МОДЕЛЮВАННЯ СТІЙКОСТІ БІЧНИХ ПОРІД У ВУГЛЕПОРОДНОМУ МАСИВІ ПРИ РІЗНИХ СПОСОБАХ ОХОРОНИ ВИРОБОК

В. Ю. Довгаль

ПАТ «Центренерго», Київська обл., Україна

E-mail для листування: vudoo7007@gmail.com

Отримано: 11 серпня 2021; Прийнято: 27 серпня 2021

Цитувати як: Довгаль В. Ю. (2021). Моделювання стійкості бічних порід у вуглепородному масиві при різних способах охорони виробок. *Проблеми охорони праці в Україні*, 37(3), 28–34.

Мета – дослідження проявів гірничого тиску у відкатному штреку крутого вугільного пласта для забезпечення експлуатаційного стану виробки та підвищення безпеки робіт на виїмковій ділянці глибокої вугільної шахти. У дослідженні використовувався комплексний підхід, що включає аналіз і узагальнення теоретичних та експериментальних досліджень з цієї проблеми, проведено натурний експеримент з вивчення стійкості відкатних штреків і обробку експериментальних даних. Для оцінки стійкості підготовчої виробки були виконані шахтні дослідження з вивчення проявів гірничого тиску у відкатному штреку при різних способах охорони, коли встановлювалася величина зміщення бічних порід на контурі та зміни площі поперечного перерізу штреку по довжині виїмкової ділянки. В результаті виконаних досліджень обґрунтовано умови стійкості відкатних штреків крутих вугільних пластів при охороні кострами з дерев'яних шпал і кушами зі стояків. Зафіксовано, що в зоні впливу гірничих робіт, кріплення у відкатному штреку деформується і має характерні вигини з боку покрівлі. На відстані $l > 80$ м позаду очисного вибою втрата площі поперечного перерізу виробки склала близько 50 % при способі охорони кушами зі стояків та 30 % при застосуванні дерев'яних кострів. Експериментально доведено, що при способі охорони діляничних підготовчих виробок жорсткими дерев'яними конструкціями у вигляді кушів зі стояків, зміна площі поперечного перерізу відкатного штреку позаду очисного вибою в зоні впливу очисних робіт відбувається за лінійною залежністю зі збільшенням довжини виїмкової ділянки до повного руйнування охоронної споруди. Для забезпечення стійкості відкатних штреків у глибокій вугільній шахті з крутим заляганням вугільних пластів, доцільним є застосування безціликових способів охорони, коли для підтримки бічних порід використовуються податливі споруди у вигляді кострів із дерев'яних шпал. Застосування цього способу охорони підготовчої виробки дозволяє зменшити ймовірність обвалення і підвищити безпеку гірничих робіт.

Ключові слова: стійкість, моделювання, вуглепородний масив, жорсткість, охоронне спорудження, бічні породи, гірничі виробки

MODELING OF STABILITY OF SIDE ROCKS IN A COAL MASSIF WITH DIFFERENT METHODS OF SUPPORT THE WORKINGS

V. Yu. Dovhal

PJSC "Centrenenergo", Kyiv region, Ukraine

E-mail for correspondence: vudoo7007@gmail.com

Received: 11 August 2021; Accepted: 27 August 2021

Cite as: Dovhal, V. (2021). Modeling of stability of side rocks in a coal massif with different methods of support the workings. *Labour Protection Problems in Ukraine*, 37(3), 28–34.

Purpose of work. Determine the conditions of the side rocks stability in a coal massif with different ways of support coal-rock stratum to ensure safe working conditions for miners in the excavation areas of a coal mine with steep coal seams. To achieve this goal, laboratory studies were carried out on models of optical and equivalent materials. The modeling of the stability of side rocks in a coal-rock massif was carried out with the methods of support roadways with vertical timber sets and wooden crib supports: 4-point chock. On models made of optical materials in the analysis of the static field of the distribution of shear stresses in side rocks, the regularity of the change in hazardous manifestations of rock pressure, depending on the deformability of support structures, was recorded. On equivalent models of support structures, the deformation characteristics of experimental samples were determined and their effect on the integrity of the roof under the action of static loads was established. When using rigid support structures in the form of vertical timber sets made of wooden racks to protect sliding drifts, there is a deterioration in the stability of side rocks and destruction of the roof. When using flexible support structures in the form of wooden crib supports: 4-point chock, a smooth deflection of the roof and its integrity are observed. A decrease in the size of the stress concentration zone in the model of a coal-rock massif with workings after the compaction of flexible support structures located above the haul roadway, due to a change in their rigidity, when as a result of the convergence of side rocks, a smooth deflection is provided and the movement of the roof is limited. To ensure the stability of side rocks and development workings, as well as reduce the level of injuries of miners from landslides and collapses in the excavation areas of coal mines that develop steep seams, it is advisable to use flexible support structures, when using which, a smooth deflection of side rocks and their integrity in the mined-out area is ensured coal massif.

