

© Д.С. Малашкевич<sup>1</sup>, М.В. Петльований<sup>1</sup><sup>1</sup> Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

## АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗМІЩЕННЯ ПОРОДИ ПРІСІКАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ГОРИЗОНТАЛЬНО-ЗАМКНУТОГО ЗАКЛАДНОГО КОНВЕЄРА

© D. Malashkevych<sup>1</sup>, M. Petlovanyi<sup>1</sup><sup>1</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

## ANALITICAL INVESTIGATION OF THE UNDERCUT ROCK PLACEMENT PARAMETERS IN THE MINED-OUT SPACE USING THE HORIZONTALY CLOSED BACKFILLING CONVEYOR

**Мета.** Визначення параметрів розміщення породи присікання у виробленому просторі горизонтально-замкнутим закладним конвеєром при селективній технологічній схемі відпрацювання тонких вугільних пластів.

**Методика.** Для досягнення поставленої мети у роботі використано аналітичні та чисельні методи визначення технологічних параметрів.

**Результати.** У роботі представлені результати аналітичних досліджень, що дозволяють визначити основні параметри розміщення породи присікання при використанні горизонтально-замкненого закладного конвеєра для забезпечення організації ефективного селективного видобування тонких вугільних пластів. На прикладі чисельних методів розрахунків для обраних характерних умов Західного Донбасу визначено ступінь заповнення виробленого простору  $K_3$  від конструктивної висоти встановлення закладної конвеєрної лінії  $h_{вст}$ , кута укосу породи  $\gamma$  та виймальної потужності вугільного пласта  $m_{в min}$ . Обґрунтовані максимальні величини присікання породи  $m_{пр}$  з урахуванням об'єму порожнини виробленого простору, що підлягає до заповнення породою, розташування елементів закладного обладнання та варіантів технологічних схем селективного відпрацювання пласта. Встановлено, що при селективному відпрацюванні вугільного пласта за один прохід комбайна у діапазоні виймальної потужності  $m_{в min} = 1,16 - 1,22$  м весь об'єм породи присікання, що виймається в очисному вибою може бути розміщено у повному обсязі у виробленому просторі. При цьому кут нахилу закладного конвеєрного поставу повинен складати  $\beta \leq 15^\circ$  у разі відпрацювання вугільного пласта геологічною потужністю  $m_{вг} = 0,65 - 0,7$  м;  $\beta \leq 20^\circ$  при  $m_{вг} = 0,75$  м;  $\beta \leq 25^\circ$  при  $m_{вг} = 0,8$  м. При селективному відпрацюванні пластів з геологічною потужністю  $m_{вг} = 0,7 - 0,8$  м за два проходи комбайна, забезпечується залишення повного обсягу порід присікання у виробленому просторі. У разі відпрацювання пласта з геологічною потужністю  $m_{вг} \leq 0,7$  м, утворюється надлишок породи, який необхідно вивозити за межі очисної дільниці. Виявлені тенденції зміни довжини породної смуги  $l_3$ , що формується у виробленому просторі від конструктивних параметрів розташування горизонтально-замкненого закладного конвеєра та параметрів відпрацювання пласта, які дозволяють оцінити можливості безпечної експлуатації очисного комплексу при селективному видобуванні вугілля.

**Наукова новизна.** Встановлено, що ступінь заповнення виробленого простору  $K_3$  прямо пропорційно залежить від конструктивної висоти встановлення закладної конвеєрної лінії  $h_{вст}$ , кута укосу породи  $\gamma$  та обернено пропорційно від виймальної потужності вугільного пласта  $m_{в min}$ , що дозволяє встановити технологічні параметри розміщення породи присікання при селективному видобуванні вугілля. Встановлено, що висота породної смуги  $h_n$ , яка формується у виробленому просторі знаходиться в прямій залежності від виймальної потужності пласта

$m_{\text{в min}}$ , ширини поставу  $b_p$  горизонтально-замкнутого закладного конвеєра, фракції порід, що транспортуються, та їх фізико-механічних властивостей.

**Практична значимість.** Результати досліджень можуть бути використані при проектуванні технологічних схем селективного видобування вугілля із залишенням пустих порід у виробленому просторі.

**Ключові слова:** порода, вироблений простір, селективна технологія, параметри.

**Вступ.** В даний час вирішення питань зниження негативного впливу на навколишнє середовище та підвищення раціонального використання ресурсів є пріоритетними напрямками для вугледобувної промисловості. Аналіз виробничих даних показує, що в Західному Донбасі в результаті виробничої діяльності вугільних шахт на денну поверхню видається щорічно близько 4,5 млн т пустих порід [1]. При цьому, проведені дослідження [2] показують, що кількість піднятих порід на одиницю видобутого вугілля з кожним роком збільшується на 0,2 т у зв'язку з поступовим зниженням геологічної потужності пластів, збільшенням глибини їх розробки і зростанням протяжності проведення гірничих виробок.

На денній поверхні продовжується виділення нових і розширення старих площ під відсіпання породних відвалів, загальна площа яких досягає понад 200 Га [3]. Водночас, обсяги утилізації та використання шахтної породи залишаються незначними – до 2% від загальної кількості їх утворення. У невеликих обсягах вдається ліквідувати частину шахтної породи під час будівництва доріг та рекультивації земель. В шахті при спорудженні капітальних гірничих виробок, використовуючи подрібнену породу як заповнювач для тампонажних та торкрет-бетонних сумішей [4].

У контексті цієї проблеми багатьма науковими школами у всьому світі ведуться роботи з розробки сучасних технологій видобування вугілля, спрямованих на зменшення обсягів утворення пустих порід. Зокрема, низька публікацій спрямована на пошук більш досконалих технологій, які базуються на класичних засобах очисної механізації [5-7], безлюдного виймання [8-10], а також нетрадиційних технологіях видобування енергетичної сировини [11-13]. У роботах [14-15] пропонується застосування процесів збагачення гірничої маси під землею без видачі породи на поверхню.

Особливо слід виділити ряд робіт, спрямованих на створення прогресивних технологій селективного (роздільного) виймання вугілля, що виключає засмічення вугілля породами присікання у процесі видобування [16-18]. Для залишення породи у виробленому просторі передбачається використання пневматичної закладки, яка, як показав досвід її застосування, поряд з перевагами (висока щільність закладного масиву, компактні розміри закладного трубопроводу) має ряд істотних недоліків, одним з яких є необхідність припинення подачі закладного матеріалу при перемиканні бічного випуску породи або при демонтажі секцій трубопроводу, що значно знижує навантаження на очисний вибій та продуктивність закладних робіт.

