

**Бачурін Л. Л., к.т.н.** (ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Покровськ, leonid.bachurin@donntu.edu.ua),  
**Іорданов І. В., к.т.н.** (ТОВ «Виробнича компанія ЕЛТЕКО», м. Костянтинівка, info@eme.kiev.ua), **Бессараб І. М., аспірант** (iryna.bessarab@donntu.edu.ua), **Король А. В., аспірант** (akorolv2017@gmail.com), **Каюн О. П., аспірант** (a.p.kayun@ukr.net), **Подкопаєв Є. С., аспірант** (eng.ep@seznam.cz), (ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Покровськ), **Демченко О. В., інженер** (ВП «Східна дирекція з ліквідації шахт», м. Мирноград), **Ткачук О. М., головний інженер** (СО ПАТ «Донбасенерго» «Електроремонт» м. Слов'янськ)

### КОМПЛЕКСНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ВІДКОТНИХ ШТРЕКІВ КРУТИХ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ ПРИ РІЗНИХ СПОСОБАХ ОХОРОНИ

Досліджено на моделях вплив деформаційних характеристик охоронних споруд, розташованих між покрівлею та подошвою вугільного пласта, на стійкість відкотних штреків на крутих вугільних пластах. Встановлено, що при використанні піддатливих охоронних споруд у вигляді кострів або накатних кострів, в результаті початкового зменшення жорсткості, а потім подальшого ущільнення підтримуючих конструкцій, забезпечується плавний прогин бічних порід над відкотним штреком. При використанні жорстких охоронних споруд у вигляді куців з дерев'яних стояків, литої смуги або бетонних блоків, в процесі навантаження спостерігається збільшення жорсткості підтримуючих конструкцій, що супроводжується зростанням концентрації напружень в бічних породах і на контурі відкотного штреку. Що більша жорсткість підтримуючих конструкцій і менше величина їх відносної деформації при стисненні, тим вище концентрація напружень у вуглепородному масиві.

Показано, що характер зміни жорсткості дерев'яних піддатливих споруд, з ростом відносної деформації (зниження на початковому етапі деформування із подальшою стабілізацією і, далі, зростанням на кінцевому етапі) сприяє збереженню цілісності бічних порід, обмеженню граничної конвергенції і підвищенню стійкості

**виробки, що охороняється. При використанні жорстких охоронних споруд, жорсткість конструкції зростає лише до певної граничної межі, після якої відбувається руйнування опори, а залишкова три-мкість не дозволяє обмежити конвергенцію бокових порід.**

**Ключові слова:** відкотний штрек; бічні породи; спосіб охорони; піддатлива опора; жорсткість; стійкість; деформація; стиснення.

**Вступ.** Проблема забезпечення стійкості підготовчих виробок при підземній розробці родовищ корисних копалин, є однією з основних при підвищенні техніко-економічних показників роботи вугільного підприємства. На шахтах, які розробляють вугільні пласти крутого падіння, охорона підготовчих виробок здійснюється вугільними ціликами або типовими конструкціями з дерева (костри, кущі із стояків). Закладання виробленого простору породою, внаслідок високої вартості дробильно-закладального обладнання і трудомісткості зведення закладальних масивів, наразі не застосовується.

Досвід роботи шахт, які розробляють пласти крутого падіння на глибоких горизонтах показує, що застосовувані способи охорони виробок не завжди здатні протистояти переміщенням розшарованих порід вуглепородного масиву, що призводить до втрати стійкості відкотних штреків. Незадовільний стан відкотних штреків погіршує умови провітрювання, ускладнює роботу підземного транспорту на виїмкових дільницях та погіршує безпеку гірничих робіт.

Практика застосування безціликових способів охорони дільничних підготовчих виробок показала, що при невідповідності деформаційних характеристик охоронних споруд міцнісним властивостям бічних порід, стійкість виробок погіршується. Тому, для забезпечення стійкості відкотних штреків при розробці вугільних пластів крутого падіння, необхідно оцінювати граничну деформацію бічних порід в залежності від деформаційних характеристик охоронних споруд. Вирішення цього завдання дозволить забезпечити збереження виробок в експлуатаційному стані протягом всього терміну служби і підвищити рівень безпеки гірничих робіт.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Аналіз відомих способів охорони відкотних штреків на крутому падінні, свідчить про їх різноманітність. На сьогодні на шахтах Донбасу при розробці крутих пластів використовують для охорони відкотних штреків цілики вугілля або різноманітні охоронні споруди.

Світовий досвід і практика розробки крутих вугільних пластів показує, що при глибині ведення гірничих робіт 500 м та більше, охорона дільничних підготовчих виробок ціликами вугілля є неефективною і, до того ж, значно ускладнює умови підтримання у подальшому виробок нижчерозташованих горизонтів [1, С. 127]. Оцінка стану гірничих виробок на шахтах з крутим заляганням вугільних пластів свідчить про те, що значне зменшення площі їх поперечного перерізу припадає на ділянку сполучення з лавою [1, С. 25]. У зоні активного впливу очисних робіт, в гірших умовах перебувають виробки, що охороняються ціликами вугілля або куцями зі стояків, в задовільному стані - штреки, що охороняються накатними кострами з дерев'яних шпал [2, С. 242].

Охорона дільничних підготовчих виробок дерев'яними кострами, широко застосовується на шахтах Донбасу, але цей спосіб охорони, попри свою простоту, не позбавлений недоліків. Зокрема, костри мають низьку тримкість [3, С. 120]. При розробці крутих вугільних пластів із застосуванням безціликових схем для охорони відкотних штреків також використовують дерев'яні стояки – у вигляді куців або органного кріплення. Такі споруди являють собою жорстку конструкцію. В результаті розвантаження вуглепородного масиву, при інтенсифікації конвергенції бічних порід позаду очисного вибою, стоякове кріплення виконує обрізну функцію [3, С. 122].

У 70-80 рр. ХХ ст. для охорони повторно використовуваних виробок на пластах крутого падіння почали застосовувати литі смуги, смуги з бетону і тумби зі збірного залізобетону (БЗБТ). Маючи достатню тримкість, такі конструкції при схильних до здимання породах призводять до руйнування покрівлі та підшви вугільного пласта і погіршення стійкості виробок. Використання дерев'яних прокладок дозволяє забезпечити часткову податливість споруд із тумб БЗБТ, але велика вартість та трудомісткість встановлення нівелює наявні переваги залізобетонних та бетонних тумб [4, С. 110].

В цілому для забезпечення стійкості відкотних штреків, при виборі способу охорони необхідно зіставити жорсткість підтримувальних конструкцій з механічними властивостями бічних порід, що дозволить обмежити зміщення на контурі виробки, а отже, звести до мінімуму небезпечні прояви гірничого тиску.

