

УДК 622.273.21
№ держреєстрації 0120U101099
Інв. №

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19
тел.: (056) 373-08-00 , E-mail: nikitenko.i.s@nmu.one

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Перший проректор
д-р техн. наук, професор

_____ Артем ПАВЛИЧЕНКО

» _____ 2022 р.



про науково-дослідну роботу

**РОЗРОБКА ПРОГРЕСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПОВНОЦІННОГО
ВИЛУЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВУГІЛЛЯ З АКУМУЛЯЦІЄЮ ПУСТИХ
ПОРІД У ПІДЗЕМНОМУ ПРОСТОРІ**

(заклучний)
ГП-502

Начальник НДЧ
к.т.н., доцент

Олександр ГАЙДАЙ

Науковий керівник НДР
к.т.н., доцент

Дмитро МАЛАШКЕВИЧ

Рукопис закінчено 1 грудня 2022 р.
Результати роботи розглянуто на засіданні науково-технічної ради
НТУ «Дніпровська політехніка» протокол № 6 від 7 грудня 2022 р.

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 207 с., 73 рис., 24 табл., 137 джерел, 2 додатки

Мета роботи – розробка прогресивних високоефективних технологій максимально повного вилучення з надр енергетичного вугілля з покращенням його якості та акумуляцією шахтних пустих порід у підземному просторі на основі створення принципово нових елементів механізації технологічних процесів, вдосконалення просторово-планувальних рішень розвитку гірничих робіт та дослідження фізико-механічних властивостей порід.

Об’єкт наукової роботи – Прогресивні технології максимально повного вилучення енергетичного вугілля з покращенням його якості.

Предмет наукової роботи– закономірності формування складових елементів нових технологічних схем та просторово-планувальних рішень розвитку гірничих робіт із розміщенням пустих порід у підземному просторі вугільної шахти.

Науково-технічна проблема, на вирішення якої спрямовано проект – відсутність дієвих методів підземного видобутку енергетичного вугілля, що дозволяє максимізувати розміщення пустих шахтних порід у підземному виробленому просторі.

Для досягнення мети роботи, вирішення поставлених наукових завдань та отримання достовірних науково-практичних результатів використано новий комплексний методичний підхід, який складається з критичного аналізу інформаційних джерел з проблематики дослідження; аналізу гірничо-геологічної та гірничотехнічної характеристик вугільних родовищ, техніко-економічних показників роботи і технологій видобування на сучасних вугільних шахтах; шахтних досліджень гранулометричного складу порід із застосування інформаційних технологій, відбору шахтних проб та проведення комплексу лабораторних досліджень фізико-механічних властивостей пустих порід і закладного масиву; врахування положень та законів механіки гірських порід; чисельного моделювання із застосуванням методу скінчених елементів (програмні комплекси Ansys, SolidWorks); застосування методів математичної статистики, економіко-математичного моделювання, інженерно-конструкторського виконання технологічних схем видобування вугілля, програм інженерного проектування AutoCAD та 3D MAX.

ЕНЕРГЕТИЧНЕ ВУГІЛЛЯ, ВИДОБУВАННЯ, ШАХТНІ ПОРОДИ, ЗАПАСИ, ЗОЛЬНІСТЬ, ТОНКІ ТА НАДТОНКІ ПЛАСТИ, ОЧИСНІ РОБОТИ, ПРОХІДНИЦЬКІ РОБОТИ, ЗАКЛАДНИЙ МАТЕРІАЛ, ЗАКЛАДНИЙ МАСИВ, ПІДЗЕМНІ ПУСТОТИ, ЗАКЛАДКА ВИРОБЛЕНОГО ПРОСТОРУ, СЕЛЕКТИВНА ТЕХНОЛОГІЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПРОБЛЕМ ВИДОБУВАННЯ ТА РІВНЯ ВІДХОДОУТВОРЕННЯ ПРИ РОЗРОБЦІ ТОНКИХ ПЛАСТІВ. ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ	10
1.1. Аналіз якості видобування запасів вугілля з тонких пластів на провідних шахтах України	10
1.2. Проблеми відходоутворення та осідань денної поверхні при видобуванні запасів вугілля з тонких пластів	16
1.3. Аналіз непродуктивного руху шахтних порід у складі гірничої маси	21
1.4. Аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду залишення шахтних порід у виробленому просторі	24
1.5. Розробка класифікації способів закладки та залишення породи	40
1.6. Висновки за розідлом	46
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МЕТОДОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ СКЛАДОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРОГРЕСИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИДОБУВАННЯ ВУГІЛЛЯ З АКУМУЛЯЦІЄЮ ПУСТИХ ПОРІД	48
2.1. Ефективність технології очисного видобування вугілля з акумуляцією пустих порід та концептуальні підходи щодо її створення	48
2.2. Вибір вугільної шахти як об'єкта досліджень безвідходної технології	50
2.3. Стисла гірничо-геологічна та гірничотехнічна характеристики шахти «Ім. Героїв Космосу»	52
2.4. Алгоритм дослідження утворених підземних пустот і обсягів шахтних порід у технологічній системі вугільної шахти	55
2.5. Методика шахтних та лабораторних досліджень фізико-механічних властивостей закладного матеріалу на основі шахтних порід	61
2.6. Розробка та обґрунтування геомеханічної моделі для дослідження напруженого стану гірського масиву навколо основних елементів запропонованої технології	67

