

**ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗВЕДЕННЯ
ЗАКЛАДНИХ МАСИВІВ ПРИ СЕЛЕКТИВНІЙ ТЕХНОЛОГІЇ
ВИЙМАННЯ ТОНКИХ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ**

Мета. Визначення параметрів зведення закладних масивів при комплексно-механізованому селективному вийманні тонких вугільних пластів з урахуванням впливу гірничо-геологічних та гірничотехнічних умов.

Методика. У роботі використано комплексний підхід, який містить аналіз та узагальнення наукових розробок у досліджуваній галузі, аналітичні й чисельні методи визначення технологічних параметрів.

Результати. У роботі представлені результати досліджень впливу комплексу гірничо-геологічних та гірничотехнічних умов на параметри зведення закладних масивів при селективній технології. На прикладі чисельних методів розрахунків для обраних вихідних характеристик вугільного пласта, що відпрацьовується, виявлені тенденції зміни величини усадки закладного матеріалу E_v від межі міцності породи σ_{cm} і відносної щільності γ_v ; довжини закладного виробленого простору l_z від величини порід що присікаються t_{np} , щільності зведення закладного масиву γ_v і технологічного зазору $\Delta h_{тех}$; початкової висоти формування закладного масиву h_z та ефективної потужності пласта t_{ef} від опору кріплення R_k та міцності породи закладного матеріалу σ_{cm} .

Наукова новизна полягає у встановленні закономірностей зміни опускання порід покрівлі та деформування закладного масиву від технологічних параметрів дільниці та роботи кріплення очисного вибою при ефективному відпрацюванні пласта із використанням технологічної схеми селективного виймання вугілля.

Практичне значення. Результати досліджень можуть бути використані при проектуванні технологічних схем очисного виймання вугілля із закладкою та залишенням порожніх порід у виробленому просторі.

Ключові слова: закладка виробленого простору, селективна технологія, параметри, закономірності.

Вступ.

Розробка вугільних пластів у Західному Донбасі ведеться з повним обваленням порід покрівлі, що порушує екологічний баланс території. Ці порушення проявляються у вигляді підтоплень, пошкоджень будівель та споруд. На поверхні під складування порожніх порід, що видаються з шахт, та відходів збагачення, відведено понад 200 га землі [1, 2], при цьому, за приблизними розрахунками, на природоохоронні заходи щодо ліквідації наслідків діяльності вугільних підприємств щорічно витрачається близько 700 млн грн і ця тенденція прямує до збільшення [3].

Для вирішення питань зниження деформації земної поверхні в районах ведення гірничих робіт, а також скорочення виходу з шахт порожніх порід вітчизняними та зарубіжними фахівцями пропонуються різні варіанти технологічних схем комплексно-механізованих очисних робіт із закладанням виробленого простору. Розроблено ряд механізованих кріплень та їх модифікацій для роботи із закладанням виробленого простору. При цьому для часткового або повного заповнення виробленого простору використовують

пневматичне обладнання [4-6], металеві машини [7] або закладні конвеєри [8-11], що дозволяють формувати за огорожею кріплення очисного комплексу закладні масиви певних параметрів.

Завдання визначення необхідних параметрів зведення закладних масивів виходить насамперед від мети застосування породи у підземному просторі, до яких відносять: створення щільних закладних масивів для безпечного вилучення запасів вугілля під охоронними об'єктами; управління покрівлею в очисному вибої; безремонтне підтримання прилеглих до лави дільничних виробок; залишення у шахті породи від присікання [12].

При цьому, залежно від завдань, вироблений простір частково або повністю заповнюють закладним матеріалом. У той же час часткове закладання може здійснюватися зі зведенням закладних масивів у виробленому просторі під покрівлю без безпосереднього контакту з нею [13]. Тому, залежно від цілей застосування шахтної породи в підземному виробленому просторі, необхідно встановлювати основні параметри розміщення та зведення закладного масиву в порожнині виробки для розробки

необхідних подальших технічних рішень та вирішення виробничих завдань, що забезпечують найбільш раціональне і ефективно відпрацювання запасів вугілля підземним способом.

У зв'язку з цим **метою роботи** є визначення параметрів зведення закладних масивів при селективній технології виймання тонких вугільних пластів з урахуванням впливу гірничо-геологічних та гірничотехнічних умов.

Основна частина.

До основних параметрів зведення закладного масиву відносяться:

- усадка закладного масиву E_3 ;
- початкова висота формування закладного масиву h_3 ;
- довжина закладного виробленого простору l_3 ;

- ефективна потужність пласта m_{ef} .

На початку розглянемо процес взаємодії елементів системи «гірський масив – механізоване кріплення – закладний масив» при селективній технології відпрацювання тонкого вугільного пласта із закладанням виробленого простору.

