

УДК 622.286.6:622.834

<https://doi.org/10.31474/1999-981X-2022-1-68-80>

Я.О. Ляшок
С.В. Подкопаєв
Л.Л. Бачурін
Г.Е. Бойченко
О.М. Ткачук

ВПЛИВ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОХОРОННИХ СПОРУД ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК НА ЇХ СТІЙКІСТЬ ЗА ДОВЖИНОЮ ВИЇМКОВОЇ ДІЛЬНИЦІ

Мета. Для підвищення ефективності заходів щодо зниження травматизму та створення безпечних умов праці гірників у глибокій вугільній шахті крутого падіння, оцінити вплив деформаційних властивостей охоронних споруд підготовчих виробок на їх стійкість у вуглепородному масиві за довжиною виїмкової ділянки.

Методи. Для досягнення поставленої мети були проаналізовані результати шахтних інструментальних спостережень стійкості відкатних штреків крутих пластів за різних способів охорони з урахуванням деформаційних властивостей охоронних споруд та особливостей геомеханічних процесів у вуглепородному масиві при розвантаженні.

Результати. Умови підтримання підготовчих виробок у межах виїмкової ділянки при практикованих на шахті способах охорони, оцінювалися величиною конвергенції бічних порід на контурі відкатного штреку та її похідними. Визначено, що у зоні впливу очисних робіт, у процесі деформування ціликів вугілля або куців зі стояків до 16-22%, відбувається втрата їхньої стійкості, збільшення навантаження на охоронну споруду, інтенсифікація приросту зміщень покрівлі понад 0,08 м зі швидкістю конвергенції 4,5 -5,6 мм/добу. У процесі деформування дерев'яних кострів на 65 %, швидкість конвергенції на початковому етапі (30% деформації) збільшується до 5,1 мм/добу, з середнім приростом зміщень покрівлі до 0,05 м, а потім з плином часу плавно зменшується, що сприятливо позначається на стійкості бічних порід і виробок. Зменшення поперечного перерізу відкатного штреку при його охороні ціликами вугілля або куцями зі стояків на 45-50% є результатом руйнувань охоронних споруд, коли швидкість конвергенції бічних порід по довжині виїмкової ділянки не обмежується. При охороні відкатного штреку дерев'яними кострами, зменшення перерізу штреку на 30% відбувається за рахунок стиснення охоронних конструкцій, що сприяє обмеженню приросту зміщень покрівлі та зменшенню швидкості конвергенції бічних порід позаду очисного забою.

Новизна. Оцінка стійкості відкатних штреків крутих пластів по довжині виїмкової ділянки, ґрунтується на використанні закономірностей деформаційних властивостей охоронних споруд підготовчих виробок та геомеханічних процесів у вуглепородному масиві, коли в зоні впливу очисних робіт враховується зміна швидкості конвергенції бічних порід на контурі виробок.

Практична значимість. Для запобігання обваленням бічних порід на виїмкових ділянках глибоких вугільних шахт з крутим заляганням пластів, необхідно використовувати для охорони підготовчих виробок піддатливі засоби охорони.

Ключові слова: покрівля, підошва, відкатний шрек, стійкість, деформаційні властивості, охоронні споруди, виїмкова ділянка, швидкість конвергенції

Вступ.

Ефективність роботи вугільної шахти залежить від стану підготовчих виробок, які є транспортними та вентиляційними магістралями і забезпечують доступ до запасів вугілля. Підготовчі виробки, що у зоні впливу очисних робіт, піддаються інтенсивному руйнуванню, включаючи і динамічні форми прояви гірничого тиску, що негативно впливає на їх стійкість та безпеку робіт.

У Центральному районі Донбасу трудомісткість підтримання виробок на 1000 т. вугілля, що видобувається, сягає 82-85 люд.-змін, а 30% їх протяжності мають незадовільні розміри поперечних перерізів.

Щорічно доводиться ремонтувати до 40% загальної протяжності виробок. З них 85-90% це ремонт виробок, розташованих в зоні впливу очисних робіт. Роботи з перекріплення відкатних та вентиляційних штреків на виїмкових ділянках виконуються вручну і становлять небезпеку для гірників.

Основним завданням розвитку підземного комплексу вугільної шахти є довготривале підтримання мережі гірничих виробок в експлуатаційному стані. Отже, проблема забезпечення стійкості підготовчих виробок набуває дедалі більшого значення зі збільшенням глибини гірничих робіт. Питання вибору способів охорони у

складних умовах експлуатації є актуальними, а від їх вирішення залежить безпека робіт та техніко-економічні показники роботи шахт.

Аналіз останніх досягнень та публікацій.

На сьогодні в Центральному районі Донбасу при поверховому способі підготовки крутих пластів та способі управління покрівлею в очисному забої повним обваленням, для охорони відкатних штреків використовують цілики вугілля, куші з дерев'яних стояків та дерев'яні костри [1—3]. Однак при практикованих на шахтах способах охорони забезпечити задовільний стан підготовчих виробок на виїмкових дільницях не завжди є можливим.

Відомо [4], що міцнісні та деформаційні властивості вугільних ціликів визначаються наявністю в них дефектів та їх характеристиками. У вуглепородному масиві з виробками цілики перебувають у граничному напружено-деформованому стані та їх тримкість недостатня для підтримання підроблених порід [4]. Зростаючі поступово навантаження на цілик, при зменшенні його площі, можуть доповнюватися динамічними перевантаженнями від порід покрівлі, здатних до зависання та подальшого обвалення на великих площах [5, 6]. При вивченні міцності вугільних ціликів, призначених для охорони підготовчих виробок, раніше було встановлено, що їх руйнування відбувається в результаті зсуву по поверхнях ослаблення, що утворилися всередині нього [4, 5]. У міру навантаження цілика до моменту зсуву, накопичення навантажень у ньому відбувається за лінійною залежністю при відносно невеликих деформаціях [7, 8]. У таких умовах охоронні вугільні цілики схильні до руйнування та висипання. Стійкість виробок, що охороняються, погіршується, кріплення деформується, бічні породи руйнуються.

Ряд дослідників [1, 9] пропонують використовувати для охорони підготовчих виробок куші з дерев'яних стояків, що дозволить зберегти стійкість відкатних штреків у зоні впливу очисних робіт. Проте, використання кушів із стояків не завжди буває раціональним з погляду стійкості бічних порід. Наявність кушового кріплення над штреком, сприяє концентрації напружень

у покрівлі та підосві, що призводить з часом до руйнування порід та їх обвалення у виробки.

Для забезпечення стійкості дільничних підготовчих виробок, що примикають до очисного вибою, пропонується використовувати дерев'яні костри з круглого лісу і шпал. Використання цього способу охорони дозволить забезпечити плавний прогин бічних порід у вуглепородному масиві над відкатним штреком і зберегти виробку в експлуатаційному стані [1, 7, 8, 10—13]. Безпека та ефективність роботи виїмкової дільниці у вугільній шахті визначаються станом гірничих виробок, коли забезпечується стійкість бічних порід у виробленому просторі вуглепородного масиву [11]. Це було показано у дослідженнях [12], коли спостерігалися зміщення бічних порід на контурі відкатних штреків та встановлювалася величина приросту зміщень покрівлі при різних способах охорони. Однак при цьому не враховувалась зміна швидкості конвергенції бічних порід на контурі підготовчої виробки по довжині виїмкової дільниці.

