

М.В. Петльований
Д.С. Малашкевич
К.С. Сай
С.А. Зубко

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ СТВОРЕННЯ БЕЗВІДХОДНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗРОБКИ ТОНКИХ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ

Мета. Формування та узагальнення комплексу ключових елементів концепції безвідходної технології видобування високоякісного вугілля з тонких вугільних пластів, що ґрунтується на процесах закладання пустих шахтних порід від очисних і прохідницьких робіт у вироблений простір.

Методика. У роботі використано комплексний методичний підхід, який містить систематизацію та узагальнення складових елементів технології безвідходного видобування вугілля на підставі виконання теоретичних досліджень та обґрунтувань.

Результати. Сформовано основну гіпотезу нового підходу безвідходного видобування вугілля, при якому пріоритетним є не лише процес залишення максимального обсягу шахтних пустих порід у підземних пустотах, а також їх використання для формування закладного масиву, що дозволить поліпшити геомеханічні умови відпрацювання тонких вугільних пластів. Сформульовано та систематизовано широкий комплекс завдань гірничого виробництва при безвідходній технології видобування вугілля. Визначені та обґрунтовані умови гармонічного функціонування запропонованої концептуальної схеми безвідходної технології видобування вугілля в межах виймкового поля. Розроблені концептуальні засади функціонування нової високоефективної безвідходної технології видобування високоякісного енергетичного вугілля з тонких вугільних пластів.

Наукова новизна полягає у розкритті механізму ефективного логістичного функціонування породо-транспортних систем акумуляції пустих порід у підземному просторі при безвідходній технології видобування вугілля з тонких вугільних пластів.

Практичне значення. Результати досліджень можуть бути використані при проектуванні безвідходних технологічних схем видобування вугілля з підвищеним енергетичним потенціалом.

Ключові слова: безвідходна технологія, шахтні породи, закладка виробленого простору, селективне виймання, очисний вибій, прохідницький вибій, транспортування.

Вступ.

Враховуючи стрімко розвиваючі тенденції розвитку стратегії декарбонізації та зеленої енергетики, останніми роками на світовому ринку кам'яного вугілля відбулося значне підвищення попиту та зростання цін на нього (у 2021 році майже у 2 рази), що викликано необхідністю забезпечення потрібного обсягу вироблення електричної енергії низки потужних промислових країн [1, 2]. Суттєву роль у ситуацію, що склалася, також внесло і закриття масштабних вугледобувних підприємств у деяких країнах. Проте, швидкість впровадження «зелених» технологій у світі не встигає за світовою економікою, якій сьогодні потрібні енергоносії з викопного палива у значних обсягах [3-5]. Тому значення кам'яного вугілля, як вирішального джерела енергії, для багатьох держав, у тому числі й України, на сьогодні є пріоритетним.

Кам'яне вугілля є стратегічним енергетичним ресурсом України на найближчі роки, з якого генерується 1/3

частина електричної енергії. Основні запаси кам'яного вугілля держави (> 70%) сконцентровані у пластах, геологічною потужністю менше 1,0 м, що поступово викликає суттєві економічні труднощі при їх видобуванні, та призводить до поступового залучення в розробку більш тонких пластів [6]. Такі пласти за технологічними факторами очисного обладнання й факторами безпеки праці неможливо розробляти без присікання бокових порід, що веде до суттєвого підвищення рівня зольності видобутого вугілля до 40 – 50% [7]. Це, в свою чергу, призводить до суттєвих непродуктивних витрат, пов'язаних з «холостим» транспортуванням пустих порід у складі видобутої гірничої маси на денну поверхню, та необхідністю процесів збагачення корисної копалини. Крім того, вугільна галузь характеризується значним відходоутворенням у вигляді складування на денній поверхні мільйонів тон пустих порід та хвостів збагачення, що завдає суттєвої шкоди навколишньому середовищу.

Сьогодні існуючі технології розробки тонких вугільних пластів потребують кардинального вдосконалення й трансформації з позиції глобальної економічності та екологічності вилучення енергетичного вугілля для досягнення повної безвідходності процесу видобутку. Зниження собівартості вугілля за рахунок створення безвідходного циклу видобування, ліквідації необхідності збагачення вугілля й суттєвого підвищення його якості створить умови для зростання значущості вугільної галузі для економіки України. Це дозволить економічно вигідніше видобувати власне українське вугілля й усунути необхідність його імпорту поставок зі США, ПАР та інших країн.

Створення безвідходної технології видобування вугілля з тонких пластів дозволить суттєво покращити техніко-економічні показники шахт й екологічний стан довкілля у гірничодобувних регіонах.

Мета дослідження – формування та узагальнення комплексу ключових елементів концепції безвідходної технології видобування високоякісного вугілля з тонких вугільних пластів, що ґрунтується на процесах закладання пустих шахтних порід від очисних і прохідницьких робіт у вироблений простір.

Результати досліджень.

Компанія ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» на сьогодні є флагманом вугільної галузі України, яка видобуває понад 65% всього енергетичного вугілля. У 2018 році компанією досягнуто пікове значення з видобутку вугілля – 20,1 млн т при середній зольності 43,5% [8]. Зазначені показники видобутку та якості вугілля у 2018 році призвели до утворення на денній поверхні відходів від процесів проведення гірничих виробок та збагачення у кількості 7,3 млн т. Після закриття 2 вугільних шахт щорічний показник утворення відходів дещо зменшився, проте проблема їх накопичення є вельми актуальною.

