

С.В. Подкопаєв
Л.Л. Бачурін
Д.А. Чепіга
Я.П. Бачуріна
О.Ю. Підгурна
Д.В. Полій
О.О. Вісин

ВПЛИВ ДЕФОРМАЦІЇ ЛИТОЇ СМУГИ НА СТІЙКІСТЬ ПІДГОТОВЧОЇ ВИРОБКИ

Мета. Оцінити вплив деформації литої смуги на стійкість підготовчої виробки по довжині виїмкової ділянки для створення безпечних умов експлуатації гірничих виробок, підтримуваних для повторного використання.

Методика. Деформація литої смуги досліджувалася у шахтних умовах за даними спостережень зміщень реперів на контурі підготовчої виробки по довжині експериментальної ділянки. При цьому фіксувалась зміна площі поперечного перетину виробки.

Результати. Для конкретних гірничо-геологічних умов встановлено, що до значень відносної деформації $\epsilon = 0,42 \dots 0,46$ вертикальна конвергенція бічних порід у виробці з боку виробленого простору визначається в першу чергу деформацією литої смуги, яка набирає тримкості поступово. Подальші зміщення ($\epsilon > 0,47$, $\delta V > 0,23$) зумовлені деформаційними процесами як у вуглепородному масиві, що вміщує виробку, так і втратою тримкості литою смугою, що у часі призводить до інтенсивного деформування аркового піддаєтного кріплення та втрати площі поперечного перетину підготовчої виробки.

Наукова новизна. Встановлена залежність між відносною зміною об'єму литої смуги на одиницю конвергенції бічних порід ΔV_K (m^{-1}) та відносною деформацією ϵ тримальної конструкції. Асимптотичний характер цієї залежності дозволяє визначити межі зони деформаційного ресурсу охоронної споруди, в якій переважають процеси конвергенції порід у виробці за рахунок зближення покрівлі та підосви пласта з боку виробленого простору і де переважну роль має наростання її тримкості.

Практичне значення. Дослідження особливостей деформаційних процесів при різних способах охорони та підтримання гірничих виробок дозволить вдосконалити методику прогнозу зміщень породного контуру у виробках, підтримуваних для повторного використання, що дозволить розробити заходи щодо забезпечення експлуатаційного стану підготовчих виробок, запобігання обваленням бічних порід та підвищення безпеки праці гірників у вугільних шахтах.

Ключові слова: підготовча виробка, лита смуга, деформаційні процеси, конвергенція, бічні породи, охорона виробок.

Вступ.

Основним напрямком підвищення безпеки і ефективності роботи комплексно-механізованих очисних вибоїв у глибоких газових вугільних шахтах є забезпечення стійкості підготовчих гірничих виробок, особливо таких, що підтримуються для повторного використання. Зі збільшенням глибини гірничих робіт гірничо-геологічні умови розробки вугільних пластів погіршується, тож набуває особливої важливості проблема підтримання і охорони підготовчих виробок. Погіршення стійкості виробок негативно впливає на умови провітрювання виїмкових ділянок, роботу шахтного транспорту і в цілому знижує безпеку гірничих робіт.

Однією з основних причин незадовільного стану підготовчих виробок є невідповідність застосовуваних способів охорони характеру розвитку деформаційних процесів, які відбуваються у вуглепородному масиві.

У багатьох випадках стійкість підготовчих виробок можна забезпечити за рахунок використання охоронних споруд, які знижують негативний вплив гірничого тиску на приконтурний масив. Для вирішення цього завдання необхідно оцінити вплив деформаційних процесів охоронних споруд на стійкість підготовчих виробок по довжині виїмкової ділянки. Наукові дослідження з цієї проблеми є актуальними і важливими, тому що використання їх результатів

дозволить розробити заходи щодо забезпечення експлуатаційного стану підготовчих виробок, запобігання обваленням бічних порід та підвищення безпеки праці гірників у вугільних шахтах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У глибоких вугільних шахтах у комплексі гірничих робіт особливе місце займає охорона підготовчих виробок. Одним з найбільш технологічних є спосіб охорони виробок литими смугами, який полягає у спорудженні з боку виробленого простору жорсткої конструкції з швидкоотвердуючої суміші. До переваг литих смуг відносять повну механізацію зведення споруд, які забезпечують охорону виробок на пластах із середньо- і важкообвалюваними породами покрівлі [1]. Водночас зі збільшенням товщини пластів окремою проблемою стає зростання вартості литої смуги [2]. Напрямами рішення цієї проблеми може бути використання пустої породи як наповнювача [3, 4, 5], підбір оптимального складу твердіючих сумішей та визначення оптимальної ширини смуги, що суттєво впливає на деформаційні характеристики охоронної споруди.

Вважається [6–8], що охоронні литі смуги ефективні на пологих пластах товщиною до 2,5 м із середньо- та важкообвалюваними породами. При цьому ширина смуги не повинна бути менше 1,0 м, а оптимальне співвідношення ширини смуги та товщини пласта має бути в діапазоні 1,0–1,5 [7, 9]. В роботах [7, 8] наводяться технологічні рекомендації щодо обґрунтування параметрів стандартних литих смуг. В роботі [9] розглядаються також комбіновані, двошарові смуги - з податливими та жорсткими елементами. Водночас, не приділяється достатньо уваги аналізу стану виробок на різних стадіях деформування охоронних споруд.

В якості в'язучої речовини при виготовленні литих смуг використовується цемент, природний та штучний ангідрид, фосфогіпс [7]. В умовах ШУ «Покровське» для зведення литих смуг переважно використовується цементно-мінеральна суміш «БІ-кріплення-3».