Однією з основних причин погіршення стійкості підготовчих виробок та збільшення витрат на їх підтримання в експлуатаційному стані є недостатня вивченість геомеханічних процесів, що протікають у вуглепородному масиві під час розвантаження. При практикованих способах охорони, характер процесів деформування та руйнування бічних порід в масиві обумовлюється напруженим станом та перерозподілом напружень в результаті ведення гірничих робіт. Така геомеханічна обстановка навколо відкатних штреків у вуглепородному масиві обумовлюється також деформаційно-міцнісними характеристиками охоронних споруд, які змінюються з урахуванням гірничо-геологічних та гірничо-технічних факторів. Слід зазначити, що структура, склад та міцнісні властивості бічних порід у межах виїмкової дільниці, як правило, змінюються, що суттєво впливає на стійкість виробок. Тому встановлення величин зміщень порід на контурі підготовчих виробок, визначення швидкості їх протікання з урахуванням деформаційних властивостей охоронних споруд, а також правильне розуміння при цьому особливостей геомеханічних процесів дозволить

обґрунтувати вибір раціонального способу охорони в конкретних гірничо-геологічних умовах і підвищити рівень безпеки праці гірників у відкатних штреках на виїмкових ділянках глибоких шахт.

Постановка завдання досліджень.

Оцінити вплив геомеханічних процесів у вуглепородному масиві при розвантаженні та деформаційних властивостей охоронних споруд підготовчих виробок на їх стійкість по довжині виїмкової ділянки у глибокій вугільній шахті з крутим заляганням пластів.

Методи досліджень.

Для дослідження стійкості відкатних штреків крутих пластів за різних способів охорони, в умовах шахти «Центральна» ДП «Торецьквугілля» при розробці пласта І₅ на гор. 1146 м, були проведені натурні експерименти за зміщенням бічних порід на контурі підготовчої виробки по довжині виїмкової ділянки.

Гірничо-геологічні умови експериментальної ділянки вугільного пласта І₅:

- кут падіння $\alpha = 59$ град.;
- товщина пласта, $m = 0,6$ м;
- бічні породи:
 - безпосередня покрівля – глинистий сланець товщиною до $m = 1,7—2,5$ м;
 - основна покрівля – глинистий сланець товщиною до $m = 10$ м;
 - безпосередня підшва – глинистий сланець, піщано-глинистий сланець товщиною $m = 2,0$ м;
 - основна підшва – пісковик товщиною $m = 10$ м.

Параметри способів охорони (ціликами вугілля 8×5 м, кущами зі стояків 3×3 м, кострами з дерев'яних шпал 6×5 м), конфігурація експериментальних ділянок та розташування вимірювальних станцій, схема вимірювань наведені у роботах [8, 12]. Схема вимірювальної станції наведена на рис. 1.

Площа поперечного перерізу відкатного штреку $8,5 \text{ м}^2$. Відстань між рамами аркового кріплення АП-3 з дерев'яною затяжкою $0,8$ м. Штрек проводився за допомогою буровибухових робіт (БВР). Спосіб управління покрівлею в очисному забої - повне обвалення. Виїмка вугілля здійснювалася у уступному вибої, за допомогою відбійних молотків.

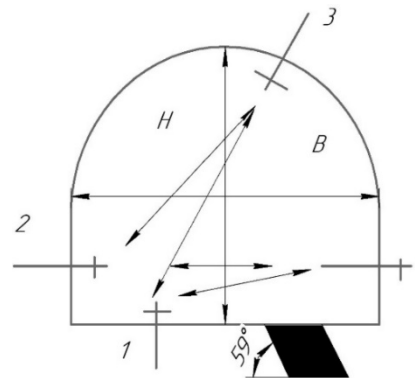


Рис. 1. Схема вимірювальної станції для визначення конвергенції бічних порід на контурі відкатного штреку та зміни площі його перетину: 1, 2 - репери з боку підшви пласта; 3, 4 - репери з боку покрівлі пласта; Н – висота, м; В - ширина, м.

Навантаження P (H) на охоронну споруду визначалося із закону Гука за виразом

$$P = E \cdot S \cdot \Delta h / h, \quad (1)$$

де E - модуль пружності, Па;

S - площа поперечного перерізу охоронної споруди, м^2 ;

$\Delta h / h$ - відносна деформація охоронної споруди;

Δh - вертикальна конвергенція за даними вимірів у штреку, м;

h - висота охоронної споруди (відповідає потужності вугільного пласта);

Значення модуля пружності охоронних споруд представлені в табл. 2.

Таблиця 2. Значення модуля пружності E охоронних споруд

Охоронна споруда	E , ГПа
Цілики вугілля	3,3
Кущі з дерев'яних стояків	12,6
Дерев'яні костри	0,52

У виразі (1) параметр S приймався виходячи з перерахунку площі поперечного перерізу охоронної споруди, що припадає на 1 погонний метр і відповідає: $S = 8 \text{ м}^2$ для ціликів вугілля, $S = 3 \text{ м}^2$ для кущів із дерев'яних стояків та $S = 6 \text{ м}^2$ для дерев'яних кострів. За величину Δh приймалася зміна

відстані між реперами, встановленими у покрівлі та підшві виробки перпендикулярно до лінії падіння пласта.

Для аналізу стійкості відкатного штреку, з урахуванням зміщення порід на контурі та деформаційних властивостей охоронних споруд, як показовий індикатор використовувалася оцінка приросту зміщень покрівлі Δu (м) на контурі виробки при різних способах охорони в міру видалення вимірної станції від очисного вибою:

$$\Delta u = u_{(1-3)i} - u_{(1-3)i-1} \quad (2)$$

Для згладжування короткострокових коливань та виявлення тенденцій у змінах аналізованого параметра, використовувався метод простого ковзного середнього [14] з періодом 2 [12]:

$$\Delta u = \frac{\Delta u_i - \Delta u_{i-2}}{2}, \quad (3)$$

Наявність інформації щодо зміни зміщень у часі дозволяє визначити швидкість V (мм/добу) конвергенції бічних порід на

контурі відкатного штреку при різних способах охорони:

$$V = \frac{u_{(1-3)i}}{\Delta t_i}, \quad (4)$$

Δt_i - інтервал часу між вимірами зміщень реперів 1-3, діб.

Жорсткість C (Н/м) охоронних споруд визначали за виразом [14—16]

$$C = \frac{P}{\Delta h}. \quad (5)$$

Сукупність зазначених спостережень дозволяють проаналізувати стан підготовчих виробок за різних способів охорони з урахуванням деформаційних властивостей охоронних споруд та особливостей геомеханічних процесів у вуглепородному масиві при розвантаженні.

Результати досліджень. На рис. 2 представлені графіки зміщень U (мм) бічних порід на контурі відкатного штреку при різних способах охорони за час спостережень T (діб).