Таким чином в умовах високої інтенсифікації розробки тонких та вельми тонких вугільних пластів Західного Донбасу, як показує аналіз існуючої практики, потрібно шукати нові технічні рішення, які забезпечують високу продуктивність та комплексну механізацію всіх робіт.

**Основна частина.** Орієнтуючись на високу продуктивність закладного обладнання та забезпечення безперервності та поточності технологічного процесу виконання робіт розроблена технологічна схема, яка базується на застосуванні виїмково-закладного механізованого комплексу, особливістю якого є використання горизонтально-замкнутого закладного конвеєра спеціальної конструкції для транспортування відбитого вугілля і породи присікання, вздовж вибою та доставки і розміщення породи у виробленому просторі [19].

На рис. 1 зображено технологічну схему відпрацювання тонких вугільних пластів із розміщенням породи у виробленому просторі за допомогою горизонтально-замкнутого закладного конвеєра.

Розміщення породи у виробленому просторі виконують в єдиному технологічному процесі шляхом розвантаження породи по похилому закладному поставу формуючи породну смугу висотою  $h_n$  із заданим ступенем заповнення виробленого простору  $K_z$  з урахуванням величини породи присікання  $m_{np}$ , що виймається в очисному вибою.

Таким чином визначимо основні параметри технології розміщення породи у виробленому просторі, що забезпечують організацію ефективного селективного видобування тонких вугільних пластів на прикладі характерних умов шахт Західного Донбасу.

Розглянемо більш детально процес доставки породи і розміщення її у виробленому просторі. Роботи із залишення породи проводяться одночасно з вийманням породного уступу за другий прохід очисного комбайна (при односторонній схемі виймання) або при хвилеподібному пересуванні конвеєра (при послідовній схемі виймання). При цьому порода присікання транспортується вибійним поставом конвеєра до збірної штреку і надходить на закладний постав, що має заданий кут нахилу  $\beta$  до підшви пласта.

У міру транспортування подрібненої породи по похилому поставу відбувається бокове розвантаження породи на підшви пласта, формуючи породну смугу висотою  $h_n$  яка дорівнює висоті встановлення закладного конвеєрного постава  $h_{вст}$ . Далі по мірі заповнення порожнини виробленого простору по висоті, породний потік, що транспортується скребковим ланцюгом, розвантажується на вільну від породи ділянку. В залежності від величини присікання породи в очисному вибою, зведення породної смуги може проводитися на всю довжину виробленого простору або певною величиною за простяганням.

В той же час облаштування елементів закладного конвеєрного постава та прив'язка його елементів до секції механізованого кріплення не дозволяють розмістити його таким чином, щоб процес бокового випуску виконувався безпосередньо під покрівлю виробленого простору. Тому, в силу фізико-механічних властивостей породи, а також технології її розміщення, зведення породної смуги у виробленому просторі здійснюється не на повну висоту виробленого простору, а з певним технологічним зазором  $\Delta h_{mex}$ , який свідчить про неповноту заповнення виробленого простору та характеризує у загальному технологію виконання робіт.

