджених кріплень m (од) у виробленні	
	Пласт l_5	Пласт l_6
0–10	-	-
10–20	1	2
20–30	2	3
30–40	6	6
40–50	8	8
50–60	9	9
60–70	11	10
70–80	11	11
80–90	10	11
90–100	10	10
Σ	68	70

З рис. 3 а, б видно, що максимальна кількість пошкоджених аркових піддатливих кріплень зафіксовано на ділянці $l > 50$ м позаду очисного вибою.

Перевіримо гіпотезу про рівність часток ознаки w у двох сукупностях (вибірках), встановлених у результаті натурного експерименту (табл. 2). Для цього розглянемо нульову гіпотезу про рівність генеральних часток, тобто $H_0: w_1 = w_2$ при альтернативній гіпотезі $H_1: w_1 \neq w_2$.

З метою перевірки гіпотези H_0 із двох генеральних сукупностей розглядаються дві незалежні вибірки великого об'єму ($n_1=n_2=125$). Вибірні частки відповідно рівні

$$w_1 = \frac{m_1}{n_1} \quad \text{і} \quad w_2 = \frac{m_2}{n_2},$$

де m_1, m_2 – кількість пошкоджених кріплень у першій та другій вибірках, шт.

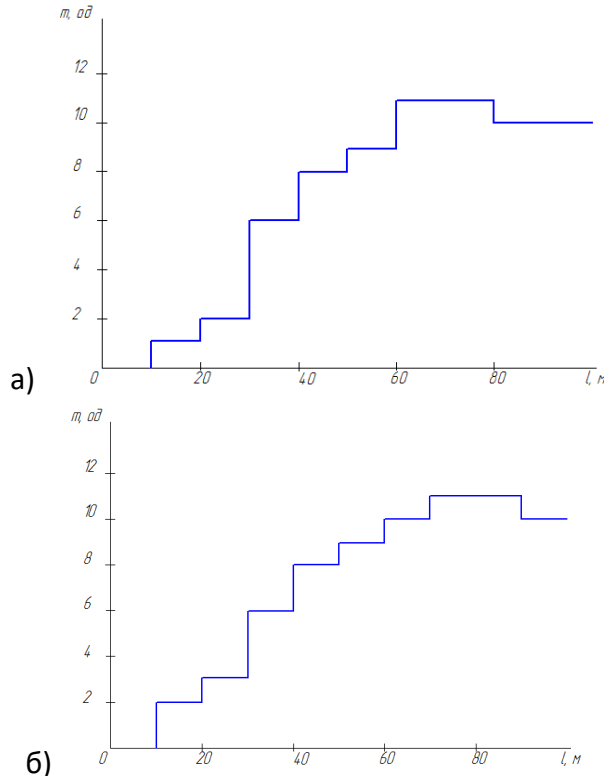


Рис. 3. Гістограма розподілу кількості m (од) пошкоджених аркових кріплень у відкатному штреку по довжині експериментальної ділянки l (м) при охороні ціликами вугілля: а) пласт I_5 ; б) пласт I_6

Вважається [12, С. 401], що за справедливості гіпотези H_0 статистика

$$Z = \frac{w_1 - w_2}{\sqrt{p(1-p) \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}, \quad (5)$$

має стандартний нормальний розподіл. Замість значення p , що входить у вираз (5), рекомендується вибирати загальну вибіркову частку ознаки

[12, С. 402]

$$\bar{p} = \frac{m_1 + m_2}{n_1 + n_2}. \quad (6)$$

Використовуючи отримані дані, маємо $\bar{p} = 0,55$.

З урахуванням цього та виразу (5) спостерігається статистика $Z_{\text{набл}} = -0,24$. Відповідно до наведеної в [12, С. 302] таблиці критеріїв критичних областей, знаходимо межі двосторонньої критичної області, що дозволяє з 98% рівнем довіри стверджувати про рівність генеральних часток.

