

УДК 622.273

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-5-30>

ЕФЕКТИВНА СИСТЕМА ПІДГОТОВКИ ЗАПАСІВ ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ ВИСОКОНАВАНТАЖЕНИХ ЛАВ ШАХТ ПРАТ «ДТЕК ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ»

Круковський Олександр Петрович,

доктор технічних наук,
член-кореспондент НАН України,
заступник директора з наукової роботи
Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова
Національної академії наук України
ORCID ID: 0000-0002-2659-5095

Пілюгин Віталій Іванович,

доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри гірничої справи
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
ORCID ID: 0000-0002-5486-9268

Каменець В'ячеслав Ігорович,

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри гірничої справи
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
ORCID ID: 0000-0001-8169-2544

Демиденко Олександр Геннадійович,

гірничий інженер,
головний інженер ТОВ «Краснолиманське»

У статті розглядається система підготовки запасів при відпрацюванні високонавантажених лав в умовах шахт ПРАТ «ДТЕК Павлоградвугілля». Наразі це підприємство є єдиним потужним постачальником енергетичного вугілля в Україні і залишиться ним у повоєнний період у зв'язку з руйнуванням та припиненням роботи видобувних підприємств поблизу районів активних бойових дій та на тимчасово окупованих територіях Донбасу. Шахти ПРАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» відпрацьовують пласти вугілля нижнього карбону слабого ступеня метаморфізму, але з високою енергетичною насиченістю. Видобуток ведеться в складних гірничо-геологічних умовах. Ефективне відпрацювання таких ділянок вимагає розробки комплексних технічних рішень, що враховують взаємовплив тектонічних порушень, гідрогеологічних особливостей і параметрів напруженого стану гірського масиву. З огляду на складні тектонічні, гідрогеологічні та геомеханічні умови, обґрунтовано та реалізовано ефективну систему підготовки, що включає послідовне ведення підготовчих та очисних робіт із застосуванням сучасних типів кріплень. Метою дослідження є розробка і впровадження ефективної системи підготовки запасів, що забезпечує безпечне і стійке відпрацювання високонавантажених лав у складних гірничо-геологічних і гірничотехнічних умовах. Проведено аналіз стійкості виробок, що визначають безпеку та ефективність видобутку вугілля на великих глибинах. Наведено технічні рішення, схеми реалізації та практичні результати, що підтверджують працездатність запропонованого підходу. Представлені матеріали можуть бути використані у проєктуванні систем підготовки в аналогічних гірничо-геологічних умовах. Наукова новизна роботи полягає в комплексному підході до проєктування систем підготовки, врахуванні тектонічних і гідрогеологічних факторів, а також в оптимізації порядку ведення очисних робіт з метою підвищення стійкості дільничних виробок і забезпечення їх безпечної експлуатації.

Ключові слова: підготовка запасів, високонавантажені лави, стійкість виробок, тектоніка, кріплення, підготовчі та очисні роботи.

Krukovskyi Oleksandr, Piliuhyn Vitalii, Kamenets Viacheslav, Demydenko Oleksandr. Effective coal reserves preparation system for high-loaded longwalls mining at PJSC "DTEK Pavlogradvuhillia" mines

The article discusses the coal reserves preparation system for high loaded mining longwalls in the mines of PJSC DTEK Pavlogradvuhillia. Currently, this company is the only major thermal coal supplier in Ukraine and will remain so in the post-war period due to the destruction and cessation of mining companies operations near areas of active

hostilities and in the temporarily occupied territories of Donbas. The mines of PJSC DTEK Pavlogradvuhillia extract lower Carboniferous coal seams with a low degree of metamorphism but high-energy saturation. Mining is carried out in difficult mining and geological conditions. Effective development of such areas requires the development of comprehensive technical solutions that take into account the interaction of tectonic disturbances, hydrogeological features, and the stress parameters of the rock mass. Given the complex tectonic, hydrogeological, and geomechanical conditions, an effective preparation system has been developed and implemented, which includes the sequential conduct of preparatory and extracting works using modern types of fastenings. The aim of the study is to develop and implement an effective system for coal reserves preparation that ensures the safe and sustainable development of high loaded longwalls in complex mining-geological and mining-technical conditions. An analysis of the stability of workings that determine the safety and efficiency of coal mining at great depths was carried out. Technical solutions, implementation schemes, and practical results confirming the feasibility of the proposed approach are presented. The presented materials can be used in the design of preparation systems in similar mining and geological conditions. The scientific novelty of the work lies in a comprehensive approach to the design of preparation systems, taking into account tectonic and hydrogeological factors, as well as in the optimization of the order of mining operations in order to increase the stability of sectional workings and ensure their safe operation.