2.7	Методичні підходи аналітичних досліджень параметрів формування закладного масиву	72
2.8	Методичні аспекти щодо визначення якості видобутого вугілля	74
2.9.	Висновки за розділом	75

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ФОРМУВАННЯ ЗАКЛАДНОГО МАСИВУ ПРИ ОЧИСНОМУ ВИДОБУВАННІ ВУГІЛЛЯ

77

3.1.	Дослідження обсягів утворення пустих шахтних порід та підземних пустот виробленого простору	77
3.2.	Дослідження балансу утворення підземних пустот і шахтних порід у технологічній системі вугільної шахти	87
3.3.	Концептуальні підходи до нових просторово-планувальних рішень з розробки прогресивної технології видобування вугілля з акумуляцією пустих порід у виробленому просторі	94
3.4.	Шахтні дослідження фізико-механічних параметрів пустих порід як закладного матеріалу виробленого простору	102
3.5.	Закономірності розвитку напруженого стану гірського масиву навколо основних елементів технології безвідходного видобування	109
3.6.	Закономірності формування параметрів закладного масиву з шахтних порід у виробленому просторі	117
3.7.	Висновки за розділом	127

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ПРОГРЕСИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИДОБУВАННЯ ВИСОКОЯКІСНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВУГІЛЛЯ З АКУМУЛЯЦІЄЮ ПУСТИХ ПОРІД У ВИРОБЛЕНОМУ ПРОСТОРИ

131

4.1.	Розробка технологічної схеми очисного видобування вугілля на прикладі виїмкової дільниці шахти	131
4.2.	Формування якості видобуваного вугілля при очисній технології видобування з повним закладанням шахтних порід	137
4.3.	Еколого-економічний ефект від застосування прогресивної технології видобування високоенергетичного вугілля	162

4.4. Підвищення цінності енергетичного вугілля за фактором калорійності	168
4.5. Висновки за розділом	179
ЗАКЛЮЧЕННЯ	181
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	186
ДОДАТОК А Витяг з протоколу №6 засідання Науково-технічної ради	203
ДОДАТОК Б Рецензія на науково-дослідну роботу	205

ВСТУП

Незважаючи на світові тенденції розвитку декарбонізації та зеленої енергетики, останніми роками на світовому ринку кам'яного вугілля відбулося значне підвищення попиту та зростання цін на нього (у 2022 році майже у 2 рази), що викликано необхідністю забезпечення потрібного обсягу вироблення електричної енергії низки потужних промислових країн. 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. 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. 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%. 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 необхідності 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 природньому 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 з таких країн як США, ПАР та інші.

Таким чином, актуальним науково-технічним завданням є створення для умов тонких вугільних пластів нової прогресивної технології, яка б дозволяла забезпечити безвідходність процесів видобування низькозольного вугілля (15 – 18%), що підвищить його енергетичний потенціал як стратегічного паливного ресурсу України.

