

Волков С. В., к.ф.-м.н., доцент, Підгурна О. Ю., аспірант (Донецький національний технічний університет, serhii.volkov@donntu.edu.ua; olha.pidhurna@donntu.edu.ua)

ВПЛИВ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛИТОЇ СМУГИ НА СТІЙКІСТЬ ПІДГОТОВЧОЇ ВИРОБКИ

Оцінити стійкість підготовчої гірничої виробки по довжині виїмкової ділянки за способу охорони литою смугою для забезпечення безпечних умов праці гірників і підвищення ефективності вуглевидобутку вугільної шахти.

Виконано шахтні інструментальні спостереження приросту зміщень покрівлі на контурі підготовчої виробки в міру віддалення від очисного вибою. Встановлена, на основі спостереження, кількість відмов аркового піддатливого кріплення (відстань між рамами 0,6 м) по довжині виїмкової ділянки.

Експлуатаційна стійкість підготовчої гірничої виробки забезпечується за відносної деформації литої смуги $\varepsilon \leq 0,37$ м і частоти відмов аркового піддатливого кріплення $w \leq 0,3$. В умовах, коли $\varepsilon > 0,37$ спостерігається неконтрольований приріст зміщень покрівлі на контурі підготовчої виробки, що свідчить про зниження несучої здатності литої смуги. На відстані $l > 80$ м частота відмов аркового кріплення $w > 0,53$, а рівень загрози обвалення бічних порід у підготовчу виробку наближається до критичного стану. Стійкість підготовчої виробки на виїмковій ділянці залежить від гірничо-геологічних умов, несучої здатності охоронної споруди та працездатності аркового піддатливого кріплення.

Експериментально встановлено ступінь функціональну залежність між відотною деформацією ε литої смуги та частотою відмов w аркового піддатливого кріплення в підготовчій гірничій виробці за умови, що статистика однофакторного дисперсійного аналізу пошкоджень типових кріпильних конструкцій має стандартний нормальний розподіл.

Експлуатаційний стан підготовчої гірничої виробки при способі охорони литими смугами забезпечується у межах деформаційного ресурсу охоронної споруди та працездатності аркового піддатливого кріплення.

Ключові слова: підготовча виробка; охоронна споруда; аркове кріплення; деформаційний ресурс; частота відмов;

експлуатаційний стан.

Постановка проблеми. Для підвищення ефективності вуглевидобутку та безпеки роботи виїмкових ділянок вугільної шахти, актуальним завданням є охорона та підтримання підготовчих виробок. У глибоких шахтах у міру розвитку гірничих робіт, коли інтенсивність зсувів на контурі підготовчих виробок збільшується, для забезпечення їхнього експлуатаційного стану позаду очисного вибою, здебільшого необхідне виконання ремонтних робіт. Такі роботи полягають у перекріпленні виробки і випуску великого обсягу зруйнованих порід за контуром виробки. Трудомісткість ремонтних робіт у виробці залишається високою і досягає 85–95 чол. – см на 1000 т. середньодобового видобутку.

Обрушувальність бічних порід у виробленому просторі виїмкових ділянок має вплив на формування зони безладного обрушення покрівлі. Найбільшу розповсюдженими причинами утворення таких небезпечних ситуацій є невідповідність практикованих способів охорони підготовчих виробок гірничо-геологічним умовам виїмкових ділянок або порушення паспортів кріплення. Спроби розв'язати проблему забезпечення стійкості підготовчих гірничих виробок шляхом застосування кріплень підвищеної несучої здатності або за рахунок збільшення щільності їхнього встановлення по довжині виїмкової ділянки, до успіху поки що не привели.

Таким чином, стійкість підготовчих виробок у процесі експлуатації забезпечується в тому разі, коли способи їхньої охорони та характеристики аркового кріплення відповідають властивостям міцності вміщувальних порід у конкретних гірничо-геологічних умовах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Головним завданням удосконалення підземного видобутку вугілля в глибоких шахтах є створення ефективних способів забезпечення стійкості виїмкових виробок, що обслуговують комплексно-механізовані вибої на виїмкових ділянках вугільних шахт.

При збільшенні глибини гірничих робіт для обмеження або зменшення інтенсивності зміщень порід на контурі підготовчої виробки, почали збільшувати щільність встановлення кріплення по довжині виїмкової ділянки [1; 2]. Таке рішення призвело до збільшення вартості та трудомісткості проведення та підтримання виробок [2].



Для охорони виїмкових виробок використовуються цілики вугілля, дерев'яні конструкції, породні бутові смуги, тумби із залізобетонних блоків и литі смуги [3; 4; 5].

Охорона виробок ціликами вугілля допускається на середніх глибинах розробки за неможливості розташування виробок у розвантаженому масиві [3]. За великих глибин розроблення застосування способу охорони виробок ціликами вугілля втрачає свою ефективність у зв'язку зі збільшенням їхніх розмірів і малого ефекту захисту від проявів гірського тиску. При розвантаженні вуглепородного масиву зростаюча концентрація напружень у ціликах спричиняє руйнування виїмкових виробок [6].

Використання дерев'яних конструкцій (наприклад, дерев'яних кострів) на великих глибинах розроблення (понад 1000 м), сприяє інтенсифікації процесу конвергенції бічних порід.

Найбільшого опору дерев'яні костри досягають при усадці понад 50–60% [7; 8].

Донедавна на шахтах Донбасу для охорони виробок застосовували породні бутові смуги [8; 9]. До недоліків бутових смуг слід відносити їхню високу піддатливість. Однак механізоване зведення бутової смуги дає змогу підвищити її жорсткість і зменшити опускання покрівлі.