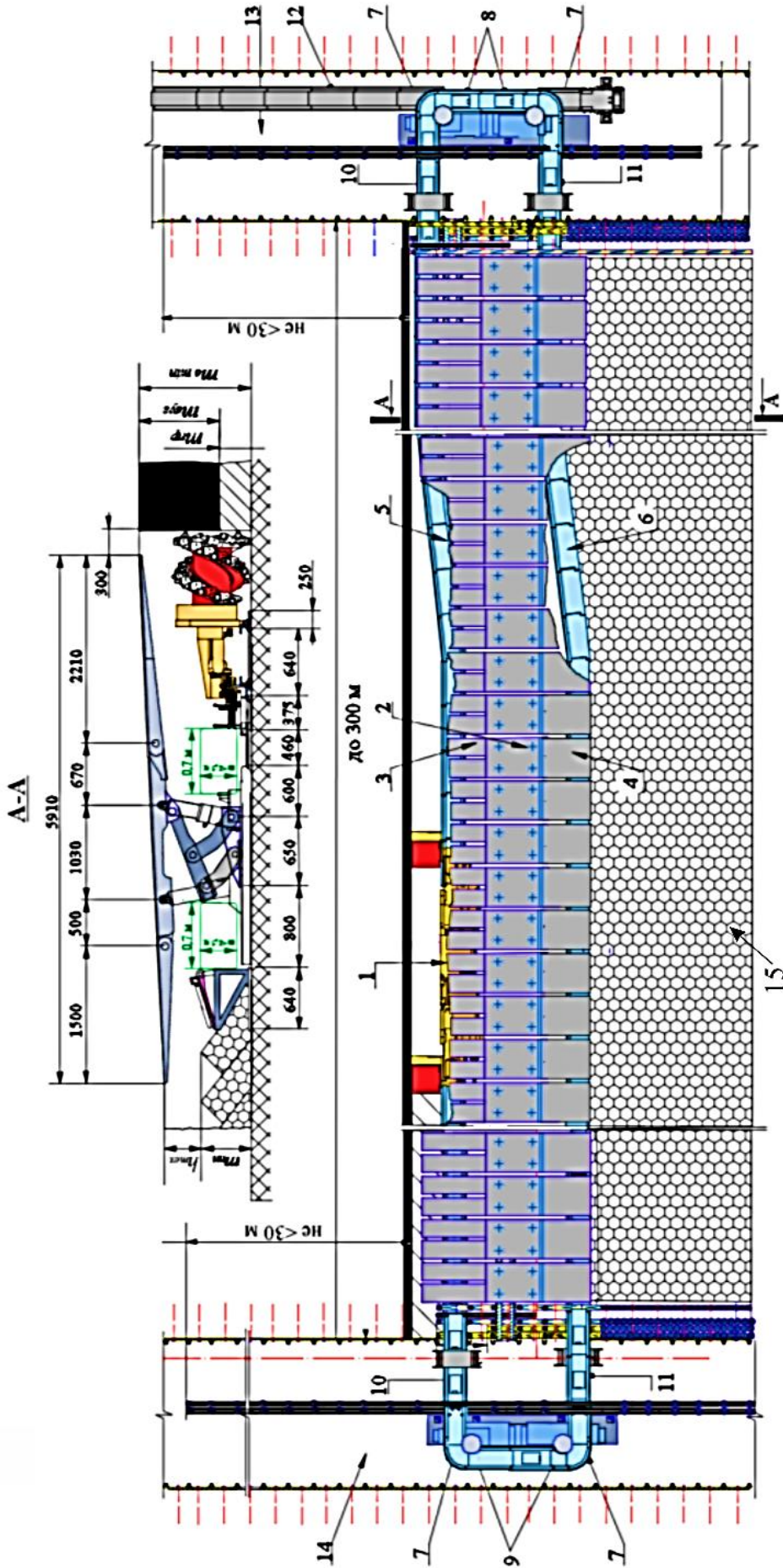


Рис. 1. Технологічна схема селективного відпрацювання тонких вугільних пластів із залишенням породи присікання у виробленому просторі: 1 – очисний комбайн; 2 – секція механізованого кріплення; 3, 4 – відповідно передня і зворотна консолі секції кріплення; 5, 6 – відповідно вибійний і закладний постави горизонтально-замкнутого конвеєра; 7 – поворотний блок; 8 – перевантажувальні вікна; 9 – привідні зріпки конвеєра; 10, 11 – перехідні секції; 12 – штрековий скребковий перевантажувач; 13 – збірний штрек; 14 – бортовий штрек; 15 – порода, що залишається у виробленому просторі



Зважаючи на це, величина присікання породи  $m_{np}$  обмежується обсягом виробленого простору, що підлягає до заповнення, яка в свою чергу залежить від величини опускання покрівлі на кінці перекриття секції кріплення  $\Delta h_{кр}$ , параметрів встановлення закладного конвеєрного поставу та формування породної смуги у виробленому просторі [20]. Тому обсяг породи, що виймається в очисному вибою  $V_g^{np}$  не повинен перевищувати обсяг виробленого простору, що планується до заповнення  $V_{зан}$ , тобто повинна виконуватися наступна умова:

$$V_g^{np} \leq V_{зан}. \quad (1)$$

З огляду на особливості формування кускових матеріалів на площині при їх розвантаженні із жолобів [21] ідеалізовано форму закладного масиву можна уявити у вигляді трикутної призми у вершині та паралелепіпеду в основі. Таким чином, враховуючі дані умови, представимо схему для розрахунку параметрів розміщення породи у виробленому просторі, яку зображено на рис. 2.

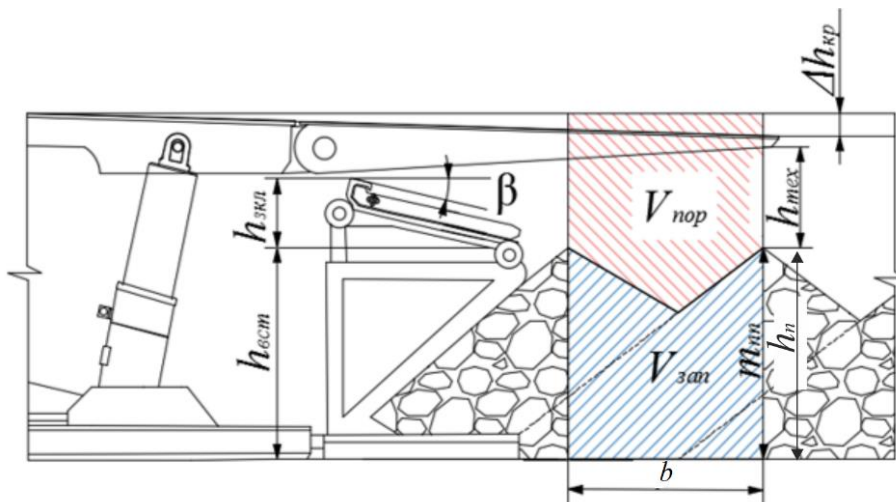


Рис. 2. Схема для розрахунку параметрів розміщення породи у виробленому просторі

Виходячи з наведеної схеми розрахунку, об'єм виробленого простору, що заповнюється породою  $V_{зан}$  шириною 1 м за простяганням і довжиною за падінням, який дорівнює кроку зведення породної смуги  $b$  складе:

$$V_{зан} = bh_{вст}k_d - 0,25 \sin \gamma, \quad (2)$$

де  $h_{вст}$  – висота встановлення закладного конвеєрного поставу, м;  $\gamma$  – кут природного укосу породи, град;  $k_d$  – коефіцієнт, що враховує деяку невідповідність істинного і розрахункового об'єму виробленого простору.

Таким чином висота встановлення (розташування) закладного конвеєрного поставу можливо визначити за формулою:

$$h_{вст} = m_{вmin} - (h_{mex} + h_{зв.к} + \Delta h_{кр}), \quad (3)$$

де  $h_{зв.к}$  – товщина перекриття зворотної консолі, м;  $\Delta h_{кр}$  – величина конвергенції порід покрівлі на кінці зворотної консолі, м.

Величину  $\Delta h_{кр}$ , яка входить до формули (3), можливо визначити аналітичним шляхом виходячи із припущення про те, що механізм конвергенції порід основної покрівлі в лаві, що відпрацьовує пласт з повним обваленням покрівлі і залишенням породи у виробленому просторі якісно не відрізняються. Таким чином використовуючи результати досліджень [22], величину  $\Delta h_{кр}$  можливо визначити з урахуванням опору механізованого кріплення та ряду інших виробничих параметрів очисної технології, використовуючи рівняння виду:

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

где  $S_1 - S_5$  – емпірично виведені коефіцієнти залежності  $\Delta h_{кр}(P_{к})$ ;  $P_{к}$  – 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.

Технологічний зазор  $h_{тех}$  визначається з виразу:

$$h_{тех} = h_{зкл} + d_n + h_p, \quad (5)$$

де  $h_{зкл}$  – висота нахилу закладного конвеєрного постапу, м;  $d_n$  – крупність фракції породи, м;  $h_p$  – запас гідравлічного розсунення для розвантаження стояків кріплення, м.

Висота нахилу закладного конвеєрного постапу визначається за виразом:

$$h_{зкл} = b_p \sin \beta, \quad (6)$$

де  $b_p$  – ширина риштака горизонтально-замкнутого конвеєра, м.