Key words: stability, modeling, coal massif, rigidity, support structures, side rocks, mining.

1. Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій

На цей час робота підприємств вугільної промисловості України здійснюється в гірничо-геологічних умовах, що постійно погіршуються. Мала потужність вугільних пластів, підвищена геологічна порушеність і тектонічна тріщинуватість вміщуючих порід, є характерною рисою родовищ Центрального району Донбасу. Досвід роботи шахт, що розробляють круті вугільні пласти в Китаї, Туреччині і Україні

показує, що з ростом глибини гірничих робіт у вуглепородному масиві з виробками починає інтенсивно проявлятися розшарування бічних порід. Цей негативний природний фактор істотно впливає на стійкість покрівлі і підшви пласта, стан виробок, провокуючи обвали і обвалення.

Вживані при поверховому способі підготовки крутих вугільних пластів способи охорони відкатних штреків ціликами вугілля або кушами з дерев'яних стійок, не завжди забезпечують захист виробок від небезпечних

проявів гірничого тиску. В таких умовах кріплення в відкатному штреку деформується, а площа поперечного перерізу зменшується. Збільшення протяжності виробок на виїмкових дільницях, так само суттєво погіршує їх стан, що знижує безпеку робіт.

Вивчення особливостей руйнування бічних порід, при різних способах охорони виробок з урахуванням деформаційних характеристик охоронних споруд, їх вплив на стан відкатних штреків і на основі цього, розробка ефективних заходів, спрямованих на забезпечення стійкості покрівлі у вуглепородному масиві, сприятиме створенню безпечних умов праці гірників на виїмкових дільницях вугільної шахти.

Аналіз досліджень і публікацій. Однією з найважливіших функціональних ланок вугільної шахти є підготовчі виробки, від нормального функціонування яких залежить ефективність роботи очисних вибоїв та безпека праці гірників. Аналіз відомих досліджень показує, що в глибоких шахтах при розробці крутих вугільних пластів, збереження гірничих виробок забезпечується за рахунок стійкості покрівлі, як основного вантажонесучого елемента вуглепородного масиву [1, 2, 3].

Зі збільшенням глибини гірничих робіт, умови вилучення корисних копалин погіршуються, а негативні прояви гірського тиску, що негативно впливають на стан бічних порід і виробок, інтенсифікуються. Реальність обвалення покрівлі у вуглепородному масиві обумовлюється не тільки умовами розробки крутих вугільних пластів, пов'язаних з кутами їх падіння але і фізико-механічними властивостями бічних порід [4, 5]. При поверховому способі підготовки і застосовуваному способі управління гірничим тиском в очисному вибої повним обваленням покрівлі, не представляється можливим утримати нависаючу розшаровану товщу порід у виробленому просторі. Надійність підтримки виробок в таких умовах багато в чому залежить від розмірів зон зруйнованих порід у вуглепородному масиві і способу охорони дільничних підготовчих виробок [6, 7, 8].

Вивчення механізму взаємодії блокової структури розшарованих бічних порід при способі управління гірничим тиском повним обваленням покрівлі показує, що без її ефективної підтримки, геомеханічний стан у вуглепородному масиві з виробками погіршується за рахунок розшарування нависаючої товщі і подальшого обвалення, що збільшує ймовірність травмування гірників [9]. Очевидним є те, що за інших рівних умов, ймовірність обвалення бічних порід і завалів виробок буде більше в разі відсутності над відкатним штреком у виробленому просторі опори [10].