Тумби із залізобетонних блоків (ЗЗБТ) мають велику несучу здатність [10]. Водночас, у реальних умовах розроблення пологих пластів за нерівності породного оголення, крихкість бетонних конструкцій за точкового навантаження призводить до їхнього руйнування.

Охорона підготовчих виробок литими смугами полягає у зведенні жорсткої конструкції зі швидкотвердіючого розчину на межі контуру виробки з виробленим простором [11]. До переваг таких охоронних споруд слід відносити швидкий набір міцності і створення необхідного опору осідаючому масиву, що сприяє обриву породної консолі [1]. При використанні литої смуги для охорони виробок, створюється міцний контакт між конструкцією і бічними породами. Застосування литих смуг призводить до зменшення зсувів порід на контурі виробки [4]. При всьому тому, жорсткі охоронні конструкції, що знижують навантаження на кріплення виробки, працюють як штамп.

Таким чином, стійкість підготовчої гірничої виробки можна забезпечити завдяки використанню охоронних споруд, які знижують негативний вплив проявів гірського тиску на приконтурний масив. Для розв'язання такого завдання необхідна оцінка стійкості виїмкової виробки з урахуванням деформаційних особливостей охоронних споруд і працездатності аркового піддатливого кріплення

по довжині виїмкової ділянки.

Постановка завдання дослідження

Оцінити стійкість підготовчої гірничої виробки за способу охорони литою смугою на виїмковій ділянці вугільної шахти з урахуванням деформаційних особливостей охоронної споруди та працездатності аркового піддатливого кріплення.

Виклад основного матеріалу

Для оцінки стійкості підготовчої гірничої виробки було проведено експериментальні дослідження в умовах ШУ «Покровське». Під час проведення спостережень на експериментальній ділянці пласта d_4 горизонту 930 м, за контуром виробки були встановлені репери. Схема експериментальної ділянки наведена на рис. 1. Схема замірної станції наведена на рис. 2. За допомогою маркшейдерської рулетки визначалася величина зближення реперів один до одного. Похибка вимірів становила ± 2 мм. Площа поперечного перерізу підготовчої виробки $S = 25$ м², спосіб охорони – лита смуга. Ширина литої смуги – 1,6 м, межа міцності ≥ 20 МПа. Аркове кріплення КМП-А5РЗ, відстань між рамами – 0,6 м. Спосіб проведення виробки комбайновий, швидкість проведення $V_p = 240$ м/міс. Потужність вугільного пласта 1,0 м, кут падіння – 4°. Спосіб управління покрівлею у очисному вибої – повне обвалення. Швидкість посування очисного вибою – 115 м/міс.

Гірничо-геологічні умови виїмкової ділянки представлені в табл. 1.

Під час проведення експериментів відносна деформація ε охоронної споруди визначалася за виразом [12]

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h}, \quad (1)$$

де Δh – вертикальна конвергенція за даними вимірів у підготовчій виробці, м, h – висота охоронної споруди, м.

Таблиця 1

Гірничо-геологічні умови виїмкової ділянки

Індекс пласта	Кут падіння, град.	Потужність	Бічні породи			
			покрівля		Підошва	
			безпосередня	основна	безпосередня	основна
d_4	4°	1,0 м	Алевроліт середньої міцності, потужністю до 8,85 м	Піщаник тріщинуватий, потужністю до 2,5 м	Алевроліт середньої міцності, потужністю до 7,95 м	Піщаник міцний, потужністю до 2,0 м

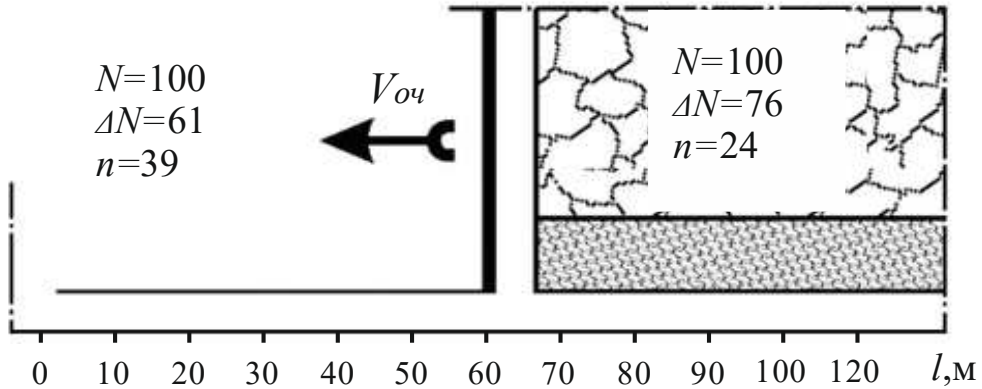


Рис. 1. Схема визначення кількості відмов ΔN (шт.) аркового піддатливого кріплення у підготовчій виробці по довжині l (м) виїмкової ділянки пласта d_4 : N – кількість кріплень, що використовуються в експерименті, шт.; ΔN – кількість кріплень, що відмовили, шт.; n – кількість працездатних кріплень після закінчення експерименту, шт.