Маємо

$$\Phi(Z_{\text{кр}}) = \frac{1 - 2\alpha}{2} = 0,48. \quad (7)$$

Відповідно до таблиці [12, С. 303] $Z_{\text{кр}} = 2,05$. отримане значення статистики $Z_{\text{набл}} = -0,24$ потрапляє у критичну область. Отже, основна гіпотеза H_0 приймається. На підставі цього, статистика має стандартний нормальний розподіл. Виконаний аналіз дозволив перевірити гіпотезу про відсутність відмінностей між порівнюваними групами за досліджуваними ознаками.

На рис. 4 наведено графіки поперечного перерізу S (м^2) відкратного штреку при способі охорони ціликами вугілля по довжині експериментальної ділянки пласта l_5 і l_6 .

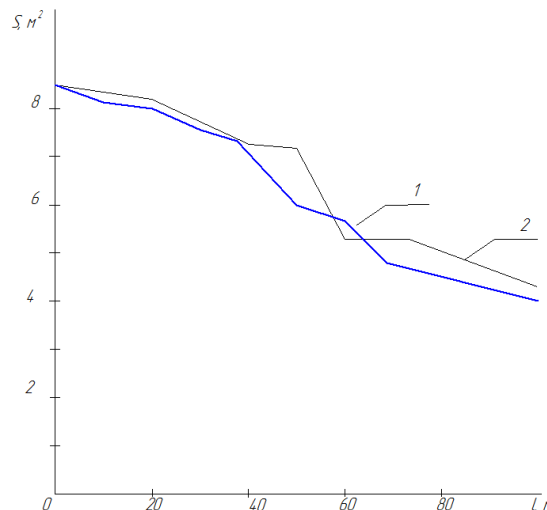


Рис. 4. Графіки зміни площі поперечного перерізу S (м^2) відкратного штреку при способі охорони ціликами вугілля по довжині експериментальної ділянки l (м): 1 – пласт l_5 ; 2 – пласт l_6

На рис. 4 видно, що на ділянці виїмки пласта l_5 зафіксовано зміну площі поперечного перерізу відкатного штреку від $S = 8,4 \text{ м}^2$ при $l = 10 \text{ м}$ позаду очисного вибою до $S = 4,1 \text{ м}^2$ при $l = 100 \text{ м}$ (рис. 4, крива 1). Втрати площі поперечного перерізу відкатного штреку становили 52%. На ділянці виїмки пласта l_6 площа поперечного перерізу відкатного штреку змінюється від $S = 8,2 \text{ м}^2$ при $l = 10 \text{ м}$ до $S = 4,4 \text{ м}^2$ при $l = 100 \text{ м}$ (рис. 4, крива 2). Втрати площі поперечного перерізу підготовчої гірничої виробки склали 47%.

На рис. 5 представлені графіки зсувів бічних порід U (мм) на контурі відкатного штреку при способі охорони ціликами вугілля по довжині експериментальної ділянки l (м) пласта l_5 і l_6 .