Останні науково-технічні розробки, що спрямовані на зменшення утворення відходів шляхом їх залишення у підземному просторі, поки не знайшли масштабного практичного використання. Це спосіб селективної розробки пластів із пневматичним закладанням порід у вироблений простір [9], спосіб селективної

розробки пластів із залишенням порід у виробленому просторі [10] та використання подрібнених порід для торкрет-тампонажної суміші при проведенні капітальних виробок [11]. Остання технологія була впроваджена, проте рівень утилізації порід склав не більше 2 тис. т порід на рік. Зазначені технології не дозволяють масштабно утилізувати утворені породи, рівень яких складає не більше 20% від загального обсягу. Тому створення нових технологій безвідходного видобування вугілля з тонких вугільних пластів є своєчасним та актуальним.

Головною гіпотезою нового підходу повинен стати не лише процес залишення максимального обсягу шахтних пустих порід у підземних пустотах, а також їх використання для формування закладного масиву, що дозволить поліпшити геомеханічні умови відпрацювання тонких вугільних пластів.

Рушійним фактором розвитку напрямку безвідходного видобування повинно стати розуміння вирішення широкого комплексу завдань гірничого виробництва для покращення технологічних, економічних та екологічних умов функціонування вугледобувних підприємств (рис. 1). Розміщення пустих шахтних порід як закладного матеріалу у підземному виробленому просторі при безвідходній технології призведе до поліпшення низки технологічних, екологічних та економічних аспектів у технологічній системі шахти.

По-перше, важливим позитивним зрушенням саме для технології ведення гірничих робіт, які здійснюються у надскладних гірничо-геологічних умовах, є трансформація напружено-деформованого стану гірського масиву навколо очисного вибою. На відміну від управління покрівлею повним обваленням, застосування закладання виробленого простору призводить до суттєвого зменшення деформацій масиву гірських порід [12, 13]. Застосування закладання нівелює появу таких негативних явищ як посадка механізованого кріплення на «жорстку базу» та виникнення аварійних ситуацій [14, 15]. Для умов українських шахт доведено покращення напруженого стану масиву навколо очисного вибою та зменшення величин напружень фронтального опорного тиску [16, 17].



Рис. 1. Узагальнення комплексу завдань гірничого виробництва, що вирішує безвідходна технологія видобування вугілля

По-друге, не менш важливим для високоефективного та економічного вилучення вугілля з виїмкових стовпів довгими лавами, є забезпечення стійкості виїмкових виробок [18]. Завдяки покращенню напруженого стану гірського масиву навколо очисного вибою шляхом формування породного закладного масиву у комбінації з рамно-анкерним кріпленням з'являється можливість повторного використання виїмкових штреків, що, без сумніву, має економічний сенс [19].

По-третє, заповнення виробленого простору призводить до зменшення величин осідань денної поверхні, що особливо важливо для збереження цілісності інфраструктурних промислових та цивільних об'єктів [20, 21]. Також суттєвим наслідком є збереження водоносних горизонтів і попередження заболочуваності денної поверхні.

Ключовим завданням є залишення шахтних порід у підземному просторі, що запобігає руху породного потоку з підземного простору до поверхні й збільшенню або появі нових породних відвалів на денній поверхні [22]. Вирішення проблемних питань накопичення порід на денній поверхні призводить до покращення стану природного середовища в сенсі зменшення токсичного забруднення ґрунтів і водойм [23, 24].

Запобігання утворенню порід на денній поверхні сприятиме ліквідації транспортних витрат на переміщення пустих шахтних порід від джерела їх утворення у підземному просторі до породного відвалу. Трансформації підлягатиме система

конвеєрного транспорту шахти, адже усувається породний вантажопотік, що впливатиме на продуктивність конвеєрів. Усувається також необхідність породного скіпового підйому та поверхневого транспорту до відвалу і збагачувальної фабрики. Ці питання є новими та доволі цікавими для інженерів-проектувальників і потребують детальних досліджень.

Одним з важливих техніко-економічних показників функціонування шахт є якість видобутого вугілля, що здебільшого оцінюється рівнем експлуатаційної зольності видобутого вугілля [7]. При безвідходній технології видобування вугілля шляхом застосування селективного виймання вугілля з очисних та прохідницьких вибоїв цілком реальним є отримання кінцевого високоякісного продукту – малозольного вугілля з високим енергетичним потенціалом, що, без сумніву, стане конкурентним ресурсом на енергетичному ринку як в Україні, так і для держав-імпортерів.

Кардинальне підвищення якості вугілля при досягненні нормативних показників якості вугілля може призвести до ліквідації необхідності застосування циклу збагачення, адже з'являються умови прямого постачання видобутого високоякісного вугілля на теплові електростанції або безпосередньо імпортерам.

Як показали попередні дослідження [25], загальний рух пустих породних потоків у межах сучасної високопродуктивної шахти, що розробляє тонкі вугільні пласти, відбувається

внаслідок здійснення таких процесів (рис. 2): очисних робіт (присікання, обвалення покрівлі, пластова зольність, підрипка) – 65% та прохідницьких робіт – 35%, причому процеси прохідницьких робіт розподіляються проведення виїмкових виробок (63%) і капітальних виробок (37%).

Таким чином, концепція нової високоефективної безвідходної технології

видобування високоякісного енергетичного вугілля, на думку авторів дослідження, повинна полягати у поєднанні процесів прохідницьких робіт для підготовки запасів нових виїмкових стовпів при погоризонтному способі з суміжними очисними роботами через інноваційний породно-транспортний та породно-закладний ланцюг.