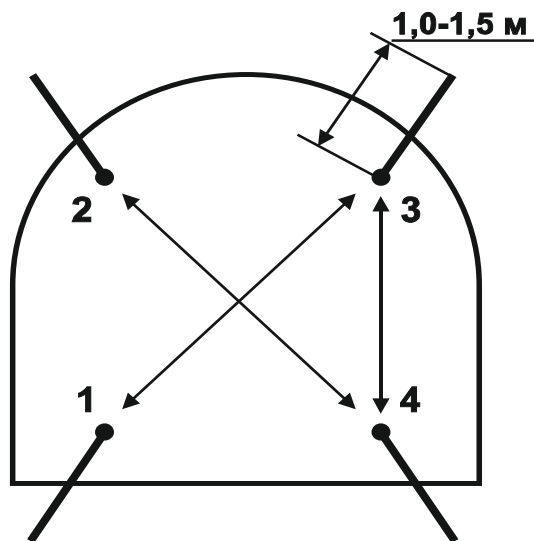


Рис. 2. Схема замірної станції у підготовчій виробці виїмкової ділянки пласта d_4 : 1–3; 4–2; 4–3 – зміщення реперів 3 і 2 у напрямку 1, 4

Слід зазначити, що за величину Δh (м) приймалася зміна відстані між репером 3 і 4 на контурі виробки

$$\Delta h = U_{1-4},$$

а висота охоронної споруди h (м) відповідає потужності вугільного пласта.

Для показникового індикатора аналізу стійкості підготовчої виробки використовувалась оцінка приросту зміщень бічних порід

ΔU (мм) на її контурі в міру віддалення від очисного вибою за виразом [13]

$$\Delta U = U(3-4)^i - U(3-4)^{i-1}, \quad (2)$$

або

$$\Delta U = U(1-3)^i - U(1-3)^{i-1} \quad (3)$$

$$\Delta U = U(2-4)^i - U(2-4)^{i-1}. \quad (4)$$

Такий показник враховує деформаційні властивості охоронної споруди та зміщення бічних порід на контурі підготовчої виробки.

Для згладжування короткострокових коливань та виявлення характерних тенденцій у змінах аналізованого параметра, використано вираз

$$\Delta \bar{U} = \frac{\Delta U_i - \Delta U_{i-1}}{2} \quad (5)$$

у якому застосовано метод простого ковзного середнього з періодом усереднення 2 [13].

Частота w відмов аркового піддатливого кріплення визначалася за виразом [14]

$$w = \frac{\Delta N}{N}, \quad (6)$$

де ΔN – число кріплень які відмовили, шт.

N – число однотипних аркових кріплень, шт.

У шахтному експерименті кількість кріплень, які було поставлено для випробувань $N = 200$ шт. Працездатність аркового кріплення в підготовчій гірничій виробці оцінювалася в комплексі з роботою охоронної споруди.

Результати досліджень У табл. 2 наведено експериментальні дані кількості відмов ΔN (шт.) аркового піддатливого кріплення, частоти відмов ε і відносної деформації ε литої смуги на експериментальній ділянці завдовжки $l = 120$ м. Відносна частота відмов w кріплення визначена за виразом (6) згідно з [14].

Розглянемо гіпотезу H_0 про нормальний розподіл установлених експериментальних даних (табл. 2). Перевірку статистичної гіпотези H_0 , тобто перевірку узгодженості вибіркового даних із цією гіпотезою, проведемо за допомогою статистичного критерію χ^2 (Пірсона) [14].

Щільність розподілу випадкової величини, розподіленої за нормальним законом має вигляд [15]

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}, \quad (7)$$

де a , δ , δ^2 – відповідно математичне очікування, середньоквадратичне відхилення та дисперсія випадкової величини за умови, що \bar{x} – середнє арифметичне випадкової величини, визначаються з виразів:

$$\alpha = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (8)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2. \quad (9)$$

Таблиця 2

Експериментальні дані кількості відмов ΔN (шт.) аркового піддатливого кріплення, частоти відмов w і відносної деформації ϵ охоронної споруди (\bar{w} – відносна частота відмов)

l, м	ΔN , (шт.)	\bar{w}	ϵ	w
0–10	2	0,014	0,06	0,01
10–20	6	0,043	0,1	0,04
20–30	11	0,081	0,18	0,09
30–40	12	0,087	0,3	0,15
40–50	14	0,103	0,35	0,22
50–60	16	0,116	0,37	0,3
60–70	16	0,116	0,4	0,38
70–80	15	0,109	0,42	0,46
80–90	14	0,103	0,5	0,53
90–100	12	0,087	0,52	0,59
100–110	11	0,081	0,62	0,64
110–120	8	0,06	0,65	0,68

Функція розподілу нормального закону з урахуванням (7–9) має вигляд [16]

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-t)^2}{2\sigma^2}} dt. \quad (10)$$

Критерій Пірсона χ^2 , дозволяє перевірити нульову гіпотезу H_0 – на скільки теоретична функція розподілу узгоджується з емпіричною. Для цього розглядається умова [15; 17]

$$\chi_{\Phi}^2 \leq \chi_{\text{крит.}}^2. \quad (11)$$

Табличний показник $\chi_{\text{крит.}}^2$ – залежить від рівня значущості α та числа ступенів свободи $s = k - r - 1$, де k – кількість інтервалів, r – число параметрів розподілу, а χ_{Φ}^2 – емпіричний, який визначається за формулою [15–17]

$$\chi_{\Phi}^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n_{it})^2}{n_{it}}, \quad (12)$$

де n_i , n_{it} – відповідно фактичні та теоретичні значення досліджуваних величин; k – кількість інтервалів. Визначивши рівень значущості $\alpha = 0,05$ та обчисливши $s = 12 - 2 - 1 = 9$ отримаємо:

$$\chi^2_{\text{крит.}}(0,05,9) = 16,919. \quad (13)$$

Для розрахунку значення χ^2_{ϕ} проведемо серію допоміжних обчислень. В табл. 3 наведено розрахунок числових характеристик. Знайдемо вибіркове середнє, вибірккову дисперсію і вибірккове середнє квадратичне відхилення за формулами (8), (9) відповідно:

$$a = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \cdot n_i \rightarrow a_1 = \frac{8875}{137} = 64,78; \quad (14)$$

$$\delta^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \rightarrow \delta_1^2 = \frac{113293,43}{137} = 826,95935 \rightarrow \delta_1 = 28,7. \quad (15)$$