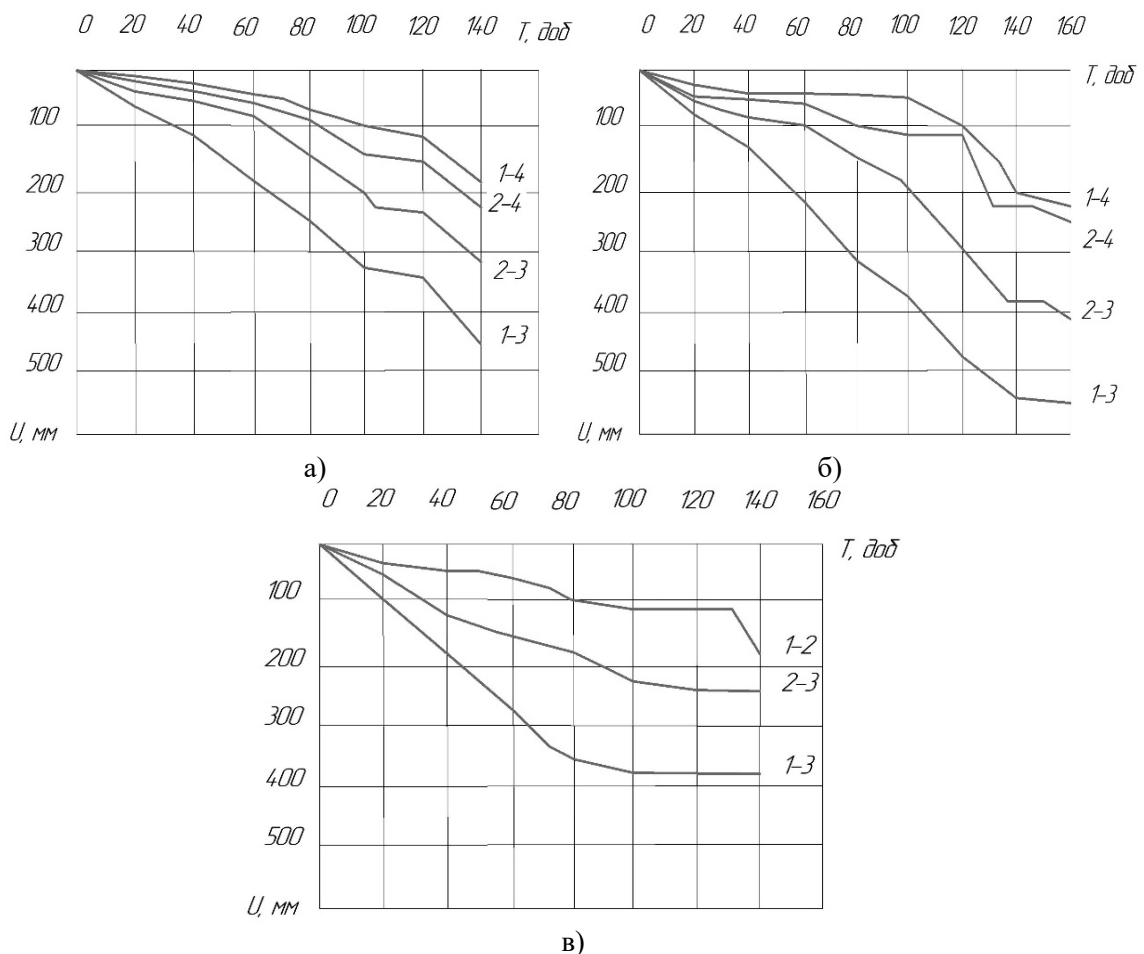


Рис. 2. Графіки зміщень U (мм) бічних порід на контурі відкатного штреку при різних способах охорони за час спостережень T (діб): а) ціликами вугілля; б) куцями із дерев'яних стояків; в) дерев'яними кострами: 1-4; 2-4; 2-3; 1-3; 1-2 - зміщення у напрямку відповідних реперів.

На рис. 2а представлені графіки зміщень бічних порід на контурі виробки при способі охорони ціликами вугілля. З представлених графіків видно, що найбільші зміщення фіксуються у напрямку реперів, які відображають конвергенцію покрівлі та підосви. На відстані $l = 100$ м зміщення досягають значень $U_{1-3} = 460$ мм за час спостережень $t = 147$ діб.

На рис. 2б представлені графіки зміщень бічних порід на контурі виробки при способі охорони кушами з дерев'яних стояків. Найбільш інтенсивно конвергенція покрівлі та підосви спостерігається на ділянці $30 < l < 80$ м, де зміщення реперів змінюється від $U_{1-3} = 115$ мм до $U_{1-3} = 535$ мм. Найбільше значення зміщень фіксується на відстані $l = 100$ м, яке дорівнює $U_{1-3} = 560$ мм при $t = 162$ діб.

На рис. 2в представлені графіки зміщень бічних порід на контурі виробки при способі охорони дерев'яними кострами. На ділянці $0 < l < 60$ м спостерігається інтенсифікація зміщень бічних порід на контурі виробки. При $l > 70$ м зміщення досягають значень $U_{1-3} = 360-370$ мм. Зі збільшенням довжини експериментальної ділянки та часу спостережень від $t_{l=60\text{м}} = 99$ діб до $t_{l=100\text{м}} = 142$ доби, зміщення у напрямку реперів 1-3 зростають незначно і досягають значень $U_{1-3} = 385$ мм.

На рис. 3 представлені графіки зміни площі S (м^2) поперечного перерізу відкатного штреку та швидкості конвергенції V (мм/добу) бічних порід на контурі виробок по довжині l (м) виїмкової дільниці при різних способах охорони.

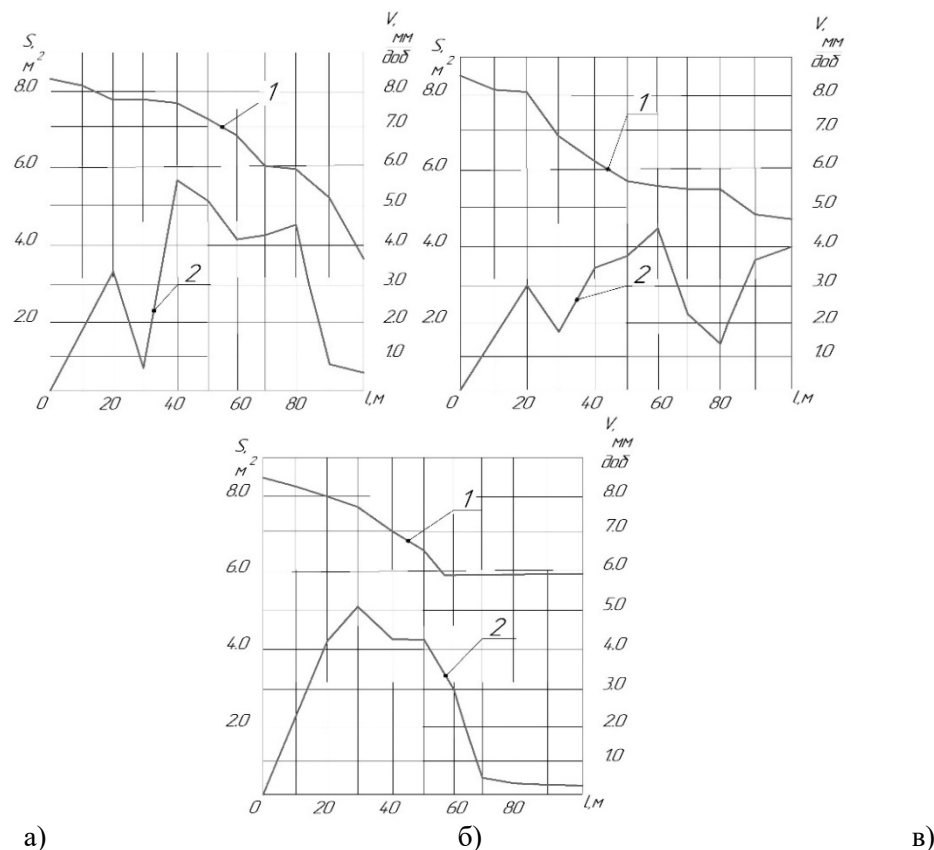


Рис. 3. Графіки зміни площі S (м^2) поперечного перерізу відкатного штреку та швидкості конвергенції V (мм/добу) бічних порід на контурі виробок по довжині l (м) виїмкової дільниці при різних способах охорони: а) ціликами вугілля; б) кушами із дерев'яних стояків; в) дерев'яними кострами: 1 – S , м^2 ; 2 – V , мм/добу.

На рис. 3а представлені графіки зміни параметрів S і V по довжині l виїмкової дільниці при способі охорони підготовчих виробок ціликами вугілля. З графіків видно, що площа поперечного перерізу виробки на

експериментальній ділянці змінюється від $8,5 \text{ м}^2$ до $3,9 \text{ м}^2$ при $l = 100$ м. Максимальна швидкість конвергенції $5,6$ мм/добу зафіксована на відстані $l = 40$ м позаду очисного вибою.

