

## TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL FEATURES OF MINING BY PAIRED UNITS

*Dychkovskiy Roman<sup>1\*</sup>, Shavarskiy, Iaroslav<sup>2</sup>, Falshtynskiy Volodymyr<sup>1</sup>, Dupliak Maria<sup>1</sup>, Vasyl Shyshko<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Department of Mining Engineering of Education, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine*

<sup>2</sup>*JARAD Recycling Technology Sp. z o.o., Sosnica, Poland*

*\*Corresponding author: e-mail [dychkovskiy.r.o@nmu.one](mailto:dychkovskiy.r.o@nmu.one)*

**Abstract.** This article highlights the main aspects of the implementation of new technical and technological solutions for the development of coal reserves. Reserves in thin coal seams have been considered. Technological improvement is the use of complex mechanization, working on one transport network (paired units). When modeling the system: "rockmass - mining equipment" the principles of statistical data processing and mathematical mechanism are used, which involves the practical establishment of the movements of the roof and foot of the coal seam with the subsequent establishment of the tension of the massif. This approach makes it possible directly in the conditions of the wallfaces to obtain authentic results that characterize the behavior of the rockmass in the limited geometric dimensions of the wallfaces. The proposed technical and technological solutions allow the concentration of mining works and to ensure the appropriate economic performance of mining enterprises that extract such coal reserves.

**Key words:** coal, gasifier, coal, zero-dimensional problem statement, thermodynamic parameters

## ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВЕДЕННЯ ГІРНИЧИХ РОБІТ СПАРЕНИМИ ЛАВАМИ

*Дичковський Роман<sup>1\*</sup>, Шаварський Ярослав<sup>2</sup>, Фальштинський Володимир<sup>1</sup>, Дупляк Марія<sup>1</sup>, Василь Шышко<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Кафедра гірничої інженерії та освіти, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна*

<sup>2</sup>*BAT «JARAD Recycling Technology», Сосніца, Польща*

*\*Відповідальний автор: e-mail [dychkovskiy.r.o@nmu.one](mailto:dychkovskiy.r.o@nmu.one)*

**Анотація.** У даній статті висвітлені основні аспекти із впровадження нових техніко-технологічних рішень щодо відпрацювання запасів вугілля. До розгляду прийнято запаси, що знаходяться у тонких вугільних пластах. За технологічне удосконалення прийнято застосування комплексної механізації, що працює на одну транспортну мережу (спарені лави). При моделюванні системи: «гірський масив – гірничодобувне обладнання» застосовано принципи статистичної обробки даних та математичний механізм, який передбачає практичне встановлення переміщень покрівлі та підшви вугільного пласта з подальшим встановленням напруженості гірського масиву. Такий підхід дає можливість безпосередньо в умовах очисних вибоїв отримати автентичні результати, що характеризують поведінку масиву у обмежених геометричних розмірах лав. Запропоновані техніко-технологічні рішення дозволяють провести концентрацію очисних робіт та забезпечити відповідні економічні показники роботи гірничодобувних підприємств, що відпрацьовують такі вугільні запаси.

**Ключові слова:** вугілля, тонкі вугільні пласти, модулювання процесів, гірниче виробництво, економічні показники

**Вступ.** Для аналізу роботи спарених лав та концентрації очисних робіт було взято ділянку шахтного поля ш. «Степова» ДП «Львіввугілля». На основі результатів виконаних натурних і аналітичних досліджень напружено-деформованого стану порід надвугільної товщі Сокальського вугільного пласта  $n^7_n$  в умовах Львівсько-Волинського басейну згаданої шахти встановлено, що стан масиву гірських порід навколо видобувної дільниці зі спареними лавами

в значній частині залежить від технологічних параметрів. До цих параметрів слід віднести відстань між очисними вибоями спарених лав, швидкість посування очисних вибоїв, швидкість подачі очистного комбайну та несуча здатність кріплення. Відстань між очисними вибоями спарених лав впливає на умови підтримки збірного конвеєрного штреку № 119 на дільниці розташованої між лавами. З підтримкою раціональної відстані між очисними вибоями лав у діапазоні 50 – 60 м поліпшує умови підтримки штреку і сполучень з лавами, з іншого боку впливає на формування опірних зон очисних вибоїв формуючи області порушення щільності породних шарів покрівлі [1-4]. Відповідно у даній роботі ми ставимо за мету встановлення техніко технологічного удосконалення за допомогою одночасно працюючих очисних вибоїв із спільною транспортною та вентиляційною мережею.