Таблиця 3

Розрахунок числових характеристик

№	$x_i = \frac{x_{\text{поч}} + x_{\text{кін}}}{2}$	$x_i \cdot n_i$	$(x_i - \bar{x})^2 \cdot n_i$
1.	5	10	7147,54
2.	15	90	14868,90
3.	25	275	17407,83
4.	35	420	10642,91
5.	45	630	5478,04
6.	55	880	1530,69
7.	65	1040	0,77
8.	75	1125	1566,41
9.	85	1190	5723,30
10.	95	1140	10958,24
11.	105	1155	17793,23
12.	115	920	20175,57
Σ	720	8875	113293,43

В табл. 4 наведено розрахунок теоретичних частот.

Теоретичні частоти знаходимо за формулами $p_{it} = p_i$, де p_i – ймовірність попадання випадкової величини в певний інтервал. Для нормального закону розподілу згадані вище ймовірності знаходяться за формулою [15; 17]

$$p_i = \Phi\left(\frac{x_{\text{кін}} - \bar{x}}{\delta}\right) - \Phi\left(\frac{x_{\text{поч}} - \bar{x}}{\delta}\right). \quad (16)$$

Таблиця 4

Розрахунок теоретичних частот

$\frac{\text{поч.}_{ij} - \bar{x}_i}{\delta_i}$	$\frac{\text{кін.}_{ij} - \bar{x}_i}{\delta_i}$	$\Phi\left(\frac{\text{поч.}_{ij} - \bar{x}_i}{\delta_i}\right)$	$\Phi\left(\frac{\text{кін.}_{ij} - \bar{x}_i}{\delta_i}\right)$	p_i	$n_{\text{тг}} = np_i$	$\frac{(n_i - n_{\text{тг}})^2}{n_{\text{тг}}}$
$-\infty$	-1,90	-0,5	-0,4713	0,0287	3,9319	0,9492
-1,90	-1,56	-0,4713	-0,4406	0,0307	4,2059	0,7653
-1,56	-1,21	-0,4406	-0,3869	0,0537	7,3569	1,8040
-1,21	-0,86	-0,3869	-0,3051	0,0818	11,207	0,0562
-0,86	-0,51	-0,3051	-0,195	0,1101	15,084	0,0779
-0,51	-0,17	-0,195	-0,0675	0,1275	17,468	0,1233
-0,17	0,18	-0,0675	0,0714	0,1389	19,029	0,4822
0,18	0,53	0,0714	0,2019	0,1305	17,879	0,4634
0,53	0,88	0,2019	0,3106	0,1087	14,892	0,0534
0,88	1,22	0,3106	0,3888	0,0782	10,713	0,1545
1,22	1,57	0,3888	0,4418	0,053	7,261	1,9254
				1	137	6,855

З огляду на (11), (12) та розраховані фактичні значення $X_{\Phi}^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n_{\text{тг}})^2}{n_{\text{тг}}}$ отримали що $X_{\Phi}^2 = 6,855 \leq X_{\text{крит.}}^2(0,05,9) = 16,919$, а отже, відсутні підстави відкидати гіпотезу H_0 про нормальний розподіл.

На рис. 3 наведено графіки зміни приросту зміщень $\Delta\bar{U}$ (мм) покрівлі на контурі підготовчої виробки за довжиною l (м) виїмкової ділянки.

Із графіків видно, що в міру просування очисного вибою на ділянці $0 \leq l \leq 60$ м, приріст зсувів покрівлі за реперами 1–3 зменшується від величини $\Delta\bar{U} = 45$ мм за $l = 10$ м до величини $\Delta\bar{U} = 5$ мм за $l = 60$ м позаду лави. Зі збільшенням протяжності виробки за $l = 90$ м, приріст зсувів покрівлі збільшується до величини $\Delta\bar{U} = 55$ мм (рис. 3, крива 1).

Приріст зсувів покрівлі за реперами 2–4 зменшується від $\Delta\bar{U} = 25$ мм на відстані $l = 20$ м до $\Delta\bar{U} = 5$ мм на відстані $l = 90$ м позаду очисного вибою. За довжини виробки $l > 90$ м, приріст зміщень покрівлі збільшується до значення $\Delta\bar{U} = 30$ мм (рис. 3, крива 2).

На рис. 4 представлено графік зміни приросту зсувів $\Delta\bar{U}$ покрівлі під час статичного навантаження литої смуги за довжиною l (м) виїмкової ділянки.