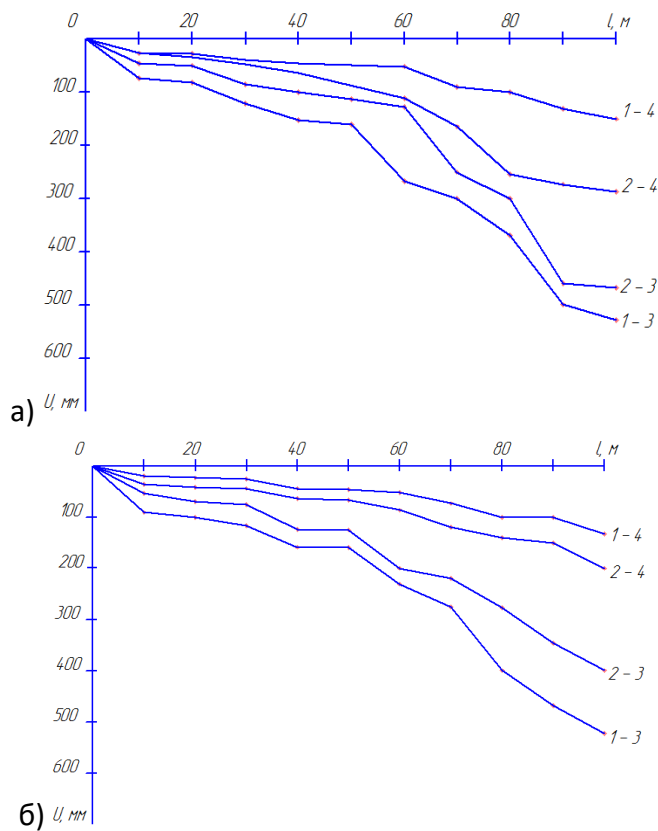


Рис. 5. Графіки зміщення бічних порід U (мм) на контурі відкатного штреку при способі охорони ціликами вугілля по довжині експериментальної ділянки l (м): а) пласт l_5 ; б) пласт l_6

З рис. 5 видно, що найбільше усунення контуру вироблення $U_{1-3} = 525$ мм і $U_{2-3} = 450$ мм зафіксовані на відстані $l = 100$ м позаду очисного забою при переміщенні репера 3 у напрямку реперів 1 і 2, тобто, з боку покрівлі. З рис. 5, б видно, що найбільші усунення $U_{1-3} = 510$ мм і $U_{2-3} = 400$ мм фіксуються при переміщенні репера 3 у бік реперів 1 і 2, також з боку покрівлі. Причому в обох випадках інтенсифікація переміщення покрівлі відзначена при $l > 50$ м (рис. 5, а, б).

Розглядаючи конвергенцію бічних порід за даними вимірів у штреку у напрямку переміщення реперів 1–3 з використанням виразу (3), отримані експериментальні дані відносної деформації λ ціликів вугілля по довжині виїмкової ділянки l (м) (табл. 3).

Таблиця 3

Експериментальні дані відносної деформації λ ціликів вугілля по довжині виїмкової ділянки l (м)

Відстань l , м	Відносна деформація охоронних споруд λ	
	пласт l_5	пласт l_6
0	0	0
10	0,1	0,14
20	0,14	0,16
30	0,2	0,19
40	0,23	0,25
50	0,25	0,27
60	0,43	0,35
70	0,5	0,46
80	0,63	0,64
90	0,83	0,77
100	0,86	0,83

За результатами табл. 3 побудовано графіки зміни відносної деформації λ ціликів вугілля по довжині виїмкової ділянки l (м) пласта l_5 і l_6 .

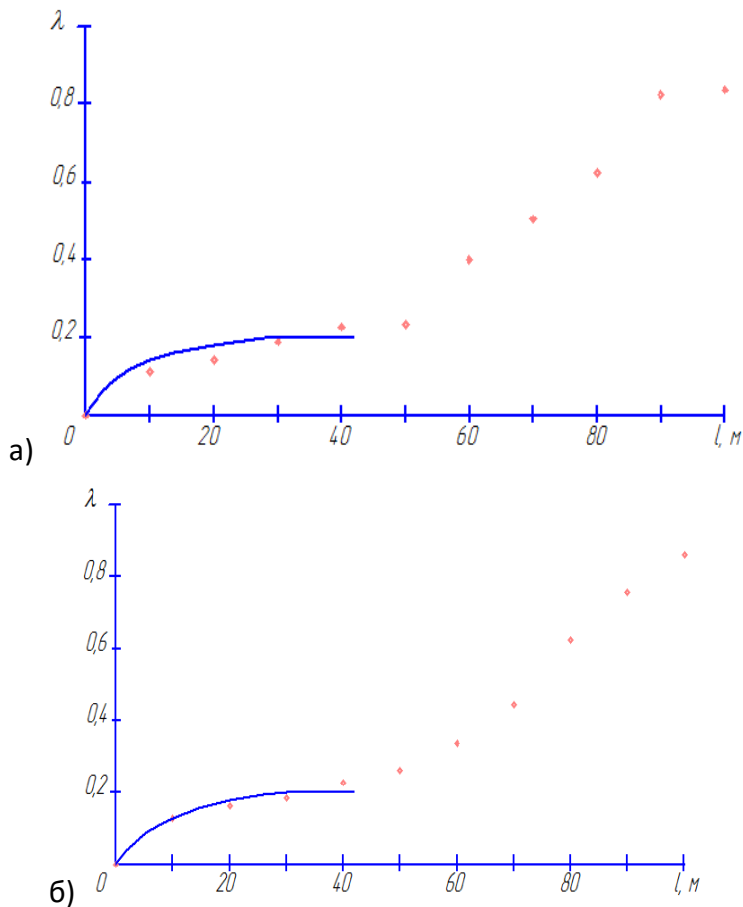


Рис. 6. Графіки зміни відносної деформації λ ціликів вугілля по довжині і виїмкової ділянки l (м): а) пласт I₅; б) пласт I₆

