

ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА CIVIL SAFETY

УДК 622.834.2:622.274

doi: <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2020-2-89-100>

Л.Л. Бачурін
Ю.В. Новікова
Ю.І. Сімонова
В.Ю. Довгаль
Г.Е. Бойченко
О.П. Каюн

ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ВІДКАТНИХ ШТРЕКІВ КРУТИХ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ НА ВИЇМКОВИХ ДІЛЬНИЦЯХ ГЛИБОКОЇ ШАХТИ

Мета роботи. Дослідження стійкості відкатних штреків при різних способах охорони на виїмкових дільницях глибокої вугільної шахти, що розробляє пласти крутого падіння.

Методи. Для досягнення поставленої мети були виконані шахтні інструментальні спостереження стійкості відкатних штреків. Умови їх підтримання оцінювалися за величиною конвергенції бічних порід на контурі і зміні площі поперечного перетину підготовчої виробки.

Результати. В результаті виконаних досліджень обґрунтовані умови стійкості відкатних штреків крутих вугільних пластів при охороні ціликами вугілля або куцями зі стояків. Зафіксовано, що в зоні впливу гірничих робіт, на відстані $l < 60$ м позаду очисного вибою при розглянутих способах охорони, кріплення відкатного штреку деформується в межах податливості і має характерні вигини з боку порід висячого боку. На відстані $l \geq 60$ м площа поперечного перетину відкатного штреку зменшується до 50% від початкових значень, а величина конвергенції бічних порід перевищує конструктивну податливість кріплення. Наростання зміщень порід на контурі підтримуваної виробки позаду очисного вибою залежить від тримкості і геометрії охоронних споруд, розташованих над відкатним штреком.

Новизна. Експериментально встановлено, що зміна площі поперечного перетину відкатного штреку при охороні куцями зі стояків відбувається по лінійній залежності зі збільшенням довжини виїмкової дільниці.

Практична значимість. Для забезпечення стійкості відкатних штреків, доцільно застосування безціликових способів охорони, коли використовуються податливі засоби охорони, які розташовані над виробкою або закладка виробленого простору.

Ключові слова: круте падіння; відкатний штрек; вугільний пласт; спосіб охорони; зміщення бічних порід.

Вступ.

Глибина розробки корисних копалин в межах вугільних родовищ, що знаходяться в експлуатації, з часом постійно збільшується. Внаслідок цього, зростає ймовірність небезпечних проявів гірничого тиску в анізотропному вуглепородному масиві, що вміщує виробки. При веденні гірничих робіт кріплення виробок деформується, а їх стан з часом стає незадовільним. Незадовільний стан підготовчих виробок на виїмковій дільниці вугільної шахти погіршує умови провітрювання і знижує рівень техніки безпеки гірничих робіт. Досвід роботи шахт, що розробляють вугільні пласти крутого падіння показує, що застосовувані способи охорони виробок ціликами вугілля або дерев'яними спорудами не в змозі протистояти зміщенням бічних порід в

вуглепородному масиві. Результатом цього є зменшення площі поперечного перетину підготовчих виробок і погіршення їх стійкості на всьому протязі виїмкової дільниці. Причини, які лежать в основі ситуації, що склалася, пов'язані з погіршенням гірничо-геологічних умов і інтенсифікацією проявів гірничого тиску.

Традиційні способи охорони дільничних підготовчих виробок, будучи ефективними в конкретних гірничо-геологічних умовах, втрачають свою корисність при їх зміні, що сприяє створенню аварійної ситуації на виїмковій ділянці. Ліквідація аварійних ситуацій, пов'язана з ремонтом та відновленням виробок, супроводжується значними економічними витратами. Експлуатаційний стан аварійних дільничних підготовчих виробок на

виїмкових дільницях досягається після виконання великого обсягу ремонтних робіт, які не піддаються механізації. В низці шахт доводиться щорічно ремонтувати до 40% загальної протяжності виїмкових штреків. Трудомісткість ремонтних робіт в них становить 80—90 люд.-зм. на 1000 т середньодобового видобутку.

Для забезпечення високих техніко-економічних показників роботи шахти необхідно забезпечити нормальні умови експлуатації виїмкових дільниць. Це можливо при вирішенні питань створення більш досконалих і ефективних способів охорони і підтримання дільничних підготовчих виробок, що примикають до очисних вибоїв на відкатному горизонті. Забезпечення експлуатаційного стану таких виробок протягом всього терміну служби є однією з умов гарантії безаварійної роботи і підвищення рівня техніки безпеки на вугільній шахті.

Аналіз досліджень і публікацій.

Розробка крутих вугільних пластів характеризується відносно низьким рівнем техніко-економічних показників. Зі збільшенням глибини гірничих робіт це обумовлюється погіршенням гірничо-геологічних умов, наявністю нестійких бічних порід, зміною інтенсивності їх зміщень, формою проявів гірничого тиску [1, 2, 12].

Вивчення особливостей прояву гірничого тиску у виробках на великій глибині дозволяє вважати, що характер небезпечних впливів на бічні породи визначається не тільки напруженим станом покрівлі та підосви вугільного пласта і їх фізико-механічними властивостями, але і здатністю деформуватися і руйнуватися при розвантаженні вуглепородного масиву [2].

Вважається [3—5], що наявність зон розвантаження сприяє розшаруванню бічних порід і їх проковзуванню на контактах над- і підроблених шарів. В умовах крутого падіння, коли відбувається зміна стійкості порід в напрямку простягання пласта і по висоті поверху, покрівля та підосва розбиваються на блоки і обвалюються. Цим створюються аварійні ситуації, за яких мають місце завали гірничих виробок і травмування гірників [6, 7].

Після виїмки вугілля відбувається утворення зон зрушення бічних порід в

вуглепородному масиві, що вміщує виробки. Параметри зон зрушення залежать від способу управління покрівлею в очисному вибої і охорони дільничних підготовчих виробок [8]. Відомо [1, 9], що найбільш інтенсивно процес зрушення під- та надробленої товщі розвивається і протікає при способі управління покрівлею повним обваленням.

При традиційних способах управління покрівлею повним обваленням або утриманням на кострах, у міру просування очисного вибою в вуглепородному масиві відбувається послідовне відділення шарів від вищерозташованої товщі. Зі збільшенням кута падіння пластів, під дією сил власної ваги, розшарована порода зсувається вниз, що сприяє прояву різного роду навантажень на кріплення виробок, провокуючи їх завали [6]. В таких умовах необхідно забезпечити експлуатаційний стан відкатних штреків.