**Методика проведення досліджень.** За методико-методологічну основу у роботі закладено принципи поводження гірського масиву за допомогою аналітично-практичного принципу [1,3,6-7]. Швидкість посування очисних вибоїв обумовлює величину зміщення, розшарування породних шарів безпосередньої і основної покрівлі і ступень порушення порід над привибійним простором. Зв'язок між порушенням щільності породних шарів надвугільного масиву і швидкості посування очистного вибою лави прямопропорційна. При збільшенні швидкості посування очистного вибою вірогідність порушення щільності порід покрівлі, виникнення обвалень та посадка механізованого кріплення на «жорстко» зменшується [7-11].

Обернено пропорційна залежність спостерігається між швидкістю подачі очистного комбайна і станом породних шарів покрівлі. Збільшення швидкості подачі виїмкової машини призводить до росту дотичних напружень в породних шарах безпосередньої покрівлі. Що призводить до виникненню вертикальної тріщинуватості. Вплив спротиву на кріплення величину дотичних навантажень, за даних умов незначний.

По мірі переміщення очистного вибою лави має місце періодичності опускання порід покрівлі, які визивають суттєві зміни у наявності і формуванні дотичних напружень у породних шарах покрівлі. Це явище призводить до змін у щільності порід, після їх прогину і розшарування, формується вертикальна тріщинуватість шарів. Збільшення швидкості посування очистного вибою дави і зменшення швидкості подачі виїмкової машини вплив періодичності зміщення шарів покрівлі знижується.

**Виклад основного матеріалу.** Гірничо-геологічні умови досліджуваних областей досить ґрунтовно описано у роботі [1,12-15]. Згідно результатів проведених досліджень періодичність опускання породного шару основної покрівлі, пісковіку потужністю 11 м формує розшарування пласта покрівлі на три породних шари потужністю: нижня – 5,2 м, середня - 3 м, верхня – 2,8 м. Періодичність формування пачок породних шарів основної покрівлі відбувається циклічно на відстані 9 – 16 м. Це відповідає 11 – 20 циклам при ширині захвату очистного комбайну 0,8 м. Навантаження, при інтенсивних зміщеннях нижньої пачки порід основної покрівлі, на породи аргіліту, безпосередньої покрівлі змінюються у діапазоні 3,1 - 4,6 МПа і залежать від швидкості посування очистного вибою. Збільшення швидкості посування вибою лави призводить до зменшення навантаження. Так при посуванні очистного вибою лави № 118 зі швидкістю 4,2 м/доб і 3,4 м/доб навантаження на кріплення зростає у 1,6 разів [1,10, 16-20].

На основі отриманих результатів при досліджень технологічного процесу видобутку кам'яновугільного пласта  $n_7$  спареними лавами № 118 і №199 розроблені рекомендації до ведення очисних робіт з урахуванням геологічних умов, технологічних параметрів і геомеханічної ситуації:

- відстань між спареними очисними вибоями лав № 118 и №119 слід прийняти у діапазоні 50 - 60м і утримувати його при посуванні вибоїв лав у рекомендованому діапазоні до кінця виїмки вугільного стовпа;
- швидкість посування очисних вибоїв повинна бути у діапазоні 4 - 5м/доб. При мінімальній швидкості посування вибою лав 3 м/доб, очисний комбайн КД-90 за добу, при ширині захвату 0,8м, повинен виїмати 3,8 смуг вугілля;