**Постановка задач досліджень.** Визначити деформаційні характеристики охоронних споруд, які використовуються для підтримання бічних порід у виробленому просторі вуглепородного масиву, для об-

ґрунтування умов збереження експлуатаційного стану відкотних штреків на виїмковій дільниці вугільної шахти.

**Матеріали та методи досліджень.** Комплексне дослідження стійкості відкотних штреків крутих вугільних пластів при різних способах охорони було виконано на моделях. Для дослідження стійкості відкотних штреків були виконані лабораторні експерименти на моделях з оптичних матеріалів за методикою [5; 6]. За допомогою поляризаційно-оптичного методу на моделях вивчалися закономірності розподілу напружень в вуглепородному масиві при різних способах охорони відкотних штреків. Для цього фіксувалася статична картина розподілу дотичних напружень, яка формується в породах лише у початковий період після виїмки вугілля. Ефективність способу охорони визначалася зниженням небезпечних проявів гірського тиску навколо відкотних штреків за рахунок зменшення зони концентрації напружень.

У лабораторії гірничого тиску ДонНТУ були проведено серію експериментів [7, С. 15] на оптичних моделях з ігдантину (склад матеріалу: гліцерин – 30%, желатин – 25%, вода – 45%). Розміри моделі: 300×300 мм, товщина 20 мм, геометричний масштаб 1:100. Модель імітувала відкотний штрек с різними способами охорони. Дослідження моделей виконувались на поляризаційній установці ППУ-4 способом зіставлення кольорів і смуг розподілу дотичних напружень. Для досліджень в рамках вищеописаного завдання було виготовлено 5 моделей.

Статичне поле напружень фіксувалося в межах відкотного штреку, пройденого по вугільному пласту потужністю  $m = 1,0$  м. Штрек аркової форми (висота 2,5 м, ширина 2,5 м). Дослідження проводились на моделях з шарами, які розглядалися як безпосередня і основна покрівля вугільного пласта. Товщина шарів відповідала  $3m$  і  $4m$ , де  $m$  – потужність пласта, що розробляється. Модель навантажувалася за схемою, коли вертикальне навантаження відповідало глибині  $H = 1200$  м, а горизонтальне навантаження створювалася реакцією бічних стінок моделі. Кут падіння пласта  $\alpha = 60^\circ$ . Дерев'яні костри мали усадку до 60–65%. Накатні костри зі шпал мали усадку до 50%. Дерев'яні куці зі стояків представляли жорстку конструкцію. При імітації жорстких охоронних споруд в моделях використовували поролон, просочений парафіном.

Для визначення деформаційних характеристик охоронних споруд використовували експериментальні зразки з дерева і піщано-

цементної суміші. Зразки охоронних споруд з дерева були представлені у вигляді кострів зі шпал з різним поєднанням елементів конструкції і кущів зі стояків. Зразки охоронних споруд з піщано-цементної суміші були представлені у вигляді литої смуги і бетонних блоків. Модельована товщина вугільного пласта  $m=1,0$  м відповідає висоті  $h$  (м) охоронної споруди. Масштаб моделювання 1:25. Розміри експериментальних зразків: висота  $h=0,04$  м, ширина  $b=0,04$  м, площа поперечного перетину  $S=0,0016$  м<sup>2</sup>.

Деформаційні характеристики матеріалів визначалися при одновісному стисненні зразків.

Відомо, що дерево є анізотропним матеріалом і його властивості в різних напрямках відрізняються. Вологість зразків на момент проведення випробувань відповідає 8%. Фізико-механічні характеристики експериментальних зразків представлені в табл.1.

Таблиця 1

Матеріал	Охоронна споруда	Межа міцності на стиск $\sigma_{сж}$ , МПа		Модуль пружності $E$ , МПа		Коефіцієнт Пуассона $\nu$	
		вздовж волокон	поперек волокон	вздовж волокон	поперек волокон	вздовж волокон	поперек волокон
сосна	дерев'яний костер зі шпал	-	86	-	570	-	0,02
	накатний костер зі шпал	-	86	-	570	-	0,02
	кущ з дерев. стояків	85	-	12600	-	0,5	-
піщано-цементна суміш	лита смуга	50		11800		0,26	
	бетонні блоки	36		8700		0,25	

Для імітації покрівлі і підшви вугільного пласта використовували породні балки довжиною  $l=0,1$  м, товщиною  $h=0,02$  м і шириною  $b=0,04$  м. Щільність балок відповідає  $\rho=2300$  кг/м<sup>3</sup>, модуль пружності  $E=11200$  МПа, межа міцності на стиск  $\sigma_{сж} = 48$  МПа. Для спрощення балка, що моделює шар підшви, була ідентичною балці, що моделює шар покрівлі.

При проведенні експериментів використовували гідравлічний прес ГП-50. Експериментальні зразки з дерева розміщували між породними балками і паралельними плитами преса. При дії вертикальної стискаючої сили  $F$  (кН), в результаті статичного стиснення встановлювали величину зміни висоти експериментальних зразків  $\Delta h$  (м) та відносну деформацію  $\lambda = \Delta h/h$  ( $h$  – початкова висота зразка, м).

При стисненні моделей у вигляді дерев'яних кострів зі шпал і накатних кострів зі шпал, навантаження прикладалося поперек волокон. При стисненні моделі у вигляді кущів з дерев'яних стояків, навантаження прикладалося уздовж волокон. Дерев'яні стояки встановлювалися перпендикулярно нашаруванню порід.

Жорсткість експериментальних зразків визначали із співвідношення, що випливає із закону Гука [8, С. 543]:

$$C = \frac{F}{\Delta h}. \quad (1)$$

Навантаження, що передається на зразок  $\sigma$  (МПа):

$$\sigma = \frac{F}{S}, \quad (2)$$

де  $S$  – площа зразка,  $\text{м}^2$ .

При деформуванні зразків відбувається зміна їх розмірів і форми. Виходячи з цього, повну питому потенціальну енергію охоронних споруд можна розділити на питому потенціальну енергію, яка накопичується за рахунок зміни об'єму  $U_{н.о.}$  ( $\text{Дж}/\text{м}^2$ ) і за рахунок зміни форми  $U_{н.ф.}$  ( $\text{Дж}/\text{м}^2$ ). Складові повної питомої потенціальної енергії визначаються із співвідношень [9, С. 6]:

$$U_{н.о.} = \sigma^2 \left( \frac{1-2\nu}{6E} \right), \quad (3)$$

$$U_{н.ф.} = \sigma^2 \left( \frac{1+\nu}{3E} \right), \quad (4)$$

де  $\nu$  – коефіцієнт Пуассона.

Деформаційні властивості бічних порід в вуглепородному масиві, в залежності від способу охорони відкотного штреку, оцінювали за допомогою коефіцієнта  $k$ :

$$k = \frac{EI}{CL^3}, \quad (5)$$

де  $EI$  – згинальна жорсткість порід покрівлі,  $\text{Н}\cdot\text{м}^2$ ;

$L$  – довжина балки порід покрівлі, м.