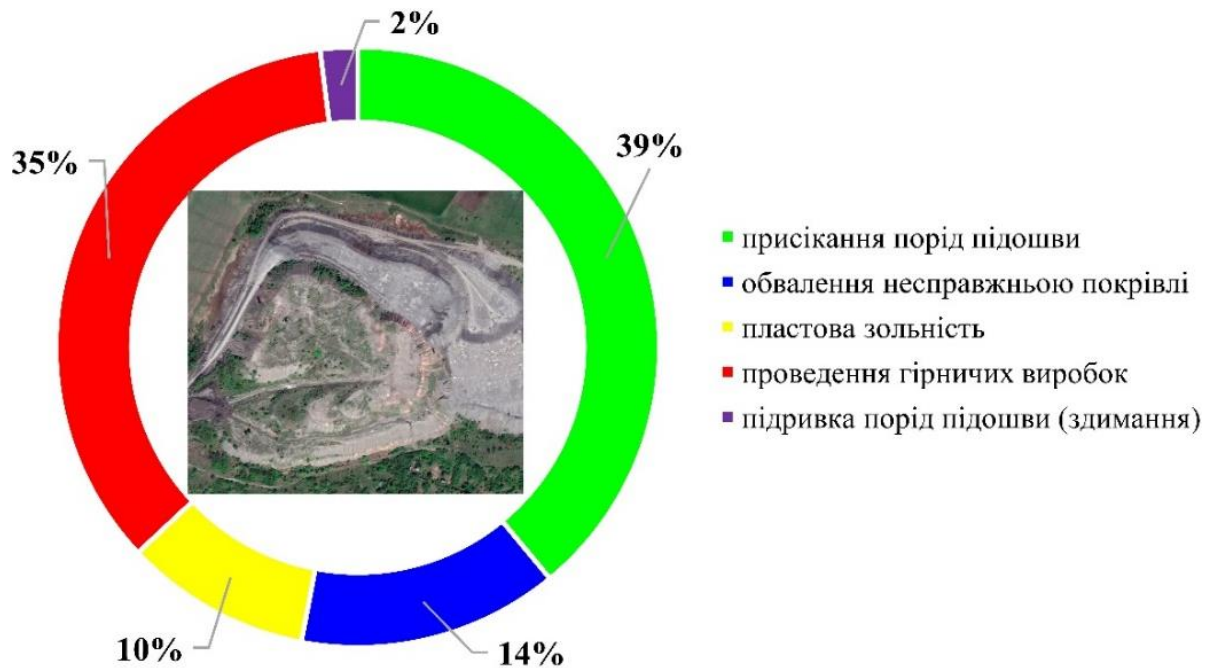


Рис. 2. Структура руху потоків пустих порід на земну поверхню на прикладі шахти ім. Героїв Космосу

Зазначений ланцюг здатний перемістити і розмістити у виробленому просторі лав і виїмкових виробок, що ліквідуються за лавою, всі утворені пусті шахтні породи й сформувати щільний закладний масив.

Цілком зрозуміло, що для вугільних шахт, термін функціонування яких досить тривалий і в яких значно розвинена мережа гірничих виробок згідно прийнятої схеми підготовки шахтного поля, імплементація концепції безвідходного видобування в межах всієї шахти є малоймовірною. Здебільшого концепції безвідходного видобування вугілля підлягають нові шахти, де на стадії проектування технологічної системи шахти повинні закладатись її нові елементи та технічні рішення. Проте, за певних умов застосування концепції

безвідходного видобування вугілля є можливим і в межах нової ділянки шахтного поля вже існуючої шахти – блока, бремсбергового чи похилого поля.

Концептуальна схема просторово-планувальних рішень з розробки технології безвідходного видобування вугілля при погоризонтному способі підготовки шахтного полі, за думкою авторів, представлена на рис. 3.

Концептуальна схема елементів технології безвідходного видобування вугілля з тонких пластів може бути реалізована наступним чином. Вона включає підготовку видобувної ділянки спарених лав з селективним видобуванням вугілля і породи та закладання виробленого простору з урахуванням обсягу породи з підготовчих виробок, що проводяться для нової

видобувної ділянки. В процесі підготовки формуються спарені лави з центральним акумулюючим породним штреком, відпрацювання яких здійснюється одночасно однолінійним фронтом, при цьому в одній із спарених лав здійснюється селективне вилучення вугілля з транспортуванням до транспортного штреку, а в сусідній – селективне виймання породи присічення з транспортуванням в центральний акумулюючий штрек і наступним послідовним закладанням виробленого простору. Під час виймання вугілля в першій лаві одночасно здійснюється закладання виробленого простору породою, що надходить з сусідньої лави, потім у сусідній лаві здійснюється виймання вугілля із закладанням породи, що надходить з першої

лави в одному безперервному технологічному процесі, й далі здійснюється формування наступних спарених лав з повним закладанням виробленого простору.

Порода з підготовчих виробок, що проводяться для нової видобувної ділянки, транспортується у центральний акумулюючий породний штрек і за допомогою розташованому в ньому спеціального транспортно-закладного ланцюга разом із породою з очисного вибою закладається у вироблений простір лав та штреків, що ліквідуються за ними. Видобуте вугілля з очисних і прохідницьких вибоїв транспортується до вуглеспускних гезенків і далі конвеєрною системою до головного ствола шахти.