З рис. 6, а, б видно, що між відносною деформацією охоронних споруд λ і довжиною експериментальної ділянки l (м) у межах $0 \leq l \leq 50$ м існує логарифмічна залежність (коефіцієнт кореляції $R^2 = 0,96$ [15, С. 75]), яка дозволяє оцінити безпечний деформаційний ресурс охоронних споруд. За відміткою $l > 50$ м має місце збільшення відносної деформації ціликів вугілля від $\lambda = 0,25-0,27$ до $\lambda = 0,83-0,86$ (рис. 6, б).

У табл. 4 наведено експериментальні дані щодо зміни відносного об'єму δV ціликів вугілля по довжині виїмкової ділянки l (м) при дії на охоронні споруди статичного навантаження.

Таблиця 4

Експериментальні дані відносної зміни об'єму δV ціликів вугілля за довжиною виїмкової ділянки l (м) при дії статичного навантаження

Відстань l , м	Відносна зміна об'єму δV	
	пласт l_5	пласт l_6
0	0	0
10	0,056	0,04
20	0,064	0,056
30	0,076	0,08
40	0,1	0,1
50	0,12	0,108
60	0,14	0,172
70	0,18	0,2
80	0,25	0,25
90	0,3	0,33
100	0,33	0,34

За результатами табл. 4 побудовано графік відносної зміни об'єму δV ціликів вугілля від їх відносної деформації λ .

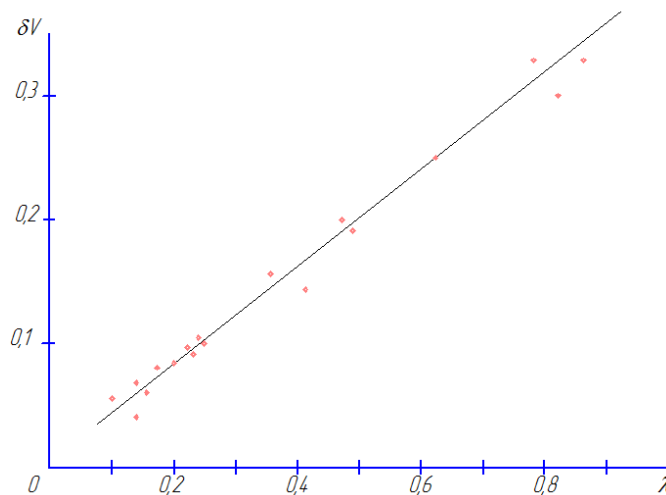


Рис. 7. Графік відносної зміни об'єму δV ціликів вугілля, які перебувають під статичним навантаженням від відносної деформації λ

З графіка видно, що зі збільшенням відносної деформації від $\lambda = 0,1$ до $\lambda = 0,86$, досліджуваний параметр δV змінюється від 0,056 до 0,34.

Причому між цими параметрами існує лінійна залежність із коефіцієнтом кореляції $R^2 = 0,91$ [15, С. 75] (рис. 7).

На рис. 8 наведено графік відносної зміни об'єму δV ціликів вугілля при різній протяжності l (м) підготовчої гірничої виробки.