В дослідженнях [4, 10] приведені результати вивчення проявів гірничого тиску у відкатному штреку при способі охорони ціликами вугілля. У цьому випадку цілики вугілля обмежених розмірів розглядали як охоронні споруди, що виконують роль підтримуючих опор. Для забезпечення стійкості виробок аналізували схеми навантаження ціликів з визначенням їх несучої здатності. Шляхом аналізу стану виробок і вимірювань зсувів бічних порід в натурних умовах, визначалася конвергенція бічних порід на контурі виробки і фактичне напруження ціликів. Такий підхід в дослідженнях дозволив прогнозувати стан виробок і ціликів. Однак при цьому залишилися не вирішені питання забезпечення стійкості бічних порід над штреком, з точки зору обмеження їх переміщень, що є підставою для початку розвитку обвалення і подальшого за цим завалу виробок.

Детальний аналіз аварій, що сталися на шахтах України в результаті обвалення бічних порід вказує на те, що основною причиною травматизму гірників за цим виробничим фактором, є не тільки порушення паспортів кріплення при проведенні, ремонті та підтриманні відкатних штреків, а й невідповідність застосовуваних способів охорони виробок, конкретним гірничо-геологічними умовами розробки вугільних пластів [9].

Таким чином, за результатами виконаного аналізу досліджень і з урахуванням досвіду експлуатації підготовчих виробок при різних способах охорони, можна оцінити ефективність підтримки відкатних штреків по довжині виїмкової дільниці в залежності від типу охоронних споруд. Однак для оцінки стійкості бічних порід і виробок, необхідно враховувати деформаційні характеристики охоронних споруд, як вантажонесучих опор, взаємодіючих з покрівлею і підшоною, їх вплив на протидію гірничому тиску і його збурень, пов'язаних з гірничими роботами. Комплексне вирішення цього питання дозволить створити у вуглепородному масиві сприятливу геомеханічну обстановку для підтримки виробок і безпечного ведення гірничих робіт.

Постановка задачі дослідження. Оцінити умови стійкості бічних порід у моделі вуглепородного масиву при різних способах охорони виробок з урахуванням деформаційних характеристик охоронних споруд.

Матеріали і результати досліджень. Для моделювання стійкості бічних порід у вуглепородному масиві при різних способах охорони відкатних штреків, були виконані лабораторні дослідження на експериментальних моделях з оптичних матеріалів. При проведенні досліджень фіксувалася статична картина розподілу дотичних напружень в моделі, яка формується у вм'язуючих породах у перший період після виїмки вугілля [11]. Ефективність способу охорони відкатного штреку визначалася зниженням небезпечних проявів гірничого тиску в моделі вуглепородного масиву, коли фіксувалося зменшення зони концентрації напружень в бічних породах і на контурі виробки. Зона, в якій фіксувалася концентрація напружень, являла область вуглепородного масиву, в якій починають формуватися умови обвалення бічних порід.

У лабораторії гірничого тиску ДонНТУ були виготовлені оптичні моделі з ігданіта (склад матеріалу: гліцерин – 30 %, желатин – 25 %, вода – 45 %). Розміри моделі: 300×300 мм, товщина 20 мм, геометричний масштаб 1:100. Модель імітувала відкатний штрек з різними способами охорони. Критерії подібності, пружні і оптичні константи моделей, визначені відповідно до методики [12]. Дослідження моделей виконувалося на поляризаційній установці ППУ – 4, відомим способом зіставлення кольорів і смуг розподілу дотичних напружень [13]. Усього було відібрано 4 моделі.

Статичне поле напруг фіксувалося в навколо відкатного штреку, пройденого по вугільному пласту потужністю $m = 1,0$ м. Штрек аркової форми (висота 2,5 м, ширина 2,5 м). Кут падіння пласта $\alpha = 60^\circ$. Дослідження проводилися на моделях з шарами, які розглядалися як покрівля і підшова вугільного пласта. Потужність шарів відповідала $3m$, де m – потужність пласта. Модель завантажувалася за схемою, коли вертикальне навантаження відповідало глибині $H = 1200$ м, а горизонтальне навантаження створювалось відсичю бічних стінок моделі. Дерев'яні костри мали усадку до 60 %. Дерев'яний куц зі стійок встановлювався перпендикулярно нашаруванню порід і представляв жорстку конструкцію.