В дослідженнях [10, 11] показано, що спадаюча гілка діаграми деформування матеріалу литих смуг має різкий характер. Після створення блочної структури подальша

зміна міцності матеріалу литої смуги практично не збільшує тримкість охоронної споруди [10]. Це негативно відображається на стійкості бічних порід та деформування контуру підготовчої виробки. Важливо зазначити, що в такій ситуації не забезпечується опір осідання покрівлі і збільшується навантаження на аркове піддатливе кріплення підготовчої виробки.

У роботі [12] автори звертають увагу на те, що поряд з шириною литої смуги є важливою міцність опори та її помірна усадка. Важливими факторами є швидкість тужавіння твердіючого матеріалу і його міцність [7, 13, 14], а також співвідношення міцності на стиск литої смуги та порід покрівлі [4]. В реальних шахтних умовах навантаження охоронних споруд матеріал литої смуги працює в режимі надграничного деформування [14, 15]. Слід визначити, що в таких високонавантажених спорудах значну роль відводять енергетичним показникам руйнування. Саме такі показники визначають характер деформування матеріалу в надграничному стані, що впливає на оцінку тримкості охоронної споруди та її деформаційні процеси при розвантаженні вуглепородного масиву. Отже є доцільними проведення натурних досліджень деформаційних процесів охоронних споруд

Вплив деформаційних процесів литої смуги на стійкість підготовчої виробки необхідно враховувати при забезпеченні її експлуатаційного стану по довжині виїмкової ділянки та підвищення безпеки праці гірників від обвалень покрівлі.

Постановка завдання дослідження.

Дослідити деформаційні процеси литої смуги при розвантаженні вуглепородного масиву і оцінити їх вплив на стійкість підготовчих виробок по довжині виїмкової ділянки.

Матеріали та методи досліджень.

Для дослідження деформаційних процесів литої смуги, було проведено натурні дослідження в умовах блоку № 10 шахтоуправління «Покровське». Натурні дослідження проводились на горизонті 930 м у підготовчій виробці пласта d_4 . Спостереження проводились на експериментальній ділянці довжиною $l = 120$ м [16, 17]. Схема експериментальної ділянки наведена на рис. 1.

Гірничо-геологічні умови в межах ділянки: виймальна товщина — 1,0 м; кут падіння — 4° ; безпосередня покрівля — алевроліт середньої міцності, товщиною до 6,1 м, основна покрівля — пісковик сильно

тріщинуватий, товщиною до 2,8 м, безпосередня підшва — алевроліт середньої міцності, товщиною до 8,25 м, основна підшва — міцний пісковик, товщиною до 2,2 м.