Проведені в роботах [23] – [24] лабораторні дослідження дозволили встановити залежність зміни  $\beta$  мінімальних кутів бокового випуску зразків породи від їх вологості  $\omega$ . Інтерпретуючи отримані значення, кут встановлення закладного конвеєрного постапу можна встановити за графіком, який зображено на рис. 3.

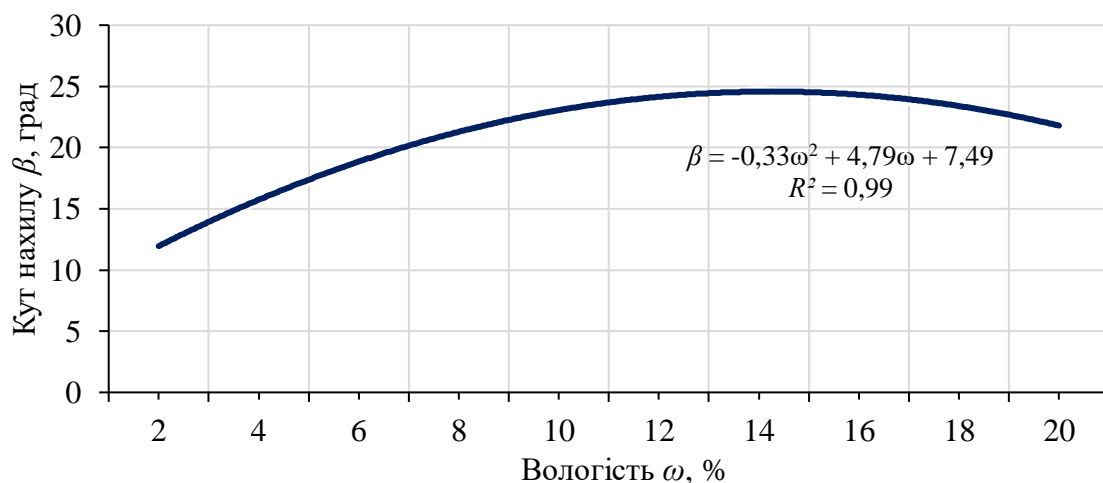


Рис. 3. Залежність кута встановлення закладної конвеєрної лінії від вологості породи, що транспортується

Виходячи з аналітичної апроксимації встановлено, що кут нахилу закладної конвеєрної лінії  $\beta$ , при якому забезпечується саморозвантаження породи у вироблений простір, описується квадратичним рівнянням виду:

$$\beta = -0,33\omega^2 + 4,79\omega + 7,49, \quad (7)$$

де  $\omega$  – вологість породи, %

Тоді з урахуванням отриманої залежності (7), висоту встановлення закладної конвеєрної лінії за огорожею секції механізованого кріплення можна визначити з виразу:

$$h_{вст} = m_{в\ min} - ((b_p \sin(-0,33\omega^2 + 4,79\omega + 7,49) + d_n + h_p + h_{зв.к} + \Delta h_{кр}), \quad (8)$$

де  $m_{в\ min}$  – мінімальна виймальна потужність пласта, м;  $b_p$  – ширина риштачного поставу, м;  $\omega$  – вологість породи, %;  $d_n$  – крупність фракції породи, м;  $h_p$  – запас гідравлічного розсунення для розвантаження стояків кріплення, м;  $h_{зв.к}$  – товщина перекриття зворотної консолі, м;  $\Delta h_{кр}$  – величина конвергенції порід покриті на рівні зворотної консолі, м.

Підставивши отримане значення  $h_{вст}$  в формулу (2) отримаємо шуканий об'єм виробленого простору  $V_{зан}$  для заповнення пустими породами.

Відповідно, враховуючі встановлені залежності, побудовані гістограми розподілу максимальних величин присікання порід  $m_{пр}$  які обмежуються об'ємом виробленого простору для розміщення, з урахуванням виймальної потужності  $m_{в\ min}$ , геологічної потужності  $m_{г\ вг}$ , висоти встановлення  $h_{вст}$ , кута нахилу закладного конвеєрного поставу  $\beta$  та схеми відпрацювання пласта (рис. 4).

На побудованих гістограмах красним кольором відзначено області величин потужності присікання порід в очисному вибої, значення яких дорівнюють або перевищують максимальні значення величин присікання порід, що обмежені обсягом виробленого простору.

Аналіз отриманих даних свідчить проте, що при селективному відпрацюванні вугільного пласта за один прохід комбайна у діапазоні виймальної потужності  $m_{в\ min} = 1,16 - 1,22$  м весь об'єм порід присікання, що виймається в очисному вибою може бути розміщений у повному обсязі у виробленому просторі. При цьому кут нахилу закладного конвеєрного поставу повинен складати  $\beta \leq 15^\circ$  у разі відпрацювання вугільного пласта геологічною потужністю  $m_{г\ вг} = 0,65 - 0,7$  м;  $\beta \leq 20^\circ$  при  $m_{г\ вг} = 0,75$  м;  $\beta \leq 25^\circ$  при  $m_{г\ вг} = 0,8$  м (рис. 4, а).

Розраховані величини максимальних присікань  $m_{пр}$ , через вираз об'єму виробленого простору залежать від обраної схеми відпрацювання пласта. Так, при селективному відпрацюванні пластів з геологічною потужністю  $m_{г\ вг} = 0,7 - 0,8$  м за два проходи комбайна, забезпечується залишення повного обсягу порід присікання у виробленому просторі. У разі відпрацювання пласта з геологічною потужністю  $m_{г\ вг} \leq 0,7$  м, утворюється надлишок породи, який необхідно вивозити за межі очисної ділянки (рис. 4, б).