- при обґрунтованій довжині лав № 118- 180 м і № 119-200 м і відстані між ними менше 50 м та збільшені швидкості посування очисних вибоїв до 4 -5 м/доб спостерігається зміщення максимумам опірному тиску у бік очисного вибою і зростання його 1,2 - 1,5 рази (рис.1), що призводить до критичних дотичних навантажень у привибійному просторі лави з ризиком виникнення обвалень;
- за нормальних умовах виїмки вугільного пласта протягом п'яти циклів після посадки безпосередньої покрівлі, при швидкості посування очисного вибою 4 м/доб і швидкості подачі очисного комбайна 2 м/хв. в умовах зростання критичних навантажень в породах покрівлі при вийманні шостої полоси і подальшої аж до чергової посадки безпосередньої покрівлі, швидкість комбайна не повинна бути більшою 2 м/хв;
- при швидкості посування очисного вибою лави 2 м/доб, несуча здатність секції кріплення повинна бути 11-12 МПа, при критичній навантаженям цей показник зростає до 18 МПа. Так як критичні навантаження у породах покрівлі періодично повторюються, то реакції секції кріплення повинні бути 20-21 МПа, Впроваджені механізовані комплекси у спарених лавах №118 і №119 з механізованим кріпленням ДМ відповідають заявленим силовим характеристикам;
- при швидкості посування очисного вибою менше 3 м/доб швидкість подачі очисного комбайна треба тримати у діапазоні 1,8-2,4 м/хв;
- відстань між очисними вибоями спарених лав не повинна бути менше 50 м при швидкості посування вибоїв лав менше 3 м/доб;
- для ліквідації негативних геодинамічних явищ у породах покрівлі при зменшені швидкості до 2,6 м/доб, або простоях до терміном 8 год і більше очисні вибої слід розташувати під кутом 20-26° до осі виїмкового штреку

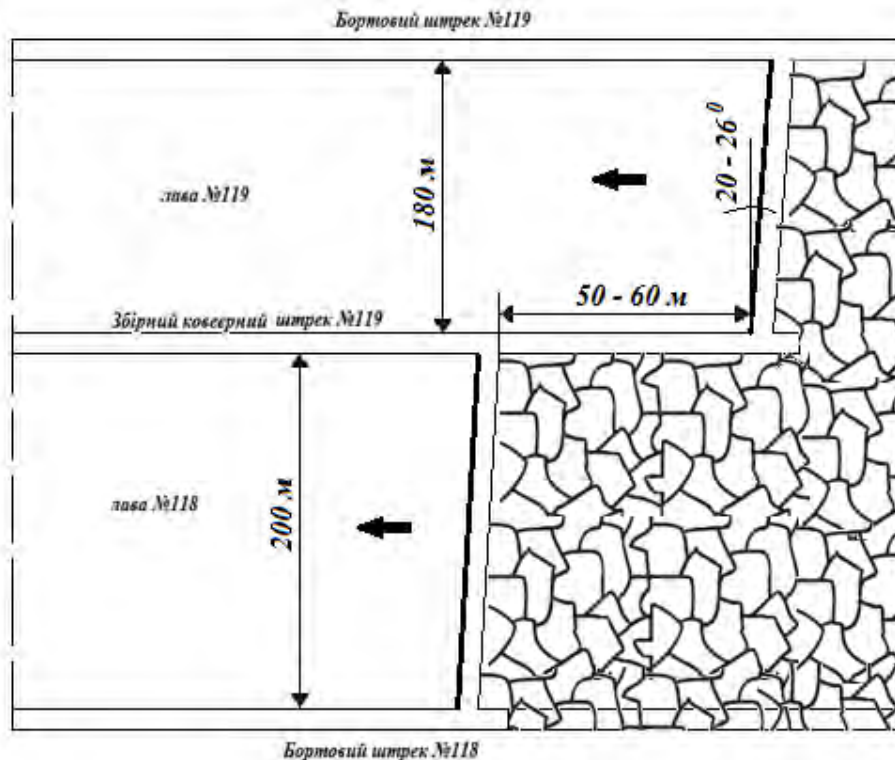


Рис.1. Розташування очисних вибоїв спарених лав просторі відносно осі виїмкових штреків

При експлуатації комплексу особливу увагу необхідно приділяти дотриманню прямолінійності вибою лави і його положенню відповідно конвеєрного штреку. Згин лінії вибою приводить до передчасного зносу риштаків та ланцюга конвеєра. Якщо спостерігається зсування лавного обладнання до низу або переміщення його до верху, то необхідно скоректувати положення конвеєра у лаві: якщо конвеєр виходить на конвеєрний штрек, то

необхідно нижню частину його пересунути, не пересуваючи верхньої частини і навпаки, якщо конвеєр виходить доверху, то необхідно пересунути верхню частину, не пересуваючи нижньої. При цьому став конвеєра повинен залишатися прямолінійним.