Key words: reserves preparation, high-loaded longwalls, workings stability, tectonics, fastening, preparatory and extracting works.

Вступ. Сучасні умови вуглевидобутку характеризуються зростаючою глибиною ведення гірничих робіт, ускладненою тектонікою, високим газовиділенням і значними напруженнями в масиві гірських порід. Це потребує підвищення вимог до систем підготовки запасів, що забезпечують стійкість гірничих виробок і безпеку проведення очисних робіт [1, с. 51–63; 2, с. 9–19]. Особливої актуальності ця проблема набуває у разі відпрацювання високонавантажених лав, де навіть незначні прорахунки в проєктуванні системи підготовки можуть призвести до аварійних ситуацій, зниження продуктивності та зростання виробничих ризиків [3, с. 475–483; 4, с. 12–17; 5, с. 31–43; 6, с. 72–80;].

Робота сучасної вугільної шахти є симбіозом і узгодженою в часі взаємодією двох основних технологічних процесів: підготовки запасів до видобутку і власне видобутку вугілля. Обидва процеси невіддільні один від одного, оскільки без першого неможливий другий, а другий формує економічну основу для першого.

На шахтах ПРАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» експлуатуються пласти з високою енергетичною насиченістю, часто в складних гірничо-геологічних умовах [7, с. 215–226]. Ефективне відпрацювання таких ділянок вимагає розробки комплексних технічних рішень, що враховують взаємовплив тектонічних порушень, гідрогеологічних особливостей і параметрів напруженого стану масиву.

Під підготовкою запасів розуміється проведення сукупності підготовчих виробок, необхідних для технологічно обґрунтованого окреслення ділянок шахтного поля, що підлягають виїмці (на даний період часу). В економічному плані підготовка для підприємства є цілком витратною (інвестиційною) частиною розробки вугілля. При цьому важливо підкреслити, що саме підготовка запасів до виїмки зумовлює

темпи і зрештою потенційно можливі обсяги видобутку.

У науковій та виробничій літературі запропоновано безліч підходів до підготовки запасів, проте більшість із них не враховують специфіку Західно-Донбаського регіону і не адаптовані до реальних умов діючих шахт. Це визначає необхідність проведення спеціалізованого дослідження, спрямованого на формування адаптованої системи підготовки, здатної забезпечити стійкість виробок і високу техніко-економічну ефективність видобутку.

Методи та методики дослідження. У роботі використано комплекс інженерно-геологічних і виробничих методів, спрямованих на обґрунтування ефективної системи підготовки запасів в умовах високонавантажених лав. Аналіз вихідних даних містив вивчення геолого-тектонічної та гідрогеологічної інформації по районах розробки шахт ПРАТ «ДТЕК Павлоградвугілля», а також характеристик напруженого стану масиву гірських порід на різних глибинах. Для оцінки стійкості виробок застосовувалися нормативні методи розрахунку параметрів кріплення і зсувів порід. Практична частина дослідження базувалася на спостереженні за результатами впровадження технічних рішень у виробничих умовах з подальшим аналізом їхнього впливу на стійкість підготовчих і очисних виробок, виробничі показники та безпеку гірничих робіт.

Результати.

Геолого-гідрогеологічні та тектонічні умови. Нині розробка українського вугілля підземним способом зосереджена здебільшого в Павлоградському регіоні. Його запаси представлені пологими тонкими вугільними пластами свити C_1^3 , яка належить до осадових відкладень Нижнього карбону. Відкладень Середнього карбону в районі не знайдено. Вугленосний масив свити C_1^3 містить сумарно

близько 60 пластів і прошарків. Із них приблизно 10 вугільних пластів ($C_1 \rightarrow C_{10}$) є витриманими і мають робочу потужність більше 0,7–0,8 м. Вміщуючі вугільні пласти породи в основному представлені слабометаморфізованими глинистими і піщанистими сланцями, які мають низькі параметри міцності. Зокрема, нормальним і таким, що часто трапляється на шахтах Павлограда, є досить незвичайний для Донбасу факт, що вугілля має більш високі межі міцності, ніж вміщуючі породи. Шари пісковиків у товщі свити C_1^3 практично відсутні або мають локальне поширення. При цьому міцність пісковиків також невисока ($\sigma_{cm} = \leq 30 \div 40$ МПа).

У тектонічному відношенні родовище має досить просту будову: масив є слабопохилим (кут падіння в основному до 5°) і характеризується слабо вираженою складчастістю. Щільність розривних порушень дуже мала. Вони представлені скидами, причому переважно малоамплітудними.