Для визначення деформаційних характеристик охоронних споруд використовували експериментальні

зразки з дерева у вигляді костра зі шпал і куща зі стояків. Масштаб моделей 1:25. Розміри експериментальних зразків: висота $h = 0,04$ м; ширина $b = 0,04$ м, площа поперечного перетину $S = 0,0016$ м². Фізико-механічні

характеристики експериментальних зразків представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Фізико-механічні характеристики експериментальних зразків

Матеріал	Охоронне спорудження	Межа міцності на стиск $\sigma_{сж}$, МПа		Модуль пружності E , МПа		Коефіцієнт Пуассона, ν	
		уздовж волокна	уздовж волокна	уздовж волокна	поперек волокна	уздовж волокна	поперек волокна
сосна	дерев'яний костер зі шпал	-	86	-	570	-	0,02
	Куш із дерев'яних стійок	85	-	12600	-	0,5	-

Деформаційні характеристики охоронних споруд при імітації покрівлі і підшви вугільного пласта, у вигляді балок певної довжини ($L = 0,1$ м), визначалися при одноосовому стисканні зразків.

Балки, що імітують покрівлю та підшву вугільного пласта, були виготовлені з піщано-цементної суміші, згідно рекомендацій [14]. Для спрощення експериментів балка, що моделює покрівлю, була ідентична балці, яка моделювала шар підшви. Щільність модельованих балок

$\rho = 2300$ кг/м³, модуль пружності $E = 11200$ МПа, межа міцності на стискання $\sigma_{сж} = 48$ МПа.

При проведенні експериментів зі стиску експериментальних зразків, в якості випробувального обладнання використовували гідравлічний прес ГП-50. Фото експериментальних зразків представлено на рис. 1. В результаті статичного стискання, при дії вертикальної сили F (Н), встановлювали величину зміни висоти експериментальних зразків Δh (м).

Рисунок 1 – Фото експериментальних зразків до стискання на пресі ГП-50:

а) модель дерев'яного костра; б) модель куща з дерев'яних стояків

Відносну деформацію експериментальних зразків при одноосовому стисканні, визначали за виразом [15, 16]

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

де h – первісна висота зразка, м.

Жорсткість експериментальних зразків визначали за законом Гука [16], коли

$$c = \frac{F}{\Delta h} \quad (2)$$

Показник пластичної деформації δ_{nl} визначався за виразом [17]

$$\delta_{nl} = \frac{h - h_k}{h} \cdot 100\% \quad (3)$$

де h_k – висота експериментального зразка після стискання, м.

Показник пластичної деформації характеризує реакцію тіл при стисканні, тобто відображає їх здатність змінювати свої розміри під дією навантаження.

Слід зазначити, що при стисканні моделей у вигляді

дерев'яних кострів, навантаження прикладалося поперек волокон. При стисканні моделей у вигляді кущів зі стояків, навантаження прикладалося вздовж волокон, коли дерев'яні стояки встановлювалися перпендикулярно плитам преса ГП-50.

Результати досліджень.

На рис. 2 представлена схема моделі вуглепородного масиву з фіксацією статичного поля дотичних напружень при різних способах охорони відкاتного штреку.

Аналіз картин статичного поля дотичних напружень в моделях (рис. 2) вказує на те, що при охороні відкатного штреку дерев'яними кострами, маємо мінімальну концентрацію напружень на контурі виробки, а так само в бічних породах (рис. 2 а), в порівнянні з охороною підготовчої виробки кущами з дерев'яних стояків (рис. 2 б). При навантаженні моделі, в якій для охорони відкатного штреку використовують дерев'яні костри, відрізняється незначна концентрація напружень на контурі виробки і з боку покрівлі, що обумовлюється усадкою охоронного спорудження (рис. 2 а).

Рисунок 2 – Схема моделі вуглепородного масиву з фіксацією статичного поля дотичних напружень при охороні відкратного штреку: а) дерев'яними кострами; б) кушами з дерев'яних стояків

При охороні відкратного штреку кушами зі стояків, концентрація дотичних напружень фіксується на контурі виробки і в бічних породах, в місці контакту покрівлі і підшви з охоронним спорудженням (рис. 2 б). Очевидним є те, що охоронне спорудження у вигляді куша зі стояків являє собою жорстку конструкцію і є

концентратором напружень у покрівлі та підшві вугільного пласта (рис. 2 б).

На рис. 3 представлена схема моделі статичного поля дотичних напружень при підтримці покрівлі дерев'яними кострами або кушами з дерев'яних стояків.