*Результати досліджень розподілу напружень в вуглепородному масиві при різних способах охорони відкотних штреків.*

При аналізі статичного поля дотичних напружень в вуглепородному масиві, який вміщує виробки, враховувалося положення про те, що об'ємний напружений стан бічних порід в міру віддалення від контуру виробки, змінюється від стану близького до узагальненого розтягування до узагальненого стиснення в глибині масиву [10, С. 63].

На рис. 1 представлена схема моделі статичного поля дотичних напружень в вуглепородному масиві при різних способах охорони відкотного штреку.

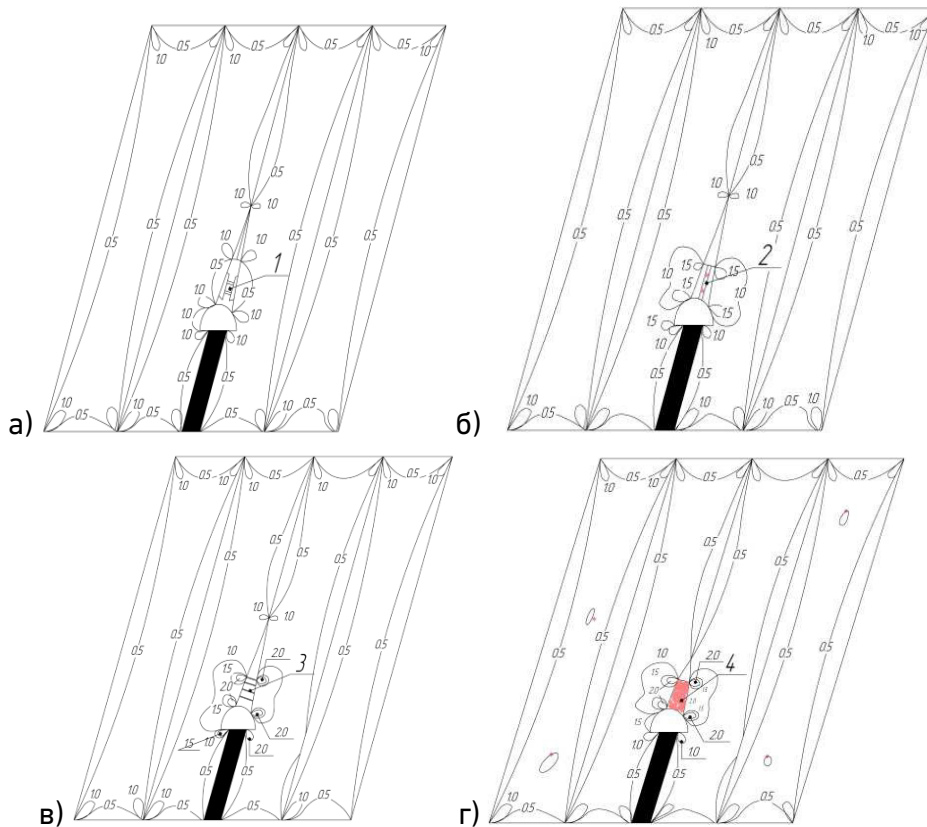


Рис. 1. Схема моделі статичного поля дотичних напружень в вуглепородному масиві при різних способах охорони відкотного штреку: а) дерев'яними кострами; б) накатними кострами зі шпал; в) куцями зі стояків; г) литою смугою (бетонними блоками); 1 – дерев'яні костри; 2 – накатні костри; 3 – куц з стояків; 4 – лита смуга (бетонні блоки)

Аналіз статичного поля напружень в моделях вказує на те, що при охороні відкотного штреку дерев'яними кострами, маємо мінімальну концентрацію напружень в покрівлі та підшві, а так само на контурі виробки (рис. 1, а). При використанні для охорони виробки накатних кострів зі шпал, концентрація напружень в бічних породах дещо збільшується (рис. 1, б). Використання для охорони відкотного штреку куців з дерев'яних стояків, супроводжується інтенсивним обрізанням бокових порід. При цьому з боку покрівлі концентрація напружень інтенсивніше, ніж з боку підшви (рис. 1, в). У випадках, коли охорона відкотного штреку здійснюється литою смугою або бетонними блоками, в покрівлі та підшві, а так само на контурі виробки, маємо максимальну концентрацію напружень. При охороні виробок жорсткими конструкціями концентрація напружень переміщується на контур виробок (рис. 1, в, г).

З аналізу моделей (рис. 1) випливає, що негативні прояви гірничого тиску у вуглепородному масиві, що вміщує виробки, зводяться до мінімуму при використанні в якості охоронних споруд піддатливих опор: дерев'яних кострів або накатних кострів з дерев'яних шпал (рис. 1а, б). Використання для охорони підготовчих виробок жорстких охоронних споруд призводить до високої концентрації напружень в бічних породах і на контурі відкотного штреку (рис. 1, в, г, д). При випробуванні оптичних моделей під навантаженням породи покрівлі і підшви зазнавали згинальних деформацій.

*Результати досліджень деформаційних характеристик охоронних споруд.*

При різних способах охорони збереження відкотних штреків забезпечується за рахунок стійкості покрівлі як основного вантажотримального елемента вуглепородного масиву. В свою чергу, охоронні споруди призначені забезпечити стійкість покрівлі над відкотним штреком в межах виїмкової дільниці.

Початковий стан охоронних споруд до одновісного стиснення представлено на рис. 2.

На рис. 3 показано графіки змін висоти  $h$  (м) експериментальних зразків від величини одновісного стискувального навантаження  $F$  (кН). Так, при стисненні дерев'яних кострів зафіксовано, що зі збільшенням стискаючої сили  $F$  до 32 кН, висота експериментального зразка  $h$  зменшується з 0,039 до 0,011 м (рис. 3, крива 1).