При посуванні очисного вибою покрівля опускається на величину Δh_k до контакту із закладним масивом і стискає закладний матеріал на величину початкової усадки закладного матеріалу Δh_3 . При цьому

слід також врахувати, що не всі засоби ведення закладних робіт здатні формувати закладні масиви під покрівлю. Тому між покрівлею та закладним масивом, залежно від техніки ведення закладних робіт, може існувати технологічний зазор Δh_{mex} , що свідчить про неповне заповнення виробленого простору. Поряд з цим, кріплення механізованого комплексу зазнає стискаюче навантаження від порід покрівлі, викликаючи тим самим просідання її гідростояків. Відповідно, початкова конвергенція покрівлі Δh_k залежить від початкового розпору та подальшого робочого опору кріплення. Таким чином початкова висота формування закладного масиву h_3 тим більша, чим менше Δh_k і Δh_{mex} , а його стиск залежить від початкової висоти – чим більшою є висота, тим більший стиск.

Враховуючи дані особливості, приведемо розрахункову схему для встановлення залежностей та визначення параметрів зведення закладних масивів при селективній технології виймання вугільних пластів, яка зображена на рис. 1. У зв'язку з цим, як приклад, проаналізуємо вплив комплексу гірничо-геологічних та гірничотехнічних умов на параметри розміщення й формування закладного масиву при комплексно-механізованому селективному вийманні тонкого вугільного пласта.

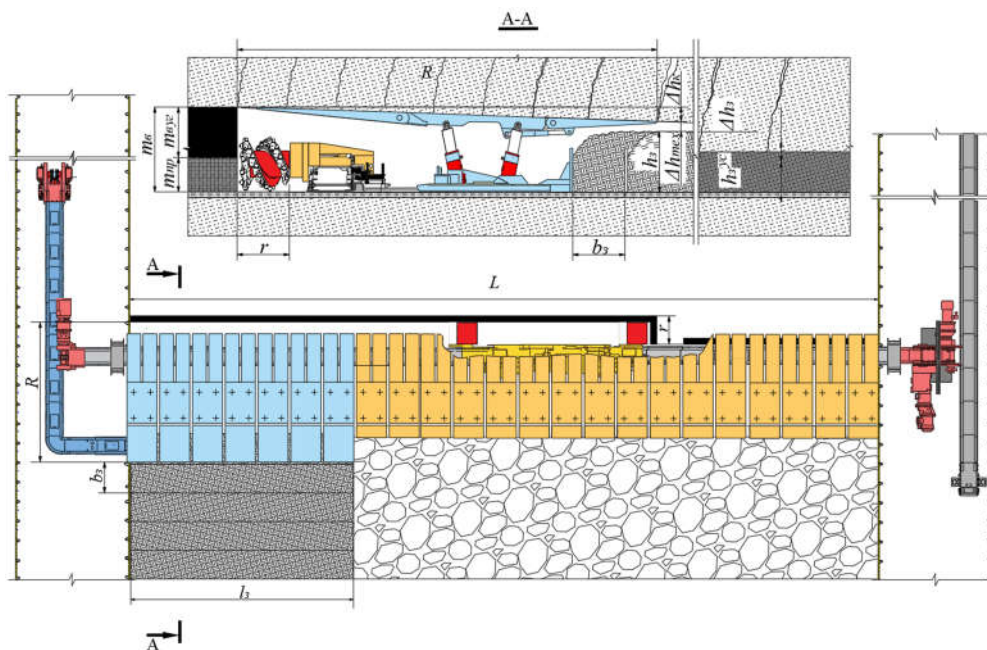


Рис. 1. Схема для розрахунку параметрів зведення закладних масивів при селективній технології виймання вугільних пластів

Для обмежень використовуємо такі гірничо-геологічні та гірничотехнічні умови: потужність пласта, що виймається $m_6 - 1,2$ м; довжина лави $L - 250$ м; глибина залягання пласта $H - 400$ м, відпрацювання пласта здійснюється довгим очисним вибоєм із закладанням виробленого простору; ширина закладної смуги b_3 приймається рівною кроку пересування секції механізованого кріплення – 0,8 м; ширина лави R – відстань від стінки закладного масиву до площини

вибою – 6 м; тип порід покрівлі та підшви – слабометаморфізовані, нестійкі породи з межею міцності σ_{cm} – до 40 МПа.

В якості змінних вихідних даних обрані: величина порід присікання в очисному вибої m_{np} ; фізико-механічні характеристики закладного матеріалу; параметри робочого опору кріплення P_k ; параметри техніки для ведення закладних робіт. Відповідно, їх діапазони варіювання зведені в таблицю 1.

Таблиця 1. Діапазони варіювання змінних вихідних даних

Величина присікання m_{np} , м	Межа міцності порід σ_{cm} , МПа	Опір кріплення P_k , кПа	Відносна щільність зведення закладного масиву γ_6	Технологічний зазор Δh_{mex} , м
0,1 – 0,6	10 – 40	200-300	0,6 – 0,9	0,1 – 0,5

Встановлення залежності усадки закладного масиву від властивостей міцності матеріалу і щільності зведення закладного масиву.

На початку встановимо розрахункову усадку закладного масиву E_6 залежно від фізико-механічних властивостей закладного матеріалу та відносної щільності зведення закладного масиву γ_6 . У нашому випадку породами для закладання слугують алевроліти та аргіліти, їх межа міцності σ_{cm} змінюється в межах від 10 до 40 МПа.