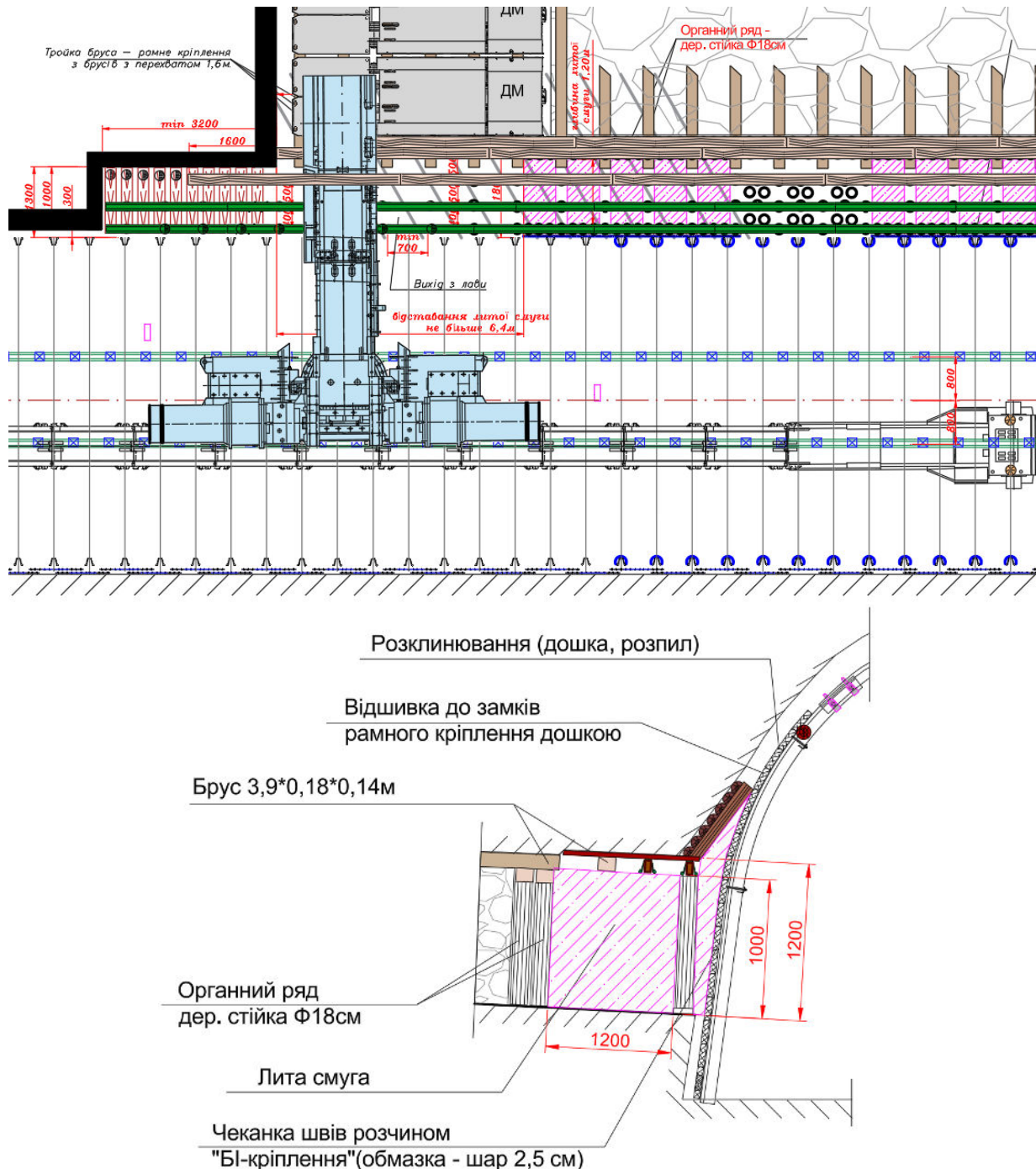


Рис. 1. Схема охорони підготовчої виробки виймальної ділянки літою смугою

На експериментальній ділянці була обладнана замірна станція (рис. 2). Під час проведення спостережень фіксувались переміщення реперів, які відображали конвергенцію бічних порід в міру просування

очисного забою по довжині підготовчої виробки. За допомогою маркшейдерської рулетки визначалась величина зближення реперів. Зміну площі поперечного перетину підготовчої виробки визначали шляхом

вимірювання висоти H (м) та ширини B (м). Похибка вимірювань становила ± 2 мм.

Проектна площа поперечного перетину підготовчої виробки $S = 25$ м². Виробка закріплена арковим кріпленням КМП-А5Р3 з відстанню між рамами 0,6 м. Спосіб охорони — лита смуга. Ширина охоронної конструкції 1,6 м (лита смуга 1,2 м та подвійний органний ряд із стояків діаметром 18 см). Для заповнення литої смуги використовувалась спеціальна швидкотвердіюча цементно-мінеральна суміш «БКріплення-3» і вода. Міцність на одноосове стиснення досягає 7 МПа через одну добу, 30 МПа через 28 діб.

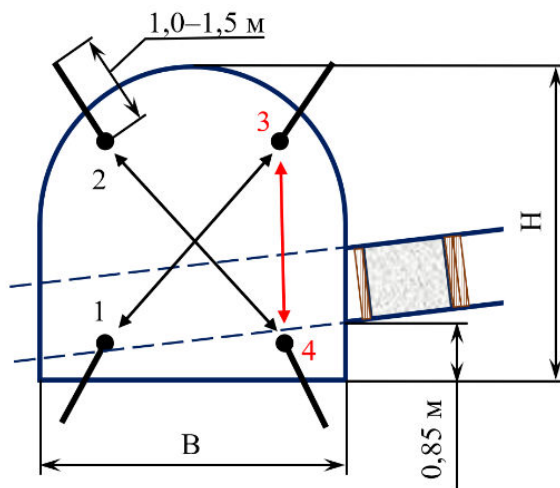


Рис. 2. Схема замірної станції у підготовчій виробці виїмкової ділянки пласта d_4 : 1–4 репери; H — висота виробки, м; B — ширина виробки, м.

Швидкість посування очисного вибою 135 м/міс. Спосіб управління покрівлею — повне обвалення.

Відносну деформацію ε охоронної споруди визначали за виразом

$$\varepsilon = \Delta h / h, \quad (1)$$

де $\Delta h = U$ — вертикальна конвергенція бічних порід (м), яка визначалась за зміщеннями реперів 3 та 4 (рис. 2);

h — початкова висота охоронної споруди (дорівнює виймальній товщині вугільного пласта), м.

Приріст конвергенції бокових порід ΔU (м) в міру просування очисного забою визначався за виразом

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

де i — номер інтервалу вимірювань.

Для згладжування короткострокових коливань та виявлення характерних тенденцій у зміні аналізованого параметра, застосовано метод простого ковзного середнього (з періодом усереднення 2) [18]

$$\Delta U_{cp} = \frac{\Delta U_i + \Delta U_{i-1}}{2}. \quad (3)$$

Відносна зміна об'єму δV литої смуги при розвантаженні вуглепородного масиву по експериментальній ділянці визначались за виразом:

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

де ν — коефіцієнт Пуассона (прийнято значення коефіцієнта Пуассона $\nu = 0,25$).

Питому зміну об'єму литої смуги на одиницю конвергенції бічних порід при розвантаженні вуглепородного масиву визначали за виразом

$$\Delta V_K = \frac{\delta V}{\Delta U_{cp}}. \quad (5)$$

Наведений підхід дозволяє оцінити вплив деформаційних процесів литої смуги на стійкість підготовчої виробки.

Виклад основного матеріалу.

Дослідження стійкості підготовчої виробки були виконані в зоні активного впливу гірничого тиску на експериментальній ділянці пласта d_4 . Експериментальні дані щодо конвергенції бічних порід на контурі виробки та зміни площі її поперечного перетину наведені в табл. 1.

Зафіксовано, що з віддаленням від очисного вибою від 10 м до 120 м, конвергенція бічних порід зростає від 0,06 м до 0,65 м, а площа поперечного перетину зменшується від 24,0 м² до 14,7 м².

Після обробки експериментальних даних були встановлені параметри деформації литої смуги (табл. 2).

На рис. 3 наведено графік зміни середнього значення приросту конвергенції бокових порід на контурі підготовчої виробки від відносної зміни об'єму литої смуги.