Тому метою роботи є розробка нової прогресивної технології повноцінного вилучення запасів вугілля з високим енергетичним потенціалом шляхом повної акумуляції шахтних пустих порід у підземному просторі на основі створення принципово нових елементів механізації технологічних процесів, вдосконалення просторово-планувальних рішень розвитку гірничих робіт та дослідження фізико-механічних властивостей порід як закладних матеріалів

Для досягнення мети роботи, вирішення поставлених наукових завдань та отримання достовірних науково-практичних результатів використано новий комплексний методичний підхід, який складається з критичного аналізу інформаційних джерел з проблематики дослідження; аналізу гірничо-геологічної та гірничотехнічної характеристик вугільних родовищ, техніко-економічних показників роботи і технологій видобування на сучасних вугільних шахтах; шахтних досліджень гранулометричного складу порід із застосування інформаційних технологій, відбору шахтних проб та проведення комплексу лабораторних досліджень фізико-механічних властивостей пустих порід і закладного масиву; врахування положень та законів механіки гірських порід; чисельного моделювання із застосуванням методу скінчених елементів (програмні комплекси Ansys, SolidWorks); застосування методів математичної статистики, економіко-математичного моделювання, інженерно-конструкторського виконання технологічних схем видобування вугілля, програм інженерного проектування AutoCAD та 3D MAX.

ЗАКЛЮЧЕННЯ

Представлена робота є інноваційним науковим дослідженням, в якому на основі встановлення нових закономірностей формування та ефективності функціонування складових елементів вдосконалених технологічних схем та просторово-планувальних рішень з розвитку гірничих робіт і розміщення пустих порід у підземному просторі вугільної шахти вирішено нове вельми актуальне наукове завдання з розробки прогресивної технології повноцінного вилучення енергетичного вугілля з акумуляцією пустих порід у підземному просторі.

В технології досягається ефективно та гармонічне поєднання складових елементів технологічних систем ведення очисних і прохідницьких робіт для повноти вилучення високоякісного енергетичного вугілля з максимальним залишенням пустих шахтних порід у підземному просторі. Впровадження запропонованої технології дозволить вирішити комплекс екологічних та соціально-економічних проблем гірничопромислових регіонів, зокрема Західного Донбасу, де сконцентровані основні вуглевидобувні потужності України.

Основні наукові та практичні результати роботи:

1. Досліджено тенденцію неухильного погіршення якості видобутого енергетичного вугілля на провідних вугільних шахтах, яка пояснюється зменшенням геологічної потужності пластів (до 0,83 м) та необхідністю виконання присікання порід підшви пласта при веденні очисних робіт. Це призводить до суттєвого зниження якості видобутого вугілля та техніко-економічних показників роботи гірничих підприємств, а також збільшення відходоутворення.

2. Аналіз відомих вітчизняних і закордонних розробок із залишення шахтних порід показав здебільшого наявність рішень щодо їх закладання у вироблений простір шахт на рівні 20 – 40%. Проте, на сьогодні відсутні дієві та ефективні технологічні рішення щодо створення безвідходного видобування вугілля.

3. Розроблено нову комплексну методику досліджень. Об'єктом дослідження обрано вугільну шахту «Ім. Героїв Космосу» на підставі ранжування шахт Західного Донбасу за максимальним видобутком і зольністю. Запропоновано алгоритм аналітичних досліджень визначення виходу порід під час ведення очисних і прохідницьких робіт, а також визначення перспективних обсягів підземних пустот для розміщення утворених пустих порід за календарний рік. Розроблено комбіновану методику дослідження гранулометричного складу зруйнованих порід присікання на основі шахтних і лабораторних досліджень із використанням інформаційних технологій. Розроблено та обґрунтовано комп'ютерну модель для розрахунку напруженого стану геомеханічної системи центрального закладного штреку. Розрахунок напруженого стану пропонується в програмному пакеті SolidWorks 2016, в основу якого покладено метод скінченних елементів (МСЕ). Розроблено схему для розрахунку параметрів зведення закладних масивів при селективній технології виймання вугільних пластів.

4. Встановлено, що найбільше надходження всіх пустих порід на поверхню відбувається внаслідок виконання очисних робіт із присіканням порід підпошки – 39% та проведення підземних гірничих виробок для підготовки нових запасів вугілля до виймання – 33%, решта джерел, у порівнянні з вказаними, мають малу питому вагу в межах 2 – 16%. Встановлено, що підземні пустоти мають колосальний потенціал до розміщення порід від очисних, прохідницьких та ремонтних робіт, обсяг утворення яких у 2,8 – 4,8 разів перевищує обсяг утворення порід. Найбільш придатним для залишення порід у підземних пустотах виявився пласт C_{10}^B , де існує потенціал повноцінного розміщення порід присікання в пустотах виробленого простору, а також порід від проведення у пустотах виробок, що погашаються.