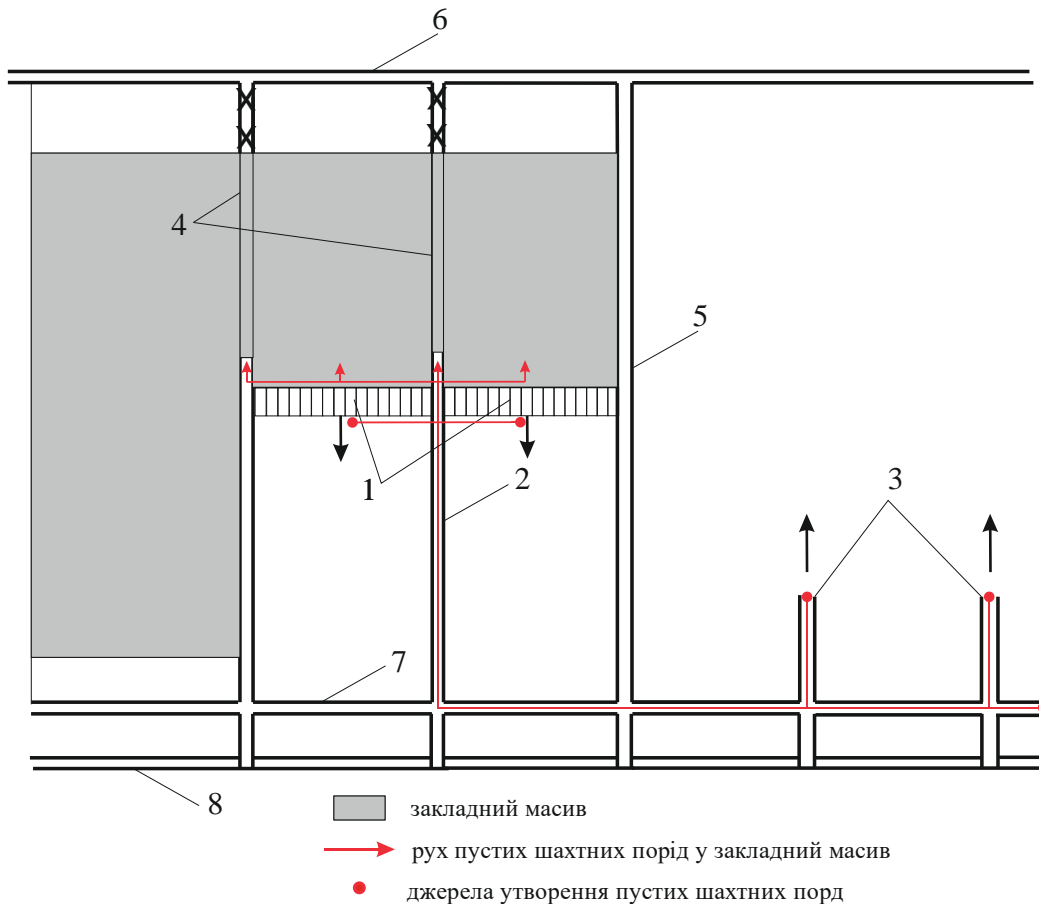


Рис. 3. Концептуальна схема просторово-планувальних рішень з розробки технології безвідходного видобування вугілля: 1 – спарені очисні вибої; 2 – центральний акумулюючий породно-закладний штрек; 3 – прохідницькі вибої; 4 – виїмкові виробки, що закладаються за лавою: транспортний та центральний акумулюючий штрек; 5 – транспортний штрек, що повторно використовується; 6 – магістральний (дренажний) штрек; 7 – магістральний відкотний штрек; 8 – магістральний конвеєрний штрек

Обов'язковими умовами гармонічного функціонування запропонованої концептуальної схеми безвідходної технології видобування вугілля в межах виїмкового поля повинні бути:

- селективне виймання вугілля в очисному та прохідницькому вибоях;
- прямий порядок відпрацювання запасів у бремсберговій/похилій частині шахтного поля;
- однолінійність спарених очисних вибоїв;
- раціональний баланс утворених підземних пустот та пустих порід;
- спеціальний породно-транспортний ланцюг;
- спеціальна закладна установка.

Далі детальніше розкриваються аспекти кожної з необхідних умов концептуальної схеми безвідходної технології видобування вугілля.

Селективне виймання вугілля в очисному та прохідницькому вибоях. Для підвищення якості видобутого вугілля та отримання закладного матеріалу для виробленого простору в новій концептуальній схемі безвідходної технології невід'ємним елементом є застосування селективного виймання в очисних і прохідницьких вибоях. Рекомендована виймальна потужність пласта при селективному відпрацюванні складає 1,2 м, що при геологічній потужності пласта, наприклад 0,8 м, дозволяє видобувати породний уступ підшви пласта величиною 0,4 м, що являє собою закладний матеріал. При селективному вийманні в прохідницькому вибої вугільна площа залежно від потужності пласта коливається від 20 до 40%, інша частка, що є пустими породами, являє собою додатковий закладний матеріал. За попередніми оцінками авторів, можна досягнути зольності видобутого вугілля на рівні 15 – 18%. Слід зазначити, що сьогодні, в умовах шахт Західного Донбасу, при застосуванні валового виймання в очисних і прохідницьких вибоях та конвеєрним транспортуванням гірничої маси змішаним потоком, зольність видобутого вугілля може сягати 50 – 55%. Тому розробка безвідходної технології є своєчасною.