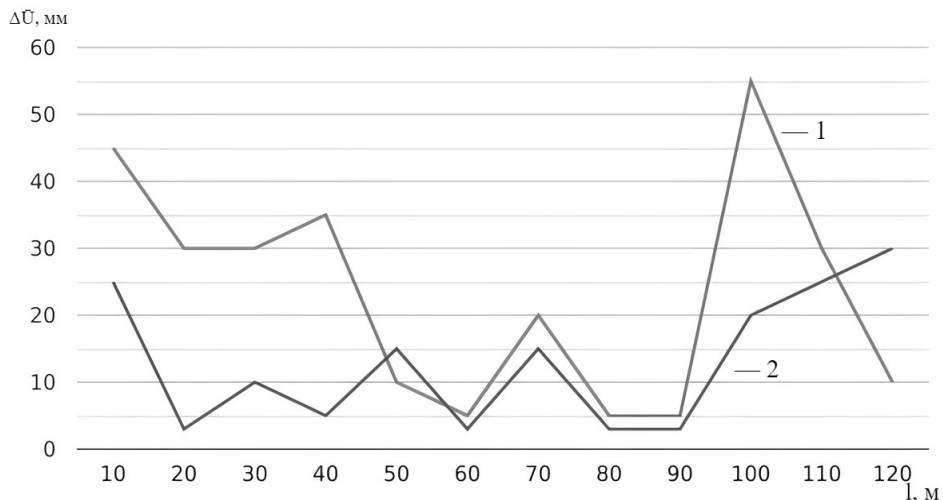


Рис. 3. Графіки зміни приросту зсувів $\Delta\bar{U}$ (мм) покрівлі на контурі підготовчої гірничої виробки за довжиною l (м) виїмкової ділянки: 1 – за реперами 1–3; 2 – за реперами 2–4

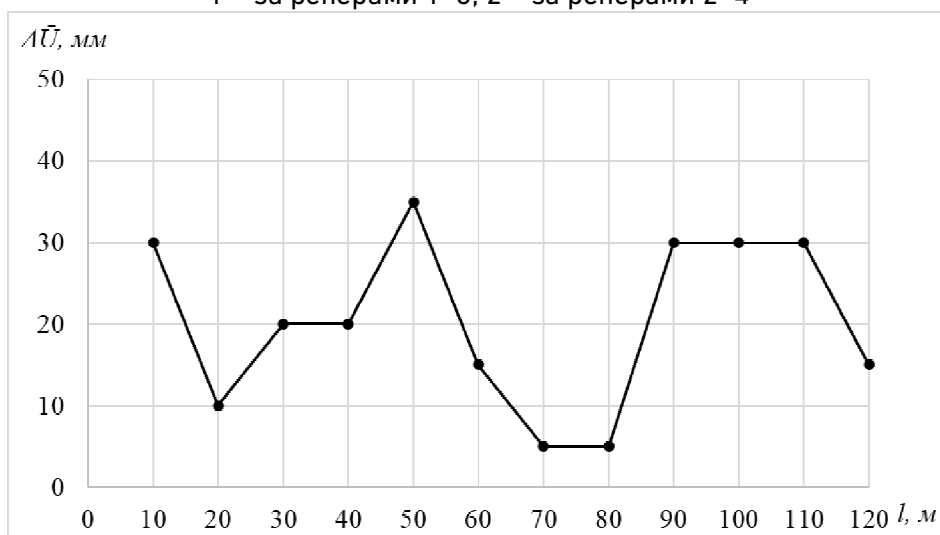


Рис. 4. Графік зміни приросту зсувів $\Delta\bar{U}$ (мм) покрівлі під час статичного навантаження литої смуги за довжиною l (м) виїмкової ділянки

З графіка видно, що зі збільшенням протяжності підготовчої виробки приріст зсувів $\Delta\bar{U}$ (мм) покрівлі має періодичний характер. На ділянці $10 \leq l \leq 80$ м фіксується зменшення приросту зміщень до величини $\Delta\bar{U} = 5$ мм. При довжині виробки $l > 80$ м, приріст зміщень покрівлі збільшується до значення $\Delta\bar{U} = 30$ мм (рис. 4).

На рис. 5 наведено графіки зміни відносної деформації ϵ литої смуги і відносної частоти $\bar{\omega}$ відмов аркового піддатливого кріплення за довжиною виїмкової ділянки l (м).

З графіка (рис. 5, крива 1) видно, що на ділянці $0 \leq l \leq 80$ м позаду очисного вибою відносна деформація литої смуги змінюється від $\varepsilon = 0,06$ до $\varepsilon = 0,42$. Між досліджуваними параметрами існує логарифмічна функціональна залежність виду

$$\varepsilon = 0,1938 \ln(l) - 0,4306$$

з коефіцієнтом кореляції 0,94 [15].

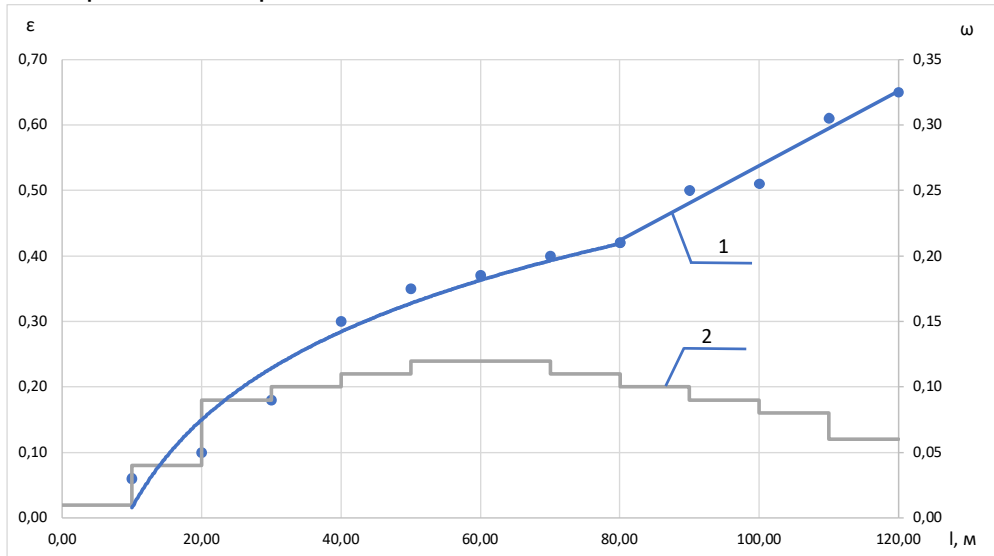


Рис. 5. Графіки зміни відносної деформації ε литої смуги та відносної частоти $\bar{\omega}$ відмов арочного піддатливого кріплення за довжиною l (м) виїмкової ділянки: 1 – ε , 2 – $\bar{\omega}$

За довжини виробки $l > 80$ м відносна деформація охоронної споруди збільшується від $\varepsilon = 0,42$ до $\varepsilon = 0,68$ (рис. 5, крива 1).