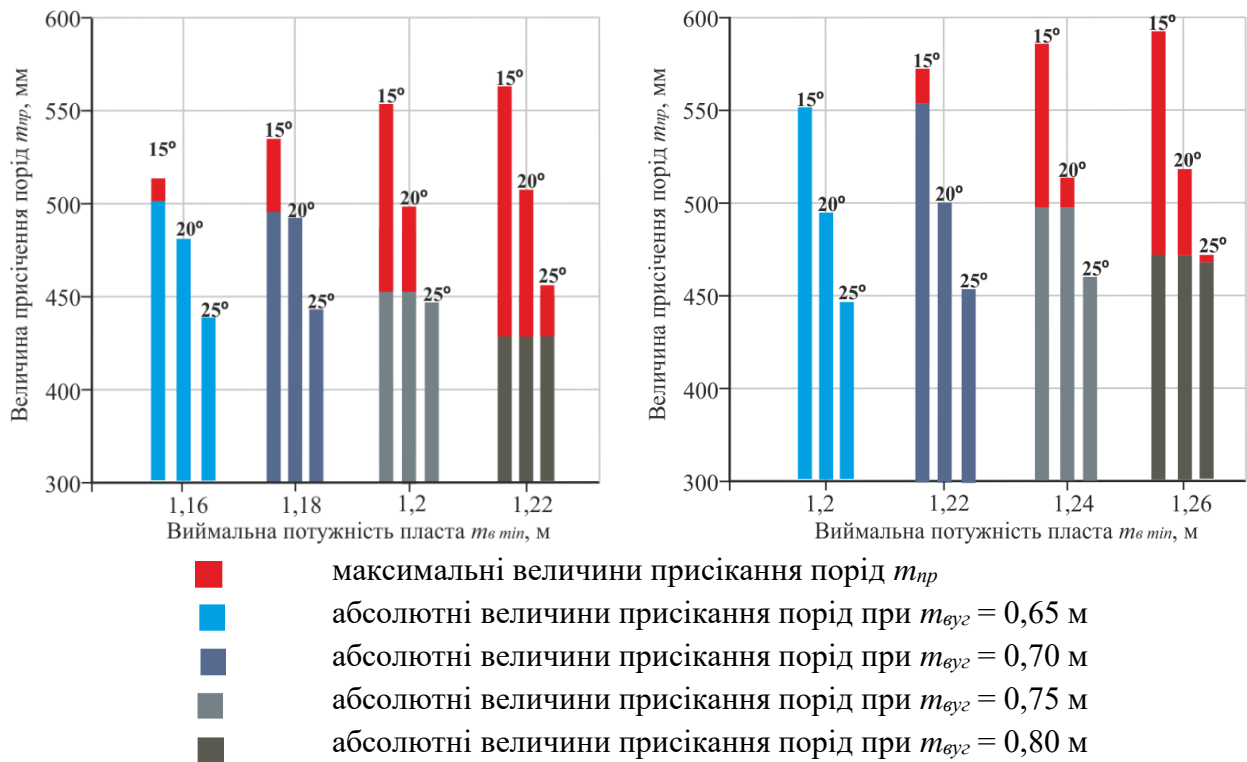


Рис. 4. Гістограми розподілу максимальних величин присікання порід від виймальної і геологічної потужності, кута нахилу закладного конвеєрного поставу та схеми відпрацювання пласта: а – при селективному відпрацюванні пласта за один прохід комбайна; б – відповідно за два проходи комбайна

Із урахуванням отриманих даних встановлено ступінь заповнення виробленого простору  $K_3$ , який прямо пропорційно залежить від конструктивної висоти встановлення закладної конвеєрної лінії  $h_{всм}$ , кута укосу породи  $\gamma$  та зворотно пропорційно від виймальної потужності вугільного пласта  $m_{в\ min}$  і описується рівнянням наступного виду:

$$K_3 = \frac{h_{всм} k_d - 0,25 \sin \gamma}{m_{в\ min}} \cdot 100, \% \quad (9)$$

На рис. 5 представлено графік залежності ступеня заповнення виробленого простору  $K_3$  від конструктивної висоти встановлення  $h_{всм}$  і кута нахилу  $\beta$  закладної конвеєрної лінії.

Із аналізу графіка (рис. 5) виходить, що в границях зміни максимальних величин присікання породи при мінімальній виймальній висоті в очисному вибою, максимальний ступінь заповнення виробленого простору  $K_3$  без дозакладання пустот між покрівлею і розміщеною у масив породною смугою складає 50,3%, що забезпечується при конструктивній висоті розташування закладного поставу 0,74 м з кутом нахилу до горизонтальної площини  $12^\circ$  і відпрацюванні пласта з присіканням порід потужністю 0,56 м.