На рис. 3б представлені графіки зміни параметрів S і V по довжині l виїмкової ділянки при способі охорони підготовчих виробок кушами з дерев'яних стояків. З наведених графіків видно, що площа поперечного перерізу відкатного штреку змінюється від $8,5 \text{ м}^2$ до $4,8 \text{ м}^2$. При цьому швидкість конвергенції набуває максимального значення $4,5 \text{ мм/добу}$ на відстані $l = 60 \text{ м}$ позаду очисного вибою.

На рис. 3в представлені графіки зміни параметрів S і V по довжині l виїмкової ділянки при способі охорони підготовчих виробок дерев'яними кострами. З графіків

видно, що площа поперечного перерізу відкатного штреку змінюється від $8,5 \text{ м}^2$ до $5,9 \text{ м}^2$ на ділянці $0 < l < 60 \text{ м}$, а потім при $l > 60 \text{ м}$ зміни площі незначні. На відстані $l = 100 \text{ м}$ величина $S = 5,85 \text{ м}^2$. Максимальна швидкість конвергенції бічних порід $5,1 \text{ мм/добу}$ зафіксована на відстані $l = 30 \text{ м}$ позаду очисного вибою.

На рис. 4 представлені графіки залежності приросту зміщень ΔU (мм) бічних порід від відносної деформації охоронних споруд [12].

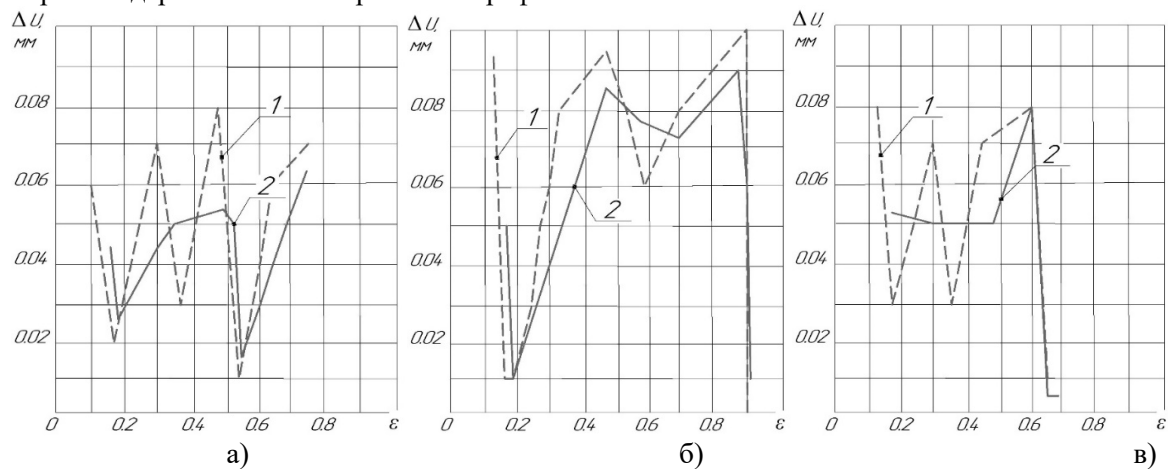


Рис. 4. Графіки зміни приросту зміщень ΔU (мм) бічних порід від відносної деформації надштрекових охоронних споруд: а) цілики вугілля; б) куші зі стояків; в) дерев'яні костри; 1 - зміна приросту зміщень; 2 - рухоме середнє [12]

На рис. 4а представлені графіки зміни параметрів ΔU і ϵ при охороні відкатного штреку ціликами вугілля. Зафіксовано, що максимальні значення приросту зміщень порід покрівлі ($\Delta U = 0,08 \text{ м}$) на контурі підготовчих виробок досягаються при деформуванні вугільного цілика на 48%. Подальше деформування цілика призводить до його повного руйнування та висипання. Після цього настає неконтрольоване зростання зміщень бічних порід на контурі виробки.

На рис. 4б представлені графіки зміни параметрів U і ϵ при охороні відкатного штреку кушами з дерев'яних стояків. Деформування охоронної споруди до величини відносної деформації $\epsilon \leq 0,16$ — $0,19$ відбувається в режимі опору, що наростає. Після цього відбувається руйнування стояків і втрата тримкості

кущового кріплення. Найбільша величина приросту зміщень $U = 0,09 \text{ м}$ зафіксована після деформування охоронних споруд на 90%.

На рис. 4в представлені графіки зміни параметрів ΔU і ϵ при охороні відкатного штреку дерев'яними кострами. З наведених графіків видно, що середній приріст зміщень покрівлі $\Delta U = 0,05 \text{ м}$ залишається умовно постійним при деформуванні охоронної споруди від 20% до 35%. Максимальне стиснення накатних кострів досягається за їх відносної деформації $\epsilon = 0,5$ — $0,6$, після чого середній приріст зміщень порід зменшується.

На рис. 5 наведено графіки зміни швидкості V (мм/добу) конвергенції бічних порід на контурі виробок та відносної деформації ϵ надштрекових охоронних споруд від часу T (дів) спостережень.

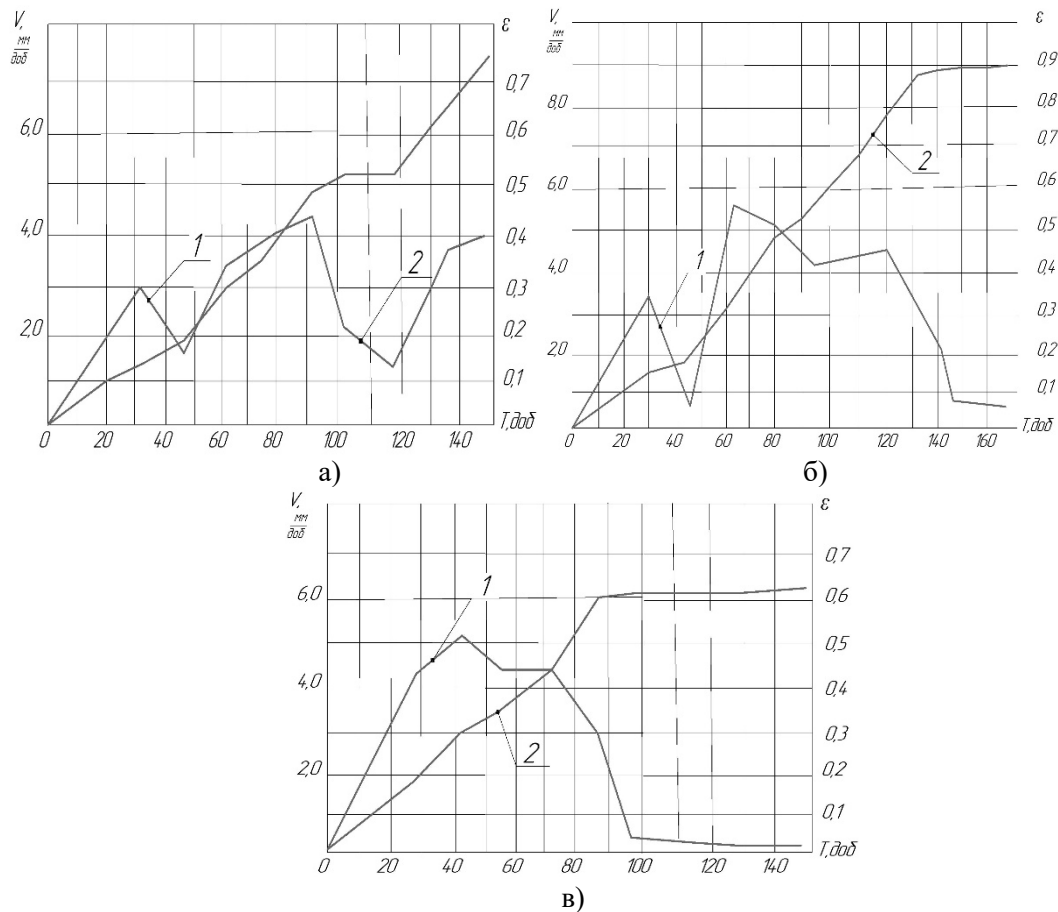


Рис. 5. Графіки зміни швидкості V (мм/добу) конвергенції бічних порід на контурі виробок та відносної деформації ϵ наштрекових охоронних споруд від часу T (днів) при різних способах охорони: а) ціликами вугілля; б) куцями із дерев'яних стояків; в) дерев'яними кострами: 1 - V (мм/добу); 2 - ϵ