Відносна частота $\bar{\omega}$ відмов аркового кріплення має нормальний закон розподілу. Максимальне значення досліджуваного параметра $\bar{\omega} = 0,116$ фіксується на інтервалі (50–70 м) позаду очисного вибою по довжині підготовчої виробки (рис. 5, крива 2).

Для встановлених експериментальних даних щодо довжини виїмкової ділянки визначимо медіану інтервального ряду. У цьому випадку обсяг вибірки дорівнюватиме $n = 137$. Медіанний інтервал, у якому накопичена частота виявиться $n/2$, визначимо як у [14]

$$\frac{137}{2} = 68,5.$$

У середині медіанного інтервалу медіана M_b визначається за такою формулою [14].

$$M_b = X_k + \frac{0,5 \cdot n - n_k - 1}{n M_B} * h [M_b]. \quad (18)$$

де X_k – нижня межа медіанного інтервалу;

h_{MB} – ширина медіанного інтервалу;

n_{k-1} – накопичена частота інтервалу, що передує медіанному інтервалу;

n_{MB} – частота медіанного інтервалу.

Виходячи з даних табл. 2, накопичувальна частота для 7 інтервалу дорівнює 77, тобто

$$\frac{n}{2} = 68,5 < 77.$$

Виходячи з цього, інтервал (60-70) буде медіанним. Нижня межа медіанного інтервалу дорівнює $h_{MB} = 70 - 60 = 10$, накопичувальна частота інтервалу, що передує накопичувальному, дорівнює $h_{k-1} = 61$.

За частоти медіанного інтервалу $n_{MB} = 16$ маємо

$$M_b = 60 + \frac{10 * 0,5 * 137 - 61}{16} = 64,6.$$

Очевидно те, що початок ремонтних робіт на виїмковій ділянці розташовується на інтервалі $l = (60 - 70 \text{ м})$.

На рис. 6 наведено графік зміни частоти w відмов аркового піддатливого кріплення в підготовчій виробці від відносної деформації ϵ литої смуги.

Із графіка видно, що зі збільшенням відносної деформації литої смуги від $\epsilon = 0,06$ до $\epsilon = 0,42$, частота відмов аркового піддатливого кріплення збільшується від $w = 0,01$ до $w = 0,46$. Між цими величинами існує степенева функціональна залежність виду

$$\epsilon = 0,7121w^{0,5513}, \quad (19)$$

з коефіцієнтом кореляції 0,95 [15].

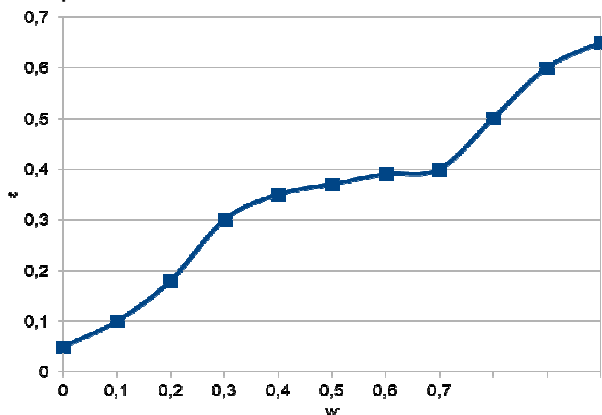


Рис. 6. Графік зміни частоти w відмов аркового піддатливого кріплення в підготовчій виробці від відносної деформації ϵ литої смуги

За $\epsilon > 0,46$, частота відмов збільшується до значення $w = 0,68$ (рис. 6). У таких умовах стійкість виробки знижується.



У результаті виконаних експериментальних досліджень встановлено оцінку стійкості підготовчої гірничої виробки при способі охорони литою смугою. На основі спостережень встановлено кількість відмов аркового піддатливого кріплення. Працездатність аркового кріплення в підготовчій виробці фіксувалася в комплексі з роботою охоронної споруди. На підставі отриманих експериментальних даних відмов аркового кріплення встановлено, що статистика однофакторного дисперсійного аналізу пошкоджень має стандартний нормальний розподіл.

Зафіксовано, що експлуатаційна стійкість підготовчої гірничої виробки забезпечується в межах безпечного деформаційного ресурсу литої смуги на ділянці $0 \leq l \leq 60$ м позаду очисного вибою. Максимальна відносна деформація охоронної споруди $\epsilon = 0,37$, частота відмов аркового піддатливого кріплення $w = 0,3$. У межах безпечного деформаційного ресурсу литої смуги, її опірність збільшується. При цьому відзначається зниження приросту зсувів бічних порід на контурі підготовчої гірничої виробки. Між протяжністю виробки l (м) і відносною деформацією ϵ литої смуги існує логарифмічна функціональна залежність.