Ряд фахівців [10, 11] для охорони відкатних штреків пропонують використовувати цілики вугілля обмежених розмірів. Однак з огляду на шарувату структуру вуглепородного масиву і перерозподіл напружень в ньому, охоронні вугільні цілики схильні до руйнування і висипання [12]. При цьому відбувається погіршення стійкості підтримуваних виробок через утворення пустот над штреком. Використання для охорони виробок ціликів вугілля великих розмірів (висотою 10—15 м) розширює межі їх шкідливого впливу за рахунок утворення зон підвищеного гірничого тиску [13].

Для забезпечення стійкості дільничних підготовчих виробок, що примикають до очисного вибою, в дослідженнях роботи [12] пропонується використовувати над штреком для охорони виробок штучні споруди з дерева (накатні костри з шпал). Це дозволить обмежити зміщення порід на контурі відкатного штреку і забезпечити плавний прогин бічних порід у виробленому просторі.

Аналіз світового досвіду підземної розробки родовищ корисних копалин показує, що закладний масив запобігає розвитку зрушень гірничих порід в вуглепородному масиві. При застосуванні закладки виробленого простору позаду очисного вибою створюються зони стійких порід і забезпечується плавний прогин нависаючої товщі [14]. Очевидним є те, що для поліпшення стійкості відкатних штреків

при розробці пластів крутого падіння необхідно забезпечити найбільш сприятливу геомеханічну обстановку навколо підтримуваних виробок. Цього можна досягти за рахунок обмеження величини осідань порід над виробленим простором і зменшення деформації покрівлі і підшви в місцях розташування та підтримання дільничних підготовчих виробок.

Постановка задачі досліджень. Виконати експериментальні дослідження в натурних умовах для вивчення проявів гірничого тиску на контурі відкатних штреків при різних способах охорони і оцінити умови їх підтримання в зоні впливу очисних робіт по довжині виїмкової дільниці.

Матеріали і методи досліджень. Для вивчення проявів гірничого тиску в відкатних штреках при різних способах охорони були проведені дослідження їх стійкості на горизонті 1146 м шахти «Центральна» Державного підприємства «Торецьквугілля» (м. Торецьк, Україна).¹

При виконанні натурних вимірювань на експериментальних ділянках у відкатних штреках пластів l_5 і l_6 , були обладнані спеціальні вимірювальні станції, на яких встановлювалася величина зміщення реперів і зміна площі поперечного перетину виробок. Схема експериментальних ділянок представлена на рис. 1. Гірничо-геологічні умови експериментальних ділянок зведені в табл. 1.

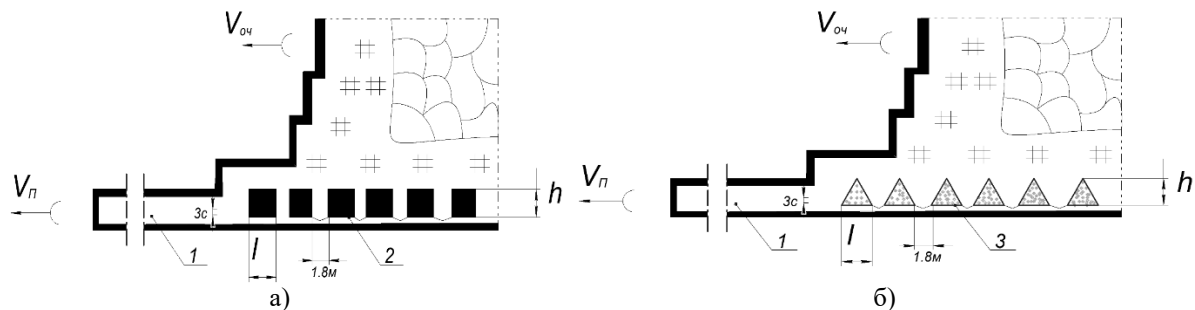


Рис. 1. Схема експериментальної ділянки для визначення зміни площі поперечного перетину відкатного штреку зміщень порід покрівлі і підшви на контурі: а) при способі охорони ціликами вугілля; б) при способі охорони куцями зі стояків: 1- відкатний штрек; 2- цілики вугілля; 3- куці зі стояків; h- висота охоронної споруди; l- ширина охоронної споруди

Таблиця 1 - Гірничо-геологічні умови експериментальних ділянок

Індекс пласта	Кут падіння α , град	Потужність m, м	Бічні породи			
			покрівля		підшва	
			безпосередня	основна	безпосередня	основна
l_5	59	0,6	Глинистий сланець, потужністю до m=1,7-2,5 м	Глинистий сланець, потужністю до m=10 м	Глинистий сланець, піщано-глинистий сланець потужністю m=2,0 м	Пісковик, потужністю m=10 м
l_6	59	0,62	Глинистий сланець, потужністю до m=1,1 м	Глинистий сланець, потужністю до m=8-10 м	Глинистий сланець, потужністю до m=0,8-2,5 м	Глинистий сланець, потужністю до m=2,5-4,4 м

Схема вимірювальної станції представлена на рис. 2. Кількісна оцінка

стійкості відкатного штреку при різних способах охорони проводилася по зміні

¹ У проведенні експериментальних досліджень брали участь: асп. Король А.В., асп. Когтева О.П., асп. Григорєв М.О., асп. Подкопаєв Є.С., к.т.н. Іорданов І.В.

площі поперечного перетину виробки. На цей випадок по довжині виїмкової ділянки на замірній станції, у міру просування очисного вибою, виконувалися вимірювання

ширини B (м) і висоти H (м) відкатного штреку. Схема вимірювань представлена на рис. 2.

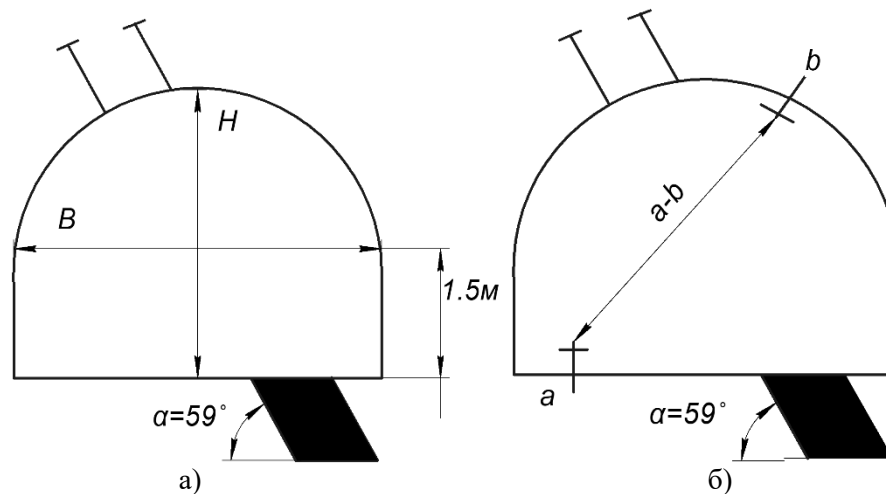


Рис. 2. Схема виміральної станції для визначення а) зміни площі поперечного перетину S (м²) відкатного штреку і б) зміщення покрівлі і підшви на контурі відкатного штреку u (мм) по довжині виїмкової ділянки l (м): H - висота виробки, м; B - ширина виробки, м; a , b - реperi, $a-b$ - зміщення репера b в напрямку репера a , м

Для оцінки умов підтримання відкатних штреків при різних способах охорони, використовували експериментальні дані зближення порід покрівлі і підшви на контурі виробки по довжині виїмкової ділянки. За допомогою спеціальної маркшейдерської рулетки на замірній станції фіксувалася величина зближення реперів a і b . Схема вимірювань представлена на рис. 2б. Похибка вимірювань становила ± 2 мм.