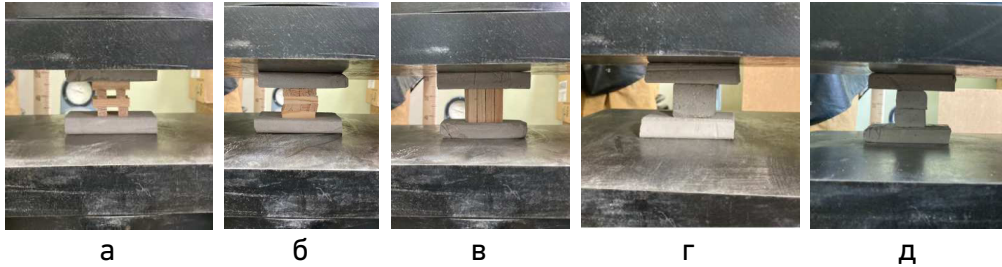
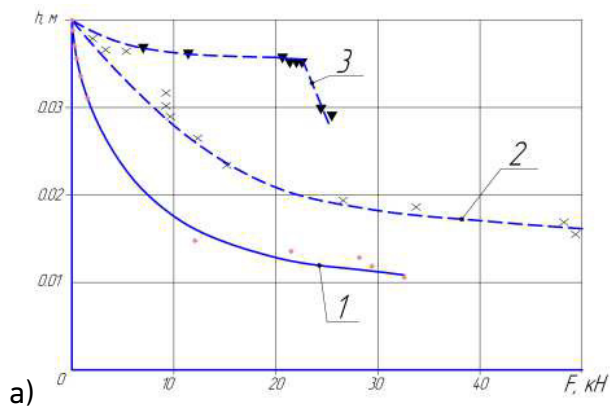


Рис. 2. Фото експериментальних зразків для визначення деформаційних характеристик охоронних споруд:

- а) костер зі шпал; б) накатний костер зі шпал; в) куцз зі стояків;  
г) лита смуга; д) бетонні блоки

В результаті стиснення накатних кострів з дерев'яних шпал, при збільшенні стискаючої сили до 50 кН, висота зразка зменшилася з 0,038 до 0,0156 м (рис. 3, крива 2). При одновісному стисненні куцза з дерев'яних стояків зафіксовано зменшення висоти експериментального зразка з 0,039 до 0,031 м при  $F=24$  кН (рис. 3, крива 3). Потім, зі збільшенням стискаючої сили до 30 кН експериментальний зразок втратив стійкість, а породи покрівлі зруйнувалися. При стисненні литої смуги зафіксовано, що зі збільшенням стискаючої сили  $F$  від 5 до 45 кН, висота експериментального зразка  $h$  зменшилась з 0,039 до 0,037 м (рис. 3, крива 4). В результаті стиснення бетонних блоків, зі збільшенням стискаючої сили від 5 до 44 кН, висота зразка зменшилась від 0,038 до 0,035 м (рис. 3, крива 5).



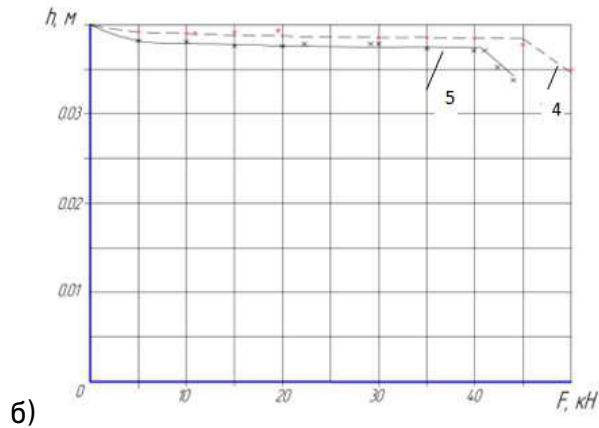


Рис. 3. Графіки зміни висоти  $h$  (м) експериментальних зразків від навантаження  $F$  (кН) при одновісному стисненні:

1 – дерев'яні костри; 2 – накатні костри з дерев'яних шпал; 3 – куці з дерев'яних стояків; 4 – лита смуга; 5 – бетонні блоки

Загальний вигляд експериментальних зразків після їх стиснення на пресі показано на рис. 4.

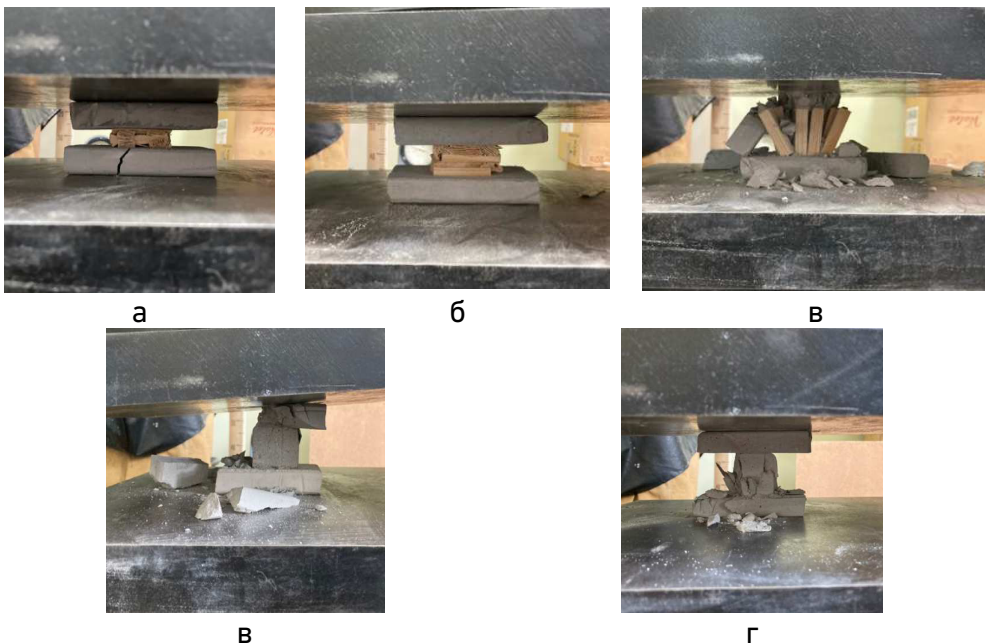


Рис. 4. Загальний вигляд експериментальних зразків після одновісного стиснення:

а) костер зі шпал; б) накатний костер зі шпал; в) куц зі стояків;  
г) лита смуга; д) бетонні блоки

На рис. 5 показано графіки зміни жорсткості  $C$  (Н/м) експери-

ментальних зразків від відносної деформації  $\lambda$  при одновісному стисненні. Зафіксовано, що при стисненні дерев'яних кострів зі шпал або накатних кострів їх жорсткість зменшується, а потім збільшується (рис. 5, а, б). Так, при стисненні дерев'яних кострів до  $\lambda=0,38$  їх жорсткість  $C$  зменшилася з  $0,95 \cdot 10^6$  до  $0,25 \cdot 10^6$  Н/м, а потім збільшилася до  $1,04 \cdot 10^6$  Н/м при  $\lambda=0,72$  (рис. 5, а). При одновісному стисненні накатних кострів зі шпал їх жорсткість відповідала  $0,82 \cdot 10^6$  Н/м при  $\lambda=0,31$ , а потім  $1,94 \cdot 10^6$  Н/м при  $\lambda=0,62$  (рис. 5, б). При стисненні кушів з дерев'яних стояків жорсткість експериментального зразка при  $\lambda=0,1$  збільшується до  $5,0 \cdot 10^6$  Н/м, а потім зменшується до  $1,85 \cdot 10^6$  Н/м при  $\lambda=0,3$  (рис. 5, в).