Рисунок 3 – Схема моделі статичного поля дотичних напружень при підтриманні покрівлі: а) дерев'яними кострами; б) кушами з дерев'яних стояків

Аналіз статичного поля в моделях вказує на той факт, що використання дерев'яних кострів для підтримання покрівлі, забезпечує її плавний прогин і мінімальну концентрацію напружень в бічних породах (рис. 3 а). Використання куша з дерев'яних стояків для підтримання покрівлі, збільшує концентрацію напружень в бічних породах (рис. 3 б).

Виходячи з цього, можна зробити висновок, що використання для охорони дільничних підготовчих виробок дерев'яних кострів, як піддатливих конструкцій,

зводить до мінімуму небезпечні прояви гірничого тиску у вуглепородному масиві. Використання жорстких охоронних конструкцій, у вигляді кушів з дерев'яних стояків, сприяє високій концентрації напружень в бічних породах і на контурі виробки. Очевидно це призводить, з плином часу, до руйнування порід.

На рис. 4 представлені графіки зміни висоти експериментальних зразків h (м) від величини стискаючої сили F (кН).

Рисунок 4 – Графіки зміни висоти експериментальних зразків h (м) від величини стискаючої сили F (кН): а) дерев'яний костер; б) куш з дерев'яних стояків

При одноосовому стисканні на пресі ГП-50 експериментальних зразків у вигляді дерев'яних кострів, зафіксовано зменшення висоти моделі з $h=0,04$ м до $h=0,011$ м при $F=33$ кН (рис. 4 а). У разі одноосного стискання моделі куша з дерев'яних стояків, висота зразка

змінювалася від $h=0,04$ м до $h=0,036$ м при величині стискаючої сили $F=23$ кН (рис. 4 б).

На рис. 5 представлені фото експериментальних зразків після їх одноосного стискання

а)

б)

Рисунок 5 – Фото експериментальних зразків після стиснення на пресі ГП-50:

а) модель дерев'яного костра; б) модель куша з дерев'яних стояків

На рис. 6 представлені графіки зміни жорсткості $c \cdot 10^6 \left(\frac{H}{M} \right)$ експериментальних зразків від величини відносної деформації λ при одноосному стисканні.

Рисунок 6 – Графіки зміни жорсткості $c \cdot 10^6 \left(\frac{H}{M} \right)$ експериментальних зразків від величини відносної деформації λ при одноосному стисканні:

1 – дерев'яний костер; 2 – куш із дерев'яних стояків

Із рис. 6 видно, що при стисканні зразків у вигляді моделі дерев'яного костра, жорсткість конструкції зменшується $c = 0,85 \cdot 10^6 \frac{H}{M}$ при $\lambda = 0,02$ до

$c = 0,2 \cdot 10^6 \frac{H}{M}$ при $\lambda = 0,38$, а потім з ростом відносної

деформації збільшується до $c = 1,1 \cdot 10^6 \frac{H}{M}$ при $\lambda = 0,75$

(рис. 6, залежність 1).

У результаті стискання моделі куша з дерев'яних стояків, жорсткість конструкції збільшується за залежністю, зображеною на рис. 6, (залежність 2) із

$c = 0,48 \cdot 10^6 \frac{H}{M}$ при $\lambda = 0,02$ до $c = 5,0 \cdot 10^6 \frac{H}{M}$ при

$\lambda = 0,1$. Подальше збільшення навантаження, коли $F > 25$ кН, призвело до руйнування бічних порід і втрати стійкості експериментального зразка. При цьому конвергенція бічних порід не обмежується.

У табл. 2 наведено показники деформаційних властивостей експериментальних зразків при $\lambda = 0,1$.

Таблиця 2

Експериментальний зразок	Жорсткість $c \cdot 10^6, \frac{H}{M}$	Загальний показник пластичності $\delta_{пл}$	Відносна деформація при стисканні λ
дерев'яний костер	0,42	72,5	0,1
куш з дерев'яних стояків	5,0	10	0,1

Із таблиці 2 видно, що дерев'яні костри мають загальний показник пластичності $\delta_{пл} = 72,5$, що відповідає податливим охоронним спорудам. Куш із дерев'яних стояків з показником пластичності $\delta_{пл}$ слід відносити до жорстких підтримуваних конструкцій.