5. Розроблено нові концептуальні підходи до нових просторово-планувальних рішень гірничих робіт з розробки технології безвідходного

видобування вугілля з урахуванням обов'язкових невід'ємних елементів: селективне виймання вугілля з очисних та підготовчих вибоїв, повне повторне використання виїмкових виробок, оптимізація параметрів своєчасної підготовки запасів вугілля, проектування спеціальної транспортно-закладної виробки у виїмковій дільниці, створення нових елементів механізації транспортно-закладних технологічних процесів.

6. Встановлено, що коефіцієнт розпушення шахтних порід, зруйнованих в очисному вибої очисним комбайном КА-200, змінюється за логарифмічною залежністю від їх гранулометричного складу. Коефіцієнт розпушення у межах фракцій 0 – 50 мм зростає на 33%, а фракцій 50 – 140 мм – на 8%. Оперуючи даними коефіцієнтом розпушення, можна управляти гранулометричними характеристиками закладного матеріалу для досягнення максимальної щільності закладного масиву та повноти заповнення виробленого простору.

7. Визначено, що у зруйнованій породі міститься 75% фракцій розміром до 50 мм, які цілком можуть бути придатні як закладний матеріал. Встановлено, що зруйновані породи вибою в межах фракцій 0 – 140 мм мають насипну щільність $1,28 \text{ г/см}^3$, коефіцієнт розпушення – 1,7, пустотність та максимальний запас ущільнення закладного масиву – 41,9%.

8. Встановлено, що при однаковій щільності зведення закладного масиву, усадка E_6 буде тим більшою, чим менший σ_{cm} породи, що використовується в якості закладного матеріалу. Зі збільшенням щільності зведення закладного масиву, показник σ_{cm} чинить менший впливає на його компресійну характеристику. Початкова висота зведення закладного масиву і довжина закладного виробленого простору знаходяться в лінійному зв'язку між величиною присікання бічних порід m_{np}/m_6 , опором кріплення очисного комплексу P_k і технологічним зазором Δh_{mex} , зумовленим особливостями розміщення елементів закладного обладнання в компонуванні механізованого комплексу.

9. Встановлено логарифмічну залежність між ефективною потужністю пласта m_{ef} , межею міцності породи закладного матеріалу $\sigma_{ст}$ та опором кріплення очисного комплексу P_k , що дозволяє оцінити можливості безпечного вилучення запасів вугілля під поверхневими об'єктами та визначити раціональні параметри зведення й розміщення породних закладних масивів при селективній технології виїмання тонких вугільних пластів.

10. Встановлено, що розвиток величини напружень вглиб порід покрівлі з боку виробленого простору виїмкового штреку змінюється за поліноміальними залежностями, причому при рекомендованій безвідходній технології руйнівні напруження розповсюджується над органічним кріпленням на 0,3 – 0,4 м, при традиційній з повним обваленням порід – 1,2 м, а напружений стан кількісно менший на 30 – 35% при безвідходній технології і закладанні шахтних порід у вироблений простір.

11. Розроблено нову прогресивну технологію видобування високоякісного енергетичного вугілля, яка полягає у поєднанні процесів прохідницьких робіт для підготовки запасів нових виїмкових стовпів з суміжними очисними роботами у спарених лавах через інноваційний породно-транспортний та породно-закладний ланцюг, здатний розмістити у виробленому просторі лав і виробок всі утворені пусті шахтні породи та попередити їх видачу та складування на денній поверхні. Розкрито механізм ефективного логістичного функціонування породно-транспортних систем акумуляції пустих порід у підземному просторі зі збереженням рівня інтенсифікації видобутку. Розроблено нову класифікацію вибору раціональних способів закладання пустих шахтних порід та їх елементів як методичний інструмент залежно від мети їх призначення.

12. Встановлено, що при відпрацюванні запасів вугілля з розглянутої виїмкової ділянки (рівна площа виїмки) обсяг видобутку та експлуатаційна зольність вугілля при технології видобування з акумуляцією пустих порід

становить в середньому 376,5 тис. т та 15,2%, а при традиційній технології – 621,3 тис. т та 46,7%.

13. Визначено, що річний загальний очікуваний еколого-економічний ефект на один очисний вибій при заміні традиційної технології видобування на рекомендовану безвідходну технологію складе 266,0 млн грн, а загальношахтний – близько 1,0 млрд грн.