Визначити відносну усадку закладного масиву E_6 , не вдаючись до лабораторних досліджень компресійних характеристик реальних закладних матеріалів, можливо шляхом використання емпіричних залежностей [14, 15]. Однією з таких залежностей, що відображає ряд геологічних, гірничотехнічних та виробничих факторів, є залежність, що має такий вигляд:

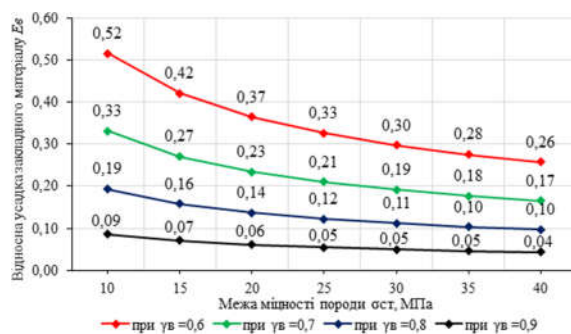
$$E_6 = \frac{1 - \gamma_6}{\gamma_6} \sqrt{\frac{P}{\sigma_{cm}}}, \quad (1)$$

де γ_6 – відносна щільність закладного масиву; P – величина навантаження, прикладеного на закладний масив; МПа; σ_{cm} – межа міцності на стиск породи закладного матеріалу, МПа.

Відомо, що відносна щільність γ_6 та усадка закладного масиву E_6 значною мірою залежить від фізико-механічних властивостей закладного матеріалу, техніки

та технології виконання закладних робіт. При цьому, найменшу щільність $\gamma_6 = 0,60 - 0,61$ закладного масиву мають механічні способи (метальні, закладні скребкові та стрічкові конвеєри), які формують закладний масив простим насипом без попереднього ущільнення. Більш щільні масиви здатні формувати високонапірні пневмозакладні комплекси, їх діапазон γ_6 досягає величин 0,7 – 0,9 [16].

Таким чином, використовуючи формулу (1), побудовані графіки залежності зміни відносної усадки закладного масиву від її щільності та міцності при $P = const = 6$ МПа, які зображені на рис. 2.

Рис. 2. Залежність відносної усадки закладного матеріалу від межі міцності породи при $P = const = 6$ МПа

Аналіз отриманих залежностей показує, що зі збільшенням початкової щільності зведення закладного масиву знижується її усадка. Так при $\gamma_6 = 0,6$, міцності породи $\sigma_{cm} = 10$ МПа та

вертикальному навантаженні 6 МПа (що відповідає гірському тиску на глибині 400 м), усадка закладного масиву складе 52% від її початкової висоти зведення у виробленому просторі. При однаковій щільності зведення закладного масиву усадка E_6 буде тим більше, чим менше σ_{cm} породи, що використовується як закладний матеріал, при цьому слід зазначити, що зі збільшенням відносної щільності зведення γ_6 , показник σ_{cm} чинить менший вплив на деформацію закладного масиву E_6 . Це говорить про те, що при використанні низьконапірних засобів формування закладних масивів для підвищення несучої здатності закладного масиву доцільно використовувати породи з вищою міцністю. У той же час при використанні високонапірної техніки закладних робіт, здатних формувати закладні масиви зі щільністю, що досягає $\gamma_6 = 0,8 - 0,9$, показник σ_{cm} практично не впливає на усадку закладного масиву.

Встановлення залежності висоти формування закладного масиву і довжини виробленого простору, що закладається, від гірничо-геологічних і гірничо-технічних умов.

Розглядаючи різні варіанти технології ведення закладних робіт загальною характеристикою, що відображає ефективність зведення закладного масиву, є його здатність у початковий період чинити опір, що протидіє активному опусканню порід покрівлі у вироблений простір. Як правило мінімізувати зміщення вищележачих порід покрівлі, на початковому періоді, вдається шляхом створення у порожнині виробленого простору щільного закладного масиву, що виключає утворення пустот між покрівлею і верхньою поверхнею закладного масиву.

Проте, залежно від розміщення елементів закладного обладнання та їх прив'язки до секцій механізованого кріплення, а також особливостей процесів випуску закладного матеріалу, уникнути утворення пустот поза закладним масивом вдається не у всіх випадках. Тому при встановленні параметрів зведення закладного масиву слід врахувати цей фактор.

У кількісному плані його можна виразити як величину існуючого технологічного зазору Δh_{mex} , який свідчить

про неповноту заповнення виробленого простору і характеризує в загальному випадку технологію закладних робіт, що застосовується.

Таким чином, враховуючи вищеописані положення, визначимо початкову висоту формування закладного масиву h_3 і довжину виробленого простору l_3 , що закладається.

Початкову висоту формування закладного масиву визначимо, використовуючи такий вираз:

$$h_3 = m_6 - \Delta h_k - h_{mex}, \quad (2)$$

де m_6 – виймальна потужність пласта, м; Δh_k – опускання порід покрівлі на задніх консолях кріплення, м; h_{mex} – технологічний зазор між покрівлею та верхньою поверхнею закладного масиву, м.