Обговорення результатів досліджень. В результаті виконаних досліджень визначені умови стійкості бічних порід в моделі вуглепородного масиву (рис. 2) при охороні відкатного штреку дерев'яними кострами (рис. 1 а, 2 а) і кушами з дерев'яних стояків (рис. 1 б, 2 б) з

урахуванням деформаційних характеристик охоронних споруд (табл. 2).

На моделях з оптичних матеріалів (рис. 2, 3) встановлено закономірність розподілу дотичних напружень в бічних породах і на контурі виробки. Зафіксовано, що небезпечні прояви гірничого тиску у вуглепородному масиві з виробками в результаті порівняння статичного поля розподілу дотичних напружень при способах охорони дерев'яними кострами (рис. 2 а) і кушами з дерев'яних стійок (рис. 2 б) зводяться до мінімуму при використанні в якості охоронних споруд дерев'яних кострів (рис. 2 а, 3 а). При використанні для

охорони виробок кушів з дерев'яних стояків, маємо максимальну концентрацію напружень в покрівлі та підшві (рис. 2 б, 3 б) і на контурі відкатного штреку (рис. 2 б).

Критерієм для оцінки стискання охоронних споруд можна вважати їх жорсткість (вир. 2). Величина жорсткості залежить від деформаційних особливостей вантажонесучих опор і визначається при максимальних значеннях відносної деформації λ працездатних охоронних споруд. Для дерев'яних кострів величина жорсткості дорівнює $c = 1,1 \cdot 10^6 \frac{H}{M}$ при $\lambda = 0,74$ (рис. 6, залежність 1). Для кушів з дерев'яних стояків – $c = 5,0 \cdot 10^6 \frac{H}{M}$ при $\lambda = 0,1$ (рис. 6, залежність 2).

При одноосовому стисканні дерев'яних кострів, їх жорсткість на першому етапі деформування, коли $\lambda = 0,1 - 0,4$ зменшується до $c = 0,2 \cdot 10^6 \frac{H}{M}$, а потім збільшується до $c = 1,1 \cdot 10^6 \frac{H}{M}$ при $\lambda = 0,74$ (рис. 6, залежність 1). У результаті такої взаємодії охоронного спорудження з бічними породами, показник пластичності дорівнює $\delta_{nl} = 72,5$, що відповідає деформаційним характеристикам піддатливих конструкцій (вир. 4, табл. 2).

Для охоронних споруджень, у вигляді кушів з дерев'яних стійок, коли стійки встановлюються перпендикулярно нашаруванню порід і стискаюче навантаження прикладається уздовж волокон, жорсткість опор збільшується до значень $c = 5,0 \cdot 10^6 \frac{H}{M}$ при максимальних значеннях відносної деформації $\lambda = 0,1$ (рис. 6, залежність 2). При цьому показнику пластичності дорівнює $\delta_{nl} = 10$, що відповідає параметрам жорстких охоронних конструкцій.

Таким чином, в результаті виконаних досліджень встановлено, що для забезпечення стійкості бічних порід

на пластах крутого падіння, необхідно використовувати податливі охоронні споруди, що виконують функції вантажонесучих опор, які розташовуються над відкатним штреком і забезпечують плавний прогин покрівлі. При виконанні цієї вимоги, коли зміщення покрівлі обмежуються, виключаються обвалення бічних порід, а значить підвищується безпека гірничих робіт на виїмкових дільницях вугільної шахти.

Висновки.

Основним фактором при формуванні умов стійкості бічних порід у вуглепородному масиві з виробками, є деформаційні характеристики охоронних споруд. При використанні піддатливих охоронних споруд з показником пластичності $\delta_{nl} = 72,5$, при дії навантаження, покрівля випробовує згинальні деформації і над виробкою відбувається плавний прогин бічних порід. При максимальній деформації піддатливих вантажонесучих опор ($\lambda = 0,7$) зміщення покрівлі обмежуються. Висока концентрація напружень в бічних породах і на контурі виробки проявляються при використанні жорстких охоронних споруд, у вигляді кушів з дерев'яних стояків, показник пластичності яких дорівнює $\delta_{nl} = 10$. При відносно невеликих значеннях відносної деформації жорстких вантажонесучих опор ($\lambda = 0,1$), в зоні високої концентрації напружень при дії навантаження, відбувається руйнування бічних порід і втрата стійкості вантажонесучої опори. Щоб уникнути травматизму гірників від обвалів і обвалень, рекомендується для охорони виробок використання піддатливих охоронних споруд.