З наведеного графіку видно, що лита смуга у зоні активного впливу гірничого тиску позаду очисного забою деформується при дії зовнішніх сил, які проявляються в умовах розвантаження вуглепородного масиву. Водночас відбувається набір міцності в процесі тужавіння матеріалу

смуги. В результаті такої взаємодії бічних порід з литою смугою, середній приріст конвергенції бокових порід із збільшенням відносної зміни об'єму охоронної споруди спочатку збільшується, а потім поступово зменшується.

При зростанні відносної зміни об'єму литої смуги δV до 0,15 відбувається збільшення середнього приросту конвергенції бокових порід у виробці від 0,06 м до 0,1 м. Такий процес відбувається в умовах активних зміщень порід позаду очисного вибою в умовах набору міцності литою смугою. Подальше зменшення середнього приросту конвергенції бокових порід у виробці до 0,025-0,035 м при вказує на зростання опору литої смуги та одночасної стабілізації зміщень порід у виробленому просторі.

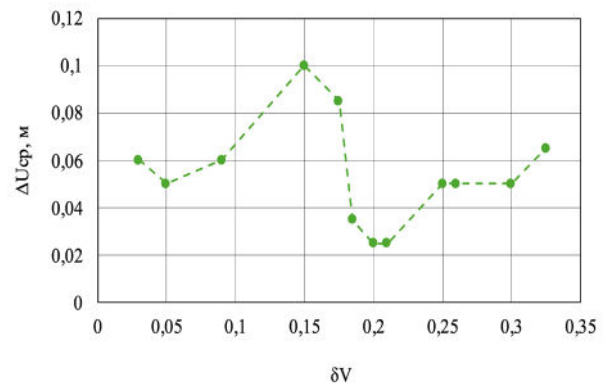


Рис. 3. Графік зміни середнього приросту конвергенції бокових порід $\Delta U_{ср}$ (м) на контурі підготовчої виробки від відносної зміни об'єму δV литої смуги в зоні активного впливу гірничого тиску позаду очисного забою.

Таблиця 1 - Експериментальні дані конвергенції бічних порід U (м) на контурі підготовчої виробки, зміни площі її поперечного перетину S (м²) по довжині l (м) експериментальної ділянки

$l, \text{ м}$	$U, \text{ м}$	$S, \text{ м}^2$	$l, \text{ м}$	$U, \text{ м}$	$S, \text{ м}^2$
10	0,06	24,5	70	0,40	16,0
20	0,10	24,2	80	0,42	15,3
30	0,18	23,5	90	0,50	15,1
40	0,30	21,0	100	0,52	15,0
50	0,35	19,2	110	0,60	14,9
60	0,37	19,0	120	0,65	14,8

Таблиця 2 - Параметри деформації литої смуги

$l, \text{ м}$	ε	$\Delta U, \text{ м}$	$\Delta U_{ср}, \text{ м}$	δV	$\Delta V_K (\text{м}^{-1})$
10	0,06	0,06		0,03	0,5
20	0,10	0,04	0,05	0,05	1,0
30	0,18	0,08	0,06	0,09	1,5
40	0,30	0,12	0,10	0,15	1,5
50	0,35	0,05	0,085	0,175	2,05
60	0,37	0,02	0,035	0,185	5,3
70	0,40	0,03	0,025	0,20	8,0
80	0,42	0,02	0,025	0,21	8,4
90	0,50	0,08	0,05	0,25	5,0
100	0,52	0,02	0,05	0,26	5,2
110	0,60	0,08	0,05	0,30	6,0
120	0,65	0,05	0,065	0,325	5,0

Подальше відновлення середнього приросту конвергенції бокових порід у виробці із зростанням відносних змін об'єму литої смуги вказує на втрату її тримкості (рис. 3).

На рис. 4 наведений графік відносної зміни об'єму литої смуги на одиницю конвергенції бічних порід від відносної деформації тримальної конструкції.

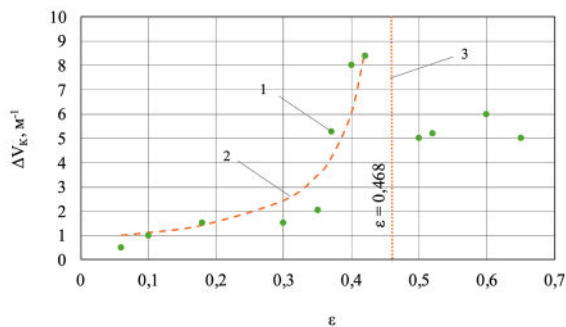


Рис. 4. Графік відносної зміни об'єму литої смуги на одиницю конвергенції бічних порід ΔV_K (м^{-1}) від відносної деформації ε тримальної конструкції: 1 – за експериментальними даними; 2 – гіперболічна апроксимація; 3 – асимптота.

Фіксується поступове гіперболічне зростання параметру ΔV_K в діапазоні відносної деформації охоронної споруди ε від 0 до 0,42 з $0,5 \text{ м}^{-1}$ до $8,4 \text{ м}^{-1}$. При цьому конвергенція порід у виробці спочатку зростає в зоні активних зрушень порід у виробленому просторі, а потім знижується, оскільки в цей період відбувається набір міцності охоронною спорудою. За відносної деформації 0,5 і більше значення параметру ΔV_K зменшується до $5-6 \text{ м}^{-1}$ і стабілізується на цьому рівні (принаймні в межах довжини експериментальної ділянки) (рис. 4, крива 1), при цьому приріст конвергенції порід повертається до початкового рівня внаслідок втрати тримкості литою смугою.