В умовах, коли $\epsilon > 0,37$, на контурі підготовчої гірничої виробки спостерігається неконтрольований приріст зміщень покрівлі, що свідчить про зниження несучої здатності литої смуги. При цьому на ділянці $l > 90$ м приріст зміщень бічних порід на контурі виробки збільшується. Експериментально встановлено степеневу функціональну залежність між відносною деформацією литої смуги ϵ і частотою відмов w аркового піддатливого кріплення. Така залежність дає змогу оцінити стійкість підготовчої виробки в межах безпечного деформаційного ресурсу охоронної споруди.

За частоти відмов аркового піддатливого кріплення $w > 0,53$ рівень загрози обвалень бічних порід у підготовчу виробку наближається до критичного стану.

З використанням вибіркового методу, обґрунтовано місце початку ремонтних робіт на виїмковій ділянці вугільної шахти, пов'язаних із перекріпленням підготовчої виробки.

Таким чином, стійкість підготовчої гірничої виробки на виїмковій ділянці вугільної шахти залежить від гірничо-геологічних умов, несучої спроможності охоронних споруд і працездатності аркового піддатливого кріплення. Ефективне використання литих смуг забезпечується в межах їх безпечного деформаційного ресурсу.

Висновок

Експериментально встановлено степеневу функціональну

залежність між відносною деформацією ε литої смуги та частотою відмов w аркового піддатливого кріплення за відстані між рамами 0,6 м, яка дає змогу оцінити стійкість підготовчої гірничої виробки за довжиною виїмкової ділянки. У шахтних умовах визначено, що за $\varepsilon > 0,37$ настає втрата несучої здатності охоронної споруди, після чого на контурі виробки відбувається неконтрольований приріст зміщень покрівлі. За частоти відмов аркового кріплення $w > 0,53$ на виїмковій ділянці створюються умови для обвалення бічних порід у виробку.

1. Трипольский В. М., Буряк М. П., Войтович Т. Г. Технологічні схеми охорони повторно використовуваних виїмкових штреків податливими литими смугами. *Геотехнічна механіка*. 2018. № 140. С. 13–22. **2.** Байсаров Л. В., Ильяшов М. А., Демченко А. И. Охрана штреков литыми полосами при разработке пологих пластов средней мощности. *Уголь Украины*. 2001. № 9. С. 3–6. **3.** Артемов В. Б., Коршунов Г. И., Логинов А. К. Охрана подготовительных выработок целиками на угольных шахтах. Спб. : Наука, 2009. 229 с. ISBN 978-502-025-377-3. **4.** Яланський А. О., Слещов І. М., Слещов О. А., Селезньов А. М., Арестов В. В. Розробка нових способів охорони підготовчих гірничих виробок литими смугами. *Геотехнічна механіка*. 2018. № 141. С. 3–14. **5.** Булат А. Ф., Ильяшов М. А., Усаченко Б. М. Технологический регламент поддержания повторно используемых выемочных штреков и охранными системами. Днепропетровск : ПП «Монолит». 2009. 37 с. **6.** Бегичев С. В., Швець А. П. Оценка внедрения технологий по увеличению полноты выемки запасов в условиях Западного Донбасса. *Геотехнічна механіка*. 2005. Вип. 55. С. 210–216. **7.** Подкопаев Є. С. Оцінка стійкості відкатних штреків крутих пластів при способі охорони дерев'яними кострами. *Наукові праці ДонНТУ. Сер. Гірничо-геологічна*. 2021. № 1–2. С. 52–63. **8.** Galvin J. M. *Ground Engineering – Principles and Practices for Underground Coal Mining*. Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-25005-2>. **9.** Малашкевич Д. С. Розробка технологічних схем селективного відпрацювання пластів із залишенням породи у виробленому просторі. Дніпро : Лізунов Прес. 2021. 207 с. ISBN 978-617-7659-12-8. **10.** Терещук Р. Н., Лозовский С. П. Устойчивость подготовительных выработок с неустойчивой почвой в зоне влияния очистных работ. МОН Украины, Нац. Горн.ун-т. Днепропетровск, 2004. 103 с. ISBN 978-966-350-466-7 **11.** Байсаров Л. В., Ильяшов М. А., Демченко А. И. Геомеханика и технология поддержания повторно используемых выработок. Днепропетровск : ЧП «Ли́ра ЛТД», 2005. 240 с. **12.** Belford A., Liechti K. M. *Mechanics of Materials*. Springer, 2020. 1023 p. **13.** Чепіга Д. А., Гнатюк В. В., Підгурна О. А. Оцінка стійкості підготовчої гірничої виробки при способі охорони литими смугами. *Вісті Донецького гірничого ін-ту*. 2024. № 1. С. 160–168. **14.** Taboga M. *Lectures on Probability Theory and Mathematical Statistics*. 3th Edition. Create SpaceIndependent Publishing Platform. 2017. 670 p. **15.** Гихман И. И., Скороход А. В., Ядренко М. И. Теория вероятностей и математическая статистика. Киев : Вища школа, 1979. 408 с. **16.** Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Москва : Высш. шк.,



1997. 479 с. **17.** Барковський В. В., Барковська Н. В., Лопатін О. К. Теорія ймовірностей та математична статистика. Київ : ЦУЛ, 2002. 488 с.