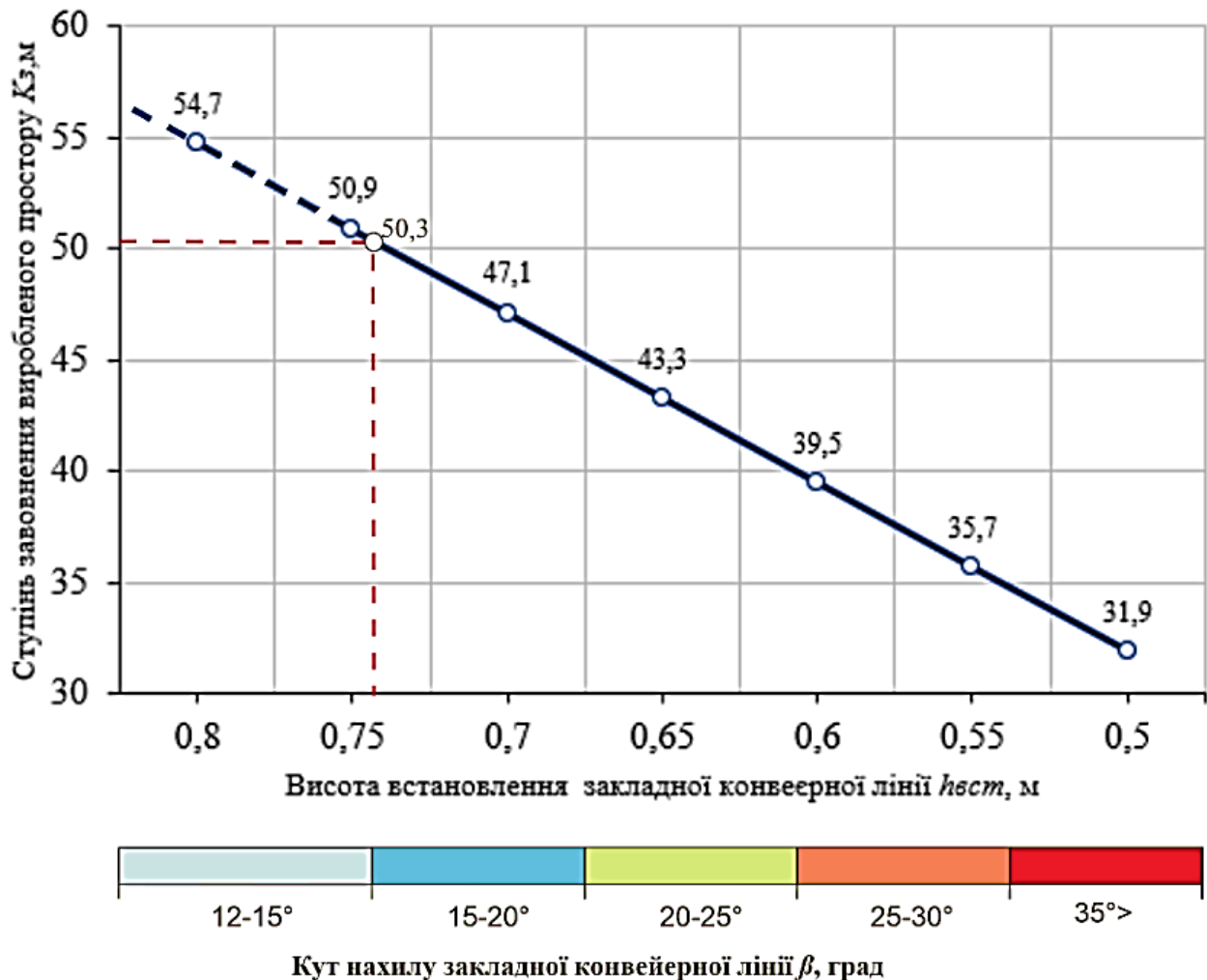


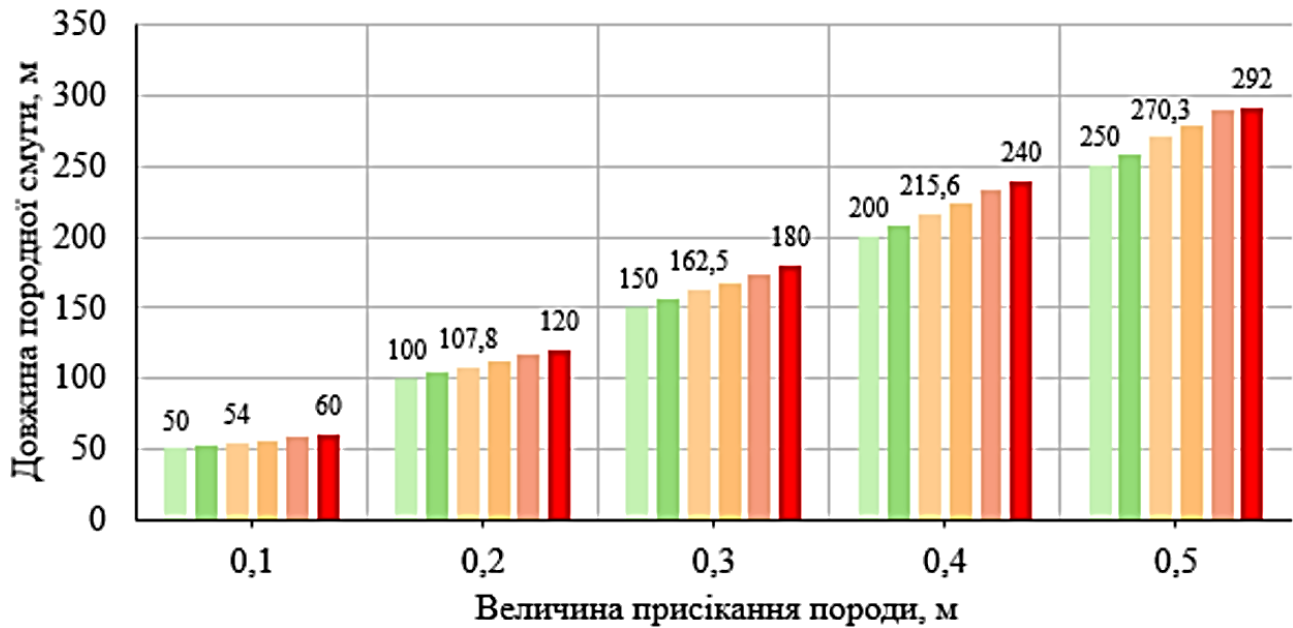
Рис. 5. Графік зміни ступеня заповнення виробленого простору  $K_3$  від конструктивної висоти встановлення  $h_{всм}$  і кута нахилу  $\beta$  закладної конвеєрної лінії.

При селективній технології довжину породної смуги можна визначити, виходячи з величини порід, що присікаються, різниці щільності породи в непорушеному стані (цілику) і в закладному масиві, геометрії порожнини виробленого простору, що підлягає заповненню закладним матеріалом. Таким чином формулу для визначення необхідної довжини породної смуги можна подати у такому вигляді:

$$l_3 = \frac{L m_{np} r}{h_{всм} b_3 \gamma_в} \quad (10)$$

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 формується у виробленому просторі, м;  $\gamma_в$  – відносна щільність зведенної породної смуги ( $\gamma_в = 0,61$ )

На рис. 6 представлено залежність довжини породної смуги від довжини лави та величини присікання породи в очисному вибою при  $\gamma_в = const = 0,61$ .



Довжина лави  $L$  ■ 250 м ■ 260 м ■ 270 м ■ 280 м ■ 300 м

Рис. 6. Залежність довжини породної смуги від довжини лави та величини присікання породи в очисному вибою при  $\gamma_e = const = 0,61$

Із аналізу гістограм (рис. 6) випливає, що в межах зміни величини присікання породи відбувається збільшення довжини зведення породної смуги в лінійній залежності. Так, за умови відпрацювання пласта з величиною присікання породи  $m_{np} = 0,1$  м в лаві довжиною 250 м і максимально допустимій конструктивній величині встановлення закладної конвеєрної лінії за секціями механізованого кріплення, довжина породної смуги складе до 50 м. При цьому зі збільшенням величини присікання на 0,1 м її довжина підвищується в середньому на 50 м при незмінних параметрах  $L$  та  $h_{всм}$ .

**Висновки.** У роботі представлені результати аналітичних досліджень, що дозволяють визначити основні параметри розміщення породи присікання при використанні горизонтально-замкнутого закладного конвеєра для забезпечення організації ефективного селективного видобування тонких вугільних пластів.

На прикладі чисельних методів розрахунку встановлено конструктивну висоту розташування закладного конвеєрного постапу  $h_{всм}$ , яка знаходиться в прямій залежності від ширини постапу риштака  $b_p$ , фракції транспортованих порід та їх фізико-механічних властивостей.