При селективній технології довжину закладного виробленого простору можна визначити, виходячи з величини порід, що присікаються, різниці щільностей породи в непорушеному стані (цілику) і в закладному масиві, геометрії порожнини виробленого простору, що підлягає заповненню закладним матеріалом. Формула для визначення необхідної довжини закладного простору з урахуванням перетворених величин можна подати у такому вигляді:

$$l_3 = \frac{L m_{np} r}{h_3 b_3 \gamma_6}, \quad (3)$$

де L – довжина лави, м; m_{np} – величина присікання породи, м; r – ширина захоплення виконавчого органу вуглевиймальної машини, м; b_3 – ширина породної смуги, що закладається, м; γ_6 – відносна щільність зведення закладного масиву.

Показник Δh_k , що входить у вирази (2) і (3), визначимо, виходячи з припущення про те, що механізм конвергенції порід основної покрівлі в лаві, що відпрацьовує пласт з повним обваленням покрівлі та закладанням, якісно не відрізняються. Таким чином, використовуючи результати досліджень [17], величину Δh_k що входить до виразів (2) і (3), можна визначити з урахуванням опору механізованого кріплення та ряду інших виробничих параметрів очисної технології, використовуючи рівняння виду:

$$\Delta h_k = (S_1 - S_2 P_k + S_3 e^{-S_4 P}) R m_e e^{-S_5 / t}, \quad (4)$$

де $S_1 - S_5$ – емпірично виведені коефіцієнти залежності $\Delta h_k(P_k)$; P_k – опір кріплення, кПа; R – довжина перекриття кріплення в лаві плюс відстань від вибою до передньої притискної консолі, м; t – проміжок часу з моменту пересування кріплення до початку наступного розвантаження її секції, с.

На рис. 3 наведено графіки залежності початкової висоти формування закладного масиву від опору кріплення очисного комплексу.

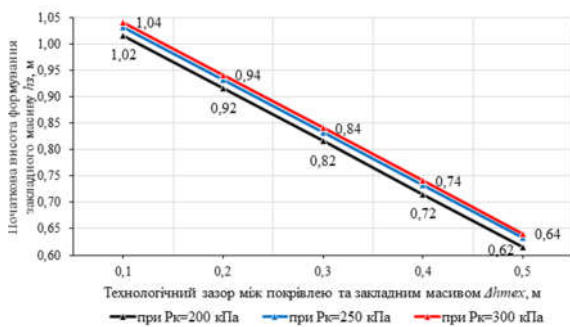


Рис. 3. Графіки залежності початкової висоти формування породного закладного масиву від величини технологічного зазору та робочого опору кріплення

Аналіз отриманих залежностей показує, що зі збільшенням розпору кріплення в очисному вибої зростає початкова висота формування закладного масиву. У межах варіювання величиною Δh_{mex} при $P_k = 200$ кПа початкова висота формування закладного масиву змінюється від 52 до 85% від виймальної потужності пласта, що відпрацьовується. При цьому подальше зростання опору кріплення на 100 кПа призводить до збільшення висоти зведення закладного масиву в середньому всього на 0,02 м. Таким чином, за інших рівних умов, значний вплив на початкову висоту формування закладного масиву чинить величина Δh_{mex} .

На рис. 4 представлені графіки зміни довжини простору, що закладається, залежно від величини порід, що присікаються в очисному вибої та щільності зведення закладного масиву за умови, що закладання здійснюється під покрівлю у виробленому просторі й має мінімальні пустоти.

З аналізу графіків (рис. 4) випливає, що в межах зміни величин відношення m_{np}/m_e відбувається збільшення довжини закладного простору l_3 в лінійній залежності, при цьому досягаючи максимального свого значення при $m_{np}/m_e = 0,5$.

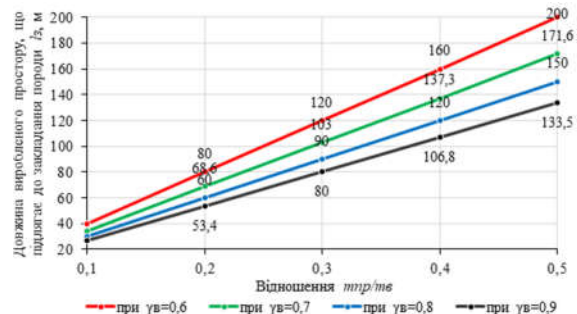


Рис. 4. Графіки залежності довжини закладного виробленого простору від величини порід, що присікаються, і щільності зведеного закладного масиву

Так, за умови відпрацювання пласта з величиною порід, що присікаються, $m_{np} = 0,60$ м в очисному вибої, обсягу одержуваних порід буде достатньо, щоб звести закладний масив довжиною до 200 м або 80% обсягу виробленого простору, використовуючи високонапірні засоби здійснення закладних робіт, що дозволять досягати $\gamma_e = 0,9$.

Вплив щільності зведення закладного масиву при однаковій величині порід, що присікаються, відбувається наступним чином. Збільшення відношення m_{np}/m_e на 0,1 при $\gamma_e = 0,9$ призводить до зростання довжини простору, що закладається, в середньому на 25,6 м, в той же час при $\gamma_e = 0,8$ цей показник збільшується до 30,0 м, при $\gamma_e = 0,7$ – до 34,3 м, а при $\gamma_e = 0,6$ – до 40,0 м. Таким чином збільшення щільності зведення закладного масиву при постійній величині порід, що присікаються, сприяє зниженню довжини закладного виробленого простору. У середньому підвищення γ_e на 10% дозволяє знизити l_3 на 30–32 м і навпаки.