На рис. 5а наведено графіки зміни параметрів V і ϵ від часу T (днів) спостережень при деформуванні ціликів вугілля. З графіків видно, що під час спостережень в діапазоні $T = 0\text{—}30$ днів, швидкість конвергенції збільшується до 3,0 мм/добу при деформуванні цілика на 12%. Потім зі збільшенням відносної деформації до $\epsilon = 0,19$ швидкість конвергенції зменшується до 1,8 мм/добу. Після цього швидкість конвергенції збільшується до максимальних значень $V = 4,3$ мм/добу на 91 добі спостережень. Надалі, при деформуванні ціликів вугілля в діапазоні $\epsilon = 0,5\text{—}0,76$, швидкість конвергенції змінюється від 2,3 мм/добу до 4,0 мм/добу, що свідчить про їхнє руйнування.

На рис. 5б наведено графіки зміни V і ϵ від часу T (днів) спостережень при деформуванні куців із дерев'яних стояків. Зафіксовано, що при деформуванні охоронної споруди на 16% на 30-ту добу спостережень, швидкість конвергенції

досягає значень 3,4 мм/добу. Потім відбувається зменшення швидкості конвергенції до значення $V = 0,8$ мм/добу та її значне зростання до 5,5 мм/добу, коли охоронна споруда деформована на 32%. Мінімальні значення швидкості конвергенції бічних порід $V = 0,6\text{—}0,9$ мм/добу зафіксовані на 162 добу спостережень, коли значення відносної деформації охоронних споруд дорівнює $\epsilon = 0,9$.

На рис. 5в наведено графіки зміни параметрів V і ϵ від часу спостережень T (днів) при деформуванні дерев'яних кострів. З наведених графіків видно, що максимальна швидкість конвергенції бічних порід $V = 5,1$ мм/добу спостерігається на 42 добу спостережень, при деформуванні дерев'яних кострів на 30%. Після цього при зростанні відносної деформації до $\epsilon = 0,6$, швидкість конвергенції зменшується до 0,5 мм/добу. Надалі, у процесі деформування дерев'яних кострів, коли $\epsilon \geq 0,61$ швидкість конвергенції стабілізується в межах 0,3—0,35 мм/добу.

На рис. 6 наведено графіки зміни розрахункового навантаження P (МН) на охоронні споруди за час спостережень T (дів).

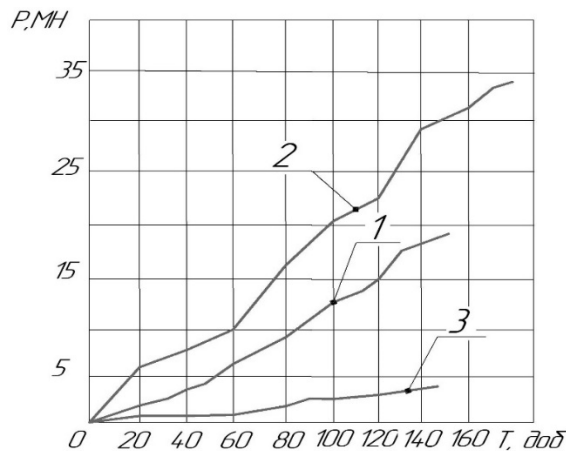


Рис. 6. Графіки зміни розрахункового навантаження P (МН) на охоронні споруди за час спостережень T (дів) стійкості відкатного штреку на виїмковій ділянці: 1 - цілики вугілля; 2 - кущі із дерев'яних стояків; 3 - дерев'яні костри

З графіків видно, що при охороні відкатного штреку ціликами вугілля, через 47 дів спостережень, розрахункове навантаження збільшується до 4,9 МН. На 147 добу спостережень значення навантаження на охоронні споруди збільшується до 18,7 МН (рис. 6, лінія 1). При охороні відкатного штреку кущами зі стояків навантаження збільшувалася від 6,8 МН до 34,5 МН. Максимальні значення навантаження фіксуються на 162 добу спостережень, тобто при $l = 100$ м позаду очисного вибою (рис. 6, лінія 2). При охороні відкатного штреку дерев'яними кострами навантаження збільшується плавно і досягає значення 2,72 МН на 87 добу спостережень. Максимальні значення розрахункового навантаження фіксувалися на 142 добі спостережень і становили $\approx 3,0$ МН (рис. 6, лінія 3).

На рис. 7 представлені графіки зміни відносної деформації ε надштрекових охоронних споруд по довжині l (м) виїмкової ділянки.

З представлених графіків видно, що при охороні відкатного штреку ціликами вугілля величина відносної деформації збільшується від $\varepsilon = 0,15$ при $l = 20$ м до $\varepsilon = 0,76$ при $l = 100$ м (рис. 7, лінія 1). При

охороні відкатного штреку кущами з дерев'яних стояків величина відносної деформації набуває максимального значення $\varepsilon = 0,91$ на відстані $l = 100$ м позаду очисного вибою (рис. 7, лінія 2). При охороні відкатного штреку дерев'яними кострами, на ділянці $l = 20\text{—}60$ м відносна деформація ε збільшується від 0,18 до 0,6. На відстані $l = 100$ м значення відносної деформації охоронних споруд збільшується до $\varepsilon = 0,62$ (рис. 7, лінія 3).

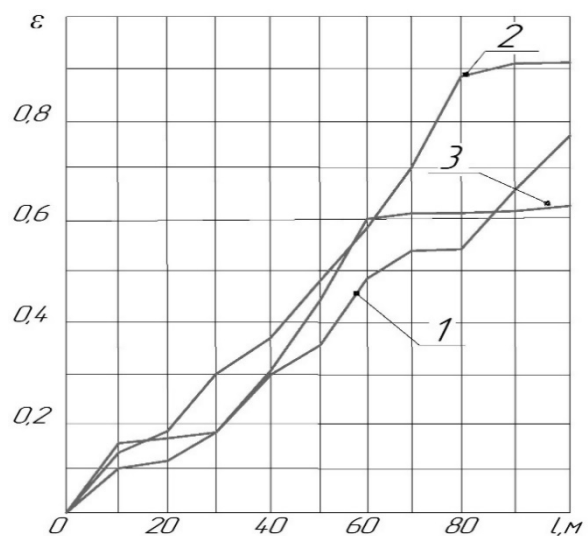


Рис. 7. Графіки зміни відносної деформації ε надштрекових охоронних споруд за довжиною l (м) виїмкової ділянки: 1 - цілики вугілля; 2 - кущі із дерев'яних стояків; 3 - дерев'яні костри

На рис. 8 представлені графіки зміни жорсткості C (Н/м) надштрекових охоронних споруд за довжиною l (м) виїмкової ділянки.

З представлених графіків видно, що зі збільшенням протяжності відкатного штреку при способі охорони ціликами вугілля на відстані $32 \text{ м} < l < 70 \text{ м}$ жорсткість охоронних споруд змінюється за квадратичною залежністю, а потім лінійно зменшується (рис. 8, лінія 1). При охороні відкатного штреку кущами дерев'яних стояків, значне зменшення жорсткості (на 25%) спостерігається на ділянці $l > 20$ м позаду очисного вибою (рис. 8, лінія 2). При використанні для охорони відкатного штреку дерев'яних кострів зміна жорсткості відбувається за квадратичною залежністю, з мінімальним значенням жорсткості $7,5 \cdot 10^6$

Н/м на відстані $l = 60$ м позаду очисного вибою (рис. 8, лінія 3).