Розраховані величини максимальних величин присікань  $m_{np}$ , через вираз об'єму виробленого простору, що залежать від обраної схеми відпрацювання пласта. Так, при селективному відпрацюванні пластів з геологічною потужністю  $m_{вуг} = 0,7 - 0,8$  м за два проходи комбайна, забезпечується залишення повного обсягу порід присікань у виробленому просторі. У разі відпрацювання пластів з геологічною потужністю  $m_{вуг} \leq 0,7$  м, утворюється надлишок породи, який необхідно вивозити за межі очисної ділянки.

Таким чином, максимальна потужність породи присікання  $m_{np}$ , що підлягає

до закладання виробленого простору, при відпрацюванні пластів у діапазоні геологічної потужності 0,65 м, 0,7 м, 0,75 м і 0,8 м складає 0,51 м, 0,48 м, 0,45 м і 0,42 м у разі селективного відпрацювання пласта за один прохід комбайна. Відповідно при селективному відпрацюванні пласта за два проходи комбайна величина присікання порід буде 0,56 м, 0,49 м та 0,46 м.

Визначено ступінь заповнення виробленого простору  $K_v$ , який прямо пропорційно залежить від конструктивної висоти встановлення закладної конвеєрної лінії  $h_{\text{вст}}$ , кута укосу породи  $\gamma$  та обернено пропорційно від виймальної потужності вугільного пласта  $m_{\text{в мин}}$ .

Виявлені тенденції зміни довжини породної смуги, що формується у виробленому просторі від конструктивних параметрів розташування закладального конвеєра та параметрів відпрацювання пласта, що дозволяє оцінити можливості безпечної експлуатації очисного комплексу при селективній технології відпрацювання тонких вугільних пластів.

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

#### Перелік посилань

1. Petlovanyi M., Malashkevych D., Sai, K. & Zubko S (2020). Research into balance of rocks and underground cavities formation in the coal mine flowsheet when mining thin seams. *Mining of mineral deposits*, 14(4), 66-81.  
<https://doi.org/10.33271/mining14.04.066>
2. Malashkevych, D., Poimanov, S., Shypunov, S., & Yerisov, M. (2020). Comprehensive assessment of the mined coal quality and mining conditions in the Western Donbas mines. *E3S Web of Conferences*, (201), 01013  
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020101013>
3. Бондаренко В.И., Русских В.В., Яркович А.И., & Малашкевич Д.С. (2014) К вопросу оставления породы в выработанном пространстве угольных шахт. *Розробка родовищ*. 19-24.
4. Солодянкин, А. В., Гапеев, С. М., Выгодин, М. А., Воронин, С. А., Снигур, В. Г., & Мкртчян, С. В. (2016). Совершенствование технологии заполнения закрепного пространства при сооружении капитальных выработок шахт Западного Донбасса. *Вісті Донецького гірничого інституту*, (2), 10-19.
5. Bahri Najafi, A., Saeedi, G. R., & Ebrahimi Farsangi, M. A. (2014). Risk analysis and prediction of out-of-seam dilution in longwall mining. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 70, 115–122.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2014.04.015>
6. Ralston, J. C., & Strange, A. D. (2013). Developing selective mining capability for longwall shearers using thermal infrared-based seam tracking. *International Journal of Mining Science and Technology*, 23(1), 47–53.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2013.01.008>
7. Косарев, И. В. (2016). Инновационные направления в создании горно-шахтного оборудования, обеспечивающего повышение эффективности добычи угля. *Вестник Донецкого национального технического университета*, (6), 12-18.
8. Ermekov, T. E., Issabek, T. K., & Issabekov, E. T. (2016). Mining robotic complex with adaptive control software (MRCACS). *Науковий вісник Національного гірничого університету*, (4), 23-30.

9. Ходырев, Е. Д., & Филатов, В. Ф. (2008). *Технические и технологические решения УкрНИИМ в области бурошнековой технологии выемки угля.*
10. Мельник, В. В., Мурин, К. М., Буханик, А. И., & Никифоров, С. Э. (2020). О применении технологии безлюдной выемки угля при разработке тонких угольных пластов. *Маркшейдерский вестник*, (3), 59-63.
11. Falshtynskiy, V., Saik, P., Lozynskiy, V., Dychkovskiy, R., & Petlovanyi, M. (2018). Innovative aspects of underground coal gasification technology in mine conditions. *Mining of Mineral Deposits*, (12, Iss. 2), 68.
12. Saik, P., Petlovanyi, M., Lozynskiy, V., Sai, K., & Merzlikin, A. (2018). Innovative approach to the integrated use of energy resources of underground coal gasification. In *Solid State Phenomena* (Vol. 277, pp. 221-231). Trans Tech Publications Ltd.
13. Burton, E. A., Upadhye, R., & Friedmann, S. J. (2017). *Best practices in underground coal gasification* (No. LLNL-TR-225331). Lawrence Livermore National Lab.(LLNL), Livermore, CA (United States).
14. Соколов, А. С., & Потапов, В. В. (2014). Техничко-экономическая эффективность технологии подземного углеобогащения. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, (1), 42-46.
15. Потапов, В. В., Феклистов, Ю. Г., Вандышев, А. М., & Потапов, В. Я. (2006). Технологические схемы управления качеством угля при подземной добыче по фрикционным характеристикам. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*, (5).
16. Бондаренко В.И., Русских В.В., Малашкевич Д.С., & Соцков В.А. (2017). Технологическая схема и оборудование для селективной добычи угля длинными очистными забоями. *Вісті Донецького гірничого університету*, 2(41), 19-24.
17. Petlovanyi, M. V., Malashkevych, D. S., & Sai, K. S. (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.  
<https://doi.org/10.15421/112069>
18. Бузило, В.И. (2013). *Технология отработки тонких пластов с закладкой выработанного пространства.* Національний гірничий університет.
19. Бондаренко, В. І., Малашкевич, Д. С., Руських, В. В., Кошка, О. Г., Медяник, В. Ю., & Пойманов, С. М. (2021). *Спосіб селективного видобутку пластових корисних копалин із закладкою виробленого простору та механізований комплекс для його здійснення* (Patent No. 124528).
20. Koshka, O., Yavors'kyu, A., & Malashkevych, D. (2014). Surface subsidence during mining thin seams with waste rock storage. *Progressive Technologies of coal, coalbed methane and ores mining*. 229 – 234.
21. Рыжков, Ю.А., Волков, А.Н., & Гоголин, В.А. (1985). *Механика и технология формирования складочных массивов.* Недра.
22. 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.* National Mining University.
23. Кошка, А.Г., Малашкевич, Д.С., & Щелканов, Р.Р. (2014). Исследование углов самотечного движения и коэффициентов трения скольжения шахтной породы. *Геотехнічна механіка*, 118, 157 – 167.
24. Koshka, O., & Malashkevych, D. (2015). Experimental research of mine rock gravity motion regularities. *Szkola Eksploatacji Podziemnej: XXV International scientific – practical conf., Feb. 18 – 24*, 68 – 73.