Відкатний штрек по пласту l_5 охороняли ціликами вугілля або кущами із стояків. Площа поперечного перетину відкатного штреку $S = 8,5$ м². Відстань між рамами аркового кріплення (АП-3) з дерев'яним затягуванням 0,8 м. Швидкість проведення відкатного штреку $V_{\Pi} = 14$ м/міс., очисних робіт $V_{оч} = 11$ м/міс. Штрек проводився за допомогою буропідричних робіт (БПР). Спосіб управління покрівлею в очисному вибою - повне обвалення.

Відкатний штрек по пласту l_6 охороняли ціликами вугілля. Площа поперечного перетину відкатного штреку $S = 8,5$ м². Відстань між рамами аркового кріплення (АП-3) з дерев'яним затягуванням 0,8 м. Швидкість проведення відкатного штреку $V_{\Pi} = 12$ м/міс., очисних робіт $V_{оч} = 8$ м/міс. Штрек проводився за допомогою БПР. Спосіб управління покрівлею в очисному вибою - повне обвалення.

Вугільний цілик мав такі розміри: висота цілика $h_{ц} = 8$ м; ширина цілика $l_{ц} = 5$ м. Кущі із стояків: висота $h_{к} = 3$ м; ширина $l_{к} = 3$ м.

Результати спостережень.

Результати досліджень зміни площі поперечного перетину відкатних штреків при різних способах охорони.

Результати досліджень представлені у вигляді графіків зміни площі поперечного перетину S (м²) відкатних штреків при різних способах охорони по довжині виїмкової ділянки l (м) (рис. 3, 4). За початковий перетин приймалася площа поперечного перетину виробки на сполученні очисного вибою з відкатним штреком.

На рис. 3 зображено графіки зміни площі поперечного перетину S (м²) відкатного штреку пласта l_5 по довжині виїмкової ділянки l (м) при різних способах охорони.

У разі, коли відкатний штрек охороняли ціликами вугілля, перетин виробки змінився з $S = 8,5$ м² до $S = 3,9$ м² на відстані $l = 100$ м позаду очисного вибою. Втрата площі на цій ділянці склала 54% (рис. 3, залежність 1).

При охороні відкатного штреку кущами із стояків перетин виробки змінився з $S = 8,5$ м² до $S = 3,9$ м² (рис. 3, залежність 2). Зменшення площі поперечного перетин

відкатного штреку на відстані $l = 100$ м позаду очисного вибою склало 54%. В ході експериментальних досліджень зафіксовано, що при охороні виробок кушами із стояків, інтенсивність зміни площі поперечного перетину відкатних штреків зі збільшенням довжини виїмкової ділянки дещо більше, ніж при охороні виробок ціликами вугілля (рис. 3).

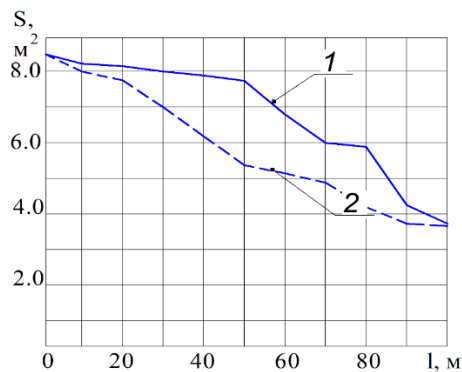


Рис. 3. Графіки зміни площі поперечного перетину S (м^2) відкатного штреку пласта I_5 по довжині виїмкової ділянки l (м): 1 - при охороні ціликами вугілля; 2 - при охороні кушами із стояків

На рис. 4 представлений графік зміни площі поперечного перетину S (м^2) відкатного штреку пласта I_6 по довжині виїмкової ділянки при охороні ціликами вугілля.

Зафіксовано, що на відстані $l = 100$ м позаду очисного вибою перетин відкатного штреку відповідав $S = 4.1 \text{ м}^2$ (рис. 5). В цьому випадку втрата площі склала 52%.

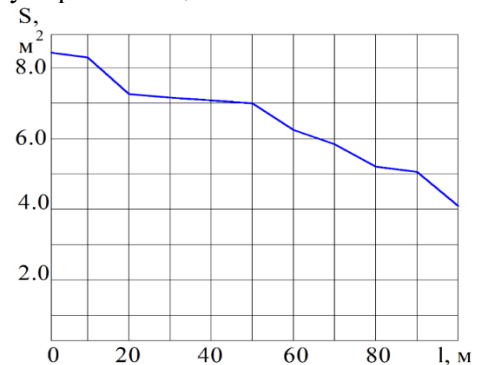


Рис. 4. Графік зміни площі поперечного перетину S (м^2) відкатного штреку пласта I_6 по довжині виїмкової ділянки l (м) при способі охорони ціликами вугілля

Розглянемо залежність площі поперечного перетину S (м^2) відкатних штреків від довжини виїмкової ділянки l (м).

Розрахуємо рівень залежності площі поперечного перетину відкатного штреку пласта I_5 від довжини ділянки l (м) при способі охорони ціликами вугілля. Відзначимо, що кореляційну залежність будемо визначати окремо для інтервалу від 0 до 50 метрів і від 60 до 100 метрів. Отже, на кожному з інтервалів буде отримано своє рівняння регресії (рис. 5).