В межах деформаційного ресурсу охоронної споруди параметр ΔV_K змінюється за гіперболічною залежністю (рис 4, крива 2) виду

$$\Delta V_K = \frac{0,7}{0,8 - 1,71\varepsilon} \quad (6)$$

з коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,95$.

Функція (1) має вертикальну асимптоту, яка відповідає $\varepsilon = -0,8/1,71 \approx 0,47$. Це значення відносної деформації визначає межу зони зростання опору охоронної споруди.

На рис. 5 наведено графік зміни площі поперечного перетину підготовчої виробки від відносної зміни об'єму литої смуги на одиницю конвергенції бічних порід.

Зафіксована втрата площі поперечного перетину підготовчої виробки з $24,5 \text{ м}^2$ до $14,8 \text{ м}^2$ корелює із відносною зміною об'єму

литої смуги на одиницю конвергенції бічних порід ΔV_K із степеневу залежністю (рис 5, крива 2) виду

$$S = 22,82V_K^{-0,204}$$

з коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,92$ та середньою похибкою 3,84%.

Наведені графіки демонструють деформаційні процеси, які відбуваються у литій смузі при розвантаженні вуглепородного масиву з підготовчими виробками.

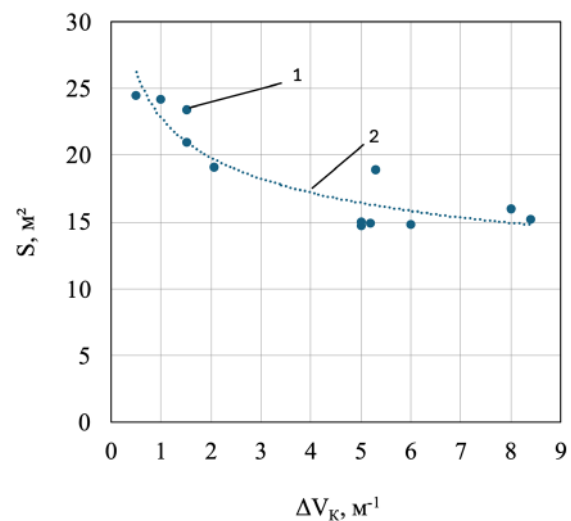


Рис. 5. Графік зміни площі поперечного перетину S (м^2) підготовчої виробки від відносної зміни об'єму литої смуги на одиницю конвергенції бічних порід ΔV_K (м^{-1}) в зоні активного впливу гірничого тиску позаду очисного забою: 1 – за експериментальними даними; 2 – степенева апроксимація.

Обговорення результатів. Результати шахтних досліджень в умовах блоку № 10 ШУ «Покровське» дозволили оцінити вплив деформаційних процесів литої смуги на стійкість в підготовчій виробки по довжині виїмкової ділянки. Для цього використовували експериментальні дані спостережень конвергенції бічних порід, її приросту в міру віддалення від очисного вибою та зміну площі її поперечного перетину. Деформаційні процеси, які спостерігалися у виробці та у литій смузі, дозволили оцінити її тримкість у зоні активного впливу гірничого тиску позаду очисного забою по довжині експериментальної ділянки.

Для конкретних гірничо-геологічних умов встановлено, що в межах безпечного деформаційного ресурсу литої смуги відбуваються процеси набору міцності. Такі процеси при відносній деформації до 0,34 і, відповідно, при відносній зміні об'єму до 0,17, супроводжуються усадкою охоронної споруди, яка в цих умовах поступово набирає номінальну міцність. В діапазоні значень ε від 0,34 до 0,42 відбувається зростання опірності литої смуги, що дозволяє обмежити переміщення бічних порід у виробленому просторі вуглепородного масиву.

Порушення цілісності литої смуги при $\varepsilon > 0,42 \dots 0,46$ та, відповідно, $\delta V > 0,21 \dots 0,23$, є причиною втрати тримкості охоронної споруди. Цей процес спричиняє додаткові зміни в геометрії охоронної споруди, що супроводжується деформаційними процесами, які пов'язані зі зміною об'єму. Через порушення цілісності охоронної споруди відмічається збільшення приросту конвергенції бічних порід і подальші зміщення бічних порід у виробці визначаються загальними деформаційними процесами, що відбуваються у вуглепородному масиві, який вміщує виробку.

Встановлена гіперболічна залежність між відносною зміною об'єму охоронної споруди на одиницю конвергенції бічних порід ΔV_K (м^{-1}) та її відносною деформацією ε при розвантаженні вуглепородного масиву має асимптотичний характер, який визначає межу зони, в якій відбувається зростання опору охоронної споруди. Перехід від гіперболічного зростання параметру ΔV_K (м^{-1}) до певного стабільного рівня позначає перехід до стадії, коли зміщення бокових порід у виробці спричиняються загальними деформаційними процесами у вуглепородному масиві, а лита смуга частково втрачає тримкість.

Встановлена степенева регресія визначає зв'язок між зміною площі поперечного перетину підготовчої виробки та відносною зміною об'єму литої смуги на одиницю конвергенції бічних порід. В межах експериментального діапазону спостережень зафіксовані втрати площі понад 40%.

Експлуатаційний стан підготовчої виробки забезпечується при відносній деформації литої смуги $\varepsilon < 0,46$. При подальших зміщеннях відбувається руйнування литої смуги, деформування

аркового піддатливого кріплення. Втрата стійкості гірничої виробки знижує рівень безпеки праці гірників на виїмковій ділянці вугільної шахти, зменшення площі перетину обмежує ефективність провітрювання і як наслідок – зменшує допустиме за газовим фактором навантаження на очисний вибій.