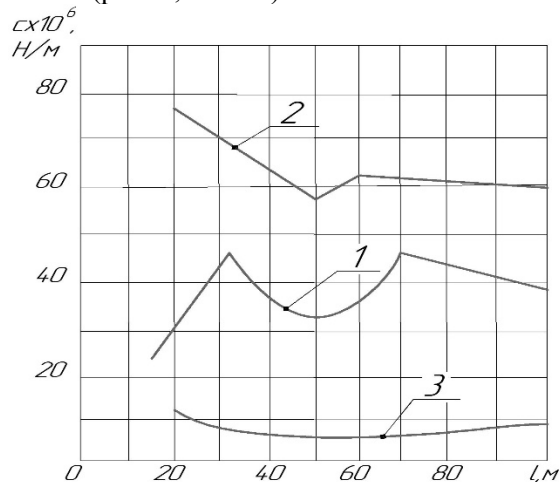


Рис. 8. Графіки зміни жорсткості C (Н/м) надштрекових охоронних споруд за довжиною l (м) виїмкової ділянки: 1 - цілики вугілля; 2 - кущі із дерев'яних стояків; 3 - дерев'яні костри

Встановлені залежності дозволяють виявити за даними шахтних спостережень, характерні режими роботи охоронних споруд та їх вплив на стійкість підготовчих виробок по довжині виїмкової ділянки.

Обговорення результатів.

В результаті проведених експериментальних досліджень обґрунтовано умови стійкості відкатних штреків крутих пластів при різних способах охорони, урахування або дотримання яких дозволить запобігти обваленням бічних порід у підготовчі виробки по довжині виїмкової ділянки та підвищити рівень безпеки праці гірників на робочих місцях.

Зафіксовано, що найбільші зміщення бічних порід на контурі відкатного штреку при способах охорони, що практикуються на шахтах з крутим заляганням вугільних пластів, мають місце з боку покрівлі (зміщення по лінії реперів 1-3). Максимальна конвергенція бічних порід зафіксована на відстані $l = 100$ м позаду очисного вибою. При використанні ціликів вугілля максимальні зміщення покрівлі досягають значень $U_{1-3} = 460$ мм (рис. 2а), кушів з дерев'яних стояків $U_{1-3} = 560$ мм (рис. 2б) та дерев'яних кострів $U_{1-3} = 385$ мм (рис. 2в) за весь період спостережень.

Максимальна швидкість конвергенції бічних порід $V = 4,5—5,6$ мм/добу

зафіксована у зоні впливу очисних робіт на ділянці протяжністю $l = 30—60$ м позаду очисного забою, із змінною залежно від способу охорони (рис. 3а, б, лінія 2). Для ціликів вугілля або кушів з дерев'яних стояків у міру зміни довжини виїмкової ділянки швидкість конвергенції V збільшується або зменшується, що пов'язано з втратою тримкості охоронних споруд та погіршенням стійкості підготовчих виробок. Це підтверджують вимірювання зміни площі поперечного перерізу відкатних штреків, втрата перерізу яких становить понад 45—50 % (рис. 3а, б, лінія 1). При способі охорони відкатного штреку дерев'яними кострами швидкість конвергенції збільшується до $V = 5,1$ мм/добу на відстані $l = 30—35$ м позаду очисного вибою, а потім знижуються до значень $V = 0,3$ мм/добу на відстані $l = 70$ м. При цьому площа поперечного перерізу зменшується приблизно на 30% (рис. 3в).

При охороні відкатного штреку ціликами вугілля на початковому етапі деформування, зі збільшенням відносної деформації до значень $\varepsilon \leq 0,2$ швидкість конвергенції збільшується до $V = 3,0$ мм/добу і відбувається наростання опору вугільного цілика (рис. 3а, 4а, 5а). Різке зменшення жорсткості вугільних ціликів зі збільшенням приросту зміщень покрівлі ΔU та швидкості конвергенції до $V = 4,5$ мм/добу, зафіксовано на ділянці протяжністю $l = 20—60$ м. Вочевидь те, що на початковому етапі деформування, вугільні цілики працюють у режимі наростаючого опору. В міру розвитку процесу тріщиноутворення цілики втрачають стійкість, фіксується зменшення їх жорсткості (рис. 8а). Подальше деформування ціликів призводить до повного руйнування охоронних споруд та неконтрольованого процесу переміщень бічних порід на контурі виробки та у виробленому просторі виїмкової ділянки (рис. 3а, 4а, 5а, 8а). При такій взаємодії бічних порід з охоронними спорудами стійкість виробок погіршується, а площа її поперечного перерізу зменшується.

Аналогічні залежності простежуються при охороні відкатного штреку кущами дерев'яних стояків (рис. 3б, 4б, 5б, 8б). Деформування кушів зі стояків характеризується роботою охоронних споруд

в режимі опору, що зростає до величини відносної деформації $\varepsilon = 0,16$, з подальшим руйнуванням стояків. Після втрати стійкості охоронних споруд настає зменшення жорсткості конструкції, швидкість конвергенції збільшується. Кріплення деформується, а перетин штреку зменшується.

При охороні відкатного штреку накатними кострами (рис. 3в, 4в, 5в, 8в) після їх початкового стиснення проявляються податливі властивості, що забезпечують подальшу роботу охоронної споруди у режимі постійного опору. На обмеженій ділянці для таких конструкцій швидкість конвергенції зростає, досягаючи максимальних значень $V = 5,1$ мм/добу на відстані $l = 30$ м позаду очисного вибою та зменшується до $0,3$ мм/добу на відстані $l = 70$ м. Переміщення бічних порід на контурі виробки та у виробленому просторі виїмкової дільниці обмежуються.

Для практикованих на шахті способів охорони відкатного штреку встановлено допустиме розрахункове навантаження на охоронні споруди. При охороні підготовчої виробки ціликами вугілля та їх відносної деформації $\varepsilon = 0,22$ допустиме розрахункове навантаження становить $\approx 5,9$ МН, після перевищення якого охоронна споруда втрачає стійкість. Для кушів з дерев'яних стояків при $\varepsilon = 0,16$ величина допустимого навантаження становить $\approx 5,0$ МН. При застосуванні дерев'яних кострів та навантаженні $P \approx 2,5\text{—}3,0$ МН і в діапазоні значень відносної деформації $0,4 \leq \varepsilon \leq 0,65$ відбувається ущільнення охоронних споруд, після чого конвергенція бічних порід позаду очисного забою по довжині виїмкової дільниці обмежується.

Таким чином, на підставі виконаних досліджень можна зробити висновок, що при розробці крутих вугільних пластів у глибокій вугільній шахті забезпечити прийнятну стійкість відкатних штреків у вуглепородному масиві по довжині виїмкової дільниці при охороні ціликами вугілля або кущами з дерев'яних стояків практично неможливо. Після втрати стійкості надштрекових охоронних споруд у виробленому просторі виїмкової дільниці починаються неконтрольовані зміщення бічних порід. Відбувається інтенсифікація приросту зміщень покрівлі, які досягають

значень понад $0,08$ м зі швидкістю конвергенції до $4,5\text{—}5,6$ мм/добу, що з плином часу призводить до втрати площі поперечного перерізу виробки до $45\text{—}50\%$. Кріплення виробок деформується. Створюються умови для обвалення порушеної товщі порід у виробку. Для того, щоб обмежити переміщення бічних порід на контурі підготовчих виробок, доцільно використовувати податливі охоронні споруди. Використання, наприклад, дерев'яних кострів для охорони дільничних підготовчих виробок, дозволяє звести до мінімуму втрати площі поперечного перерізу (близько 30%) і забезпечити стійкість відкатних штреків у виробленому просторі виїмкової дільниці.