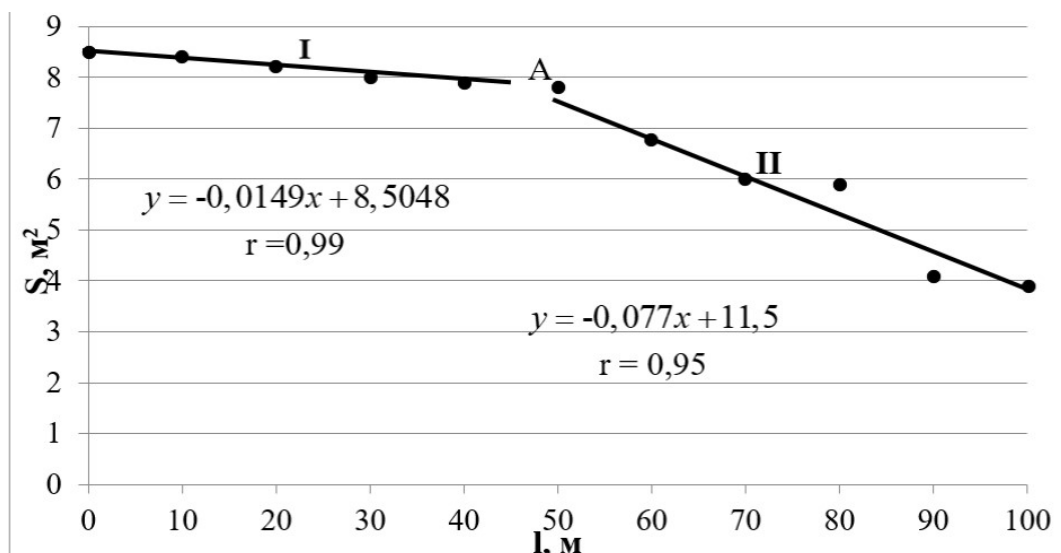


Рис. 5. Регресійний зв'язок між довжиною експериментальної ділянки l (м) і площею перетину S (м^2) відкатного штреку пласта I_5 (спосіб охорони - цілики вугілля): I, II - інтервали по довжині експериментальної ділянки, на яких спостерігається лінійна кореляція; A - точка, в якій відбувається втрата стійкості цілика

Так само, як у випадку для пласта l_6 опишемо залежність між поперечним перетином S (м²) відкатного штреку пласта l_6 і довжиною виїмкової ділянки l (м). Спосіб

охорони - цілики вугілля. Рівняння регресії побудуємо для інтервалів 0—20 м, 20—50 м і 60—100 м (рис. 6).

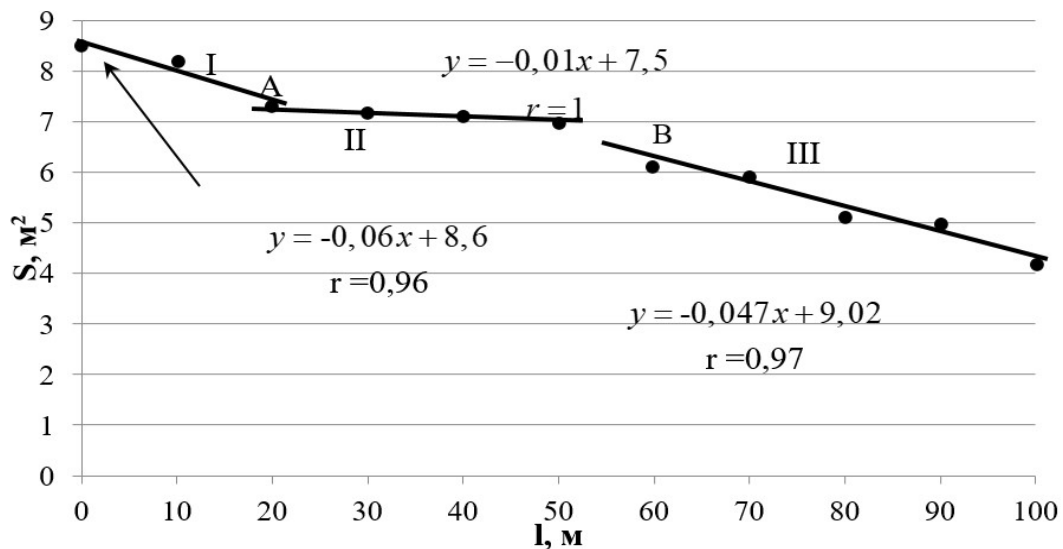


Рис. 6. Регресійний зв'язок між довжиною експериментальної ділянки l (м) і площею поперечного перетину S (м²) відкатного штреку пласта l_6 (спосіб охорони - цілики вугілля); I, II, III - інтервали по довжині експериментальної ділянки, на яких спостерігається лінійна кореляція; А, В - точки, в яких відбувається втрата стійкості ціликів

За отриманими експериментальними даними досліджуємо залежність площі поперечного перетину відкатного штреку пласта від довжини виїмкової ділянки при охороні куцями із стояків. Рівняння

регресійного зв'язку та графічне представлення кореляційної залежності між довжиною виїмкової ділянки і площею перетину представлені на графіку (рис. 3):

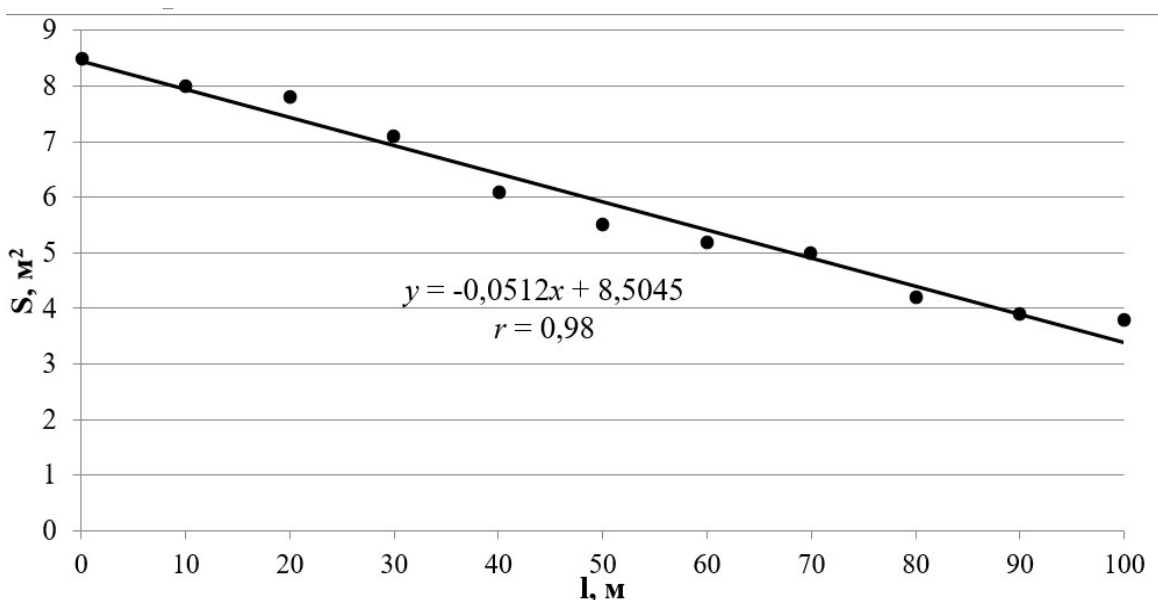


Рис. 7. Регресійний зв'язок між довжиною експериментальної ділянки l (м) і площею перетину S (м²) відкатного штреку пласта l_5 (спосіб охорони - куцї із стояків)

Слід зазначити, що у всіх випадках на відстані $l > 25—30$ м позаду очисного вибою стійкість відкатного штреку на

експериментальних ділянках погіршується. При цьому кріплення в підготовчій виробці деформувалося і мало вигини з боку покрівлі.