Таким чином, лита смуга виконує функції тримальної конструкції лише у певному діапазоні деформаційних властивостей. При зростанні опірності охоронної споруди відбувається обмеження переміщень бічних порід на контурі підготовчої виробки. В таких умовах обвалення покрівлі стають малоімовірними. Порушення цілісності литої смуги є причиною втрати тримкості охоронної споруди, що у часі призводить до інтенсивного деформування аркового піддатливого кріплення та втрати площі поперечного перетину підготовчої виробки.

Висновок.

Створення безпечних умов експлуатації виробок, підтримуваних для повторного використання на виїмкових ділянках вугільної шахти, забезпечується за рахунок збереження стійкості підготовчих виробок з урахуванням деформаційних процесів охоронних споруд, які впливають на їх тримкість та запобігають обваленням бічних порід. Експериментально встановлено, що в зоні активних зміщень порід позаду очисного забою по довжині виїмкової ділянки при охороні підготовчої виробки литою смугою, між відносною зміною її об'єму на одиницю конвергенції бічних порід ΔV_K (м^{-1}) та відносною деформацією ε існує гіперболічна залежність. Наявність встановленої залежності дозволяє оцінити вплив деформації литої смуги в умовах активного розвантаження вуглепородного масиву на стійкість підготовчої виробки. Асимптотичний характер цієї залежності дозволяє визначити межі зони, в якій переважають процеси конвергенції порід у виробці за рахунок зближення покрівлі та підшви пласта з боку виробленого простору і де переважну роль має наростання тримкості охоронної споруди. Для конкретних гірничо-геологічних умов при $\varepsilon > 0,42 \dots 0,46$ зафіксовано зниження тримкості литої смуги, що з часом призводить до втрати площі

поперечного перетину підготовчої виробки понад 40%.

В таких умовах виникає необхідність застосування спеціальних заходів щодо підвищення стійкості підготовчої виробки.

Список літератури

1. Development of new auxiliary measures for protecting preparatory roadways by the cast strips / A. O. Yalanskiy et al. *Geo-Technical mechanics*. 2018. No. 141. P. 3–17. URL: <https://doi.org/10.15407/geotm2018.141.003>
2. Study on the new layout pattern about the gob-side entry under dynamic pressure and its surrounding rock stability control / M. Wang et al. *Energy Science & Engineering*. 2024. URL: <https://doi.org/10.1002/ese3.1667>
3. Waste rock filling in fully mechanized coal mining for goaf-side entry retaining in thin coal seam / J. Li et al. *Arabian Journal of Geosciences*. 2019. Vol. 12, no. 16. URL: <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4650-3>
4. Sakhno I. G., Sakhno S. V., Kamenets V. I. Stress environment around head entries with pillarless gobside entry retaining through numerical simulation incorporating the two type of filling wall. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 1049, no. 1. P. 012011. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1049/1/012011>
5. Nehrii S., Nehrii T., Piskurska H. Physical simulation of integrated protective structures. *E3S Web of Conferences*. 2018. Vol. 60. P. 00038. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000038>
6. Tripolski V. N., Buryak N. A., Vojtovich T. G. Technological schemes for supporting reused gate roads by the cast strips. *Geo-Technical mechanics*. 2018. No. 140. P. 13–22. URL: <https://doi.org/10.15407/geotm2018.03.013>
7. Геомеханічні основи підвищення стійкості підготовчих виробок / В. І. Бондаренко та ін. Дніпропетровськ : ДВНЗ «Нац. гірн. ун-т», 2010. 408 с.
8. Байсаров Л. В., Ильяшов М. А., Демченко А. И. Геомеханика и технологии поддержания повторно используемых горных выработок. Днепропетровск : ЧП «Лира», 2005. 240 с..
9. Maintenance of reusable mine workings during the augering mining of coal seams / V. Bondarenko et al. *E3S Web of Conferences*. 2018. Vol. 60. P. 00001. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000001>
10. Сергиенко В. Н., Кожушок О. Д., Прохорец Л. В. Комплексные исследования деформационно-прочностных свойств твердеющих материалов для литых полос. *Geo-Technical Mechanics*. 2006. № 66. С. 96–102. URL: <http://geotm.dp.ua/attachments/article/7442/97-103>
11. Stability analysis and control technology of gob-side entry retaining with double roadways by filling with high-water material in gently inclined coal seam / S. Xie et al. *International Journal of Coal Science & Technology*. 2022. Vol. 9, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1007/s40789-022-00524-x>
12. Research on the width of filling body in gob-side entry retaining with high-water materials / Q. Chang et al. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018. Vol. 28, no. 3. P. 519–524. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.12.016>
13. Determination of Reasonable Width of Filling Body for Gob-Side Entry Retaining in Mining Face with Large Cutting Height / S. Pu et al. *Geofluids*. 2022. Vol. 2022. P. 1–11. URL: <https://doi.org/10.1155/2022/1774110>
14. Study on Filling Support Design and Ground Pressure Monitoring Scheme for Gob-Side Entry Retention by Roof Cutting and Pressure Relief in High-Gas Thin Coal Seam / H. Li et al. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022. Vol. 19, no. 7. P. 3913. URL: <https://doi.org/10.3390/ijerph19073913>
15. Крусъ Ю. О. Практичний метод визначення малоциклової втомленості бетону при стиску. *Бетон і железобетон в Україні*. 2000. № 4. С. 10–17.
16. Чепіга Д.А., Гнатюк В.В., Підгурна О.Ю. Оцінка стійкості підготовчої гірничої виробки при способі охорони литими смугами. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2024. № 1(54). С. 160–168. URL: <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2024-1-160-168>
17. Гнатюк В., Підгурна О., Василенко В. Охорона підготовчих гірничих виробок литими смугами. *Технології і процеси в гірництві та будівництві* : Матеріали XII Міжнар. науково-практ. конф., м. Луцьк, 25–27 квіт. 2024 р. Луцьк, 2024. С. 64–66.
18. Experimental research on the haulage drifts stability in steeply dipping seams / I. Iordanov et al. *Mining of Mineral Deposits*. 2021. Vol. 15, no. 4. P. 56–67. URL: <https://doi.org/10.33271/mining15.04.056>