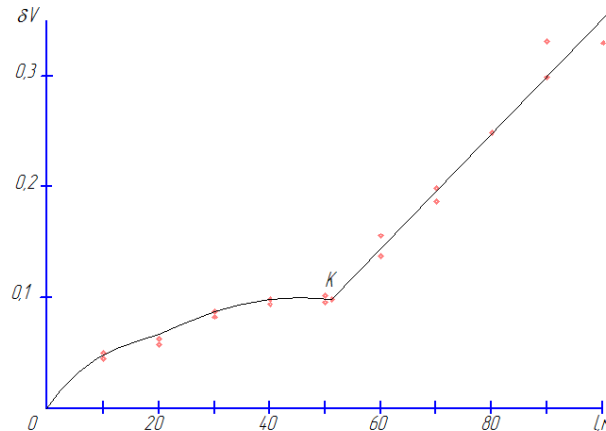


Рис. 8. Графік відносної зміни об'єму δV ціликів вугілля при дії статичного навантаження при різній протяжності l (м) підготовчої гірничої виробки на виїмковій дільниці; K – точка втрати стійкості охоронної споруди

З наведеного графіка видно, що зі збільшенням протяжності виробки, коли відстань від очисного вибою у бік виробленого простору не перевищує $l = 50$ м, відносна зміна об'єму ціликів вугілля становить $\delta V < 1,0-1,2$. При $l > 50$ м, відносна зміна об'єму збільшується від $\delta V = 1,2$ до $\delta V = 0,34$. Слід зазначити, що на наведеному графіку, точка K відзначає момент втрати стійкості охоронної споруди, за межами якої відбувається зниження її несучої здатності (рис. 8).

Обговорення результатів. Для дослідження стійкості відкатних штреків при способі охорони ціликами вугілля з урахуванням їх деформаційних властивостей, що виявляються при розвантаженні вуглепородного масиву, були проведені шахтні натурні дослідження (рис. 1, 2, табл. 1). При проведенні натурних спостережень, основна увага приділялася зміщенню порід на контурі виробки, відмовам аркового піддатливого кріплення та зміні площі поперечного перерізу.

Обґрунтовано, що в зоні активного впливу гірського тиску на відстані $l \leq 50$ м позаду очисного забою, стійкий стан відкатних штреків при способі охорони ціликами вугілля забезпечується в межах їх деформаційного ресурсу, коли відносна деформація охоронних споруд

знаходиться в межах $0 \leq \lambda \leq 0,25$. При цьому відносна зміна об'єму не перевищує $\delta V \leq 0,1-0,12$. У межах деформаційного ресурсу ціликів вугілля між відносною зміною їх об'єму при дії статичного навантаження та довжиною виробки існує логарифмічна залежність. В межах деформаційного ресурсу фіксується стійкий стан відкатних штреків та мінімальні пошкодження аркового кріплення.

При збільшенні протяжності виробки, коли $l > 50$ м і відносної зміни об'єму охоронних споруд $\delta V > 0,1-0,12$, настає втрата їхньої несучої здатності. У цьому випадку фіксується зменшення площі поперечного перерізу (рис. 4) і збільшення числа пошкоджень аркових піддатливих кріплень, що відмовили в підготовчій гірничій виробці.

Згідно з результатами вимірів зсувів реперів на контурі відкатного штреку, максимальне значення фіксується у напрямку реперів 1–3 і 2–3, тобто покрівлі. На відстані $l = 100$ м позаду очисного вибою величина зсуву для підготовчого вироблення пласта l_5 становить $U_{1-3} = 520$ мм і $U_{2-3} = 450$ мм (рис. 5, а), а для підготовчого вироблення пласта l_6 - $U_{1-3} = 525$ мм і $U_{2-3} = 400$ мм (рис. 5, б). У цьому місці площа поперечного перерізу відкатного штреку становила для пласта $l_5 - S = 4,1$ м², а для пласта $l_6 - S = 4,4$ м². Втрата площі поперечного перерізу 47–52% (рис. 4). По довжині експериментальної ділянки ($l = 100$ м) кількість кріплень, що відмовили у відкатному штреку склала для пласта $l_5 - m = 68$ од., а для пласта $l_6 - m = 70$ од. Частота відмов кріплення становить відповідно $\omega = 0,54$ та $\omega = 0,56$. В умовах, коли відбувається зміна відносного об'єму ціликів вугілля, фіксується зростання числа пошкоджень аркового кріплення. Максимальне число пошкоджень кріплення $m=42$ од. фіксується на відстані $l>50$ м позаду очисного забою, коли охоронні споруди втрачають стійкість (табл. 2, рис. 3, 8).