В результаті одновісного стиснення литої смуги, маємо збільшення жорсткості з  $5 \cdot 10^6$  Н/м при  $\lambda=0,025$  до  $13,9 \cdot 10^6$  Н/м при  $\lambda=0,083$  (рис. 5, г). При стисненні бетонних блоків їх жорсткість збільшується з  $4,2 \cdot 10^6$  Н/м при  $\lambda=0,03$  до  $11,4 \cdot 10^6$  Н/м при  $\lambda=0,078$  (рис. 5, д).

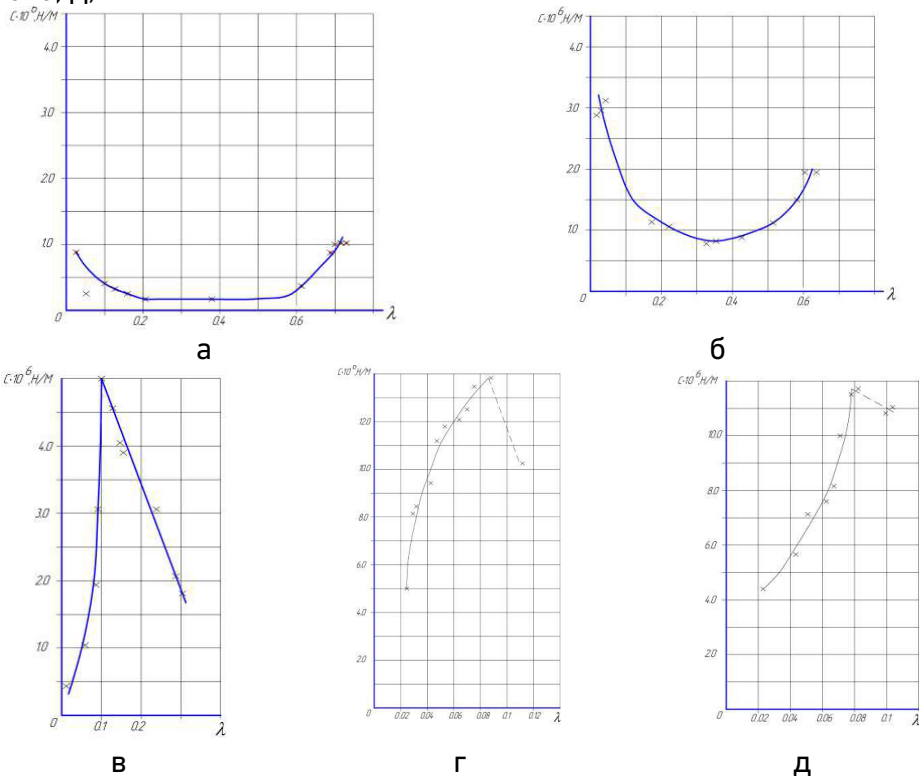


Рис. 5. Графіки зміни жорсткості  $C$  ( $10^6$  Н/м) експериментальних зразків від величини відносної деформації  $\lambda$  при одновісному стисненні: а) костер зі шпал; б) накатний костер зі шпал; в) куш зі стояків, г) лита смуга; д) бетонний блок

На рис. 6 показано експериментальні графіки зміни навантаження  $\sigma$  (МПа), що передається на експериментальний зразок при стисненні, від відносної деформації  $\lambda$ .

З рис. 6 видно, що при стисненні дерев'яних кострів або накатних кострів з дерев'яних шпал навантаження плавно збільшується з ростом відносної деформації зразків (залежність 1, 2). При стисненні кущів з дерев'яних стояків, навантаження збільшується приблизно до 15 МПа. Потім відбувається певна стабілізація навантаження при незначному зростанні відносної деформації від 0,19 до 0,3 (залежність 3).

При стисненні зразків з піщано-цементної суміші (лита смуга, бетонні блоки) навантаження  $\sigma$  різко збільшується до максимальних значень 29–33 МПа при  $\lambda \leq 0,12$  (рис. 6, залежності 4, 5).

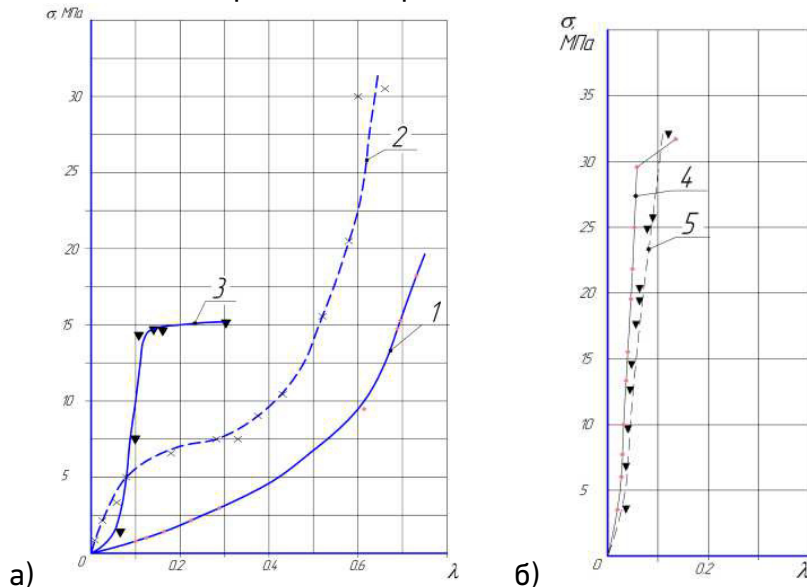


Рис. 6. Графіки зміни величини навантаження  $\sigma$  (МПа) при одновісному стисненні від відносної деформації  $\lambda$ :

а) експериментальні зразки з дерева; б) експериментальні зразки з піщано-цементної суміші; 1 – костер зі шпал; 2 – накатний костер зі шпал; 3 – кущ зі стояків; 4 – лита смуга; 5 – бетонний блок