Важливою гідрогеологічною особливістю вугленосного району є наявність потужного 50-метрового шару водонасичених ґрунтів («бучаку»), який залягає безпосередньо біля земної поверхні по всій площі шахтних полів. По суті, «бучак» являє собою величезне родовище води, що підживлюється з малих річок Дніпровського басейну. Це формує практично непереборний ризик виникнення потужних водопливів у гірничі виробки.

Наведені особливості геологічної будови вугленосного масиву Павлоградсько-Петропавлівського району формують дві основні групи природних ризиків під час проведення гірничих робіт:

- аномально низька стійкість порід на оголеннях всіх видів гірничих виробок, проведених у фактичному інтервалі глибин розробки (від 100 м до 500 м);

- непереборна потенційна можливість активних проявів води в очисних і підготовчих забоях, особливо тих, що працюють на глибинах 100–200 м.

У зв'язку з цим на підставі практичного досвіду сформульовано низку таких специфічних технологічних обмежень (вимог) до способів підготовки та систем відпрацювання запасів:

- виїмкові стовпи бажано відпрацьовувати по повстанню пласта, небажано – по простяганню і вкрай небезпечно – по падінню;

- очисні вибої повинні відпрацьовуватися зі стабільним та рівномірним темпом посування, не менше 5–8 м/добу, тривалі простої лав (понад одну добу) є небажаними, а на малих глибинах – навіть потенційно небезпечними;

- досить проблемними є «затиснуті» виїмкові стовпи, що знаходяться між двома раніше відпрацьованими;

- монтажні виробки (ширина ≥ 6 м) бажано проводити або з одночасним монтажем секцій лавного кріплення, або з рамним кріпленням (КШПУ);

- кріплення підготовчих виробок, розташованих на «малих» глибинах, повинне мати істотний «запас міцності» для зниження гідрогеологічних ризиків.

Виробничі ризики при відпрацюванні високонавантажених лав. До вищезазначених вимог, природно, додається мінімізація інвестиційних і експлуатаційних витрат у процесі розробки.

Типовий для умов шахт Павлоградського регіону варіант ефективної підготовки запасів представлений на рис. 1. На ньому зображено викопіювання з плану гірничих робіт східного крила пласта C_{10} г. 475 м шахти «Дніпровська» з відпрацюванням лав по повстанню.

Запаси горизонту підготовлені двома групами магістральних штреків. З боку повстання на г. 340 м це 2-й східний магістральний відкотний штрек (СМВШ) і 2-й східний магістральний конвеєрний штрек (СМКШ), а з боку падіння на г. 475 м – східний магістральний вентиляційний штрек (СМВШ). Магістральні штреки між собою з'єднані пластовими похилими виробками. Довжина виїмкових стовпів в межах горизонту змінюється від 1600 до 1900 м. Прийнята з практичного досвіду довжина лави становить 285 м. Система розробки – комбінована, з виїмкою зворотним ходом, з повторним використанням конвеєрної виробки і прямоточним провітрюванням. Для підготовки до виїмки запасів нової лави проводилося «нарощування» на довжину стовпа магістральних штреків і проведення зустрічними вибоями її конвеєрного штреку.

Важливою особливістю наведеної системи підготовки є те, що магістральні штреки г. 340 м проведені по виробленому простору раніше відпрацьованої по простяганню пласта 1059-ї лави. Цей варіант розташування магістральних виробок досить широко використовується на шахтах Донбасу. Однак для шахт Павлоградського регіону таке рішення було апробовано вперше.

Прийняття рішення про розташування магістральних штреків у виробленому просторі на стадії проєктування супроводжувалося досить суперечливими оцінками та прогнозами. Це було зумовлено сукупністю таких факторів:

- наявністю ризику втрати стійкості виробок у процесі експлуатації через можливі водопливи, пов'язані з присутністю «бучаку» як

одного з ключових негативних геологічних факторів;

– водночас низьким рівнем напружено-деформованого стану вміщуючого виробку гірського масиву, який, навпаки, розглядався як позитивний фактор, що сприяє підвищенню стійкості виробок.

Практика показала, що, незважаючи на інтенсивні водопріпливи в очисний вибій розвантажувальної 1059-ї лави, після її зупинки гідрогеологічна ситуація у виробленому просторі стабілізувалася в короткі терміни, а міцнісні властивості вміщуючих порід істотно не змінилися. Надалі, під час проведення штреків

водопріпливи в підготовчих вибоях не спостерігалися. При цьому, порівняно з пластовими виробками, було зафіксовано значне зниження інтенсивності вивалоутворення з боку покрівлі, зменшення питомої площі переборів перетину, а також поліпшення стану породних оголень. Протягом наступних п'яти років штреки, закріплені рамним кріпленням КШПУ 17,7 із кроком 0,8 м (без застосування анкерів), експлуатувалися практично без втрати перетину. Таким чином, вперше для умов шахт Павлоградського району була підтверджена висока стійкість магістральних виробок, розташованих у зонах розвантаження.