Прямий порядок відпрацювання запасів. Транспорт закладного матеріалу у вироблений простір є досить ємним і витратним процесом, що здатен стримувати

фронт очисних робіт. При новій концептуальній схемі безвідходної технології повинна бути мінімальна відстань від джерела утворення закладного матеріалу до виробленого простору. Згідно зазначеної схеми, джерелом утворення закладного матеріалу є: присічені породи підшви пласта при селективному вийманні в лаві та породи прохідницького вибою при селективному вийманні у процесі підготовки нової видобувної дільниці. Мінімізація відстані може досягатись шляхом суто послідовного відпрацювання виїмкових дільниць. Послідовне відпрацювання виїмкових стовпів забезпечується завдяки повторному використанню виїмкових виробок, що є важливим фактором в концептуальній схемі. Стійкість виїмкової виробки для повторного її використання забезпечується застосуванням ефективного рамно-анкерного кріплення та формуванням закладного масиву у виробленому просторі лави, що зменшує величину фронтального опорного тиску і, відповідно, навантаження на виїмкову виробку.

Однолінійність спарених очисних вибоїв. Відомо, що при спарених лавах одна лава повинна випереджати іншу, що обумовлено негативною геомеханічною ситуацією у центральному штреці. Проте, для функціонування безвідходної технології за технологічними особливостями потрібне формування саме однолінійного фронту очисних робіт в обох лавах без відставання однієї лави від іншої. Вважаємо, що негативна геомеханічна ситуація навколо центрального акумулюючого породно-закладного штрека нівелюється з причини формування закладного масиву за лавою та використанням комбінованого рамно-анкерного кріплення. Технологічні процеси, що виконуються в лавах, однакові, відрізняються їх черговістю та порядком виконання, «дзеркально» відображаючи процеси, що відбуваються. Так, якщо в першій лаві виконуються роботи з виймання вугілля, то в цей же час у другій лаві здійснюється виймання породи присічення і навпаки. При цьому, під час виймання вугілля в першій лаві одночасно виконуються роботи із закладання виробленого простору цієї лави. Однолінійність очисних вибоїв необхідна для функціонування спеціальної закладної установки.

Рациональний баланс утворених підземних пустот та пустих порід. Для виконання закладних робіт об'єм пустот, що утворюється при посуванні лави (простір за лавою + виробки, що ліквідуються) повинен мати здатність розмістити весь закладний матеріал, що утворюється при селективному вийманні вугілля в очисних і прохідницьких вибоях. Тому попередньо аналітично розраховуються об'єми утворених пустот та закладного матеріалу. Об'єм пустот лави вираховується в одиницю часу (наприклад, доба) шляхом врахування наступних параметрів: довжини лави, виймальної потужності пласта, посування очисного вибою, максимального опускання покрівлі нарівні зворотної консолі механізованого кріплення. Об'єм пустот ліквідованих виймкових виробок вираховується в одиницю часу (наприклад, доба) шляхом врахування наступних параметрів: перерізу виробки, величини конвергенції при зміщенні порід у виробці, посування очисного вибою. Для визначення об'ємів закладного матеріалу потрібне виконання досліджень гранулометричних характеристик відбитих порід очисним і прохідницьким комбайном для визначення таких параметрів як коефіцієнт розпушення, пустотність та насипна щільність. При формуванні щільного масиву у виробленому просторі лабораторно визначаються деформаційні характеристики відбитих порід та уточнюється об'єм закладного матеріалу згідно величини зміни пустотності. Об'єм пустих порід з лави визначається в одиницю часу (наприклад, доба) шляхом врахування таких параметрів: висоти породного уступу, що відбивається очисним комбайном при селективному відпрацюванні, довжини лави, щільності порід, коефіцієнту розпушення та посування очисного вибою. Об'єм пустих порід з прохідницького вибою визначається в одиницю часу (наприклад, доба) шляхом врахування таких параметрів: площі породного вибою при проходці виробки, посування прохідницького вибою та коефіцієнту розпушення. Розрахунки здійснюються на всі лави та виробки в технологічній схемі безвідходного видобування.

Спеціальний породно-транспортний ланцюг. Центральний акумулюючий породно-закладний штрек є головною

транспортною артерією технологічної схеми безвідходної технології. В ньому відбувається переміщення та підготовка закладного матеріалу з очисних і підготовчих вибоїв. Фракційний склад порід з прохідницького вибою значно перевищує фракційний склад порід очисного вибою, тому невід'ємним складовим елементом є наявність породно-дробильного комплексу. Додатковими елементами системи є також акумулюючий бункер для накопичення і дозування необхідної кількості закладного матеріалу, а також скребковий перевантажувач. Акумулюючий бункер приймає породи присікання очисного вибою та подрібнені породи з прохідницького вибою, утворюючи тим самим суміш шахтних порід.

Спеціальна закладна установка. Для виконання закладних процесів машин передбачається розробка і конструювання спеціальної закладної установки для заповнення виробленого простору лав. Закладна установка функціонує під захистом зворотної консолі секції механізованого кріплення, розмір якої потрібно збільшити. Закладна установка переміщується по всій довжині лави, рівномірно формуючи щільний породний закладний масив під покрівлю. При закладанні полоси однієї лави переміщується в іншу лаву за умови збереження однолінійності вибоїв. Для закладання пустот виробок, що ліквідуються за лавою, передбачається створення спеціальних металевих закладних машин, які пов'язані із закладною установкою лав, через яку подається закладний матеріал.

Таким чином, підсумовуючи вищевикладене, в дослідженні розробленні концептуальні засади та елементи нової технологічної схеми безвідходного видобування вугілля в межах видобувної дільниці. Якщо технологічну схему розглядати в межах всієї шахти, досягається маловідходний рівень, адже близько 10 – 15% виходу всіх порід складають капітальні гірничі виробки, відстань яких до місця закладання може бути не вигідною. Проте, залежно від відстані прохідницького вибою капітальної виробки до місця закладання та наявності вільних вагонеток пусті породи можуть бути переміщені по магістральному відкотному штреку до центрального акумулюючого штреку при безвідходній схемі видобування.