Висновок.

Підвищення ефективності заходів щодо зниження травматизму від обвалень у вугільних шахтах та створення безпечних умов праці гірників у відкатних штреках крутих пластів по довжині виїмкової дільниці досягається за рахунок збереження цілісності покрівлі, коли при виборі способу охорони підготовчих виробок враховуються особливості деформування охоронних споруд, що дозволяє обмежити переміщення бічних порід у вуглепородному масиві. Встановлено, що у зоні впливу очисних робіт при дії зовнішнього навантаження на охоронні споруди підготовчих виробок крутих пластів у вигляді ціликів вугілля або кушів з дерев'яних стояків та за їх відносної деформації в діапазоні $0,16 \leq \varepsilon \leq 0,22$ настає втрата стійкості надштрекових конструкцій. Одночасно зі зменшенням їх жорсткості, відбувається збільшення швидкості конвергенції бічних порід на контурі виробки і неконтрольований приріст зміщень, який триває до повного руйнування охоронної споруди. Внаслідок такої взаємодії бічних порід з охоронними спорудами створюються умови для обвалення покрівлі та деформування аркового кріплення, себто погіршення стійкості відкатних штреків. При використанні для охорони відкатних штреків дерев'яних кострів та їх деформуванні на 30% швидкість конвергенції бічних порід досягає максимальних значень, а потім, із зростанням відносної деформації в діапазоні $0,4 \leq \varepsilon \leq 0,65$, у процесі поетапного ущільнення охоронних споруд та збільшення

їх жорсткості знижується на 80-90%, після чого переміщення покрівлі на контурі виробки обмежуються, що дозволяє забезпечити її стійкість у вуглепородному масиві по довжині виїмкової ділянки.

Список літератури

1. Исследование проявлений горного давления в подготовительных выработках с учетом жесткости охранных сооружений / С.В. Подкопаев, Е.И. Конопелько, Д.А. Чепига, И.В. Иорданов, И.Н. Смолянов // Вісті Донецького гірничого інституту, 2018. – №1 (42). – с. 84-95. <https://doi.org/10.31474/1999-981X-2018-1-84-95>
2. Александров С.С. Обгрунтування та розробка способів забезпечення безпеки праці при підтриманні виробок крутих вугільних пластів : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.26.01. Красноармійськ, 2016. 24 с.
3. Чепига Д. А. Обгрунтування та розробка способів підвищення безпеки праці гірників у виїмкових ділянках глибоких вугільних шахт : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.26.01. Покровськ, 2019. 24 с.
4. Фекмистов Ю. Г., Головин А. Д. Обоснование распределения давления на целики в осадочных горных породах. *Литосфера*. 2015. №6. С. 130—135.
5. Канин В.А., Ходыров Д.И., Ходыров Е.Д. Разработка эффективных мер борьбы с газодинамическими явлениями при отработке угольных целиков. *Наукові праці УкрНДМІ НАН України*. 2015. №15. С. 102—116.
6. Большинский М. И., Лысиков Б. А., Каплюхин А. А. Газодинамические явления в шахтах : монография. Севастополь : Вебер, 2003. 284 с.
7. Iordanov I., Novikova Yu., Simonova Yu., Korol A., Podkopayev Ye., Kayun O., Dovgal V., Boychenko H., Hryhorets M. Determining stability conditions for haulage drifts protected by coal pillars. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. 6/1 (108). P. 72-81. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.216530>
8. Бачурін Л.Л., Новікова Ю.В., Сімонова Ю.І., Довгаль В.Ю., Бойченко Г.Е., Каюн О.П. Дослідження стійкості відкатних штреків крутих вугільних пластів на виїмкових ділянках глибокої шахти. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2020. №2(47). С. 89—100. <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2020-2-89-100>
9. Способы и средства охраны подготовительных выработок / Алышев Н.А. и др. Донецк : [б.и.], 1997. 77 с.
10. Iordanov I. V., Simonova Yu. I., Polozhy A. V., Podkopayev Ye. S., Skyrda A. Ye., Kayun A. P. A Comprehensive Study of the Stability of Lateral Rocks with a Supple Support. *World Science*. 2020. Vol. 1. No. 1(53). P. 4—17. https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/31012020/6889
11. 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. No. 4. P. 9—19. <https://doi.org/10.15407/mining12.04.009>
12. Iordanov I., Buleha I., Bachurina Ya., Boichenko H., Dovgal V., Kayun O., Kohtieva O., Podkopayev Ye.

Experimental research on the haulage drifts stability in steeply dipping seams. *Mining of Mineral Deposits*. 2021. Vol. 15. No. 4. P. 56—67.

<https://doi.org/10.33271/mining15.04.056>

13. Iordanov I. B., Kogteva O. P., Simonova Yu. I., Dovgal V. Yu., Boychenko G. E., Grigorets M. O., Buleha I. I. Аналіз стійкості відкатних штреків крутих вугільних пластів при охороні ціликами вугілля. *Проблеми охорони праці в Україні*. 2021. Том. 37. № 1. С. 16—27. <https://doi.org/10.36804/nnidipbop.37-1.2021.16-27>
14. Chatfield C. The Analysis of Time Series: An Introduction, Sixth Edition /Chapman Hall/CRC Texts in Statistical Science/. CRC Press, 2016. 352 p.
15. Тимошенко С. П., Gere Дж. Механика материалов. СПб. : Лань, 2002. 672 с.
16. Kleppner D., Kolenkow R. An Introduction to Mechanics. Cambridge University Press, 2014. 542 p.

References

1. Podkopayev S.V., Konopel'ko Ye.I., Chepiga D.A., Iordanov I.V., Smolanov I.N. (2018) Investigation of rock pressure manifestations in gateroads considering the rigidity of support structures [Issledovaniye proyavleniy gornogo davleniya v podgotovitel'nykh vyrabotkakh s uchetom zhestkosti okhrannykh sooruzheniy]. *Visti Donetskoho girnychoho institutu*, №1 (42). – p. 84-95. <https://doi.org/10.31474/1999-981X-2018-1-84-95> (in Russian)
2. Aleksandrov S. S. (2016) Substantiation and development of ways to ensure occupational safety while maintaining the mine roadways of steep coal seams [Obgruntuvannya ta rozrobka sposobiv zabezpechennya bezpeky pratsi pry pidtrymanni vyrobok krutykh vuhil'nykh plastiv] : avtoref. dys. .kand. tekhn. nauk : 05.26.01. Krasnoarmiys'k, 24 p. (in Ukrainian)
3. Chepiha, D.A. (2019). Rationale and development of ways to improve the safety of miners in extraction areas of deep coal mines [Obgruntuvannya ta rozrobka sposobiv pidvyshchennya bezpeky pratsi hirnykiv u vyimkovykh dil'nytsyakh hlybokyykh shakht] : avtoref. dys. .kand. tekhn. nauk : DonNTU, Pokrovsk. 24 p. (in Ukrainian).
4. Fekmistov Yu. G., Golovin A. D. (2015) Substantiation of the pressure distribution on the pillars in sedimentary rocks [Obosnovaniye raspredeleniya davleniya na tseliki v osadochnykh gornykh porodakh]. *Litosfera*. №6. p. 130—135. (in Russian)
5. Kanin V.A., Khodyrov D.I., Khodyrov Ye.D. (2015). Development of effective measures to prevent outbursts during the development of coal pillars [Razrabotka effektivnykh mer bor'by s gazodinamicheskimi yavleniyami pri otrabotke ugol'nykh tselikov]. *Naukovy pratsi UkrNDMÍ NANU*. № 15. P. 102-116. (in Russian)
6. Bol'shinskiy M. I., Lysikov B. A., Kaplyukhin A. A. (2003) Gas-dynamic phenomena in mines: monograph. [Gazodinamicheskiye yavleniya v shakhtakh : monografiya. Sevastopol'] : Veber, 284 p (in Russian)
7. Iordanov I., Novikova Yu., Simonova Yu., Korol A., Podkopayev Ye., Kayun O., Dovgal V., Boychenko H., Hryhorets M. (2020) Determining stability conditions for haulage drifts protected by coal pillars. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 6/1 (108). P. 72-81. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.216530>