Рис. 1. Східне крило діючого г. 475 м шахти «Дніпровська» з відпрацюванням лав по повстанню пласта C_{10} : 1 – магістральні штреки г. 340 м (2-й СМВШ і 2-й СМКШ); 2 – східний магістральний вентиляційний штрек г. 475 м (СМВШ); 3 – повторно використовувані дільничні штреки

Пропонована система підготовки запасів. Наведений вище варіант погоризонтної підготовки в цілому є відомим, зображений у чинних нормативних документах із ведення гірничих робіт і раніше застосовувався на вугільних шахтах України у відповідних гірничо-геологічних умовах. Однак на шахтах Павлоградського регіону, що мають певну специфіку, були обґрунтовані оптимальні і найбільш ефективні параметри підготовки: довжина виїмкових стовпів – від 1600 до 2500 м, довжина лав – від 280 до 300 м, темпи просування – не менше 150 м/міс. Наразі дана система успішно застосовується у відпрацюванні основних пластів C_4 , C_5 , C_8 , C_{10} на шахтах Героїв Космосу, Тернівська, Павлоградська, Західно-Донбаська, Дніпровська, Самарська, Степова і Ювілейна.

Центральним технологічним елементом пропонуваної системи підготовки запасів до виїмки є повторно використовувані дільничні виробки [8, с. 239–244; 9, с. 39–47; 10, с. 62–70]. Вони проводяться в неторканому гірському масиві. Потім штреки використовуються як конвеєрні для відпрацювання першої примикаючої лави, а після цього підтримуються позаду очисного вибою і зберігаються як повітроподавальні для другої лави. Такий підхід забезпечує простоту схеми, мінімальну питому протяжність дільничних виробок на 1000 т видобутих запасів, високу продуктивність та економічну ефективність виїмкових ділянок. Технологія розроблена в компанії ДТЕК і є її інтелектуальною власністю [11, с. 3–9; 12, с. 1–7]. Технологічні паспорти кріплення і підтримання повторно використовуваних ділянок штреків представлені на рис. 2.