Зі збільшенням швидкості посування очисних вибоїв зростає негативний вплив гірського тиску на кріплення підготовчих штреків і охоронних споруд. Виходячи з сучасної ситуації ведення очисних робіт підтримка підготовчих виробок у часі і просторі потребує рішень пов'язаних з адаптацією технологічних рішень до гірничо-геологічних умов. Дослідження цієї проблеми показали що умови збереження виїмкових штреків на час їх експлуатації залежить від зменшення перерізу підтримки, або застосування погашення штреку слідом за лавою, впровадження тимчасового кріплення підсилення стаціонарного кріплення виробки в зонах підвищеного гірського тиску та охоронних конструкцій сучасних розробок і схем їх установки.

За фактором гірського тиску на кріплення підготовчих виробок встановлюються місце закладання виробки, параметри зони навантажень і деформацій які обумовлені геометричними і фізичними показниками опірної зони попереду очисного вибою і породними консолями зависання шарів покрівлі з призабійним простором лави. Основне навантаження на арочне кріплення формують розшаровані шари порід, що з часом під дією дотичних навантажень і критичного моменту при згині формують вертикальну тріщинуватість і обвалення порід.

Згідно із результатами розрахунку НДС порід що вміщують виробки видобувної дільниці спарених лав для уникнення ризиків виникнення геодинамічних і газодинамічних явищ при веденні очисних робіт у лавах №118 і №119 при дотриманні інших технологічних параметрів, середня добова швидкість посування очисних вибоїв повинна бути у діапазоні 4-5 м/доб, при утриманні відстані між вибоями лав 50-60 м.

Підготовчі виробки спарених лав №118 і 119 пройдені з головного західного конвеєрного штреку комбайновим способом і мають переріз: бортовий штрек № 118  $S_{ш}= 10,3\text{м}^2$ , бортовий штрек № 119  $S_{ш}= 10,3\text{м}^2$ , збірний конвеєрний штрек № 119  $S_{ш}= 10,6\text{м}^2$ . Штреки закріплені металевим арковим кріпленням АКП-3/11,2 (КМП-А3ПС) зі щільністю 1,25 рам/м.

Аналізуючи впроваджене на ш. «Степова» кріплення дільничних підготовчих штреків, треба зазначити задовільну стійкості виробок. Виникнення геодинамічних явищ спостерігалось при неправильному виборі місця закладання підготовчої виробки або при активному впливі очисних робіт при відхиленні від вибраних технологічних параметрів та вихід лави у зони ПГТ. На шахті «Степова» при веденні очисних робіт спареними лавами широко впроваджується технологія погашення виїмкових штреків слідом за посуванням лав.

При спарених лавах в умовах відробки вугільного пласта  $n^7$  зонами аномального тиску на збірний конвеєрний штрек № 119 є опірні зони, що утворюються перед очисним вибоєм у масиві і змінює свої параметри під впливом руху вибою у просторі і часі. У виробленому просторі лави за робочим простором формуються породні консолі шарів покрівлі. В цій зоні відстані зависання активно впливають на стійкість кріплення підготовчої виробки. Ці зони згідно виконаних досліджень для збірного конвеєрного штреку № 119 формуються на відстані 21 – 30 м від очисного вибою, між лавами на відстані 50-60 м на сполученні вибоїв лав зі штреками та у виробленому просторі у 5 - 24 м від робочого простору лав згідно зависанням безпосередньої і основної покрівлі.