Для ціликів вугілля, які знаходяться в умовах статичного навантаження, між відносною зміною об'єму δV і відносною деформацією λ , існує лінійна залежність (рис. 7). Наявність такої залежності свідчить про зміну тримкості стискаючого тіла. Очевидно те, що у тріщинуватому вуглепородному масиві цілики перебувають у граничному напружено-деформованому стані. Несуча здатність ціликів у межах безпечного деформаційного ресурсу, коли $0 \leq \lambda \leq 0,25$ та $0,1 \leq \delta V \leq 0,12$ забезпечує стійкість бічних порід та відкатного штреку на ділянці $0 \leq l \leq 50$ м позаду очисного забою. Після втрати стійкості охоронних споруд (поза межами деформаційного ресурсу) настає руйнування ціликів (т. К, рис. 8). Несучої здатності ціликів недостатньо

для підтримки бічних порід. У таких умовах спостерігається інтенсивність відмови аркового кріплення та деформування контуру відкатного штреку.

Таким чином, вугільні цілики що використовуються для охорони відкатних штреків, слід розглядати як охоронні споруди з обмеженим деформаційним ресурсом. Такі охоронні споруди з урахуванням особливостей їх стиснення, спроможні накопичувати пошкодження при невеликих деформаціях. В таких умовах стійкість охоронних споруд та експлуатаційний стан відкатних штреків, забезпечується тільки в межах безпечного деформаційного ресурсу ціликів вугілля. Тому застосування цього способу охорони обмежено, тобто охоронні споруди забезпечують тимчасову стійкість підготовчих виробок на виїмкових ділянках. Для виконання функцій підтримки бічних порід у вуглепородному масиві та забезпечення стійкості підготовчих виробок, практиковані способи охорони підготовчих гірничих виробок повинні мати деформаційні характеристики, що відповідають умовам застосування.

Висновок. Експериментально обґрунтовано, що в зоні активного впливу гірського тиску на відстані $l \leq 50$ м позаду очисного вибою, стійкий стан відкатних штреків при охороні ціликами вугілля що знаходяться під статичним навантаженням у вуглепородному масиві, забезпечується в умовах, коли між протяжністю підготовчої виробки та відносною зміною об'єму δV стискаючих споруд існує логарифмічна залежність, визначним фактором якої є безпечний деформаційний ресурс охоронних споруд та відбувається погіршення стійкості підготовчої виробки, коли при $\delta V > 0,1-0,12$ та $l > 50$ м настає втрата несучої здатності надштрекових конструкцій, що у часі призводить до деформування контуру, пошкодженням аркового кріплення та неможливості подальшої експлуатації цієї виробки на виїмковій ділянці вугільної шахти з крутим заляганням пластів.

1. Николин В. И., Подкопаев С. В., Агафонов А. В., Малеев Н. В. Снижение травматизма от проявлений горного давления. Донецк : Норд-пресс, 2005. 324 с. 2. Жуков В. Е. Об одной стратегической ошибке в разрешении проблемы разработки крутых пластов. *Уголь Украины*. 2001. № 7. С. 6–10. 3. Викторов С. Д., Гончаров С. А., Иофис М. А., Закалинский В. М. Механика сдвижения и разрушение горных пород. М. : РАН, 2019. 360 с. ISBN 978-5-907036-13-0. 4. Селезень А. Л., Томасов А. Г., Андрушко В. Ф. Поддержание подготовительных выработок при разработке крутых пластов. Москва : Недра,