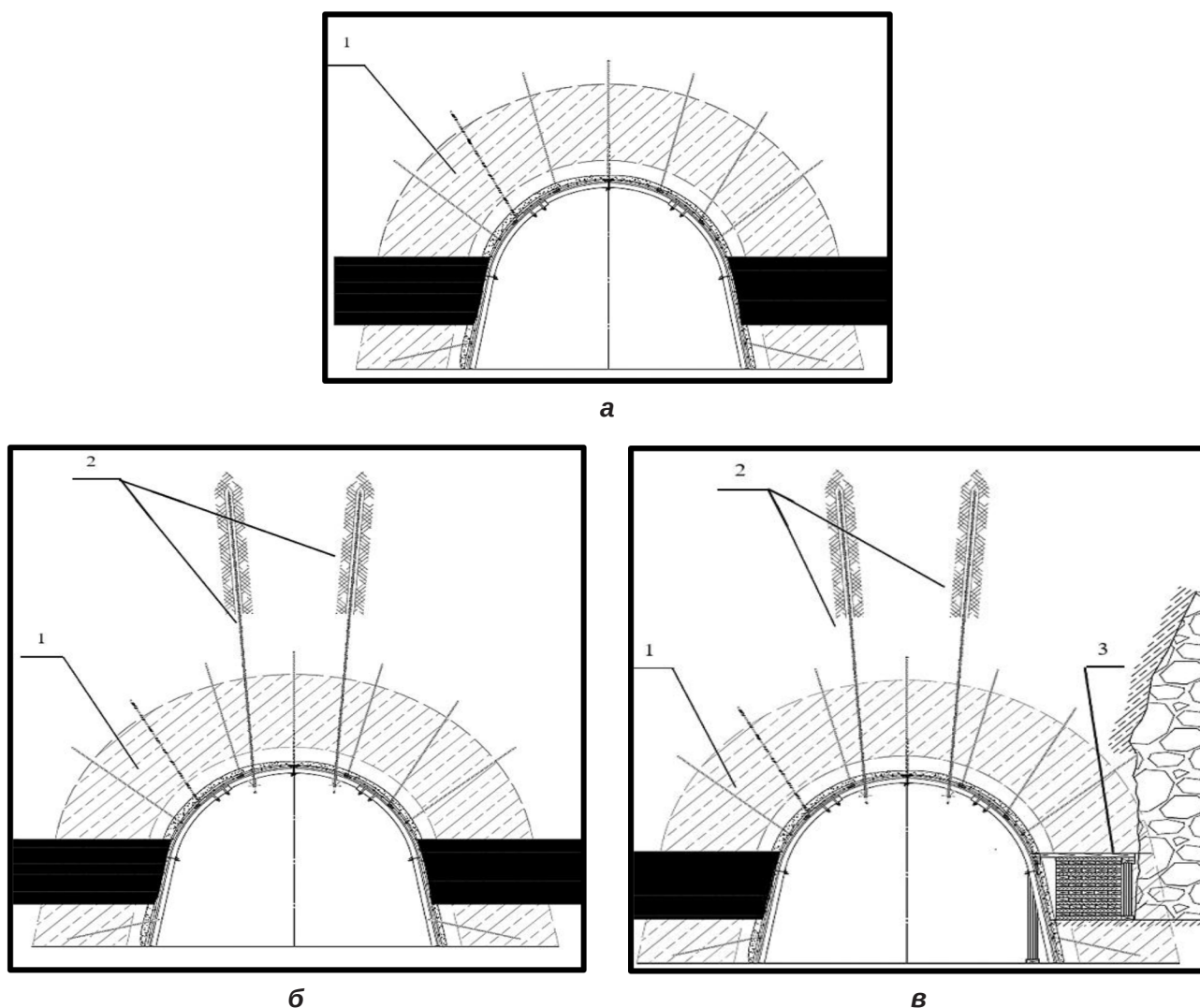


Рис. 2. Трансформація системи кріплення повторно використовуваних дільничних виробок в процесі експлуатації: а – паспорт кріплення при проведенні; б – підсилення кріплення при підході лави; в – встановлення охоронних споруд позаду першого очисного вибою; 1 – склепіння заанкерованих вміщуючих виробку порід; 2 – підсилюючі склепіння канатні анкери глибокого закладання (довжина ≥ 6 м); 3 – захисна накатна суцільна смуга з деревини

З точки зору геомеханіки основна ідея пропонуваної технології повторного використання дільничних виробок (ПВДВ) полягає в такому: відразу після проведення штреку навколо нього формується захисна породна оболонка, яка надалі посилюється засобами кріплення у разі підвищення гірничого тиску. Після виїмки вугільного пласта виробка додатково захищається від зон обвалення масиву заведенням штучних захисних споруд.

Фактично дільнична виробка проводиться з рамно-анкерним (РА) кріпленням (рис. 2, а), яке посилюється канатними анкерами глибокого закладання в зоні опорного тиску при наближенні першої лави (рис. 2, б). Після виїмки пласта на сполученні лави з боку виробленого простору проводиться формування жорсткої опори (рис. 2, в), що забезпечує стійкість склепіння і його ізоляцію від зони хаотичного обвалення порід покрівлі позаду лави.

Етап 1 – формування стійкого порідного склепіння (захисної оболонки) навколо виробки. Формування стійкого склепіння досягається на стадії проведення виробки за рахунок застосування комбінованого рамно-анкерного кріплення, що проєктується відповідно до чинного галузевого стандарту [13, с. 11–22]. Встановлення анкерів безпосередньо у вибої дозволяє зберегти монолітність масиву і його вихідні характеристики міцності. У результаті навколо виробки формується стійке заанкероване склепіння (або захисна оболонка), яке спільно з рамним кріпленням запобігає конвергенції масиву до початку активного впливу очисних робіт (поз. 1, рис. 2, а).

Практика показала, що проведення повторно використовуваних дільничних виробок із застосуванням комбінованого рамно-анкерного кріплення дозволяє забезпечити їхню стійкість до підходу лави. Однак цей захід є необхідною, але недостатньою умовою для їх ефективної подальшої експлуатації.

Етап 2 – посилення стійкого порідного склепіння до початку впливу очисних робіт. Загальновідомо, що вплив очисної виїмки на підготовчу виробку починається попереду лави, в зоні так званого тимчасового опорного тиску. Цей вплив призводить до прискореної конвергенції контурів виробки, зменшення площі її перетину і деформації кріплення. Максимальні прояви опорного тиску зазвичай спостерігаються в момент проходу лави і зняття опори з боку ніжки кріплення, що супроводжується зниженням її несучої здатності.

Традиційно для посилення кріплення в зоні тимчасового опорного тиску застосовуються дерев'яні ремонтини, що встановлюються під верхняки рам по центру виробки перед лавою. Однак це досить витратний захід, який додатково зменшує «операційний» перетин штреку в найбільш технологічно навантаженій зоні. Крім того, практика показує, що при слабких вміщуючих породах геомеханічна ефективність такого посилення істотно знижується.