В роботі представлено на підставі теоретичних уявлень і міркувань авторів можливе технологічне рішення з досягнення безвідходного видобутку високоякісного вугілля з вельми тонких і тонких вугільних пластів. Для ефективного функціонування системи потрібне детальне обґрунтування раціональних параметрів функціонування елементів системи, які повинні бути пов'язані у просторі та часі. Виконано попередню узагальнену оцінку показників ефективності безвідходної технології видобування вугілля для умов різних шахт Західного Донбасу (табл. 1).

Таблиця 1. Орієнтовні показники ефективності безвідходної технології видобування вугілля для умов шахт Західного Донбасу

Показник	Значення
Геологічна потужність пластів, м	0,5 – 0,8
Зольність видобутого вугілля, %	15 – 18
Зменшення виходу порід на земну поверхню, %: – в межах виїмкової ділянки – в межах шахтного поля	100 80 – 90
Зменшення осідань земної поверхні, %	40 – 50
Подовження терміну існування шахт, роки	15 – 25

Висновки.

1. Визначено, що існуючі технології розробки тонких вугільних пластів потребують кардинального вдосконалення й трансформації з позиції глобальної економічності та екологічності вилучення енергетичного вугілля для досягнення повної безвідходності процесу видобування.

2. Головною гіпотезою нового підходу безвідходного видобування повинен стати не лише процес залишення максимального обсягу шахтних пустих порід у підземних пустотах, а також їх використання для формування закладного масиву, що дозволить поліпшити геомеханічні умови відпрацювання тонких вугільних пластів.

3. Сформульовано та систематизовано широкий комплекс завдань гірничого виробництва при безвідходній технології видобування вугілля для покращення технологічних, економічних та екологічних

умов функціонування підприємств вугледобувної галузі.

4. Сформульовані та обґрунтовані умови гармонічного функціонування запропонованої концептуальної схеми безвідходної технології видобування вугілля в межах виїмкового поля.

5. Розроблені концептуальні засади функціонування нової високоефективної безвідходної технології видобування високоякісного енергетичного вугілля, що полягає у поєднанні процесів прохідницьких робіт для підготовки запасів нових виїмкових стовпів при погоризонтному способі з суміжними очисними роботами через інноваційний породно-транспортний та породно-закладний ланцюг, здатний перемістити і розмістити у виробленому просторі лав і виїмкових виробок, що ліквідуються за лавою, всі утворені пусті шахтні породи й сформувати щільний закладний масив.

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

Список літератури

1. Shah Y.T. Hybrid energy systems – strategy for decarbonization. *Hybrid Energy Systems*. 2021. P. 1-18. DOI:10.1201/9781003159421-1
2. Debiagi P., Rocha R.C., Scholtissek A., Janicka J., Hasse C. Iron as a sustainable chemical carrier of renewable energy: Analysis of opportunities and challenges for retrofitting coal-fired power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2022. (165). P. 112579. DOI:10.1016/j.rser.2022.112579
3. Wang Q., Song X., Liu Y. China's coal consumption in a globalizing world: Insights from multi-regional input-output and structural decomposition analysis. *Science of the Total Environment*. 2020. (711). P. 134790. DOI:10.1016/j.scitotenv.2019.134790
4. Spencer D. BP statistical review of world energy statistical review of world. *World Energy*. 2019. (68). P. 1-69.
5. Khorolskyi A., Hrinov V., Mamaikin O., Fomychova L. Research into optimization model for balancing the technological flows at mining enterprises. *E3S Web of Conferences*. 2020. (201). P. 01030. DOI:10.1051/e3sconf/202020101030
6. Barabash M.V., Cherednichenko Yu.Ya. Transformation SHC "Pavlogradvugillia" in the world class coal-mining company – PJSC "DTEK Pavlogradvugillia". *Mining of Mineral Deposits*. 2015. 9(1). P. 15-23. DOI:10.15407/mining09.01.015
7. Малашкевич Д.С., Петльований М.В., Постол Н.О., Постол М.О. Аналіз якості видобутого кам'яного вугілля та шляхи її підвищення на шахтах

Західного Донбасу. *Збірник Наукових Праць Національного Гірничого Університету*. 2020. (62). С. 53-64. DOI:10.33271/crpnmu/62.053

8. Malashkevych D., Poimanov S., Shypunov S., Yerisov M. Comprehensive assessment of the mined coal quality and mining conditions in the Western Donbas mines. *E3S Web of Conferences*. 2020. (201). P. 01013. DOI:10.1051/e3sconf/202020101013

9. Бузило В.И., Сулаев В.И., Кошка А.Г., Яворский А.В. *Технология обработки тонких пластов с закладкой выработанного пространства*. Днепропетровск: НГУ, 2013. 124 с.

10. Petlovanyi M.V., Malashkevych D.S., Sai K.S. 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

11. Коваленко В.В., Гаркуша В.С. Исследование влияния ПВА-эмульсии на реологические свойства тампонажных растворов на основе пустых пород. *Форум Гірників*. 2015. (2). С. 110-114.