Кріплення сполучення лав згідно рекомендацій здійснюється одним рядом здвоєних і двома рядами зтроєних брусів, під які встановлюються гідравлічні або дерев'яні стояки. Для підсилення кріплення сполучення викладаються «костри». Під перші від секції два ряди постійного кріплення до рівня заднього стояка секції пробивається органне кріплення. Щільність органного кріплення – 5 ст/м. Діаметр дерев'яних стояків для кріплення сполучення і пробиття органки - не менше 16 см. Довжина брусів в рамках постійного і в тимчасовому переставному кріпленні – 3 м.

Для встановлення бруса на бермі вручну розбирається уступ шириною не менше 0,5 м і довжиною не менше 1,5 м. Перед двома наступними вирубками комбайна запас берми повинен бути не менше 1,5 м. Після двох вирубок комбайна брус на бермі повинен випереджати вибій лави не менше як на 0,3 м (мінімальний запас).

Зі сторони штреку в простір розробленого уступу між рамами аркового кріплення штреку заводять новий брус. Брус встановлюється паралельно до раніше встановленого бруса із зміщенням брусів між собою на 1/2 довжини. Брус притискається до покрівлі гідростояками типу 2 СУГМ. Для створення простору між брусом і породами покрівлі пласта, в який будуть заводитися дошки, на брус не менше як в двох точках укладаються відрізки дошок довжиною 20-30 см, створюючи зазор між брусом і покрівлею берми не менше 40 мм. Перший брус в бермі встановлюється на віддалі 0,1 м від аркового кріплення.

В місцях, де будуть встановлюватися постійні стояки, пробиваються дерев'яні стояки. Віддаль між рядами стояків – 1,26 м. В просторі між рядом органного кріплення і стояками аркового кріплення штреку викладається «костер». Відставання «костра» від заднього стояка секції – не більше 2,1 м. Після знімання смуги вугілля, паралельно до встановлених постійних брусів, встановлюються нові (переставні) бруси, при цьому один їх кінець знаходиться від вибою не далі 100 мм. Тимчасовий переставний брус закріплюється не менше як трьома стояками 2СУГМ, при цьому один з них встановлюється під кінець бруса біля вибою. Встановлення та кріплення брусів виконують троє робітників. Двоє робітників підіймають та підтримують брус, а третій встановлює та розпирає гідростояк. Після розпору бруса гідростояком під нього пробиваються дерев'яні стояки або встановлюються гідростояки. Після знімання другої смуги вугілля переставні бруси переносяться до вибою у послідовності – від секції до штреку. Після двох вирубок переставні бруси становляться постійним кріпленням і під них пробиваються дерев'яні стояки, біля вибою під їх кінці встановлюються гідростояки.

Покрівля на сполученні лави перетягується дошкою товщиною не менше 3-х см. Дошки укладаються на перший брус берми і на опущене перекриття перетягнутої крайньої секції, після чого секція розпирається, а дошки притискаються до покрівлі тимчасовими або постійними брусами. У випадку, якщо крайня секція була перетягнута “наперед” (конвеєр лави не пересунутий до вибою), то укладання дошок здійснюється на два бруси: на перший брус берми і на перший від секції брус. По мірі посування лави задні гідростояки в рамках кріплення сполучення замінюються на дерев'яні.

Для підсилення аркового кріплення штреку по центру виробки пробивається один ряд дерев'яних стояків  $\varnothing 18-20$  см (ремонтини) або встановлюються гідравлічні стояки типу 2ГСК-17. Ремонтини встановлюють під кожний верхняк рами аркового кріплення. Підсилююче кріплення штреку випереджає лаву не менше ніж на 30 м.

Навпроти вікна лави над привідною голівкою конвеєра СП-26У встановлюється другий ряд підсилюючого кріплення із двотаврової балки і гідравлічних (або дерев'яних  $\varnothing \geq 18$  см) стояків. Двотаврова балка підсилення кріплення штреку армується двома дерев'яними брусами  $0,08 \times 0,2 \times 6,0$  м. Дерев'яні бруси скріплені з двотавром металевими шпильками М16.

Для забезпечення безконсольного підсилюючого кріплення на час перенесення підсилюючого кріплення із двотаврової балки навпроти вікна лави встановлюється додатковий брус під стояки 2ГСК-17. Після пересування двотаврової балки на нове місце допоміжний тимчасовий брус може зніматися.