Для збереження відносної монолітності захисного склепіння в зоні опорного тиску технологія ПВДВ ДТЕК передбачає «підшивання» рам і захисної оболонки штреку до відносно монолітних порід основної покрівлі канатними анкерами довжиною від 6 до 8 м (поз. 2, рис. 1, б). Закріплені полімерними смолами кінець анкера розташовується в непорушеному масиві, що забезпечує ефект «підшивання» системи кріплення штреку і збереження стійкості захисного склепіння. Практика показала, що таке дворівневе рамно-анкерне кріплення значно підвищує стійкість виробки при підході лави за рахунок збереження рівноваги стійкого породного склепіння і мінімізації його руйнування.

Реалізація другого етапу – установка системи активного підсилення кріплення на основі канатних анкерів – дає можливість ефективно і технологічно завершити підготовку повторно використовуваної виробки до сприйняття підвищеного гірського тиску при підході першої лави.

Етап 3 – ізоляція стійкого породного склепіння від зони обвалення шляхом встановлення жорстких охоронних споруд. Максимальна швидкість зміщення контуру повторно використовуваних виробок спостерігається після виїмки вугільного пласта, тобто в зоні сполучення з лавою і при відході очисного забою. Пласт у прилеглій до виробки зоні до виїмки забезпечує рівновагу системи кріплення й опору захисної оболонки. Після проходу лави вугілля видобувається, опора зникає і рівновага системи кріплення порушується: породи покрівлі опускаються, стійке склепіння прагне нахилитися в бік виробленого простору, створюючи додаткове навантаження на край вугільного пласта з боку неторканого гірського масиву.

У такій ситуації ключовим завданням стає збереження цілісності захисної оболонки штреку за рахунок її ізоляції від зони активного обвалення. Це досягається шляхом зведення поблизу видобутку спеціальної охоронної конструкції – дерев'яної накатної смуги (поз. 3, рис. 2, в).

З точки зору забезпечення ізоляції штреку від зони активного обвалення дерев'яна накатна смуга має низку конструктивних і геомеханічних переваг:

- має безперервну зростаючу характеристику «опір–деформація»;
- взаємодіє з покрівлею і підшвою вилученого пласта по всій своїй поверхні;
- створює рівномірний опір по всій площі своєї взаємодії, не формує точкових концентраторів напружень на контакті з покрівлею;
- практично не містить внутрішніх порожнин, які можуть бути причиною порушення рівноваги масиву при тривалому підтриманні;
- сприяє ефективному «обрізанню» порід покрівлі на межі з виробленим простором.

Практика роботи шахт Павлоградського регіону показала, що дерев'яна накатна смуга, виконана з бруса (шпали), є найбільш технологічним, доступним і бюджетним варіантом охоронної споруди. На відміну від неї, литі смуги з будівельних сумішей (БІ-кріплення, ТЕКХАРД та ін.) внаслідок більшої жорсткості гірше взаємодіють зі слабкими породами покрівлі. Крім того, їх застосування пов'язане зі значно вищими витратами і необхідністю використання спеціального обладнання для заливки, що призводить до захащення сполучення штреку з лавою і збільшення чисельності персоналу на дільниці.

Реалізація третього етапу – установка накатних смуг – дозволяє зберігати перетин штреків на ділянці активного осідання масиву після проходження вибою першої лави шляхом їх ізоляції від зони обвалення над виробленим простором.

Описана вище технологія забезпечення стійкості повторно використовуваних дільничних виробок, що застосовується в ДТЕК, розроблена переважно на основі досвіду шахт Павлоградського регіону. З наукової точки зору вона не є новою розробкою, являючи собою сукупність відомих технічних рішень. Останніми роками близько 90 % діючих очисних забой

у регіоні відпрацьовуються за цією схемою.

Проектування технології повторного використання дільничних виробок ДТЕК і визначення її параметрів виконуються технічними службами шахт і шахтоуправлінь на основі чинного галузевого стандарту, розробленого Інститутом геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України [14, с. 6–29].

Висновки

1. Шахти ПРАТ «ДТЕК ПАВЛОГРАДУГІЛЬ» ведуть інтенсивну розробку пологих тонких вугільних пластів, які в цілому характеризуються досить сприятливими умовами залягання. При цьому основними факторами, що ускладнюють ведення гірничих робіт, є нестійкі вміщуючі породи та постійний ризик активних водопроявів в очисних і підготовчих вибоях.

2. Практичний досвід показав, що найбільш ефективною системою підготовки запасів є погоризонтна, з відпрацюванням стовпів по повстанню пластів. Оптимальна довжина лав становить 280–300 м, а довжина виїмкових полів – від 1600 до 2500 м. Магістральні штреки рекомендується розміщувати в зонах розвантаження, сформованих у процесі відпрацювання попередніх лав.