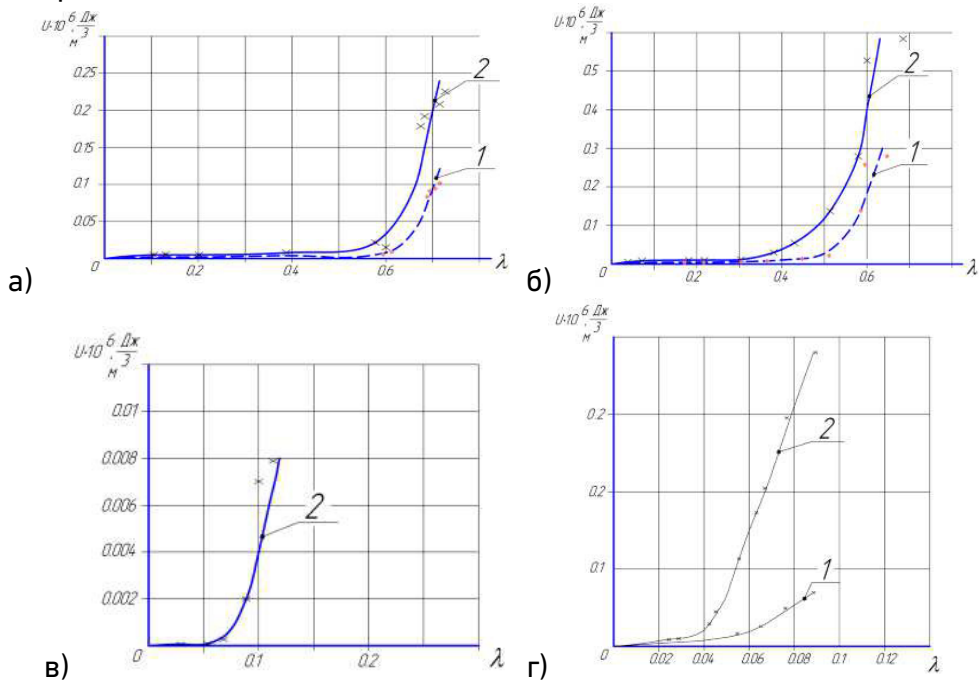
На рис. 7 показано графіки змін питомих потенціальних енергій експериментальних зразків з урахуванням зміни форми і об'єму в результаті одновісного стиснення від їх відносної деформації.

При стисненні дерев'яних кострів і накатних кострів зі шпал на зміну об'єму експериментальних зразків витрачається близько 30%

питомої потенціальної енергії, а на зміну форми близько 70% (рис. 7, а, б). При одновісному стисненні куців з дерев'яних стояків, питома потенціальна енергія при стисненні витрачається на зміну форми експериментального зразка (рис. 7, в).

У випадку одновісного стиснення експериментальних зразків у вигляді моделі литої смуги або бетонних блоків, близько 80% енергії витрачається на деформацію форми і 20% на зміну їх об'єму (рис. 7, г, д).

Напружено-деформований стан бічних порід вуглепородного масиву в межах підтримуваних виробок, залежить від деформаційних характеристик охоронних споруд, оскільки вони впливають на перерозподіл напружень навколо виробок. Виходячи з цього, для оцінки ступеню впливу способу охорони на стійкість бічних порід та гірничих виробок, нами використано коефіцієнтом  $k$ , що дорівнює відношенню згинальної жорсткості покрівлі до жорсткості охоронних споруд з урахуванням довжини ділянки шару покрівлі, що розглядається як балка (5). З використанням експериментальних даних, отриманих при одновісному стисненні зразків, встановлені значення коефіцієнта  $k$  (табл. 2).



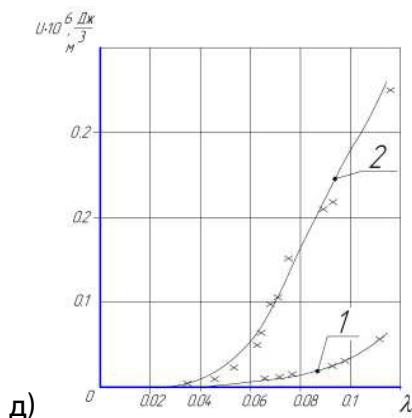


Рис. 7. Графіки змін питомих потенціальних енергій експериментальних зразків при зміні об'єму  $U_{н.о.}$  ( $10^6$  Дж/м<sup>3</sup>) і форми  $U_{н.ф.}$  ( $10^6$  Дж/м<sup>3</sup>) в результаті одновісного стиснення від відносної деформації  $\lambda$ :

- а) костер зі шпал; б) накатний костер зі шпал; в) куці зі стояків;  
г) лита смуга; д) бетонний блок

Таблиця 2

Охоронна споруда	Значення коефіцієнта k
Дерев'яний костер	0,28
Накатний костер зі шпал	0,15
Куці зі стояків	0,05
Лита смуга	0,027
Бетонні блоки	0,023

З урахуванням даних табл. 2, побудовані графіки зміни коефіцієнта k від відносної деформації  $\lambda$  експериментальних зразків і величини жорсткості C (Н/м) (рис. 8).

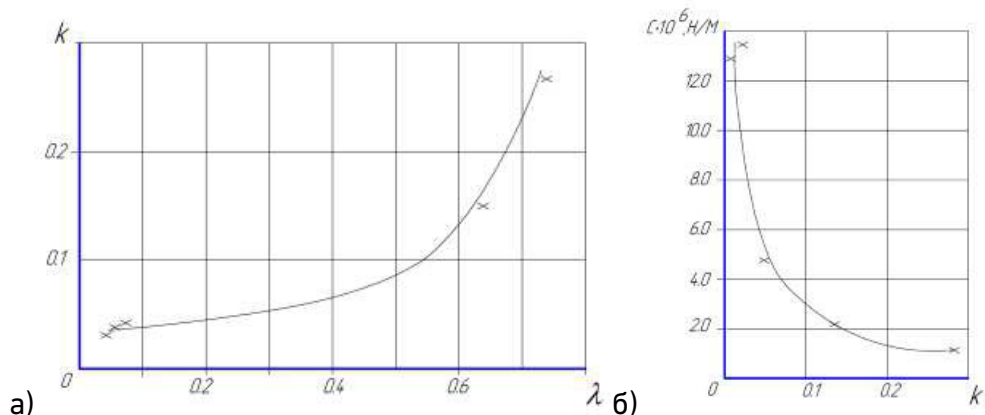


Рис. 8. Графік зміни коефіцієнта k від:

- а) величини відносної деформації  $\lambda$  охоронної споруди при стисненні і  
б) жорсткості охоронної споруди C (Н/м)

Величина жорсткості експериментальних зразків визначалася в їх стійкому стані при одновісному стисненні. З наведених залежностей видно, що зі збільшенням відносної деформації експериментальних зразків, коли їх жорсткість зменшується, значення коефіцієнта  $k$  збільшуються (рис. 8).

**Обговорення результатів дослідження.** На моделях з оптичних матеріалів (рис. 1), використовуючи геомеханічні закономірності формування напруженого стану вуглепородного масиву, що вміщує виробки, визначено умови, за яких забезпечується стійкість бічних порід і відкотних штреків крутих вугільних пластів при різних способах охорони. Зафіксовано, що за наявності над відкотним штреком піддатливих охоронних споруд у вигляді дерев'яних кострів (рис. 1, а) або накатних кострів зі шпал (рис. 1, б), негативні прояви гірського тиску зводяться до мінімуму, порівняно з охороною виробок жорсткими конструкціями: куцями зі стояків, литою смугою, бетонними блоками (рис. 1, в, г).