Результати досліджень проявів гірничого тиску в відкатних штреках при різних способах охорони.

За результатами шахтних вимірювань були побудовані графіки зміщень порід покрівлі u (мм) на контурі відкатного штреку пластів l_5 і l_6 по довжині експериментальної ділянки l (м). Для цього на замірній станції визначалась зміна відстані $a-b$ між реперами.

На рис. 8 представлені графіки зміщень бічних порід u (мм) на контурі відкатного штреку пласта l_5 при різних способах охорони по довжині експериментальної ділянки l (м).

За результатами шахтних досліджень, шляхом замірів зближення реперів $a-b$ в відкатному штреку, визначені максимальні зміщення порід покрівлі u (мм) по довжині експериментальної ділянки l (м) (рис. 8). Зафіксовано, що на відстані $l = 100$ м позаду очисного вибою зміщення порід покрівлі складають $u_{a-b} = 420$ мм при охороні виробки ціликами вугілля (рис. 8, залежність 1) і $u_{a-b} = 540$ мм при охороні штреку кушами із стояків (рис. 8, залежність 2). Зі збільшенням довжини експериментальної ділянки ці зміщення збільшуються.

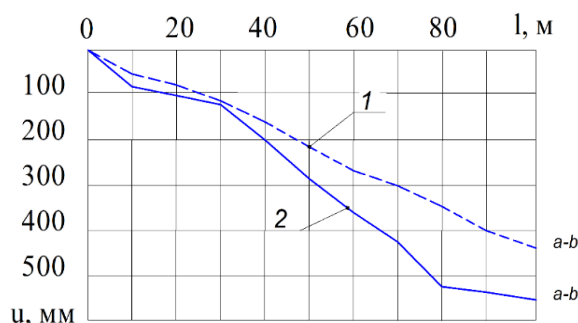


Рис. 8. Графіки зміщень порід покрівлі u (мм) на контурі відкатного штреку пласта l_5 при різних способах охорони по довжині експериментальної ділянки l (м): 1 - цілики вугілля; 2 - куші із стояків; $a-b$ - зміщення репера a в напрямку репера b

На рис. 9 представлений графік зміщення порід покрівлі u (мм) на контурі відкатного штреку пласта l_6 при охороні ціликами вугілля по довжині експериментальної ділянки l (м).

З наведеного графіка видно, що зі збільшенням довжини експериментальної ділянки l (м) зміщення покрівлі збільшується. На відстані $l = 100$ м позаду очисного вибою зміщення покрівлі на експериментальній ділянці набувають максимальних значень, досягаючи зближення бічних порід $u_{a-b} = 420$ мм (рис. 9).

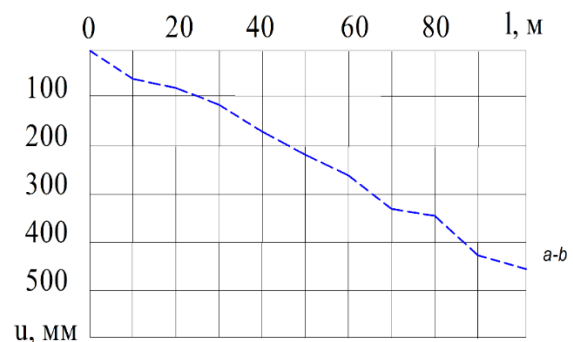


Рис. 9. Графік зміщення порід покрівлі u (мм) на контурі відкатного штреку пласта l_6 при охороні ціликами вугілля по довжині експериментальної ділянки l (м): $a-b$ - зміщення репера a в напрямку репера b .

При виконанні вимірювань у всіх випадках було зафіксовано деформування аркового кріплення в відкатному штреку з боку порід покрівлі.

Розглянемо характер зміщень порід покрівлі на контурі відкатного штреку пласта по довжині експериментальної ділянки. Застосовуваний спосіб охорони - куші із стояків. Для визначення зв'язку розрахуємо коефіцієнт кореляції.

Експериментальні дані представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Експериментальні дані конвергенції бічних порід пласта l_5

x (l , м)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
y (u , мм)	0	0,07	0,1	0,12	0,2	0,29	0,35	0,42	0,51	0,52	0,53

Знайдемо коефіцієнт кореляції, використовуючи формулу:

$$r = \frac{xy - x \cdot y}{S_x \cdot S_y}.$$

Проміжні дані, необхідні для розрахунків зводимо в табл. 3.

Таблиця 3 – Дані експериментальних досліджень для визначення коефіцієнта кореляції

№	x_i	y_i	x_i^2	y_i^2	$x_i y_i$
1	0	0	0	0	0
2	10	0,07	100	0,0049	0,70
3	20	0,1	400	0,0100	2,00
4	30	0,12	900	0,0144	3,60
5	40	0,2	1600	0,0400	8,00
6	50	0,29	2500	0,0841	14,50
7	60	0,35	3600	0,1225	21,00
8	70	0,42	4900	0,1764	29,40
9	80	0,51	6400	0,2601	40,80
10	90	0,52	8100	0,2704	46,80
11	100	0,53	10000	0,2809	53,00
Сума	550	3,11	38500	1,264	219,80

Вибіркові середні:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 50, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = 0,283,$$

$$\overline{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i = 19,982,$$

Дисперсії виборки:

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\bar{x})^2} = 31,623,$$

$$S_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\bar{y})^2} = 0,187.$$

Отже, коефіцієнт кореляції дорівнює:
 $r = 0,98$.

Так як $r > 0,7$, то між експериментальними даними має місце пряма сильна кореляційна залежність, яка свідчить про те, що при збільшенні довжини експериментальної ділянки 1 (м) зміщення порід покрівлі u_{a-b} (м) також збільшується.

Вже згаданий кореляційний зв'язок може бути апроксимований прямою лінією регресії, яка отримана за допомогою методу найменших квадратів [15, 16]. Рівняння регресійного зв'язку має вигляд:

$$y = 0,0058x - 0,0095.$$

Графічне представлення кореляційної залежності між довжиною 1 (м) експериментальної ділянки відкатного штреку пласта l_5 і зміщенням порід покрівлі u_{a-b} (м) наведено на рис. 10.