8. Bachurin L.L., Novikova YU.V., Simonova YU.I., Dovhal' V.YU., Boychenko H.E., Kayun O.P. (2020) Investigation of maingates stability in steep coal seams at extraction layouts of deep mine [Doslidzhennya stiykosti vidkatnykh shtrekiv krutykh vuhil'nykh plastiv na vuyimkovykh dil'nytsyakh hlybokoyi shakhty.] *Visti Donetskoho hirnychoho instytutu. №2(47)*. P. 89–100. <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2020-2-89-100> (in Ukrainian)
9. Alyshev N.A. & al. (1997) Methods and means of protection of mine gateroads [Sposoby i sredstva okhrany podgotovitel'nykh vyrabotok] Donetsk. 77 p. (in Russian)
10. Iordanov I. V., Simonova Yu. I., Polozhy A. V., Podkopaev Ye. S., Skyrda A. Ye., Kayun A. P. (2020) A Comprehensive Study of the Stability of Lateral Rocks with a Supple Support. *World Science. Vol. 1. No. 1(53)*. P. 4–17. https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/31012020/6889
11. Liashok Ya., Iordanov I., Chepiga D., Podkopaev S. (2018) Experimental studies of the seam openings competence in different methods of protection under pitch and steep coal seams development. *Mining of Mineral Deposits. Vol. 12. No. 4. P. 9–19*. <https://doi.org/10.15407/mining12.04.009>
12. Iordanov I., Buleha I., Bachurina Ya., Boichenko H., Dovgal V., Kayun O., Kohtieva O., Podkopaev Ye. (2021) Experimental research on the haulage drifts stability in steeply dipping seams. *Mining of Mineral Deposits. Vol. 15. No. 4. P. 56–67*. <https://doi.org/10.33271/mining15.04.056>
13. Iordanov, I., Kohtieva, O., Simonova, Y., Dovgal, V., Boichenko, H., Hryhorets, M., & Buleha, I. (2021). Analysis of maingates stability in step coal seams during protection by coal pillars. *Labour Protection Problems in Ukraine*, 37(1), 16–27. <https://doi.org/10.36804/nndipbop.37-1.2021.16-27>. (in Ukrainian)
14. Chatfield C. (2016) The Analysis of Time Series: An Introduction, Sixth Edition /Chapman Hall/CRC Texts in Statistical Science/. CRC Press, 352 p.
15. Timoshenko S. P., Gere J. (2002) Mechanics of Materials [Mekhanika materialov]. SPb. : Lan',. 672 p. (in Russian)
16. Kleppner D., Kolenkow R. (2014) An Introduction to Mechanics. Cambridge University Press, 542 p.

Надійшла до редакції 02.05.2022

Рецензент д-р. техн. наук, проф. Сергій СУКАЧ

Ляшок Ярослав Олександрович – д.с.н., професор, завідувач кафедри управління гірничим виробництвом, Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», (пл. Шибанкова, 2, м Покровськ, 85300, Україна).

E-mail: jaroslav.liashok@donntu.edu.ua

Подкопась Сергій Вікторович – д.т.н., професор кафедри управління гірничим виробництвом, Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», (пл. Шибанкова, 2, м Покровськ, 85300, Україна).

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

Бачурін Леонід Леонідович, к.т.н., доцент кафедри управління гірничим виробництвом ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»; 85300, м. Покровськ, пл. Шибанкова 2; orcid.org/0000-0003-2513-7284;

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

Бойченко Геннадій Едуардович, директор ТОВ «Шахта «Свято-Покровська №3»; 85300, м. Покровськ, пл. Шибанкова, 1а; orcid.org/0000-0002-9101-0831;

E-mail: ge.boychenko@gmail.com

Ткачук Олександр Миколайович – головний інженер СО ПАТ «Донбасенерго» «Електроремонт» (вул. Січових Стрільців, 9, м. Миколаївка, Донецька обл., 84180, Україна)

E-mail: tkachuk5050@gmail.com

THE INFLUENCE OF DEFORMATION PROPERTIES OF SECONDARY SUPPORT STRUCTURES OF MINE GATEROADS ON THEIR RESISTANCE ACCORDING TO THE LENGTH OF THE EXTRACTION PANEL

Purpose. To increase the effectiveness of measures to reduce injuries and create safe working conditions for miners in a deep coal mine with steeply inclined coal seams, assess the impact of deformation properties stiffness of secondary support structures of mine gateroads on their stability in the coal-rock strata according to the length of the extraction panel.

Methods. To achieve this purpose, the results of in-mine instrumental observations of the stability of haulage roadways under different supporting methods were analyzed, considering the deformation properties of secondary support structures and features of geomechanical processes in the surrounding coal-rock strata during unloading.

Results. The conditions for maintaining the mine gateroads within the extraction panel during the methods of supporting practised at the mine were estimated by the magnitude of the convergence of the roof and floor strata on the contour of the haulage roadway and its derivatives. It is determined that in the zone of influence of coal extraction, in the process of deformation of coal pillars or vertical timber sets up to 16–22%, there is a loss of their stability, an increase in the load on the secondary support structure, the intensification of the increase in roof displacements over 0.08 m with a convergence rate of 4.5–5.6 mm/day. In the process of deformation of 4-point chock by 65%, the rate of convergence at the initial stage (30% deformation) increases to 5.1 mm/day, with an average increase in roof displacements to 0.05 m, and then gradually decreases over time, which favourably affects the stability of roof and floor strata and roadways. Reduction of the haulage roadway cross-section when it is supported by coal pillars or vertical timber sets on 45–50% is the result of the destruction of secondary support structures when the rate of convergence of the roof and floor strata along the extraction area is not limited. When

supporting the haulage roadway with a 4-point chock reduction of the roadway cross-section by 30% is due to the compression of the secondary support structures, which helps to limit the growth of roof displacements and reduce the rate of convergence of the roof and floor strata behind the working face.

Novelty. The estimation of the haulage roadways stability on the steeply inclined coal seams according to the length of the extraction panel is based on the use of regularities of deformation properties of secondary supporting structures of mine gateroads and geomechanical processes in the coal-rock strata when the change in the rate of convergence of the roof and floor strata on the contour of roadways is considered in the zone of influence of coal extraction works.

Practical significance. To prevent the collapse of the roof and floor strata in the extraction area of the deep coal mines with steeply inclined coal seams, it is necessary to use yielding secondary support structures of mine gateroads.

Keywords: roof, floor, haulage roadway, stability, deformation properties, stiffness, extraction panel, convergence speed

Liashok Iaroslav - Doctor of Economic Sciences, Professor, head of the Department of Mining Management and Labour Protection, Donetsk National Technical University (2, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85300 Ukraine).

E-mail: iaroslav.liashok@donntu.edu.ua

Podkopaiev Serhii- Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Mining Management and Labour Protection, Donetsk National Technical University (2, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85300 Ukraine).

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

Bachurin Leonid, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mining Management and Labour Protection, Donetsk National Technical University (2, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85300 Ukraine).

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

Boichenko Hennadii, Director of "Svyato-Pokrovskaya №3 Mine" LLC, Shybankova Square, 1a, 85300, Pokrovsk, Ukraine.

E-mail: ge.boychenko@gmail.com

Tkachuk Oleksandr, chief engineer, Structural Unit "Elektroremont" of PJSC "Donbasenergo" (9, Sichovykh Striltsiv str., Mykolaivka, Donetsk region, 84180, Ukraine).

E-mail: tkachuk5050@gmail.com