#### АННОТАЦИЯ

**Цель.** Определение параметров размещения породы присечки в выработанном пространстве

с использованием горизонтально-замкнутого закладочного конвейера при селективной технологической схеме отработки тонких угольных пластов.

**Методика исследований.** Для достижения поставленных целей в работе использованы аналитические и численные методы определения технологических параметров.

**Результаты исследований.** В работе представлены результаты аналитических исследований, которые позволяют определить основные параметры размещения породы присечки при использовании горизонтально-замкнутого закладочного конвейера для обеспечения организации эффективной селективной выемки тонких угольных пластов. На примере численных методов расчетов для выбранных характерных условий Западного Донбасса определена степень заполнения выработанного пространства  $K_3$  от конструктивной высоты установки закладочной конвейерной линии  $h_{вст}$ , угла откоса породы  $\gamma$  и вынимаемой мощности угольного пласта  $m_{в min}$ . Обоснованы максимальные величины породы присечки  $m_{пр}$  с учетом объема полости выработанного пространства, который подлежит к заполнению породой, расположения элементов закладочного оборудования и вариантов технологических схем селективной отработки пласта. Установлено, что при селективной отработке угольного пласта за один проход комбайна в диапазоне вынимаемой мощности  $m_{в min} = 1,16 - 1,22$  м весь объем породы присечки, который вынимается в очистном забое может быть размещен в полной мере в выработанном пространстве. При этом угол наклона закладочного конвейерного става должен составлять  $\beta \leq 15^\circ$  в случае отработки угольного пласта геологической мощностью  $m_{гыз} = 0,65 - 0,7$  м;  $\beta \leq 20^\circ$  при  $m_{гыз} = 0,75$  м;  $\beta \leq 25^\circ$  при  $m_{гыз} = 0,8$  м. При селективной выемке пластов с геологической мощностью  $m_{гыз} = 0,7 - 0,8$  м по односторонней схеме выемки, обеспечивается оставление полного объема породы присечки в выработанном пространстве. В случае отработки пласта с геологической мощностью  $m_{гыз} \leq 0,7$  м, образуется излишек породы, который необходимо выдавать за границы очистного участка. Выявлены тенденции изменения длины породной полосы  $l_3$ , которая формируется в выработанном пространстве от конструктивных параметров расположения горизонтально-замкнутого закладочного конвейера и параметров отработки пласта, которые позволяют оценить возможность безопасной эксплуатации очистного комплекса при селективной выемки угля.

**Научная новизна.** Установлено, что степень заполнения выработанного пространства  $K_3$  прямо пропорционально зависит от конструктивной высоты установки закладочной конвейерной линии  $h_{вст}$ , угла откоса породы  $\gamma$  и обратно пропорционально от вынимаемой мощности угольного пласта  $m_{в min}$ , что позволяет установить технологические параметры размещения породы присечки при селективной выемке угля. Установлено, что высота породной полосы  $h_n$ , которая формируется в выработанном пространстве находится в прямой зависимости от вынимаемой мощности пласта  $m_{в min}$ , ширины става  $b_p$  горизонтально-замкнутого закладочного конвейера, фракции транспортируемых пород и их физико-механических свойств.

**Практическое значение.** Результаты исследований могут быть использованы при проектировании технологических схем селективной добычи угля с оставлением пустых пород в выработанном пространстве.

**Ключевые слова:** порода, выработанное пространство, селективная технология, параметры

#### ABSTRACT

**Purpose.** Determination of the placement parameters of undercut rock in the mined-out space using the horizontally closed stowing conveyor while selective technological scheme for thin coal seam extraction.



**Methodology.** To achieve the set goals, analytical and numerical methods for determining technological parameters were used in the work.

**Results.** The paper presents the results of analytical studies that allow us to determine the main parameters of the undercut rock placement when using the horizontally closed backfilling conveyor to ensure the organization of effective selective mining of thin coal seams. Using the example of numerical calculation methods for the selected characteristic conditions of the Western Donbass, the degree of filling of the mined-out space  $K_3$  was determined from the design height of the backfilling conveyor line  $h_{bcm}$ , the rock slope angle  $\gamma$  and the mining thickness of the coal seam  $m_{e\ min}$ . The maximum values of the undercut rock  $m_{np}$  were substantiated, taking into account the volume of the cavity of the worked-out space, which is subject to filling by rock, the location of the elements of backfilling equipment and options for technological schemes for selective mining. It has been established that with selective mining of the coal seam in one pass of the shearer in the range of the mining thickness  $m_{e\ min} = 1.16 - 1.22$  m, the entire volume of the undercut rock, which is removed in the working face, can be fully placed in the worked out space. In this case, the angle of inclination of the backfilling conveyor line should be  $\beta \leq 15^\circ$  in the case of mining a coal seam with a geological thickness of  $m_{gyz} = 0.65 - 0.7$  m;  $\beta \leq 20^\circ$  at  $m_{gyz} = 0.75$  m;  $\beta \leq 25^\circ$  at  $m_{gyr} = 0.8$  m. Selective extraction of seams with geological thickness  $m_{gyz} = 0.7 - 0.8$  m using a one-sided excavation scheme ensures that the full volume of the undercut rock is left in the worked-out area. In the case of mining a seam with geological thickness  $m_{gyz} \leq 0.7$  m, a surplus of rock is formed, which must be discharged outside the boundaries of the production site. The tendencies of the change in the length of the rock strip  $l_3$ , which is formed in the mined-out space from the design parameters of the location of the horizontally closed stowing conveyor and the parameters of the seam development, which make it possible to assess the possibility of safe operation of the mining set of equipment during the selective extraction of coal have been revealed.

**Keywords:** *waste rock, mined-out space, selective technology, parameters.*