Проаналізуємо також вплив величини порід, що присікаються, і технологічного зазору Δh_{mex} на довжину закладного виробленого простору. В результаті проведених досліджень встановлені залежності впливу технологічного зазору Δh_{mex} і відношення величини m_{np}/m_e на довжину виробленого простору, що закладається, які представлені на рис. 5.

Оцінюючи вплив технологічного зазору Δh_{mex} на зміну довжини закладного виробленого простору можна стверджувати наступне. Збільшення Δh_{mex} на 0,1 м призводить до зростання довжини закладного виробленого простору при $m_{np}/m_e = 0,1$ в середньому на 5,0 м; при $m_{np}/m_e = 0,2$ на 10,0 м; при $m_{np}/m_e = 0,3$ на 15,0 м; $m_{np}/m_e = 0,4$ на 20,0 м; при $m_{np}/m_e = 0,5$ на 25,0 м.

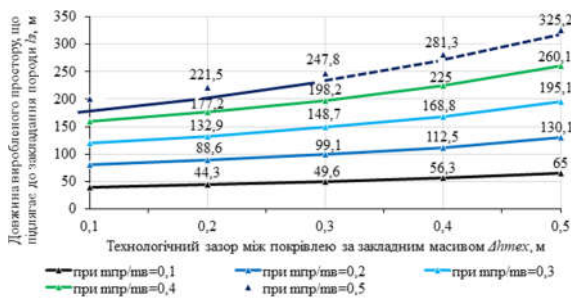


Рис. 5. Графіки залежності довжини закладного простору від величини технологічного зазору і величини порід, що присікаються при $\gamma_e = const = 0,6$

При цьому найбільше зростання збільшення довжини закладного простору спостерігається із закономірним підвищенням показника m_{np}/m_e .

Аналіз отриманих даних свідчить про те, що при селективному відпрацюванні вугільного пласта в діапазоні величин порід, що присікаються, $m_{np}/m_e = 0,1 - 0,4$ та показника $\Delta h_{mex} = 0,1 - 0,48$ м весь обсяг порід присікання, який виймається в очисному вибої, може бути розміщений у повній мірі у виробленому просторі. В подальшому при збільшенні величини порід, що присікаються в очисному вибої, m_{np}/m_e до 0,5 і показника Δh_{mex} до 0,3 м, довжина закладного простору l_z еквівалентна довжині самої лави. У цьому випадку можливо здійснити залишення порід на всю довжину виробленого простору, використовуючи, наприклад, спеціальні закладні конвеєри з донним або бічним розвантаженням породи і відносною щільністю насипки $\gamma_e = 0,6$ (без подальшого ущільнення в закладний масив).

Також очевидно, що при подальшому збільшенні $m_{np}/m_e > 0,5$ і $\Delta h_{mex} > 0,3$ м у всьому діапазоні параметрів, що варіюються, утворюється надлишок обсягу пустих порід, для якого у виробленому просторі недостатньо вільного місця для подальшого розміщення.

З цього випливає, що при $m_{np} \geq 0,6$ м і виймальної потужності в лаві 1,2 м необхідно застосовувати технологічне обладнання для ведення закладних робіт з характеристиками $\gamma_e > 0,6$ і $\Delta h_{mex} < 0,1$ м. Тому при відносно великих величинах порід присікання $m_{np}/m_e \geq 0,4$ перевагу слід віддавати високонапірним закладним комплексам, що дозволяють формувати щільні закладні масиви у виробленому просторі.

Встановлення залежності ефективної потужності пласта від міцнісних властивостей закладного матеріалу та опору кріплення очисного комплексу.

Представляє також інтерес встановлення залежності впливу властивостей міцності порід, що використовуються як закладний матеріал, і робочого опору кріплення очисного комплексу на зміну ефективної потужності пласта. Використовуючи вираз виду:

$$m_{ef} = \Delta h_k + \Delta h_{mex} + h_z (1 - E_e), \quad (5)$$

побудовані графіки залежності зміни ефективної потужності пласта m_{ef} від міцності порід закладного матеріалу та робочого опору кріплення очисного комплексу P_k при $\gamma_e = const = 0,7$, які представлені на рис. 6.

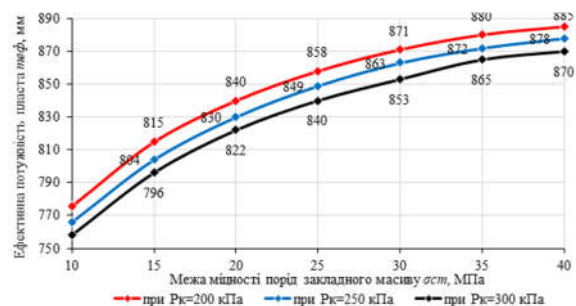


Рис. 6. Графіки залежностей ефективної потужності пласта від межі міцності порід закладного масиву при $\gamma_e = const = 0,7$

Внаслідок аналізу залежностей, наведених на рис. 6, встановлено, що зі збільшенням міцності породи закладного матеріалу та зростанням опору кріплення зростає ефективна потужність пласта. Це пояснюється тим, що зі збільшенням зусилля початкового розпору, підпору та опору кріплення зменшується розшарування й опускання покрівлі. Отже, чим меншим є

опускання покрівлі на межі робочого і виробленого простору, тим більша відстань між покрівлею і подошвою, тобто, висота виробленої порожнини, що підлягає заповненню закладним матеріалом, який у подальшому сприймає навантаження від вищележачих порід і протидіє породам покрівлі, що опускаються.