3. Відпрацювання запасів повинно здійснюватися із застосуванням комбінованої системи розробки з виїмкою зворотним ходом і прямоточним провітрюванням. При цьому підготовка запасів стовпа до виїмки здійснюється шляхом проведення одного штреку зустрічними забоями в неторканому гірському масиві.

4. Для забезпечення стійкості повторно використовуваних дільничних штреків необхідно застосовувати технологію дворівневого рамно-анкерного кріплення зі спорудженням жорстких накатних смуг позаду очисного вибою.

5. Для проектування параметрів елементів систем підготовки запасів, а також оптимальних схем їх відпрацювання на рівні технічних служб шахтоуправлінь (шахт) розроблена спеціальна нормативна база.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Study of permanent workings stability when they are driven through the gob of relieving longwall / Krukovskiy O. P., Krukovska V. V., Kurnosov S. A., Yanzhula O. S., Bulich Yu. Yu. *Геотехнічна механіка*. 2023. № 165. P. 51–63. DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2023.165.051>
2. Multifactorial analysis of a gateroad stability at goat interface during longwall coal mining – A case study / Babets D., Sdvyzhkova O., Hapiev S., Shashenko O., Prykhodchenko V. *Mining of Mineral Deposits*. 2023. № 17(2). P. 9–19. <https://doi.org/10.33271/mining17.02.009>
3. Determination of the reliability of mine support equipment considering its deformation risks / Krukovskiy O. P., Kurnosov S. A., Makeyev S. Yu., Stadnychuk M. M. *Strength of Materials*. 2023. № 55(3). P. 475–483. URL: <https://www.researchgate.net/publication/372459388>

4. Skipochka S., Palamarchuk T., Prokhorets L. The concept of risk-based technical solutions for the protection of coal mine workings. *IOP Conference Series : IV International Conference "Essays of mining science and practice"*. 2023. № 1156. P. 12–17. URL: <https://www.researchgate.net/publication/373496340>
5. The use of sequential approximation method for risk determination in problems of geotechnical mechanics / Krukovskiy O. P., Larionov G. I., Zemlyana U. V., Hovorostyan V. O. & Golovko S. A. *Геотехнічна механіка*. 2023. № 166. P. 31–43. URL: <https://surl.luh.gov.ua/donlht>
6. Sakhno I., Sakhno S., Vovna O. Assessing a risk of roof fall in the development mine workings in the process of longwall coal mining in terms of Ukrainian mines. *Mining of mineral deposits*. 2020. № 14. P. 72–80. URL: <https://www.researchgate.net/publication/339762853>
7. Розвиток наукових основ підвищення стійкості гірничих виробок шахт Західного Донбасу : монографія / Бондаренко В. І., Мартовицький А. В., Ковалевська І. А., Черватюк В. Г. Дніпропетровськ : ТОВ «ЛізуновПрес». 2010. 339 с. URL: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/150591>
8. Krukovskiy A. P. Investigation stress state of rock mass around workings in the zone of its conjunction with the longwall goat. *Geo-Technical Mechanics*. 2010. № 91. P. 239–244.
9. Krukovskiy A. P. Change of stress field around the mine working with different types of support which conserved after wall face driving. *Geo-Technical Mechanics*. 2015. № 121. P. 39–47.
10. Шашенко О. М., Хозяйкіна Н. В., Дубовик О. І. Чисельне моделювання стійкості підготовчої виробки, що використовується повторно. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2020. № 4(123). P. 62–70.
11. Система забезпечення стійкості повторно використовуваних дільничних виробок при відпрацюванні тонких пологих вугільних пластів / Барабаш М. В., Вівчаренко А. В., Коваль А. І., Пілюгин В. І. *Уголь України*. 2016. № 3. С. 3–9.
12. Пат. № 124652 UA, МПК E21D 20/00 (2018.01). Спосіб забезпечення стійкості ланкових виробок, що використовуються повторно. и 2018 01579; заявл. 19.02.2018; опубл. 10.04.2018. Бюл. № 7.
13. СОУ 10.1.05411357.012:2014. Інструкція з проектування комбінованого рамно-анкерного кріплення гірничих виробок. Міненерговугілля України. Київ, 2014. 42 с.
14. Інструкція з забезпечення стійкості дільничних виробок для повторного використання на вугільних шахтах : затв. наказом Міненерго України від 10.11.2022 № 378. Київ : Міненерго України, 2022. 35 с.