Істотним фактором формування умов стійкості відкотних штреків з точки зору розподілу напружень в вуглепородному масиві є деформаційні характеристики охоронних споруд. За наявності піддатливих охоронних споруд над виробкою (рис. 1, а, б), коли бічні породи зазнають згинальних деформацій, забезпечується плавний прогин покрівлі. Зона високої концентрації напружень в бічних породах і на контурі відкотного штреку фіксується за наявності над підготовчою виробкою жорстких охоронних конструкцій у вигляді куців з дерев'яних стояків, литої смуги або бетонних блоків (рис. 1, в, г).

В ході комплексного дослідження стійкості виробок при різних способах охорони вивчені деформаційні характеристики охоронних споруд з урахуванням фізико-механічних властивостей бічних порід, які розглядалися у вигляді моделі балки (рис. 2). При одновісному стисненні деформаційні характеристики зразків визначалися з урахуванням механічних характеристик матеріалу (табл. 1), особливості конструкції (рис. 2) і характеру деформування (рис. 4).

Після одновісного стиснення експериментальних зразків (рис. 3), останні під дією зовнішньої сили змінюють свої розміри і форму (рис. 7). Для піддатливих охоронних споруд (рис. 2, а, б) зі збільшенням відносної деформації  $\lambda$  відбувається ущільнення дерев'яних конструкцій (рис. 4, а, б) і фіксується зростання жорсткості (рис. 5, а, б).

При дослідженні деформаційних характеристик жорстких охоронних конструкцій у вигляді кущів зі стояків, литої смуги і бетонних блоків (рис. 4, в, г, д) встановлено, що при невеликих значеннях  $\lambda$  ( $\leq 0,08-0,11$ ) фіксується зростання жорсткості (рис. 5, в, г, д) до певного граничного значення, після якого відбувається втрата стійкості охоронних споруд і руйнування їх та бічних порід (рис. 4, в, г, д).

З діаграми стиснення експериментальних зразків (рис. 4) випливає, що при збільшенні навантаження на досліджувані конструкції зміна відносної деформації має певні особливості. При стисненні дерев'яних піддатливих конструкцій у вигляді кострів або накатних кострів характерне ущільнення експериментальних зразків із збереженням цілісності бокових порід (рис. 4, а, б; 6, а), для жорстких конструкцій (рис. 4, в, г, д) фіксується короткочасне збільшення їх опору (рис. 6, б), а потім руйнування як охоронних споруд, так і бокових порід.

Напружено-деформований стан вуглепородного масиву навколо підтримуваних виробок залежить від фізико-механічних властивостей бічних порід і жорсткості охоронних споруд (рис. 1, 5). Ступінь впливу охоронних споруд на стійкість бокових порід оцінювалася через співвідношення жорсткості охоронної споруди і бічних порід (5).

Встановлено, що за інших рівних умов, коли згинальна жорсткість бічних порід не змінюється, з ростом відносної деформації працездатних охоронних споруд значення коефіцієнта  $k$  збільшуються з одночасним зменшенням жорсткості підтримувальних конструкцій (рис. 8, а, б). Що більше жорсткість працездатних охоронних споруд і менше величина відносної деформації при їх стисненні, тим більших руйнівних зусиль зазнають породи покрівлі в місцях концентрації напружень, утворених за рахунок контакту зведених засобів охорони з бічними породами в вуглепородному масиві, що вміщує виробки (рис. 1, в, г; 4, в, г, д).

Таким чином, в результаті виконаних досліджень встановлено, що використання на пластах крутого падіння для охорони дільничних підготовчих виробок піддатливих споруд зменшує рівень концентрації напружень в бічних породах у вуглепородному масиві. При їх поступовому стисненні обмежується до певної граничної межі конвергенція покрівлі і підшви, забезпечується плавний прогин нависаючої товщі.

**Висновок.** На підставі комплексного дослідження стійкості відкотних штреків крутих вугільних пластів при різних способах охоро-



ни можна зробити висновок, що для забезпечення експлуатаційного стану виробок слід орієнтуватися на використання безціликової технології відпрацювання виїмкових дільниць з використанням піддатливих охоронних споруд для підтримання бічних порід. При виборі способу охорони дільничних підготовчих виробок, що примикають до очисного вибою в межах виїмкової дільниці, необхідно брати до уваги співвідношення жорсткості охоронних споруд до жорсткості бічних порід. Це дозволить обмежити переміщення бічних порід над штреком і забезпечити розвантаження вуглепородного масиву від напружень, зберегти цілісність нависаючої товщі.

**1.** Кошелев К. В., Петренко Ю. А., Новиков А. О. Охрана и ремонт горных выработок / под ред. К. В. Кошелева. М. : Недра, 1990. 218 с. **2.** Бондаренко В. І., Бузило В. І., Табаченко М. М., Медяник В. Ю. Геомеханічні основи підвищення стійкості підготовчих виробок. Д. : ДВНЗ «Національний гірничий університет», 2010. 408 с. **3.** Насонов А. А. Анализ способов и конструкций, применяемых для охраны выемочных выработок. *Перспективы развития Восточного Донбасса* : сб. науч. трудов. Новочеркасск : УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2008. С. 47–128. **4.** Канін В. О., Анциферов А. В. Охрана гірничих виробок газобетонним кріпленням. Донецьк : ТОВ «АЛАН», 2004. 396 с. **5.** Хаимова–Малькова Р. И. Методика исследования напряжений поляризационно-оптическим методом. М. : Наука, 1970. 194 с. **6.** Методические указания по изготовлению моделей из оптически чувствительных материалов для исследования проявлений горного давления. Л. : ВНИМИ, 1970. 180 с. **7.** Liashok Ya., Iordanov I., Chepiga D. and Podkopaev S. Experimental studies of the seam openings competence in different methods of protection under pitch and steep coal seams development. *Mining of Mineral Deposits*. 2018. Vol. 12, issue 4. P. 9–19. DOI: <https://doi.org/10.15407/mining12.04.009>. **8.** Pariseau W. G. Design Analysis in Rock Mechanics. Taylor & Francis / Balkema, 2006. 560 p. **9.** Барановський Е. М., Гошовський С. В., Мойсишин В. М. Прогнозування та використання зміни складових потенціальної енергії гірського масиву при бурінні глибоких свердловин. *Нафтогазова енергетика*. 2007. № 4(5). С. 5–13. **10.** Баклашов И. В. Деформируемость и разрушение породных массивов. М. : Недра, 1988. 271 с.

## REFERENCES:

**1.** Koshelev K. V., Petrenko YU. A., Novikov A. O. Ohrana i remont gorniyh vyirabotok / pod red. K. V. Kosheleva. M. : Nedra, 1990. 218 s. **2.** Bondarenko V. I., Buzylo V. I., Tabachenko M. M., Medianyuk V. Yu. Neomekhanichni osnovy pidvyshchennia stiikosti pidhotovchykh vyrobok. D. : DVNZ «Natsionalnyi hirnychiy universytet», 2010. 408 s. **3.** Nasonov A. A. Analiz sposobov i konstruktsiy, primenyaemyih dlya ohranyi vyiemochnyih vyirabotok.