1977. 205 с. **5.** Чепіга Д. А. Обґрунтування та розробка способів підвищення безпеки праці гірників у виїмкових дільницях глибоких шахт : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.26.01. ДВНЗ «ДонНТУ», Покровськ, 2019. 24 с. **6.** Liashok Ya. Iordanov I., Chepiga D., Podkopaiev S. Experimental studies of the seam openings competence in different methods of protection under pitch and steep coal seams development. *Mining of Mineral Deposits*. 2018. Vol. 12. Issue 4. P. 9–19. doi: 10.1547// mining 12.04.009. **7.** Zhi B., Wei P., Wang X., Li Z., Ren Y., Zhang H. et al. Research on the collapse coefficient of collapsible loess under unloading. *Advances in civil engineering*. 2021. Vol. 2021. Pp. 1–12. DOI: 10.1155/2021/6672301. **8.** Артемьев В. Б., Коршинов Г. И., Логинов А. К. Охрана подготовительных выработок целиками угля на угольных шахтах. СПб. : Наука, 2009. 299 с. ISBN 978-5-0202-5377-3. **9.** Кузнецов Г. Н., Будько И. Н. Исследование предельных состояний хрупкого материала в различных условиях трехосного сжатия. *Проблемы механики горных пород*. № 971. С. 266–277. **10.** Протосеня А. Г., Вербило П. Э. Расчет несущей способности и изучение анизотропных прочностных характеристик междукамерных целиков в блочном горном массиве. *Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий: Геомеханическое обеспечение проектирования и сопровождения горных работ* : сб. тр. VIII Международной научно-практ. конф. С. 219–225. **11.** Бойченко Г. Е., Ткачук О. М. Дослідження деформаційних характеристик ціликів вугілля як охоронних споруд підготовчих виробок. *Вісник Донецького гірничого інституту*. 2022. № 2. С. 14–24. URL: <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2022-2-14-24>. (дата звернення: 01.07.2023). **12.** Чорней Р. К. Практикум по теории вероятности и математической статистике. К. : ДП «Изд. дом «Персонал»», 2009. 336 с. **13.** I. Ishibashi, H. Nazarika. *Soil Mechanics*. CRC Press, 2015. 420 p. **14.** Tkachuk O., Chepiga D., Pakhomov S., Volkov S., Liashok Y., Bachurina Y., Shvets I., & Podkopaiev S. Evaluation of the effectiveness of secondary support of haulage drifts based on a comparative analysis of the deformation characteristics of protective structures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. № 2 (1 (122)). Pp. 73–81. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.272454>. (дата звернення: 01.07.2023). **15.** Капитонов А. М. Математическая статистика. Минск : БГМУ, 2013. 108 с. ISBN 978-985-528-887-0.

REFERENCES:

1. Nykolyn V. Y., Podkopaev S. V., Ahafonov A. V., Maleiev N. V. *Snyzhenye travmatyzma ot proiavlennyi hornoho davleniya*. Donetsk : Nord-press, 2005. 324 s.
2. Zhukov V. E. Ob odnoi stratehycheskoj oshybke v razreshenyyu problemy razrabotky krutykh plastov. *Uhol Ukrainy*. 2001. № 7. S. 6–10.
3. Vyktorov S. D., Honcharov S. A., Yofys M. A., Zakalynskiy V. M. *Mekhanyka sdvyzheniya y razrushenie hornykh porod*. M. : RAN, 2019. 360 s. ISBN 978-5-907036-13-0.
4. Selezhen A. L., Tomasov A. H., Andrushko V. F. *Podderzhanye podgotovytelnykh*