REFERENCES:

1. Krukovskiy, O. P., Krukovska, V. V., Kurnosov, S. A., Yanzhula, O. S., & Bulich, Yu. Yu. (2023). Study of permanent workings stability when they are driven through the gob of relieving longwall. *Heotekhnichna mekhanika – Geotechnical Mechanics*. IHTM. Dnipro, 165. 51–63. <https://doi.org/10.15407/geotm2023.165.051>
2. Babets, D., Sdvyzhkova, O., Hapiev, S., Shashenko, O., & Prykhodchenko, V. (2023). Multifactorial analysis of a gateroad stability at goat interface during longwall coal mining – A case study. *Mining of Mineral Deposits*. 17(2). 9–19. <https://doi.org/10.33271/mining17.02.009>
3. Krukovskiy, O. P., Kurnosov, S. A., Makeyev, S. Yu., & Stadnychuk, M. M. (2023). Determination of the reliability of mine support equipment considering its deformation risks. *Strength of Materials*, 55(3), 475–483. <https://www.researchgate.net/publication/372459388>
4. Skipochka, S., Palamarchuk, T., & Prokhorets, L. (2023). The concept of risk-based technical solutions for the protection of coal mine workings. *IOP Conference Series: IV International Conference "Essays of mining science and practice"*, 1156, 12–17. <https://www.researchgate.net/publication/373496340>
5. Krukovskiy, O. P., Larionov, G. I., Zemlyana, U. V., Hovorostyan, V. O., & Golovko, S. A. (2023). The use of sequential approximation method for risk determination in problems of geotechnical mechanics. *Heotekhnichna mekhanika : Mizhvid. zb. nauk. prats. NAN Ukrainy – Geotechnical Mechanics: Interdepartmental Collection of Scientific Papers of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 166, 31–43. <https://surl.luh.gov.ua/donlht>
6. Sakhno, I., Sakhno, S., & Vovna, O. (2020). Assessing a risk of roof fall in the development mine workings in the process of longwall coal mining in terms of Ukrainian mines. *Mining of mineral deposits*, 14, 72–80. <https://www.researchgate.net/publication/339762853>
7. Bondarenko, V. I., Martovytskyi, A. V., Kovalevska, I. A., & Chervatiuk, V. H. (2010). *Rozvytok naukovykh osnov pidvyshchennia stiiikosti hirnychykh vyrobok shakht Zakhidnoho Donbasu [Development of scientific foundations for improving the stability of mine workings in the Western Donbas]*. Dnipropetrovsk : TOV "LizunovPres". [in Ukrainian]. <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/150591>
8. Krukovskiy, A. P. (2010). Investigation stress state of rock mass around workings in the zone of its conjunction with the longwall goat. *Geo-Technical Mechanics*. 91, 239–244.

9. Krukovskiy, A. P. (2015). Change of stress field around the mine working with different types of support which conserved after wall face driving. *Geo-Technical Mechanics*, 121, 39-47.
10. Shashenko, O. M., Khoziaikina, N. V., & Dubovyk, O. I. (2020). Chyselne modeliuвання stiičnosti pidhotovchoi vyrobky, shcho vykorystovuietsia povtorno [Numerical simulation of the stability of preparatory workings used repeatedly]. *[Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskoho – Bulletin of Mykhailo Ostrohradskiyi Kremenchuck National University]*, 4(123), 62–70 [in Ukrainian].
11. Barabash, M. V., Vivcharenko, A. V., Koval, A. I. & Pyliuhin, V. I. (2016). Systema zabezpechennia stiičnosti povtorno vykorystovuvanykh dilnychnykh vyrobok pry vidpratsiuvanni tonkykh polohykh vuhilnykh plastiv [System for ensuring the stability of reusable sectional workings during the mining of thin, gently dipping coal seams]. *Vuhillia Ukrainy*, 3, 3–9 [in Ukrainian].
12. Pat. № 124652 UA, MPK E21D 20/00 (2018). Sposib zabezpechennia stiičnosti lankovykh vyrobok, shcho vykorystovuietsia povtorno [Method for ensuring the stability of preparatory workings that are reused]. u 2018 01579; zaiavl. 19.02.2018; opubl. 10.04.2018, Bull. № 7. [in Ukrainian].
13. SOU 10.1.05411357.012:2014. Instruktsiia z proektuvannia kombinovanoho ramno-ankernoho kriplennia hirnychykh vyrobok [Instructions for designing combined frame-anchor support for mine workings]. (2014). *SOU 10.1.05411357.012:2014 From 11th October 2014*. Kyiv : Minenerhovuhillia Ukrainy [in Ukrainian].
14. Instruktsiia z zabezpechennia stiičnosti dilnychnykh vyrobok dlia povtornoho vykorystannia na vuhilnykh shakhtakh [Instructions for ensuring the stability of sectional workings for reuse in coal mines]. (2022). Kyiv : Minenerho Ukrainy [in Ukrainian].

Стаття надійшла: 08.07.2025

Стаття прийнята: 12.08.2025

Опублікована: 10.11.2025