12. Ma C., Guo X., Zhang L., Lu A., Mao X., Li B. Theoretical analysis on stress and deformation of overburden key stratum in solid filling coal mining based on the multilayer Winkler foundation beam model. *Geofluids*. 2021. P. 1-15. DOI:10.1155/2021/6693888

13. Zhang Q., Zhang J., Kang T., Sun Q., Li W. Mining pressure monitoring and analysis in fully mechanized backfilling coal mining face – A case study in Zhai Zhen Coal Mine. *Journal of Central South University*. 2015. 22(5). P. 1965-1972. DOI:10.1007/s11771-015-2716-2

14. Li B., Liang Y., Zou Q. Determination of working resistance based on movement type of the first subordinate key stratum in a fully mechanized face with large mining height. *Energy Science & Engineering*. 2019. 7(3). P. 777-798. DOI:10.1002/ese3.307

15. Li Z., Xu J., Yu S., Ju J., Xu J. Mechanism and prevention of a chock support failure in the longwall top-coal caving faces: a case study in Datong Coalfield, China. *Energies*. 2018. 11(2). P. 288. DOI:10.3390/en11020288

16. 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

17. Sakhno I., Nosach A., Beletskaya L. Stress-and-strain state of rock mass around the working behind the longwall face. *New Developments in Mining Engineering*. 2015. P. 133-138. DOI:10.1201/b19901-25

18. Darvishi A., Ataei M., Rafiee R. Investigating the effect of simultaneous extraction of two longwall panels on a main gate roadway stability using numerical modeling. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2020. (126). P. 104172. DOI:10.1016/j.ijrmms.2019.104172

19. Ning J.G., Liu X.S., Tan J., Gu Q.H., Tan Y.L., Wang J. Control mechanisms and design for a “coal-backfill-gangue” support system for coal mine gob-side entry retaining. *International Journal of Oil, Gas and Coal Technology*. 2018. 18(3-4). P. 444. DOI:10.1504/IJOGCT.2018.10014371

20. Koshka O., Yavors'kyi A., Malashkevych D. Evaluation of surface subsidence during mining thin and very thin coal seams. *Progressive Technologies of Coal,*

Coalbed Methane, and Ores Mining. 2014. P. 241-246. DOI:10.1201/b17547-41

21. Cui X., Zhao Y., Wang G., Zhang B., Li C. Calculation of residual surface subsidence above abandoned longwall coal mining. *Sustainability*. 2020. 12(4). P. 1528. DOI:10.3390/su12041528

22. Abramowicz A., Rahmonov O., Chybiorz R. Environmental management and landscape transformation on self-heating coal-waste dumps in the upper Silesian coal basin. *Land*. 2020. 10(1). P. 23. DOI:10.3390/land10010023

23. Sun Y., Xiao K., Wang X., Lv Z., Mao M. Evaluating the distribution and potential ecological risks of heavy metal in coal gangue. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. 28(15). P. 18604-18615. DOI:10.1007/s11356-020-11055-w

24. Petlovanyi M., Malashkevych D., Sai K., Bulat I., Popovych V. Granulometric composition research of mine rocks as a material for backfilling the mined-out area in coal mines. *Mining of Mineral Deposits*. 2021. 15(4). P. 122-129. DOI:10.33271/mining15.04.122

25. Petlovanyi M., Malashkevych D., Sai K., Zubko S. Research into balance of rocks and underground cavities formation in the coal mine flowsheet when mining thin seams. *Mining of Mineral Deposits*. 2020. 14(4). P. 66-81. DOI:10.33271/mining14.04.066

References

1. Shah, Y.T. (2021). Hybrid energy systems – strategy for decarbonization. *Hybrid Energy Systems*, 1-18. DOI:10.1201/9781003159421-1

2. Debiagi, P., Rocha, R.C., Scholtissek, A., Janicka, J., & Hasse, C. (2022). Iron as a sustainable chemical carrier of renewable energy: Analysis of opportunities and challenges for retrofitting coal-fired power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (165), 112579. DOI:10.1016/j.rser.2022.112579

3. Wang, Q., Song, X., & Liu, Y. (2020). China's coal consumption in a globalizing world: Insights from multi-regional input-output and structural decomposition analysis. *Science of the Total Environment*, (711), 134790. DOI:10.1016/j.scitotenv.2019.134790

4. Spencer, D. (2019). BP statistical review of world energy statistical review of world. *World Energy*, (68), 1-69.

5. Khorolskyi, A., Hrinov, V., Mamaikin, O., & Fomychova, L. (2020). Research into optimization model for balancing the technological flows at mining enterprises. *E3S Web of Conferences*, (201), 01030. DOI:10.1051/e3sconf/202020101030

6. Barabash, M.V., & Cherednichenko, Yu.Ya. (2015). Transformation SHC “Pavlogradvugillia” in the world class coal-mining company – PJSC “DTEK Pavlogradvugillia”. *Mining of Mineral Deposits*, 9(1), 1523. DOI:10.15407/mining09.01.015

7. Malashkevych, D.S., Petlovanyi, M.V., Postol, N.O., & Postol, M.O. (2020). Analiz yakosti vydobutoho kamianoho vuhillia ta shliakhy yii pidvyshchennia na shakhtakh Zakhidnoho Donbasu. *Zbirnyk Naukovykh Prats Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (62), 53-64. DOI:10.33271/crpnmu/62.053 (in Ukrainian).