Висловлення подяки

Автор висловлює вдячність аспіранту ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» Когтевій О. П. за допомогу у виготовленні моделей та проведенні експериментальних досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. 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, issue 4, 9–19.
2. Kang, H. (2014). Support technologies for deep and complex roadways in underground coal mines: a review. *Int J Coal Sci Technol*. 1, 261–277 <https://doi.org/10.1007/s40789-014-0043-0>
3. Iordanov, I., Simonova, Y., Korol, A., Podkopaev, Y., Kayun, O. (2020). Substantiation of conditions of maintaining stability of haulage drifts during development of steep seams. *Technology Audit and Production Reserves*, 3 (1 (53)), 23–26. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.206009>
4. Чепіга Д. А. (2019). Обґрунтування та розробка способів підвищення безпеки праці гірників у виїмкових дільницях глибоких шахт. Дис. ... канд. техн. наук. 05.26.01. Покровськ, Донецький національний технічний університет.
5. Mohamed, K. M., Murphy, M. M., Lawson, H. E., & Klemetti, T. (2016). Analysis of the current rib support practices and techniques in U.S. coal mines. *International journal of mining science and technology*, 26(1), 77–87. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2015.11.014>
6. Podkopaev, S. V., Chepiga, D. (2018). On the prediction of the stability of haulage gates under different methods of protection in deep mines. *Journal of Donetsk Mining Institute*, 2(43), 18–29. <https://doi.org/10.314774/1999-981x-2-18-29>
7. Galvin, J. M. (2016). *Ground Engineering – Principles and Practices for Underground Coal Mining*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-25005-2>
8. Шашенко А. Н., Пустовойтенко В. П., Сдвижикова Е. А. (2016). Геомеханика. Киев: Новый друк.
9. Жуков В. Е. Об одной стратегической ошибке в разрешении проблемы разработки крутых пластов. *Уголь Украины*. 2001. 7. 6 – 10.
10. Podkopaev, S., Gogo, V., Yefremov, I., Kipko, O., Iordanov, I. & Simonova, Y. (2019). Phenomena of stability of the coal seam roof with a yielding support. *Mining of Mineral Deposits*, 13(4), 28–41.
11. Баклашов И. В. Деформируемость и разрушение породных массивов. Москва: Недра, 1988. 271 с.
12. Хаимова-Малькова Р. И. Методика исследования напряжений поляризационно-оптическим методом. Москва: Наука, 1970. 194 с.
13. Методические указания по изготовлению моделей из оптически чувствительных материалов для исследования проявлений горного давления. Ленинград: ВНИМИ, 1970. 180 с.
14. Борщ-Компониц В. И. (2013). Практическая механика горных пород. Москва: Горная книга. 322 с. ISBN978-5-98672-342-6.
15. Berber I. R. (2010). *Intermediate Mechanics of Materials*. Springer. 618 p. ISBN9400702949

16. Тимошенко С. П., Гор Дж. (2021). Механика материалов. СПб.: Изд-во «Лань». 672 с. ISBN595110003-8
17. Bedford A., Liechti K. M. (2020). Mechanics of Materials. Springer. 1023 p.