Використовуючи аналогічні міркування, визначимо зв'язок між довжиною 1 (м) експериментальної ділянки відкатного штреку пласта l_5 і l_6 , і зміщеннями порід покрівлі u_{a-b} (м) на контурі виробки при способі охорони ціликами вугілля. Рівняння кореляційного зв'язку і графік прямої лінії регресії представлені на рисунку 11 а, б.

Встановлений кореляційний зв'язок апроксимується прямою лінією регресії, що свідчить про можливість використання моделі лінійно-пружного тіла для дослідження деформаційних властивостей надштрекових охоронних споруд у вигляді ціликів вугілля або кушів із стояків.

Обговорення результатів досліджень стійкості відкатних штреків.

Аналіз відомих способів охорони відкатних штреків на крутому падінні, свідчить про те, що близько 50% загальної протяжності підготовчих виробок, що примикають до очисних вибоїв на відкатному горизонті, при способах охорони ціликами вугілля або кущами із стояків мають незадовільні площі поперечних перетинів.

В результаті проведених експериментальних досліджень обґрунтовані умови стійкості відкатних штреків в зоні впливу очисних робіт по довжині виїмкової ділянки. Після обробки експериментальних даних встановлена лінійна залежність зміни площі поперечного перетину S (м²) відкатного штреку при способі охорони кущами із стояків від довжини 1 (м) виїмкової ділянки.

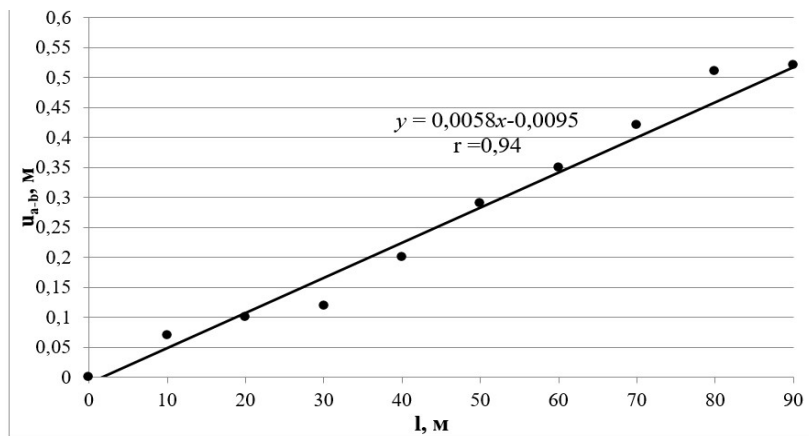


Рис. 10. Регресійний зв'язок експериментальних даних конвергенції бічних порід на контурі відкатного штреку пласта l_5 (спосіб охорони - кущі із стояків)

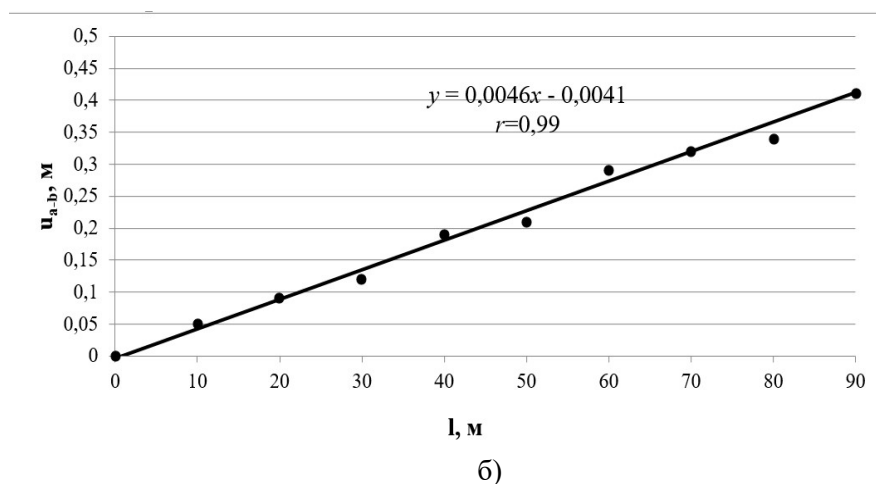
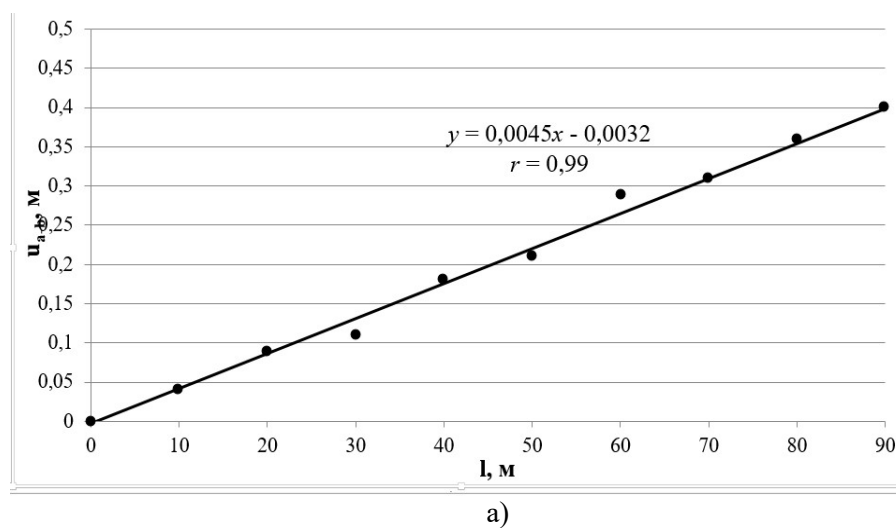


Рис. 11 Регресійний зв'язок експериментальних даних конвергенції бічних порід на контурі відкатного штреку при способі охорони ціликами вугілля: а) відкатний штрек пласта l_5 ; б) відкатний штрек пласта l_6

Експериментально визначено, що на ділянці $0 \leq l < 60$ м кріплення у відкатному штреку деформується нерівномірно, що зумовлено підвищеною порушеністю порід

покрівлі. Конвергенція бічних порід на контурі виробки досягає величин $u_{a-b} \approx 280\text{—}350$ мм (рис. 8, 9).