Результати наведених досліджень та запропоновані методи розрахунку можуть бути використані для визначення раціональних параметрів зведення та розміщення породних закладних масивів при селективній технології виймання тонких вугільних пластів з урахуванням змінних: величини порід, що присікаються, m_{np} ; характеристик застосування закладного матеріалу σ_{cm} , γ_6 , E_6 ; технологічних параметрів кріплення механізованого комплексу P_k , R ; параметрів техніки для ведення закладних робіт h_3 , Δh_{mex} , l_3 .

Висновки.

У даній роботі представлені результати аналітичних досліджень впливу комплексу гірничо-геологічних та гірничотехнічних факторів на параметри зведення закладних масивів при селективній технології. На прикладі чисельних методів розрахунків для обраних вихідних характеристик вугільного пласта, що відпрацьовується, виявлені тенденції зміни величини усадки закладного матеріалу E_6 від межі міцності породи σ_{cm} і відносної щільності γ_6 ; довжини закладного виробленого простору l_3 від величини порід, що присікаються, m_{np} , щільності зведення закладного масиву γ_6 і технологічного зазору Δh_{mex} ; початкової висоти формування закладного масиву h_3 та ефективної потужності пласта m_{ef} від опору кріплення P_k та міцності породи закладного матеріалу σ_{cm} .

У ході виконаних досліджень виявлено низку особливостей та результатів:

1. Закладний масив, зведений у порожнині виробленого простору з відносно низькою щільністю $\gamma_6 = 0,6$ на глибині 400 м матиме максимальну усадку до 52% від її початкової висоти. При цьому встановлено, що при однаковій щільності зведення закладного масиву, усадка E_6 буде тим більшою, чим менший σ_{cm} породи, що використовується в якості закладного матеріалу. У той же час зі збільшенням

щільності зведення закладного масиву, показник σ_{cm} чинить менший впливає на його компресійну характеристику. Таким чином, отримати таку ж усадку закладного масиву, як при використанні високонапірної техніки $\gamma_6 = 0,8 - 0,9$ можна в лавах, що працюють низьконапірною технікою $\gamma_6 = 0,6 - 0,7$, але міцнішими породами, що застосовуються як закладний матеріал.

2. Початкова висота зведення закладного масиву і довжина закладного виробленого простору знаходяться в лінійному зв'язку між величиною присікання бічних порід m_{np}/m_6 , опором кріплення очисного комплексу P_k і технологічним зазором Δh_{mex} , зумовленим особливостями розміщення елементів закладного обладнання в компонованні механізованого комплексу. При постійній величині Δh_{mex} і m_{np}/m_6 збільшення на 100 кПа розпору кріплення P_k в очисному вибої призводить до зростання початкової висоти формування закладної породної смуги в середньому на 0,02 м з поступовим зменшенням її зростання при досягненні максимальної несучої здатності кріплення. Збільшення Δh_{mex} на 0,1 м призводить до зростання довжини закладного виробленого простору при $m_{np}/m_6 = 0,1$ в середньому на 5,0 м.

3. Отримані за результатами досліджень графіки зміни довжини виробленого простору від величини порід, що присікаються, і відносної щільності зведення закладного масиву дозволили встановити максимальні величини присікання m_{np} і допустимі технологічні зазори Δh_{mex} установки елементів закладного обладнання за фактором обсягу виробленого простору. Так, наприклад, при селективній технології з механічним закладанням виробленого простору за допомогою спеціальних закладних конвеєрів, прикріплених до зворотних консолей секцій механізованого кріплення, відносна величина m_{np}/m_6 повинна становити не більше 0,5 і Δh_{mex} до 0,3 м (або 25% від потужності, що виймається, у лаві).

4. Встановлено логарифмічну залежність між ефективною потужністю пласта m_{ef} , межею міцності породи закладного матеріалу σ_{cm} та опором кріплення очисного комплексу P_k , що дозволяє оцінити можливості безпечного вилучення запасів вугілля під поверхневими

об'єктами та визначити раціональні параметри зведення й розміщення породних закладних масивів при селективній технології виймання тонких вугільних пластів.

Результати роботи отримані у рамках виконання науково-дослідної роботи ГП-502 «Розробка прогресивних технологій повноцінного вилучення енергетичного вугілля з акумуляцією порожніх порід у підземному просторі» (№ держреєстрації 0120U101099).