Для пересування двотаврової балки довжиною 6,0 м на рамках кріплення АКП навішують розтяжки із ланцюга СП-18х64-С. Відрізки ланцюга СП з'єднуються між собою з'єднувальною ланкою з болтом М20х80, кінці ланцюга закріплюють на замках рам аркового кріплення. Кількість розтяжок, на яких лежить двотаврова балка, повинно бути не менше трьох. Двотаврова балка після прибирання з-під неї гідравлічних стояків вручну пересувається по розтяжкам із ланцюга. На час пересування двотаврової балки конвеєр СП-250.11 та конвеєр СП-250.12 вимикаються.

Встановлення додаткового бруса на час перенесення балки (дерев'яний брус під стояки 2ГСК-17) виконують троє робітників. Після того, як брус буде притиснутий гідравлічним стояком до верхняків, під нього встановлюються інші гідравлічні стояки. Для попередження падіння гідравлічні стояки прив'язуються до брусів (двотаврової балки) або верхняків рам аркового кріплення дротом. Гідравлічний стояк обов'язково повинен встановлюватися на

зачищену від штибу підшову виробки.

Перед пересуванням привідної головки лавного конвеєра знімається стояк аркового кріплення з боку вибою лави, стояки підсилюючого кріплення штреку і стояки кріплення сполучення, які будуть заважати при пересуванні конвеєра. Гідравлічний стояк підсилюючого кріплення знімається безпосередньо перед пересуванням головки конвеєра. Стояк знімається тільки після того, як буде розперта двотаврова балка. Стояки, які притискають двотаврову балку до верхняків рам аркового кріплення, повинні бути встановлені з обох сторін привідної головки. Кількість стояків аркового кріплення, які знімаються на час пересування конвеєра, повинна бути мінімальною – забезпечувати тільки один цикл пересування конвеєра. Після зняття стояка аркового кріплення замість нього встановлюється відрізок спецпрофілю СВП-22, який з'єднується з верхняком арки двома скобами М-24 та утримує від обвалення породи покрівлі в місці знятого стояка. Оголені ділянки покрівлі в боку виробки затягуються дошкою.

Слідом за посуванням лави на штреку повністю відновлюється аркове кріплення: встановлюється стояк, відсутні скоби з'єднання, міжрамна стяжна планка. Для підсилення аркового кріплення штреку по центру виробки в її тупиковій частині пробивається дерев'яні стояки. На відставанні не більше 6,0 м від заднього стояка секції погашається тупикова частина штреку.

Схема кріплення лави на сполучені з збірними конвеєрним штреком № 119, зон впливу опірною тиску очисного вибою та консолі зависання порід покрівлі за при забійним простором лави, представлена на рисунку 2.