На відстані $l \geq 60$ м позаду очисного вибою, перетин виробки зменшується з $S = 6,8 \text{ м}^2$ до $S = 3,9 \text{ м}^2$ при охороні ціликами (рис. 3, 4) і з $S = 5,2 \text{ м}^2$ до $S = 3,8 \text{ м}^2$ при охороні кушами із стояків (рис. 3). Конвергенція бічних порід на цій ділянці перевищує конструктивну піддатливість кріплення і становить $u_{a-b} = 280-420$ мм при охороні ціликами вугілля і $u_{a-b} = 350-520$ мм при охороні кушами із стояків (рис. 8, 9).

Після обробки експериментальних даних встановлена лінійна залежність зміни площі поперечного перетину S (м^2) відкатних штреків при охороні ціликами вугілля від довжини відкатного штреку l (м) позаду очисного вибою (рис. 5, 6). При цьому можна виділити характерні інтервали I, II і III, які відрізняються різною інтенсивністю зміщень порід і, відповідно, зміни площі поперечного перетину. Очевидно, це пов'язано з погіршенням тримкості вугільних ціликів (т. А і В на рис. 5, 6). Однак для констатації такого становища необхідно провести додаткові теоретичні та експериментальні дослідження.

Зміщення порід покрівлі на контурі відкатного штреку при способах охорони ціликами вугілля або кушами із стояків зі збільшенням довжини експериментальної ділянки, відбуваються по лінійній залежності (рис. 10, 11).

Слід визнати, що для забезпечення стійкості відкатних штреків раціонально застосування безціликових способів охорони. Однак при цьому необхідно вирішувати питання регулювання або зміни жорсткості охоронних споруд, щоб обмежити зміщення порід на контурі підтримуваної виробки і забезпечити плавний прогин і цілісність нависаючої товщі.

Очевидним є те, що куші із стояків, які використовуються для охорони дільничних підготовчих виробок, що примикають до очисного вибою, являють собою специфічні охоронні споруди. Фізичні характеристики таких споруд залежать від великого числа факторів, які характеризують деформаційні властивості охоронних об'єктів.

Таким чином, на підставі виконаних досліджень можна зробити висновок, що при розробці крутих вугільних пластів та поверховому способі підготовки, охорона відкатних штреків ціликами вугілля або кушами із стояків є малоефективною.

Застосування безціликових способів охорони дільничних підготовчих виробок скорочує втрати вугілля на виїмковій ділянці. Але в цьому випадку для забезпечення експлуатаційного стану відкатних штреків доцільно застосування піддатливих охоронних споруд або закладки виробленого простору.

Висновки.

Експлуатаційний стан відкатних штреків по довжині виїмкової дільниці, визначається працездатністю охоронних споруд. При охороні відкатних штреків крутих вугільних пластів кушами із стояків встановлена лінійна залежність зміни площі поперечного перетину виробок в зоні впливу очисних робіт від збільшення довжини виїмкової дільниці. Інтенсифікація зміщень бічних порід на контурі виробки, в міру посунування очисного вибою, залежить від тримкості і геометрії охоронних споруд, розташованих над штреком. На відстані $l \geq 60$ м позаду очисного вибою зміщення бічних порід на контурі відкатного штреку перевищують конструктивну піддатливість кріплення, в результаті чого перетин виробки зменшується до 50%. У подібних умовах, при відсутності обмеження зміщень порід покрівлі і підшви, зберегти експлуатаційний стан відкатних штреків неможливо. Щоб запобігти аварійним ситуаціям, які пов'язані з можливими завалами виробок, рекомендується застосування закладки виробленого простору або використання піддатливих охоронних споруд.

Список літератури

1. Викторов С.Д., Иофис М.А., Гончаров С.А. Сдвигение и разрушение горных пород. Москва: Наука, 2005. 277 с.
2. Николин И.В., Подкопаев С.В., Агафонов А.В. Снижение травматизма от проявления горного давления. Донецк: Норд-пресс, 2005. 232 с.
3. Селезень А.Л., Томасов А.Г., Андрушко В.Ф. Поддержание подготовительных выработок при разработке крутых пластов. Москва: Надра, 1977. 205 с.
4. Викторов С.Д., Гончаров С.А., Иофис М.А., Закалинский В.М. Механика сдвигения и разрушения горных пород. Москва: РАН, 2019. 360 с.
5. Черняев В.И. Расчет напряжений и смещений пород при разработке свиты пластов. Киев: Техника, 1987. 148с.
6. Жуков В.Е. Об одной стратегической ошибке в разрешении проблемы разработки крутых пластов. *Уголь Украины*. 2001. №7. С.6-10.
7. Левкин Н.Б. Предотвращение аварий и травматизма в угольных шахтах Украины. Донецк: Донбасс, 2002. 393с.

8. Шашенко А.Н., Пустовойтенко В.П., Сдвижкова Е.А. Геомеханика. Киев: Новый друк, 2016. 528с. ISBN 978-617-635-088-0

9. Управление горным давлением при разработке угольных пластов. / О.С. Аносов, Н.С. Кузьменко, В.Г. Кудрявцев и др. Донецк: Донбасс, 1990. 303с.

10. Охрана подготовительных выработок целиками на угольных шахтах / В.Б. Артемьев, Г.И. Коршунов, А.К. Логинов и др. Санкт-Петербург: Наука, 2009. 229с.

11. Кошелев К.В., Петренко Ю.А., Новиков А.О. Охрана и ремонт горных выработок. Москва: Недра, 1990. 256с.

12. Liashok Ya.O., Iordanov I.V., Chepiga D.A., Podkopaiev S.V. Experimental studies of the seam openings competence in different methods of protection under pitch and steep coal seams development. *Mining of Mineral Deposits*. 2018. Vol.12. Issue 4. P. 9-19. DOI: 10.1547//mining.12.04.009.

13. Канин В.А., Ходырев Е.Д., Галемский П.В. Опережающая разработка защитных пластов для предотвращения выбросов песчанников при проведении подготовительных выработок. *Наукові праці Укр НДМІ НАН України*. 2012. №11. С. 239-250.

14. Зборщик М.П., Подкопаев С.В. Механизм повышения устойчивости кровли в лавах при применении закладки выработанного пространства. *Уголь Украины*. 1992. №5. С.20-23.

15. Свешников А. Прикладные методы теории вероятности. Санкт-Петербург: Изд-во Лань, 2012. 480 с. ISBN 978-5-8114-1219-8.

16. Боровков А. Математическая статистика. Санкт-Петербург: Изд-во Лань, 2010. 704 с.