Список літератури

1. Petlovanyi M., Malashkevych D., Sai K. The new approach to creating progressive and low-waste mining technology for thin coal seams. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2020. 29(4). P. 765-775. DOI:10.15421/112069
2. Бондаренко В.И., Русских В.В., Якович А.И., Малашкевич Д.С. К вопросу оставления породы в выработанном пространстве угольных шахт. *Розробка родовищ*. 2014. С. 19-24.
3. Интегрированный отчет 2020. *Финансовые и нефинансовые результаты*. Годовой отчет. Киев: ДТЭК, 2018. 146 с.
4. Бузило В.И. *Технология отработки тонких пластов с закладкой выработанного пространства*. Днепропетровск: НГУ, 2013. 124 с.
5. Волошин А.И. Теория и практика создания закладочных вибрационно-пневматических машин. *Уголь Украины*. 2013. (3). С. 8-12.
6. Witthaus H., Gutberlet K., Junker M. Stowing on longwall faces on the basis of experience acquired in the German coal mining industry. *Mining Report*. 2013. (149). P. 17-28. DOI:10.1002/mire.201300422
7. Захаров Ю.Н., Кантович Л.И. *Взаимодействие механизированных крепей с кровлей при разработке Старобинского месторождения калийных солей*. Москва: МГГУ, 2003. 152 с.
8. Бондаренко В.И., Русских В.В., Малашкевич Д.С., Соцков В.А. Технологическая схема и оборудование для селективной добычи угля длинными очистными забоями. *Вісті Донецького гірничого університету*. 2017. 2(41). С. 19-24.
9. Huang J., Tian C., Xing L., Bian Z., Miao X. Green and sustainable mining underground coal mine fully mechanized solid dense stowing-mining method. *Sustainability*. 2017. (9). P. 1418.
10. Zhou N., Jiang H.Q., Zhang J.X. Application of solid backfill mining techniques for coal mine under embankment dam. *Mining Technology*. 2013. 122(4). P. 228-234. DOI:10.1179/1743286313Y.0000000042
11. Zhang Q., Zhang J., Guo S., Gao R., Li W. Design and application of solid, dense backfill advanced mining technology with two pre-driving entries. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2015. 25(1). P. 127-132. DOI:10.1016/j.ijmst.2014.12.008
12. Жуков В.Е., Алексеев А.Д., Грядущий Б.А. Закладка выработанного пространства – основа совершенствования горного производства. *Уголь Украины*. 2008. (10). С. 13-17.
13. Malashkevych D., Sotskov V., Medyanyk V., Prykhodchenko D. Integrated evaluation of the worked-out

area partial backfill effect of stress-strain state of coal-bearing rock mass. *Solid State Phenomena*. 2018. (277). P. 213-220. DOI:10.4028/www.scientific.net/ssp.277.213

14. Рыжков Ю.А., Волков А.Н., Гоголин В.А. *Механика и технология формирования закладочных массивов*. Москва: Недра, 1985. 191 с.

15. Jiang H., Cao Y., Huang P., Fang K., Li B. Characterisation of coal-mine waste in solid backfill mining in China. *Mining Technology*. 2015. 124(1). P. 56-63.

16. Гребенкин С.С., Мельник В.В., Бондаренко В.И. *Прогрессивные технологии подземной отработки запасов месторождений полезных ископаемых с закладкой выработанных пространств*. Донецк: ВИК, 2013. 752 с.

17. Buzilo V.I., Koshka O.H., Yavorsky A.V., Yavorska E.A., Tokar L.A., Sulaev V.I., Serdyuk V.P. *Selective mining technique for thin coal seams*. Dnipropetrovsk: National Mining University, 2015. 132 p.

References

1. Petlovanyi, M., Malashkevych, D., & Sai, K. (2020). The new approach to creating progressive and low-waste mining technology for thin coal seams. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 29(4), 765-775. DOI:10.15421/112069
2. Bondarenko, V.I., Russkikh, V.V., Yarkovich, A.I., & Malashkevych, D.S. (2014). K voprosu ostavleniya porody v vyrabotannom prostranstve ugol'nykh shakht. *Rozrobka Rodovyshch*, 19-24. (in Russian).
3. Integrirovannyi otchet 2020. *Finansovye i nefinansovye rezul'taty*. Godovoy otchet. Kiev: DTEK, 2018. 146 p. (in Russian).
4. Buzilo, V.I. (2013). *Tekhnologiya otrabotki tonkikh plastov s zakladkoy vyrabotannogo prostranstva*. Dnepropetrovsk: NGU, 2013. 124 s. (in Russian).
5. Voloshin, A.I. (2013). Teoriya i praktika sozdaniya zakladochnykh vibratsionno-pnevmaticheskikh mashin. *Ugol' Ukrainy*, (3), 8-12. (in Russian).
6. Witthaus, H., Gutberlet, K., & Junker, M. (2013). Stowing on longwall faces on the basis of experience acquired in the German coal mining industry. *Mining Report*, (149), 17-28. DOI:10.1002/mire.201300422
7. Zakharov, Yu.N., & Kantovich, L.I. (2003). Vzaimodeystvie mekhanizirovannykh krepey s krovley pri razrabotke Starobinskogo mestorozhdeniya kaliynykh soley. Moscow: MGGU, 152 s. (in Russian).
8. Bondarenko, V.I., Russkikh, V.V., Malashkevych, D.S., & Sotskov V.A. (2017). Tekhnologicheskaya skhema i oborudovanie dlya selektivnoy dobychi uglya dlinnymi ochistnymi zaboyami. *Visti Donets'koho girnychoho universitetu*, 2(41), 19-24. (in Russian).
9. Huang, J., Tian, C., Xing, L., Bian, Z., & Miao, X. (2017). Green and sustainable mining: Underground coal mine fully mechanized solid dense stowing-mining method. *Sustainability*, 9(8), 1418. DOI:10.3390/su9081418
10. Zhou, N., Jiang, H.Q., & Zhang, J.X. (2013). Application of solid backfill mining techniques for coal mine under embankment dam. *Mining Technology*, 122(4), 228-234. DOI:10.1179/1743286313Y.0000000042
11. Zhang, Q., Zhang, J., Guo, S., Gao, R., & Li, W. (2015). Design and application of solid, dense backfill advanced mining technology with two pre-driving entries.