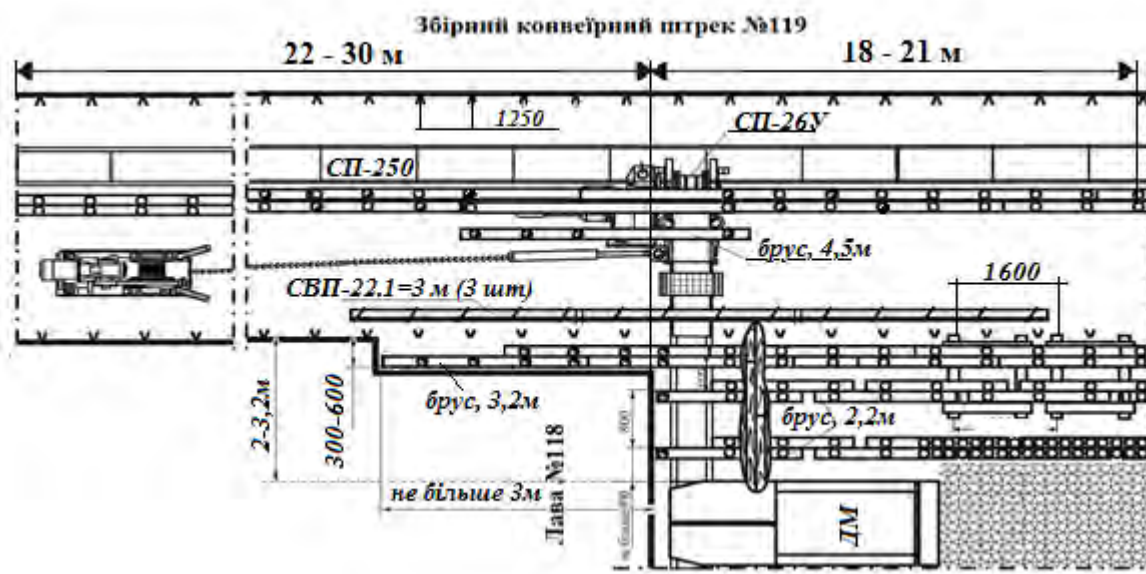


Рис. 2 Схема кріплення лави на сполучені з збірними конвеєрним штреком № 119, зон впливу опірною тиску очисного вибою та консолі зависання порід покрівлі за при забійним простором лави

Призначення кріплення посилення в аномальних зонах гірського тиску системи «лава-штрек» збереження і підтримання стаціонарного арочного кріплення підготовчої виробки у робочому стані на час переукріплені на сполучені і забезпечення додаткового спротиву динамічним навантаженням.

**Висновки.** Згідно результатів експериментальних і аналітичних досліджень обґрунтовані технологічні параметри ведення очисних робіт в умовах вугільного пласта  $n^7$ . Розроблені рекомендації до паспортів охорони і підтримки виїмкових штреків в нестійких породах «Львівсько-Волинського» басейну, що дозволило обґрунтувати застосування конструкцій і схем установки комбінованих способів тимчасового кріплення і охорони підготовчих виробок виїмкової дільниці у сполучені штреку і лави у лавовій зоні сполучення, виробленому просторі лави у зоні дії консолі зависання породних шарів покрівлі. Застосування цього вдосконалення

дає можливість мінімізувати вплив геомеханічних параметрів на стійкість і працездатність видобувної ділянки при стовповій системі розробки пласта по простяганню спареними лавами.

**Вдячність.** Дана робота виконана в рамках проведення наукових робіт та науково-технічних (експериментальних) розробок ГП-503 «Геотехнологічні основи формування енергохімічних комплексів вугледобувних регіонів» при підтримці Міністерства освіти і науки України (№ держреєстрації 0120U102084).