REFERENCES

1. Liashok, Ya., Iordanov, I., Chepiga, D. And 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, issue 4, pp. 9–19.
2. Kang, H. (2014). Support technologies for deep and complex roadways in underground coal mines: a review. *Int J Coal Sci Technol*. 1, 261–277. <https://doi.org/10.1007/s40789-014-0043-0>
3. Iordanov, I., Simonova, Y., Korol, A., Podkopaev, Y., Kayun, O. (2020). Substantiation of conditions of maintaining stability of haulage drifts during development of steep seams. *Technology Audit and Production Reserves*, 3 (1 (53)), 23–26. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.206009>
4. Chepiha D.A. (2019). Obgruntuvannya ta rozrobka sposobiv pidvyschennia bezpeky pratsi hirhykiv u vyimkovykh diilnytsiakh hlybokyykh shakht. Dys...kand.tekhn.nauk. 05.26.01. Pokrovsk. Donetskyy natsionalnyi tekhnichnyi universytet.
5. Mohamed, K. M., Murphy, M.M., Lawson, H.E., & Klemetti, T. (2016). Analysis of the current rib support practices and techniques in U.S. coal mines. *International journal of mining science and technology*, 26(1), 77–87. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2015.11.014>
6. Podkopaev, S.V., Chepiga, D. (2018). On the prediction of the stability of haulage gates under different methods of protection in deep mines. *Journal of Donetsk Mining Institute*, 2(43), 18–29. <https://doi.org/10.314774/1999-981x-2-18-29>
7. Galvin, J. M. (2016). Ground Engineering – Principles and Practices for Underground Coal Mining. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-25005-2>
8. Shashenko A. N., Pustovoitenko V. P., Sdvizhkova E. A. (2016). Heomekhanika. Kiev: Novyi druk.
9. Zhukov V. E. Obodnoistraticheskoi shlybkevrazresheniiproblemrazrobotkikrutykhplastov. *Uhol Ukrainy*. 2001. 7. 6–10.
10. Podkopaev, S., Gogo, V., Yefremov, I., Kipko, O., Iordanov, I. & Simonova, Y. (2019). Phenomena of stability of the coal seam roof with a yielding support. *Mining of Mineral Deposits*, 13(4), 28–41.
11. Baklashov I. V. Deformiruemost i razrushenie porodnykh massivov. Moskva: Nedra, 1988.271s.
12. Haimova-Malkova R. I. Metodika issledovaniia napriazhenii polarizatsionno-opticheskim metodom. Moskva: Nauka, 1970. 194s.
13. Metodicheskieu kazaniia po izhotovleniiu modelei i zopticheskikh uctvitelnykh materialov dlia issledovaniia proiavlenii hornohodavlenia. Leningrad: VNIMI, 1970. 180 s.
14. Borshch-Komponiats V. I. (2013). Prakticheskai mekhanika hornych porod. M.: Hornaia kniha. 322 s. ISBN978-5-98672-342-6
15. Berber I. R. (2010). Intermediate Mechanics of Materials. Springer. 618 p. ISBN9400702949
16. Timoshchenko S. P., Hor Dzh. (2021). Mekhanika materialov. SPb.: Lan. 672 s. ISBN595110003-8
16. Bedford A., Liechti K. M. (2020). Mechanics of Materials. Springer. 1023 p.

В. Довгал

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ БОКОВЫХ ПОРОД В УГЛЕПОРОДНЫХ МАССИВАХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ОХРАНЫ ВЫРАБОТОК

Цель – исследование проявлений горного давления в откатных штреках крутого угольного пласта для обеспечения эксплуатационного состояния выработки и повышения безопасности работ на выемочных участках глубокой угольной шахты. В исследовании использовался комплексный подход, включающий анализ и обобщение теоретических и экспериментальных исследований по этой проблеме, проведен натурный эксперимент по изучению устойчивости откатных штреков и обработку экспериментальных данных. Для оценки устойчивости подготовительной выработки были выполнены шахтные исследования по изучению проявлений горного давления в откатных штреках при различных способах охраны, когда устанавливалась величина смещения боковых пород на контуре и изменения площади поперечного сечения штрека по длине выемочного участка. В результате выполненных исследований обоснованы условия устойчивости откатных штреков крутых угольных пластов при охране кострами из деревянных шпал и кустами из стоек. Зафиксировано, что в зоне влияния горных работ, крепления в откатных штреках деформируется и имеет характерные изгибы со стороны кровли. На расстоянии $L > 80$ м позади очистного забоя потеря площади поперечного сечения выработки составила около 50 % при способе охраны кустами из стоек и 30 % при применении деревянных костров. Экспериментально доказано, что при способе охраны участков подготовительных выработок жесткими деревянными конструкциями в виде кустов из стоек, изменение площади поперечного сечения откатного штрека позади очистного забоя в зоне влияния очистных работ происходит по линейной зависимости с увеличением длины выемочного участка к полному разрушению охранного сооружения. Для обеспечения устойчивости откатных штреков в глубокой угольной шахте с крутым залеганием угольных пластов, целесообразно применение бесцеликовых способов охраны, когда для поддержания боковых пород используются податливые сооружения в виде костров из деревянных шпал. Применение этого способа охраны подготовительной выработки позволяет уменьшить вероятность обрушений и повысить безопасность горных работ.

Ключевые слова: устойчивость, моделирование, углепородный массив, жесткость, охранное сооружение, боковые породы, горная выработка