References

1. Yalanskiy, A. O., Panchenko, A. G., Byblyuk, B. S., & Buryak, N. A. (2018). Development of new auxiliary measures for protecting preparatory roadways by the cast strips. *Geo-Technical Mechanics*, (141), 3–17. <https://doi.org/10.15407/geotm2018.141.003>
2. Wang, M., Guo, H., Wang, J., Wang, Q., Zhang, L., & Wang, B. (2024). Study on the new layout pattern about the gob-side entry under dynamic pressure and its surrounding rock stability control. *Energy Science & Engineering*. <https://doi.org/10.1002/ese3.1667>
3. Li, J., Liu, Y., Yu, W., Wang, D., Zhang, J., & Song, H. (2019). Waste rock filling in fully mechanized coal mining for goaf-side entry retaining in thin coal seam. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(16). <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4650-3>
4. Sakhno, I. G., Sakhno, S. V., & Kamenets, V. I. (2022). Stress environment around head entries with pillarless gobside entry retaining through numerical simulation incorporating the two type of filling wall. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1049(1), 012011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1049/1/012011>
5. Nehrii, S., Nehrii, T., & Piskurska, H. (2018). Physical simulation of integrated protective structures. *E3S Web of Conferences*, 60, 00038. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000038>
6. Tripolski, V. N., Buryak, N. A., & Vojtovich, T. G. (2018). Technological schemes for supporting reused gate roads by the cast strips. *Geo-Technical Mechanics*, (140), 13–22. <https://doi.org/10.15407/geotm2018.03.013>

7. Bondarenko, V. I., Biletskyi, V. S., Krus, Yu. O., ta in. (2010). Heomekhanichni osnovy pidvyshchennia stiikosti pidhotovchykh vyrobok. Dnipro: DVNZ «Nats. hirn. un-t». (in Ukrainian)
8. Байсаров, Л. В., Льяшов, М. А., & Демченко, А. И. (2005). Геомеханика и технологии поддержания повторно используемых горных выработок. Днепропетровск: ЧП «Лири». (in Russian)
9. Bondarenko, V., Kononenko, M., Protodiakonov, A., & Chepiga, D. (2018). Maintenance of reusable mine workings during the augering mining of coal seams. *E3S Web of Conferences*, 60, 00001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000001>
10. Sergienko, V. N., Kozhushok, O. D., & Prokhorets, L. V. (2006). Kompleksnie issledovaniya deformatsionno-prochnostnikh svoistv tverdeyushchikh materialov dlya litikh polos. *Geo-Technical Mechanics*, (66), 96–102. <http://geotm.dp.ua/attachments/article/7442/97-103> (in Russian)
11. Xie, S., Wang, G., Wang, S., Zhang, J., & Tang, D. (2022). Stability analysis and control technology of gob-side entry retaining with double roadways by filling with high-water material in gently inclined coal seam. *International Journal of Coal Science & Technology*, 9(1). <https://doi.org/10.1007/s40789-022-00524-x>
12. Chang, Q., Zhu, Y., Wang, J., & Yang, J. (2018). Research on the width of filling body in gob-side entry retaining with high-water materials. *International Journal of Mining Science and Technology*, 28(3), 519–524. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.12.016>
13. Pu, S., Li, Y., Zhang, J., & Du, J. (2022). Determination of reasonable width of filling body for gob-side entry retaining in mining face with large cutting height. *Geofluids*, 2022, Article 1774110. <https://doi.org/10.1155/2022/1774110>
14. Li, H., Zhang, Y., Wang, G., Ma, C., & Yang, J. (2022). Study on filling support design and ground pressure monitoring scheme for gob-side entry retention by roof cutting and pressure relief in high-gas thin coal seam. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(7), 3913. <https://doi.org/10.3390/ijerph19073913>
15. Krus, Yu. O. (2000). Praktychnyi metod vyznachennia malotsyklovoi vtomlenosti betonu pry stysku. Beton i zalizobeton v Ukraini, (4), 10–17. (in Ukrainian)
16. Chepiha, D. A., Hnatiuk, V. V., & Pidhurna, O. Yu. (2024). Otsinka stiikosti pidhotovchoi hirnychoi vyrobky pry sposobi okhorony lytymy smuhamy. *Visti Donetskoho hirnychoho instytutu*, (1[54]), 160–168. <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2024-1-160-168> (in Ukrainian)
17. Hnatiuk, V., Pidhurna, O., & Vasylenko, V. (2024). Okhorona pidhotovchykh hirnychikh vyrobok lytymy smuhamy. In *Tekhnolohii i protsesy v hirnytstvi ta budivnytstvi: Materialy KhII Mizhnar. nauk.-prakt. konf., m. Lutsk, 25–27 kvit. 2024 r.* (pp. 64–66). Lutsk. (in Ukrainian)
18. Jordanov, I., Bondarenko, V., Chepiga, D., Saik, P., & Gnatyuk, V. (2021). Experimental research on the haulage drifts stability in steeply dipping seams. *Mining of Mineral Deposits*, 15(4), 56–67. <https://doi.org/10.33271/mining15.04.056>

Надійшла до редакції 05.05.2025

Рецензент д-р. техн. наук, проф. Олександр КІПКО

Подкопась Сергій Вікторович – д.т.н., проф., професор кафедри цивільної безпеки, Луцький національний технічний університет, (вул. Львівська, 75, м Луцьк, Україна, 43018).