REFERENCES:

1. Trypolskyi V. M., Buriak M. P., Voitovych T. H. Tekhnolohichni skhemy okhorony povtorno vykorystovuvanykh vyimkovykh shtrekiv podatlyvymy lytymy smuhamy. *Heotekhnichna mekhanika*. 2018. № 140. S. 13–22.
2. Baisarov L. V., Yliashov M. A., Demchenko A. Y. Okhrana shtrekov lytymy polosamy pry razrobotk e polohykh plastov srednei moshchnosti. *Uhol Ukrainy*. 2001. № 9. S. 3–6.
3. Artemov V. B., Korshunov H. Y., Lohynov A. K. Okhrana podhotovytelnykh vyrabotok tselykamy na uholnykh shakhtakh. Spb. : Nauka, 2009. 229 s. ISBN 978-502-025-377-3.
4. Yalanskyi A. O., Slashchov I. M., Slashchov O. A., Seleznov A. M., Arestov V. V. Rozrobka novykh sposobiv okhorony pidhotovchykh hirnychykh vyrobok lytymy smuhamy. *Heotekhnichna mekhanika*. 2018. № 141. S. 3–14.
5. Bulat A. F., Yliashov M. A., Usachenko B. M. Tekhnolohycheskyi rehlament podderzhanya povtorno yspolzuemykh vyemochnykh shtrekov y okhrannymy systemamy. Dnepropetrovsk : PP «Monolyt». 2009. 37 s.
6. Behychev S. V., Shvets A. P. Otsenka vnedreniya tekhnolohiyi po uvelychenya polnoty vyemky zapasov v usloviakh Zapadnoho Donbassa. *Heotekhnichna mekhanika*. 2005. Vyp. 55. S. 210–216.
7. Podkopaiev Ye. S. Otsinka stiikosti vidkatnykh shtrekiv krutykh plastiv pry sposobi okhorony derevianymy kostramy. *Naukovi pratsi DonNTU. Ser. Hirnycho-heolohichna*. 2021. № 1–2. S. 52–63.
8. Galvin J. M. Ground Engineering – Principles and Practices for Underground Coal Mining. Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-25005-2>.
9. Malashkevych D. S. Rozrobka tekhnolohichnykh skhem selektyvnoho vidpratsiuвання plastiv iz zalyshanniam porody u vyroblenomomu prostori. Dnipro : Lizunov Pres. 2021. 207 s. ISBN 978-617-7659-12-8.
10. Tereshchuk R. N., Lozovskyi S. P. Ustoichyvost podhotovytelnykh vyrabotok s neustoichyvoi pochvoi v zone vlyianyia ochystnykh robot. MON Ukrainy, Nats. Horn.un-t. Dnepropetrovsk, 2004. 103 s. ISBN 978-966-350-466-7
11. Baisarov L. V., Yliashov M. A., Demchenko A. Y. Heomekhanyka y tekhnolohyia podderzhanya povtorno yspolzuemykh vyrabotok. Dnepropetrovsk : ChP «Lyra LTD», 2005. 240 s.
12. Belford A., Liechti K. M. Mechanics of Materials. Springer, 2020. 1023 p.
13. Chepiha D. A., Hnatiuk V. V., Pidhurna O. A. Otsinka stiikosti pidhotovchoi hirnychoi vyrobky pry sposobi okhorony lytymy smuhamy. *Visti Donetskoho hirnychoho in-tu*. 2024. № 1. S. 160–168.
14. Taboga M. Lectures on Probability Theory and Mathematical Statistics. 3th Edition. Create SpaceIndependent Publishing Platform. 2017. 670 p.
15. Hykhman Y. Y., Skorokhod A. V., Yadrenko M. Y. Teoryia veroiatnosteri y matematycheskaia statystyka. Kyev : Vyshcha shkola, 1979. 408 s.
16. Hmurman V. E. Teoryia veroiatnosteri y matematycheskaia statystyka. Moskva : Vyssh. shk., 1997. 479 s.
17. Barkovskiy V. V., Barkovska N. V., Lopatin O. K. Teoriia ymovirnostei ta matematychna statystyka. Kyiv : TsUL, 2002. 488 s.

Volkov S. V., Candidate) of Physical and Mathematical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Pidhurna O. Yu., Post-graduate Student (Donetsk National Technical University)

INFLUENCE OF THE DEFORMATION PROPERTIES OF THE CAST STRIP ON THE STABILITY OF THE PREPARED PRODUCT

To evaluate the stability of the preparatory mine workings along the length of the mining area by the method of protection with a cast strip to ensure safe working conditions for miners and increase the efficiency of coal production of a coal mine.

Mine instrumental observations of the increase in displacements of the roof on the contour of the preparatory work as it moves away from the cleaning pit were carried out. Based on observation, the number of failures of arched flexible fastening (distance between frames 0.6 m) along the length of the excavation section was established.

The operational stability of the preparatory mining is ensured by the relative deformation of the cast strip $\epsilon \leq 0.37$ m and the frequency of failure of the arch flexible fastening $w \leq 0.3$. In conditions where $\epsilon \leq 0.37$, there is an uncontrolled increase in roof displacements on the contour of the preparatory work, which indicates a decrease in the load-bearing capacity of the cast strip. At a distance of $l > 80$ m, the frequency of failure of the arch attachment is $w > 0.53$, and the level of the threat of the side reins collapsing into the preparatory work is approaching a critical state. The stability of the preparatory work at the excavation site depends on the mining and geological conditions, the bearing capacity of the protective structure and the efficiency of the arched flexible fastening.

A stepwise functional dependence between the relative deformation ϵ of the cast strip and the failure rate w of the arched flexible fastener in the preparatory mining was experimentally established, provided that the statistics of one-factor variance analysis of damage to typical fastening structures have a standard normal distribution.

The operational state of the preparatory mine workings with the method of protection with cast strips is ensured within the limits of the deformation resource of the protection structure and the efficiency of the arch flexible fastening.

Keywords: preparatory work; guard structure; arch fastening; deformation resource; failure frequency; operational condition.