References

1. Viktorov, S. D., Iofis M.A., Goncharov S.A. (2005). *Sdvizheniye i razrusheniye gornyykh porod*. Moskva: Nauka. (in Russian)

2. Nikolin, I.V. Podkopaiev, S.V., Agafonof, A.V. (2005). *Snizheniye travmatizma ot proyavleniya gornogo davleniya*. Donetsk: Nord-press. (in Russian)

3. Selezenev, A.L. Tomasov, A.G., Andrushko, V.F. (1977). *Podderzhanie podgotovitel'nykh vyrobotok pri razrabotke krutyykh plastov*. Moskva: Nadra. (in Russian)

4. Viktorov, S.D. Goncharov, S.A., Iofis, M.A., Zakalinskiy, V.M. (2019). *Mekhanika sdvizheniya i razrusheniya gornyykh porod*. Moskva: RAN. (in Russian)

5. Chernyayev, V.I. (1987). *Raschet napryazheniy i smeshcheniy porod pri razrabotke svity plastov*. Kiev: Tekhnika. (in Russian)

6. Zhukov, V.Ye. (2001). Ob odnoy strategicheskoy oshibke v razreshenii problemy razrabotki krutyykh plastov. *Ugol' Ukrainy*, 7, 6-10. (in Russian)

7. Levkin, N.B. (2002). *Predotvrashcheniye avariyy i travmatizma v ugol'nykh shakhtakh Ukrainy*. Donetsk: Donbass. (in Russian)

8. Shashenko, A.N., Pustovoytenko, V.P., Sdvizhykova, E.A. (2016). *Heomekhanika*. Kiev: Novyy druk. ISBN 978-617-635-088-0. (in Russian)

9. Anosov, O.S. Kuz'menko, N.S., Kudryavtsev, V.G. i dr. (1990). *Upravleniye gornym davleniyem pri razrabotke ugol'nykh plastov*. Donetsk: Donbass. (in Russian)

10. Artem'yev, V.B. Korshunov, G.I., Loginov, A.K. i dr. (2009). *Okhrana podgotovitel'nykh vyrobotok tselikami na ugol'nykh shakhtakh*. Sankt-Peterburh: Nauka. (in Russian)

11. Koshelev, K.V. Petrenko, Yu.A., Novikov, A.O. (1990). *Okhrana i remont gornyykh vyrobotok*. Moskva: Nedra. (in Russian)

12. Liashok, Ya., Iordanov I., Chepiga D., Podkopaiev 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*, 12, 4, 9-19. doi:10.1547//mining.12.04.009

13. Kanin, V.A., Khodyrev, Ye.D., Galemskiy, P.V. (2012). Operezhayushchaya razrabotka zashchitnykh plastov dlya predotvrashcheniya vybrosov peschanikov pri provedenii podgotovitel'nykh vyrobotok. *Naukovі pratsi Ukr NDMІ NAN Ukraїni*, 11, 239-250. (in Russian)

14. Zborshchik, M.P., Podkopaiev, S.V. (1992). Mekhanizm povysheniya ustoychivosti krovlі v lavakh pri primenenii zakladki vyrobotannogo prostranstva. *Ugol' Ukrainy*, 5, 20-23. (in Russian)

15. Sveshnikov, A. (2012). *Prikladnyye metody teorii veroyatnosti*. Sankt-Peterburh: Lan'. ISBN 978-5-8114-1219-8. (in Russian)

16. Borovkov, A. (2010). *Matematicheskaya statistika*. Sankt-Peterburh: Lan'. (in Russian)

Надійшла до редакції 12.09.2020

Рецензент д-р. техн. наук, проф. С.В. Подкопаєв

Бачурін Леонід Леонідович – канд. техн. наук, перший проректор з науково-педагогічної роботи ДонНТУ, Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна).

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

Новікова Юлія Вікторівна - канд. фіз.-матем. наук, доцент кафедри «Вища математика і фізика» Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет» (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна).

E-mail: yuliia.novikova@donntu.edu.ua

Сімонова Юлія Ігорівна - аспірант кафедри «Розробка родовищ корисних копалин», Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна).

E-mail: yuliia.simonova@donntu.edu.ua

Довгаль Віталій Юрійович - аспірант кафедри «Розробка родовищ корисних копалин», Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна).

E-mail: vud007007@gmail.com

Бойченко Геннадій Едуардович - аспірант кафедри «Розробка родовищ корисних копалин», Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна).

E-mail: ge.boychenko@gmail.com

Каюн Олексій Петрович - аспірант кафедри «Розробка родовищ корисних копалин», Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна).

E-mail: a.p.kayun@ukr.net

INVESTIGATION OF MAINGATES STABILITY IN STEEP COAL SEAMS AT EXTRACTION LAYOUTS OF DEEP MINE

Purpose of work. Investigation of maingates stability in different methods of protection on the extraction layouts of a deep coal mine, which develops steeply inclined coal seams.

Methods. To achieve this goal, mine experimental observation of maingates stability performed. Conditions for their maintenance are evaluated by the magnitude of the convergence of the side rocks on the contour and changes in the cross-sectional area of the gateroads.

Results. As a result of the research the conditions of maingates stability in steep coal seams in protection by pillars or timber sets are substantiated. It is recorded that in the zone of influence of extraction operations, at a distance of $l < 60$ m behind the mining face with the considered methods of protection, the support of the maingates is deformed within the yielding limits and has characteristic flexures the side of hanging wall. At a distance of $l \geq 60$ m, the cross-sectional area of the maingates is reduced to 50% of the initial values, and the amount of roof to floor convergence exceeds the flexibility of the support. The increase displacement of rock mass on the contour of the supported roadway behind the mining face depends on the strength and geometry of the secondary support structures above the maingate.

Novelty. It is experimentally established that the change in the cross-sectional area of the maingate during protection by timber sets occurs linearly with increasing length of the extraction layout.

Practical significance. To ensure the maingates stability, it is advisable to use non-pillar methods of protection, when using yielding secondary support systems above the roadway, or backfilling.

Keywords: maingate roadways; steep coal seam; method of protection; secondary support systems; displacement of rock mass.

Bachurin Leonid - Associate Professor of the Department of Mining Managment, Donetsk National Technical University, (2, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85300 Ukraine).

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

Novikova Yuliia - Associate Professor of the Department of Further Mathematics and Physics, Donetsk National Technical University, (2, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85300 Ukraine).

E-mail: yuliia.novikova@donntu.edu.ua

Simonova Yuliia - graduate student, Donetsk National Technical University, (2, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85300 Ukraine).

E-mail: yuliia.simonova@donntu.edu.ua

Dovhal Vytalyi – graduate student, Donetsk National Technical University, (2, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85300 Ukraine).

E-mail: vud007007@gmail.com

Boichenko Hennadii- graduate student, Donetsk National Technical University, (2, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85300 Ukraine).

E-mail: ge.boychenko@gmail.com

Kayun Oleksiy - graduate student, Donetsk National Technical University, (2, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85300 Ukraine).

E-mail: a.p.kayun@ukr.net