8. 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. DOI:10.1051/e3sconf/202020101013

9. Buzilo, V.I., Sulaev, V.I., Koshka, A.G., & Yavorskiy, A.V. (2013). *Tekhnologiya otrabotki tonkikh plastov s zakladkoy vyrabotannogo prostranstva*. Dnepropetrovsk: NGU, 2013. 124 s. (in Russian).
10. 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. DOI:10.15421/112069
11. Kovalenko, V.V., & Garkusha, V.S. (2015). Issledovanie vliyaniya PVA-emulsiy na reologicheskie svoystva tamponazhnykh rastvorov na osnove pustykh porod. *Forum Hirnykiv*, (2), 110-114.
12. Ma, C., Guo, X., Zhang, L., Lu, A., Mao, X., & Li, B. (2021). Theoretical analysis on stress and deformation of overburden key stratum in solid filling coal mining based on the multilayer winkler foundation beam model. *Geofluids*, (2021), 1-15. DOI:10.1155/2021/6693888
13. Zhang, Q., Zhang, J., Kang, T., Sun, Q., & Li, W. (2015). Mining pressure monitoring and analysis in fully mechanized backfilling coal mining face – A case study in Zhai Zhen Coal Mine. *Journal of Central South University*, 22(5), 1965-1972. DOI:10.1007/s11771-015-2716-2
14. Li, B., Liang, Y., & Zou, Q. (2019). Determination of working resistance based on movement type of the first subordinate key stratum in a fully mechanized face with large mining height. *Energy Science & Engineering*, 7(3), 777-798. DOI:10.1002/ese3.307
15. Li, Z., Xu, J., Yu, S., Ju, J., & Xu, J. (2018). Mechanism and prevention of a chock support failure in the longwall top-coal caving faces: a case study in Datong Coalfield, China. *Energies*, 11(2), 288. DOI:10.3390/en11020288
16. Malashkevych, D., Sotskov, V., Medyanyk, 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
17. Sakhno, I., Nosach, A., & Beletskaya, L. (2015). Stress-and-strain state of rock mass around the working behind the longwall face. *New Developments in Mining Engineering*, 133-138. DOI:10.1201/b19901-25
18. Darvishi, A., Ataei, M., & Rafiee, R. (2020). Investigating the effect of simultaneous extraction of two longwall panels on a main gate roadway stability using numerical modeling. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, (126), 104172. DOI:10.1016/j.ijrmms.2019.104172
19. Ning, J.G., Liu, X.S., Tan, J., Gu, Q.H., Tan, Y.L., & Wang, J. (2018). Control mechanisms and design for a “coal-backfill-gangue” support system for coal mine gob-side entry retaining. *International Journal of Oil, Gas and Coal Technology*, 18(3-4), 444. DOI:10.1504/IJOGCT.2018.10014371
20. Koshka, O., Yavors'kyi, A., & Malashkevych, D. (2014). Evaluation of surface subsidence during mining thin and very thin coal seams. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, 241-246. DOI:10.1201/b17547-41
21. Cui, X., Zhao, Y., Wang, G., Zhang, B., & Li, C. (2020). Calculation of residual surface subsidence above abandoned longwall coal mining. *Sustainability*, 12(4), 1528. DOI:10.3390/su12041528
22. Abramowicz, A., Rahmonov, O., & Chybiorz, R. (2020). Environmental management and landscape transformation on self-heating coal-waste dumps in the upper Silesian coal basin. *Land*, 10(1), 23. DOI:10.3390/land10010023
23. Sun, Y., Xiao, K., Wang, X., Lv, Z., & Mao, M. (2020). Evaluating the distribution and potential ecological risks of heavy metal in coal gangue. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(15), 18604-18615. DOI:10.1007/s11356-020-11055-w
24. Petlovanyi, M., Malashkevych, D., Sai, K., Bulat, I., & Popovych, V. (2021). Granulometric composition research of mine rocks as a material for backfilling the mined-out area in coal mines. *Mining of Mineral Deposits*, 15(4), 122-129. DOI:10.33271/mining15.04.122
25. 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. DOI:10.33271/mining14.04.066

Надійшла до редакції 10.10.2022

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

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

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

Зубко Сергій Андрійович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник кафедри гірничої інженерії та освіти Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», (м. Дніпро, Україна).

E-mail: zubko1985@gmail.com

CONCEPTUAL FOUNDATIONS FOR A NON-WASTE TECHNOLOGY DEVELOPMENT OF MINING THIN COAL SEAMS

Purpose. Development and generalization of a set of key elements for a non-waste technology concept of mining high-quality coal from thin coal seams, based on the processes of backfilling the mined-out space with waste rocks from stope and tunneling operations.

Methods. A comprehensive methodical approach, containing the systematization and generalization of the constituent elements of a non-waste coal mining technology based on the implementation of theoretical studies and substantiations, is used in the research.

Findings. The main hypothesis of a new approach to non-waste coal mining has been formed, in which the priority is not only the process of leaving the maximum waste rock volume in underground cavities, but also its use to form backfill mass, thereby improving the geomechanical conditions for mining thin coal seams. A wide range of mining tasks has been formulated and systematized for using a non-waste coal mining technology. The conditions for the harmonious functioning of the proposed conceptual scheme of a non-waste coal mining technology within the extraction field boundaries have been determined and substantiated. The conceptual foundations for the functioning of a new highly efficient non-waste technology for mining high-quality thermal coal from thin coal seams have been developed.

Originality. The scientific novelty is in revealing the mechanism for the effective logistic functioning of rock-transport systems for the accumulation of waste rocks in the underground space using a non-waste technology of coal mining from thin coal seams.

Practical implication. The research results can be used in planning non-waste technological schemes for mining the coal with an increased energy potential.

Keywords: non-waste technology, waste mine rocks, backfill, selective mining, stope, drifting face, transportation.

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

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

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

Zubko Serhii – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the Department of Mining Engineering and Education, Dnipro University of Technology, (Dnipro, Ukraine)

E-mail: zubko1985@gmail.com