vyrobotok pry razrobotke krutykh plastov. Moskva : Nedra, 1977. 205 s. **5.** Chepiha D. A. Obgruntuvannia ta rozrobka sposobiv pidvyshchennia bezpeky pratsi hirnykiv u vyimkovykh dilnytsiakh hlybokyykh shakht : avtoref. dys. kand. tekhn. nauk : 05.26.01. DVNZ «DonNTU», Pokrovsk, 2019. 24 s. **6.** Liashok Ya. Iordanov I., Chepiga D., Podkopaiev S. Experimental studies of the seam openings competence in different methods of protection under pitch and steep coal seams development. *Mining of Mineral Deposits*. 2018. Vol. 12. Issue 4. P. 9–19. doi: 10.1547// mining 12.04.009. **7.** Zhi B., Wei P., Wang X., Li Z., Ren Y., Zhang H. et al. Research on the collapse coefficient of collapsible loess under unloading. *Advances in civil engineering*. 2021. Vol. 2021. Pp. 1–12. DOI: 10.1155/2021/6672301. **8.** Artemev V. B., Korshynov H. Y., Lohynov A. K. Okhrana podhotovitelnykh vyrabotok tselykamy uhliia na uholnykh shakhtakh. SPb. : Nauka, 2009. 299 s. ISBN 978-5-0202-5377-3. **9.** Kuznetsov H. N., Budko Y. N. Yssledovanye predelnykh sostoianyi khрупkoho materyala v razlychnykh usloviakh trekhosnogo szhatyia. *Problemy mekhanyky hornykh porod*. № 971. S. 266–277. **10.** Protosenia A. H., Verbylo P. E. Raschet nesushchei sposobnosti y yzuchenye anizotropnykh prochnostnykh kharakterystyk mezhdukamernykh tselykov v blochnom hornom massyve. *Innovatsionnye napravleniia v proektirovanii hornodobyvaiushchikh predpriatii: Heomekhanicheskoe obespechenie proektirovaniia i soprovozhdeniia hornykh robot* : sb. tr. VIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakt. konf. S. 219–225. **11.** Boichenko H. E., Tkachuk O. M. Doslidzhennia deformatsiinykh kharakterystyk tsilykiv vuhillia yak okhoronnykh sporud pidhotovchykh vyrobok. *Visti Donetskoho hirnychoho instytutu*. 2022. № 2. S. 14–24. URL: <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2022-2-14-24>. (data zvernennia: 01.07.2023). **12.** Chornei R. K. Praktykum po teoryi veroiatnosti y matematycheskoi statystyke. K. : DP «Izd. dom «Personal»», 2009. 336 s. **13.** I. Ishibashi, H. Hazarika. Soil Mechanics. CRC Press, 2015. 420 p. **14.** Tkachuk O., Chepiga D., Pakhomov S., Volkov S., Liashok Y., Bachurina Y., Shvets I., & Podkopaiev S. Evaluation of the effectiveness of secondary support of haulage drifts based on a comparative analysis of the deformation characteristics of protective structures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. № 2 (1 (122)). Pp. 73–81. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.272454>. (data zvernennia: 01.07.2023). **15.** Kapytonov A. M. Matematycheskaia statystyka. Mynsk : BHMU, 2013. 108 s. ISBN 978-985-528-887-0.

**Podkopaiev S. V., Doctor of Engineering, Professor, Kipko O. O.,
Post-graduate Student** (Donetsk National Technical University, Lutsk,
serhii.podkopaiev@donntu.edu.ua, kipko.oleksandr.as@donntu.edu.ua)

**STUDY OF THE STABILITY OF HAULAGE DRIVERS OF STEEP SEAMS TAKEN
INTO ACCOUNT OF THE DEFORMATION FEATURES OF PROTECTIVE
STRUCTURES**



To investigate the stability of steep face drifts in the excavation areas of coal mines, taking into account the deformation features of protective structures to ensure their operational condition.

To achieve this goal, the stability of steep face drifts was monitored by mine instrumentation when protecting coal seams with protective structures.

It has been experimentally established that the stable state of the decline drifts at the method of protection with coal blocks is provided at the section $0 \leq l \leq 50$ m behind the working face. At the same time, the relative change in the volume of compressive protective structures does not exceed the value $\delta V \leq 1.0-1.2$. Depending on the conditions of formation of external static load, contact interaction of coal blocks with side rocks and changes in their bearing capacity, a stable state of protective structures is ensured within the safe deformation resource. There is a logarithmic relationship between the relative change in the volume δV of the overburden of coal and the length of the preparatory workings l (m) within the safe deformation life. When $l > 50$ m and $\delta V > 1.0-1.2$, the stability of the heading is lost and the contour deforms. Under such conditions, the loss of the cross-sectional area of the preparatory workings is 47–52%, and the relative frequency of damage to the arch support is $w = 0.54-0.56$. A functional dependence between the relative change in volume δV of coal lumps under static load in the coal massif and their relative deformation λ has been established, which allows us to estimate the bearing capacity of protective structures.

The method of protecting preparatory mine workings with coal lumps allows for a short-term preservation of the stable state of the heading faces and therefore has a limited scope.

Keywords: arch support; deformation processes; protective structures; stability of the working faces; coal blocks.