## References

1. Dychkovskiy, R., Shavarskiy, I., Saik, P., Lozynskiy, V., Falshtynskiy, V., & Cabana, E. (2020). Research into stress-strain state of the rock mass condition in the process of the operation of double-unit longwalls. *Mining of Mineral Deposits*, 14(2), 85–94. doi:10.33271/mining14.02.085
2. Falshtynskiy, V., Dychkovskiy, R., Khomenko, O., & Kononenko, M. (2020). On the formation of a mine-based energy resource complex. *E3S Web of Conferences*, 201, 01020. doi:10.1051/e3sconf/202020101020
3. Sobolev, V., Bilan, N., Dychkovskiy, R., Caseres Cabana, E., & Smolinski, A. (2020). Reasons for breaking of chemical bonds of gas molecules during movement of explosion products in cracks formed in rock mass. *International Journal of Mining Science and Technology*, 30(2), 265–269. doi:10.1016/j.ijmst.2020.01.002
4. Pivnyak, G., Falshtynskiy, V., Dychkovskiy, R., Saik, P., Lozynskiy, V., Cabana, E., & Koshka, O. (2020). Conditions of Suitability of Coal Seams for Underground Coal Gasification. *Key Engineering Materials*, 844, 38–48. doi:10.4028/www.scientific.net/kem.844.38
5. Savostianov O.V. (1996). Methods of forecasting geomechanical processes for the selection of technological parameters of development of flat layers // DVNZ «NGU». Dnipropetrovsk, 246 p.
6. Dychkovskiy, R., Falshtynskiy, V., Ruskykh, V., Cabana, E., & Kosobokov, O. (2018). A modern vision of simulation modelling in mining and near mining activity. *E3S Web of Conferences*, 60, 00014. doi:10.1051/e3sconf/20186000014
7. Griadushchiy, Y., Korz, P., Koval, O., Bondarenko, V., & Dychkovskiy, R. (2007). Advanced Experience and Direction of Mining of Thin Coal Seams in Ukraine. *Technical, Technological and Economical Aspects of Thin-Seams Coal Mining*, International Mining Forum, 2007, 2–7. doi:10.1201/noe0415436700.ch1
8. Pavlenko, I., Salli, V., Bondarenko, V., Dychkovskiy, R., & Piwniak, G. (2007). Limits to Economic Viability of Extraction of Thin Coal Seams in Ukraine. *Technical, Technological and Economical Aspects of Thin-Seams Coal Mining*, International Mining Forum, 2007, 129–132. doi:10.1201/noe0415436700.ch16
9. Shashenko A.N. & other (2012). Stability management of long workings in deep mines D.: Lizunovpres.– 384 p.
10. Bazaluk, O., Sadovenko, I., Zahrytsenko, A., Saik, P., Lozynskiy, V., & Dychkovskiy, R. (2021). Forecasting Underground Water Dynamics within the Technogenic Environment of a Mine Field. Case Study. *Sustainability*, 13(13), 7161. doi:10.3390/su13137161
11. Smirnov A. Main directions in roof bolting technology development at DTEK mines/A. Smirnov, V. Pilyugin//Progressive technology of coal, coalbed methane and ores mining. — The Netherland: CRC Press/Balkema, 2014. — P. 1-4.
12. Chernyshov A.V. (2015). Protection of excavation workings by artificial structures. *Gornyi bulletin*, 3, 55-60.
13. Dudka I.V. (2015). On the question of the efficiency of reuse of workings in difficult geomechanical conditions, 2 (16), 99-109.
14. Dychkovskiy, R., & Bondarenko, V. (2006). Methods of Extraction of Thin and Rather Thin Coal Seams in the Works of the Scientists of the Underground Mining Faculty (National Mining University). *International Mining Forum 2006, New Technological Solutions in Underground Mining*, 21–25. doi:10.1201/noe0415401173.ch3

15. Skobenko, A.V., Kobzar, D.I., Khalimendik, A.V., Khalimendik, A.V. (2014) "K voprosu obespecheniya dlitelnoy ustoychivosti kapitalnykh vyirabotok OP "Shahta" Rossiya" GP "Selidovugol, Forum gIrnikiV - 2014: materialy mIzhnar. konf., 1-4zhovt. 2014 r.". Materials Intern. Conf. "Miners Forum 2014" (October 1-4). Dnipropetrovsk, Vol. 2, pp. 212–219. Stepanovich, D., Yokhannssen, S., & Pritsher, R. (2014). Patent UA 107196.
16. Tabachenko, N., Samusia, V., Dychkovskiy, R., Falshtynskiy, V., & Oksen, Yu. (2012). Novitni pryntsyipy teplonasosnykh ta koheneratsiinykh tekhnolohii vykorystannia vykydnoho tepla. D.: National Mining University.
17. Tabachenko, M., Saik, P., Lozynskiy, V., Falshtynskiy, V., & Dychkovskiy R. (2016). Features of setting up a complex, combined and zero-waste gasifier plant. *Mining of Mineral Deposits*, 10(3), 37-45. <http://dx.doi.org/10.15407/mining10.03.037>
18. Pivnyak, G., Dychkovskiy, R., Bobyliv, O., Cabana, E. C., & Smoliński, A. (2018). Mathematical and Geomechanical Model in Physical and Chemical Processes of Underground Coal Gasification. *Solid State Phenomena*, (277), 1-16. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.277.1>
19. Rosen, M. A., Reddy, B. V., & Self, S. J. (2018). Underground coal gasification (UCG) modeling and analysis. *Underground Coal Gasification and Combustion*, 329-362. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100313-8.00011-6>
20. 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(1), 72-80. <https://doi.org/10.33271/mining14.01.072>