International Journal of Mining Science and Technology, 25(1), 127-132. DOI:10.1016/j.ijmst.2014.12.008

12. Zhukov, V.E., Alekseev, A.D., & Gryadushchiy, B.A. (2008). Zakladka vyrabotannogo prostranstva – osnova sovershenstvovaniya gornogo proizvodstva. *Ugol' Ukrainy*, (10), 13-17. (in Russian).

13. Malashkevych, D., Sotskov, V., Medyanik, V., & Prykhodchenko, D. (2018). Integrated evaluation of the worked-out area partial backfill effect of stress-strain state of coal-bearing rock mass. *Solid State Phenomena*, (277), 213-220. DOI:10.4028/www.scientific.net/ssp.277.213

14. Ryzhkov, Yu.A., Volkov, A.N., & Gogolin, V.A. (1985). *Mekhanika i tekhnologiya formirovaniya zakladochnykh massivov*. Moskva: Nedra, 191 s. (in Russian).

15. Jiang, H., Cao, Y., Huang, P., Fang, K., & Li, B. (2015). Characterisation of coal-mine waste in solid backfill mining in China. *Mining Technology*, 124(1), 56-63. DOI:10.1179/1743286315y.0000000002

16. Grebenkin, S.S., Mel'nik, V.V., & Bondarenko, V.I. (2013). *Progressivnye tekhnologii podzemnoy otrabotki zapasov mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh s zakladkoy vyrabotannykh prostranstv*. Donetsk: VIK, 752 s. (in Russian).

17. Buzilo, V.I., Koshka, O.H., Yavorsky, A.V., Yavorska, E.A., Tokar, L.A., Sulaev, V.I., & Serdyuk, V.P. (2015). *Selective mining technique for thin coal seams*. Dnipropetrovsk: National Mining University, 132 p.

Надійшла до редакції 20.09.2021

Малашкевич Дмитро Сергійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри гірничої інженерії та освіти Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», (м. Дніпро, Україна).

E-mail: malashkevychnmu@gmail.com

Петльований Михайло Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри гірничої інженерії та освіти Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», (м. Дніпро, Україна).

E-mail: petlyovany@ukr.net

Сай Катерина Сергіївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри гірничої інженерії та освіти Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», (м. Дніпро, Україна).

E-mail: kateryna.sai@gmail.com

DETERMINATION OF THE RATIONAL BACKFILLING PARAMETERS DURING SELECTIVE EXTRACTION TECHNOLOGY OF THIN COAL SEAMS

Purpose. Substantiation of the backfill massif parameters in fully mechanized selective mining thin coal seams, taking into account the influence of technological and mining-and-geological conditions.

Methods. The integrated approach which includes the analysis and generalization of scientific developments in the field under study, analytical and numerical methods for determining technological parameters is used in the work.

Findings. The results of studies of the influence of complex technological and mining-and-geological conditions on filling massif parameters while selective mining are given in the paper. Using the example of numerical calculation methods for the selected initial characteristics of the mined coal seam the following trends are revealed: the shrinkage value of the filling material E_s from the ultimate rock strength σ_{cm} and the relative density γ_s ; the length of the filling mined-out space l_s and the size of the undercut rocks m_{np} , the filling density γ_s and the technological gap Δh_{mex} ; the initial height of the filling massif formation h_3 and the effective seam thickness m_{ef} from the support resistance P_x and the rock strength of the filling material σ_{cm} .

Originality consists in the determination of the change regularities in the roof subsidence and deformation of the filling massif from the technological parameters of the site and the face support while effective coal seam development by technological scheme of selective coal extraction.

Practical implication. The research results can be used in the design of technological schemes for coal mining with backfilling and leaving waste rocks in the worked-out area.

Key words: backfilling of worked-out space, selective technology, parameters, regularities.

Malashkevych Dmytro – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mining Engineering and Education, Dnipro University of Technology, (Dnipro, Ukraine).

E-mail: malashkevychnmu@gmail.com

Petlovanyi Mykhailo – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mining Engineering and Education, Dnipro University of Technology, (Dnipro, Ukraine).

E-mail: petlyovany@ukr.net

Sai Kateryna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mining Engineering and Education, Dnipro University of Technology, (Dnipro, Ukraine).

E-mail: kateryna.sai@gmail.com