*Perspektivy razvitiya Vostochnogo Donbassa* : sb. nauch. trudov. Novocherkassk : UPTS «Nabla» YURGTU (NPI), 2008. S. 47–128. **4.** Kanin V. O., Antsyferov A. V. Okhorona hirnychikh vyrobok hazobetonnykh kriplenniam. Donetsk : TOV «ALAN», 2004. 396 s. **5.** Haimova–Malkova R. I. Metodika issledovaniya napryazheniy polyarizatsionno-opticheskim metodom. M. : Nauka, 1970. 194 s. **6.** Metodicheskie ukazaniya po izgotovleniyu modeley iz opticheski chuvstvitelnykh materialov dlya issledovaniya proyavleniy gornogo davleniya. L. : VNIMI, 1970. 180 s. **7.** Liashok Ya., Iordanov I., Chepiga D. and Podkopaev S. Experimental studies of the seam openings competence in different methods of protection under pitch and steep coal seams development. *Mining of Mineral Deposits*. 2018. Vol. 12, issue 4. P. 9–19. DOI: <https://doi.org/10.15407/mining12.04.009>. **8.** Pariseau W. G. Design Analysis in Rock Mechanics. Taylor & Francis / Balkema, 2006. 560 p. **9.** Baranovskyi E. M., Hoshovskyi S. V., Moisyshyn V. M. Prohnozuvannia ta vykorystannia zminy skladovykh potentsialnoi enerhii hirskoho masyvu pry burinni hlybokykh sverdlovykh. *Naftohazova enerhetyka*. 2007. № 4(5). S. 5–13. **10.** Baklashov I. V. Deformiruemost i razrushenie porodnykh massivov. M. : Nedra, 1988. 271 s.

---

**Bachurin L. L., Candidate of Engineering (Ph.D.)** (Donetsk National Technical University, Pokrovsk, leonid.bachurin@donntu.edu.ua), **Iordanov I. V., Candidate of Engineering (Ph.D.)** (LLC Manufacturing Company ELTEKO, Kostiantynivka, info@eme.kiev.ua), **Bessarab I. M., Post-graduate Student** (iryna.bessarab@donntu.edu.ua), **Korol A. V., Post-graduate Student** (akorolv2017@gmail.com), **Kaiun O. P., Post-graduate Student** (a.p.kayun@ukr.net), **Podkopaiev Y. S., Post-graduate Student** (eng.ep@seznam.cz) (Donetsk National Technical University, Pokrovsk), **Demchenko O. V., Engineer** (SS "Eastern Directorate for Liquidation of Mines", Myrnohrad), **Tkachuk O. M., Chief Engineer** (Structural Unit of PJSC «Donbasenergo» «Elektroremont», Mykolaivka)

## **COMPREHENSIVE RESEARCH OF THE STABILITY OF HAULAGE DRIFTS ON STEEP COAL SEAMS IN DIFFERENT PROTECTION METHODS**

**The influence of deformation characteristics of secondary support structures located between the roof and the floor of the coal seam on the stability of haulage drifts on steep coal seams was investigated on the models. It was established that when using yielding secondary support structures in the form of different types of timber-based chock constructions, as a result of the initial reduction of stiffness, and then further consolidation of the supporting structures, it is provided a smooth deflection of the wall rocks over the haulage drift.**

**When using rigid secondary support structures in the form of vertical timber sets, cast strip, or concrete blocks, during the loading process there is observed an increase in the stiffness of the supporting structures, accompanied by an increase in stress concentration on the contour of the haulage drift and surrounding roof and floor strata. The greater the stiffness of the supporting structures and the smaller the value of their relative deformation during compression, the higher the stress concentration in the rock mass.**

**It is shown that the nature of the change in the stiffness of wooden yielding structures, with increasing relative deformation (decrease in the initial stage of deformation with subsequent stabilization and, further, increase in the final stage) contributes to maintaining the integrity of wall rocks, limiting convergence, and increasing the stability of the roadway which is protected. When using rigid secondary support structures, the stiffness of the structure increases only to a certain limit, after which there is a destruction of the support, and the residual durability does not allow to limit the convergence of the wall rocks.**

***Keywords:* haulage drift; wall rocks; secondary support; yielding support structures; stiffness; stability; deformation; compression.**

---

**Бачурин Л. Л., к.т.н.** (ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Покровск, leonid.bachurin@donntu.edu.ua),  
**Иорданов И. В., к.т.н.** (ООО «Производственная компания ЭЛТЕКО», г. Константиновка, info@eme.kiev.ua), **Бессараб И. Н., аспирант** (iryna.bessarab@donntu.edu.ua), **Король А. В., аспирант** (akorolv2017@gmail.com), **Каюн А. П., аспирант** (a.p.kayun@ukr.net), **Подкопаев Е. С., аспирант** (eng.ep@seznam.cz), (ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Покровск), **Демченко А. В., инженер** (ОП «Восточная дирекция по ликвидации шахт», г. Мирноград), **Ткачук О. М., главный инженер** (СЕ ПАО «Донбассэнерго» «Электроремонт», г. Славянск)

## **КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКАТОЧНЫХ ШТРЕКОВ КРУТЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ ОХРАНЫ**

**Исследовано на моделях влияние деформационных характеристик охранных сооружений, расположенных между кровлей и почвой пласта, на устойчивость откаточных штреков на крутых**

угольных пластах. Установлено, что при использовании податливых охранных сооружений в виде костров или накатных костров, в результате первоначального уменьшения жесткости, а затем дальнейшего уплотнения поддерживающих конструкций, обеспечивается плавный прогиб боковых пород над откаточным штреком. При использовании жестких охранных сооружений в виде кустов из деревянных стоек, литой полосы или бетонных блоков, в процессе нагружения наблюдается увеличение жесткости поддерживающих конструкций, сопровождающееся ростом концентрации напряжений в боковых породах и на контуре откаточного штрека. Чем больше жесткость поддерживающих конструкций и меньше величина их относительной деформации при сжатии, тем выше концентрация напряжений в углепородном массиве.

Показано, что характер изменения жесткости деревянных податливых сооружений с ростом относительной деформации (снижение на начальном этапе деформирования с последующей стабилизацией и, далее, рост на конечном этапе) способствует сохранению целостности боковых пород, ограничению предельной конвергенции и повышению устойчивости охраняемой выработки. При использовании жестких охранных сооружений жесткость конструкции растет лишь до определенного предела, по достижении которого происходит разрушение опоры, а остаточная несущая способность не позволяет ограничить конвергенцию боковых пород.

*Ключевые слова:* откаточный штрек; боковые породы; способ охраны; податливая опора; жесткость; стойкость; деформация; сжатие.

---