E-mail: serhii.podkopaiev@donntu.edu.ua

ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-6051-4719>

Бачурін Леонід Леонідович — кандидат технічних наук, доцент кафедри управління гірничим виробництвом і охорона праці ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (вул. Шевченка, 9, м. Дрогобич, Львівська обл., 82100, Україна).

E-mail: leonid.bachurin@donntu.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2513-7284>

Чепіга Дар'я Анатоліївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри управління гірничим виробництвом і охорона праці ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (вул. Шевченка, 9, м. Дрогобич, Львівська обл., 82100, Україна).

Email: daria.chepiha@donntu.edu.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3331-9128>

Бачуріна Ярослава Павлівна — старший викладач кафедри управління гірничим виробництвом і охорона праці ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (вул. Шевченка, 9, м. Дрогобич, Львівська обл., 82100, Україна).

E-mail: yaroslava.bachurina@donntu.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6964-040X>

Підгурна Ольга Юріївна - начальник бюро РСЗР управління з проєктно-вишукувальних робіт ТОВ "Шахта "Свято-Покровська №3" (пл. Шибанкова, 2А, м. Покровськ, , Україна)

E-mail: olga.pidgurnaya@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1844-1037>

Полій Данило Васильович – аспірант кафедри управління гірничим виробництвом Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», (вул. Шевченка, 9, м. Дрогобич, Львівська обл., 82100, Україна).

E-mail: Polii.Daniil@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3374-815X>

Вісин Олена – к.т.н., доцент кафедри цивільної безпеки, Луцький національний технічний університет, (вул. Львівська, 75, м Луцьк, Україна, 43018).
E-mail: lena_visyn@ukr.net
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2361-6708>

IMPACT OF FILLING WALL DEFORMATION ON THE STABILITY OF THE GOB-SIDE ENTRY ROADWAY

Purpose. To evaluate the effect of filling wall deformation on the stability of the gob-side entry roadway along the length of the longwall panel to create safe operating conditions for roadways, which are maintained behind the working face.

Methods. The deformation of the filling wall was studied in situ based on observations of the displacement of the reference benchmarks on the contour of the gob-side entry roadway along the length of the experimental section. The change in the cross-sectional area of the roadway was recorded.

Results. For certain mining and geological conditions, it was established that up to the values of relative strain $\varepsilon = 0.42 \dots 0.46$, the roof-to-floor convergence in the roadway from the gob side is determined primarily by the deformation of the filling wall, which gains strength gradually. Further displacements ($\varepsilon > 0.47$, $\delta V > 0.23$) are caused by deformation processes in the surrounding rock mass and loss of strength by the filling wall, which over time leads to intense deformation of the arched flexible support and loss of cross-sectional area of the preparatory mining working.

Novelty. The relationship between the relative change in the volume of the filling wall body per unit of roof-to-floor convergence, ΔV_K (m^{-1}), and the relative deformation ε of the supporting structure has been established. The asymptotic nature of this dependence allows us to determine the boundaries of the deformation resource zone of the protective structure, in which the processes of convergence of rocks in the production process prevail due to the convergence of the roof and the bottom of the formation from the side of the produced space and where the increase in its strength plays a predominant role.

Practical implications. The study of the peculiarities of deformation processes during different methods of protection and support of gob-side retained roadways will allow the improvement of the methodology for predicting displacements of the rock contour in roadways maintained for reuse, which will allow developing measures to ensure the operational condition of preparatory workings, prevent collapse of side rocks, and improve the safety of miners in coal mines.

Keywords: gob-side entry retaining, filling wall, deformation, roof-to-floor convergence, secondary support.

Serhii Podkopaiev - Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Civil Security, Lutsk National Technical University (Lvivska str., 75, Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43018).

E-mail: serhii.podkopaiev@donntu.edu.ua

ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-6051-4719>

Leonid Bachurin — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mining Management and Labor Protection, Donetsk National Technical University (9 Shevchenko Str., Drohobych, Lviv Oblast, 82100, Ukraine).

E-mail: leonid.bachurin@donntu.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2513-7284>

Daria Chepiga— Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mining Management and Labor Protection, Donetsk National Technical University (9 Shevchenko Str., Drohobych, Lviv Oblast, 82100, Ukraine).

Email: daria.chepiha@donntu.edu.ua.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3331-9128>

Yaroslava Bachurina — Senior Lecturer at the Department of Mining Management and Labor Protection, Donetsk National Technical University (9 Shevchenko Str., Drohobych, Lviv Oblast, 82100, Ukraine).

E-mail: yaroslava.bachurina@donntu.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6964-040X>

Olha Pidhurna – Head of the Design and Survey Department at Sviato-Pokrovska No. 3 Mine LLC (Shibankova sq., 2a, Pokrovsk, Ukraine).

E-mail: olga.pidgurnaya@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1844-1037>

Danylo Polii – Department of Mining Management and Labor Protection Donetsk National Technical University, (9 Shevchenko Str., Drohobych, Lviv Oblast, 82100, Ukraine).

E-mail: Polii.Daniil@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3374-815X>

Olena Visyn - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Civil Security, Lutsk National Technical University (Lvivska str., 75, Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43018).

E-mail: lena_visyn@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2361-6708>