14. Визначено, що технологія безвідходного видобування вугілля дозволяє підвищити у 2,0 – 2,6 рази енергетичний потенціал видобувного вугілля у порівнянні із традиційним валовим видобуванням, який широко застосовується на шахтах України. Для умов шахти «Ім. Героїв Космосу» встановлено, що при переході на нову безвідходну технологію можливо додатково отримати до 6 ГВт/рік електроенергії із вугілля, що еквівалентно виробництву електроенергії із вугілля річного видобутку однієї шахти Західного Донбасу. При даній технології значно збільшується генерація електроенергії, підвищується ефективність роботи енергогенеруючого обладнання та знижуються їх експлуатаційні витрати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Coal Information*. (2019). Paris, France: IEA. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/coal-information-2019>
2. Spencer, D. (2019). *BP Statistical Review of World Energy Statistical Review of World*. *World Energy*, (68), 1-69.
3. Cornot-Gandolphe, S. (2019). Status of global coal markets and major demand trends in key regions. *Etudes de l'Ifri*.
4. 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.
5. Kamiński, P.K., & Kamiński, J. (2020). Coal demand and environmental regulations: a case study of the polish power sector. *Energies*, 13(6), 1521.
6. Sribna, Y., Trokhymets, O., Nosatov, I., & Kriukova, I. (2019). The globalization of the world coal market – contradictions and trends. *E3S Web of Conferences*, (123), 01044.
7. Wen, L. (2015). Shenhua's evolution from coal producer to clean energy supplier. *Cornerstone Mag*, (March), 16.
8. Wiatros-Motyka, M. (2016). *An overview of HELE technology deployment in the coal power plant fleets of China, EU, Japan and USA*. London, United Kingdom: IEA Clean Coal Centre, 75 p.
9. Wang, S. (2020). Near-zero air pollutant emission technologies and applications for clean coal-fired power. *Engineering*, 6(12), 1408-1422. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2019.10.018>
10. Писаренко, М.В. (2016). Горно-геометрическое обеспечение оценки подготовленности месторождения к освоению по показателю зольности угля. *Горная Промышленность*, 1(125), 62-64.

11. Snihur, V., Malashkevych, D., & Vvedenska, T. (2016). Tendencies of coal industry development in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 10(2), 1-8. <https://doi.org/10.15407/mining10.02.001>

12. Petlovanyi, M., Medianyuk, V., Sai, K., Malashkevych, D., & Popovych V. (2021). Geomechanical substantiation of the parameters for coal auger mining in the protecting pillars of mine workings during thin seams development. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 16(15), 1572-1582.

13. Саїк, П.Б., Лозинський, В.Г., Петльований, М.В., Сай, К.С., & Стрижаков, Є.М. (2018). Сучасний підхід до освоєння енергетичних ресурсів залишених та некондиційних запасів вугілля. *Збірник Наукових Праць Національного Гірничого Університету*, (54), 152-168.

14. Ali, B.N., Golam, R.S., & Mohammad, A.E.F. (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>

15. Ermekov, T.E., Issabek, T.K., & Issabekov, E.T. (2016). Mining robotic complex with adaptive control software (MRCACS). *Scientific Bulletin of National Mining University*, (4), 23-30.

16. 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>

17. Косарев, И.В. (2016). Инновационные направления в создании горно-шахтного оборудования, обеспечивающего повышение эффективности добычи угля. *Вестник Донецкого Национального Технического Университета*, (6), 12-18.

18. 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, 129-132. <https://doi.org/10.1201/noe0415436700.ch16>

19. Соколов, А.С., & Потапов, В.В. (2014). Техничко-экономическая эффективность технологии подземного углеобогащения. *Известия Высших Учебных Заведений. Горный Журнал*, (1), 42-46.

20. 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*, (5), 1-9.

21. 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 Інституту*, 2(41), 19-24.

22. Byzylo, V., Koshka, O., Poymanov, S., & Malashkevych, D. (2015). Resource-saving technology of selective mining with gob backfilling. *New Developments in Mining Engineering 2015: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining*, 485-491. <https://doi:10.1201/b19901-84>

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

24. Koshka, O., Yavors'kyu, 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*, 229-233. <https://doi.org/10.1201/b17547-41>

25. 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. <https://doi:10.4028/www.scientific.net/ssp.277.213>

26. Sotskov, V., Podvyhina, O., Dereviahina, N., Malashkevych, D. (2018). Substantiating the criteria for applying selective excavation of coal deposits in the Western Donbass. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 26(1), 158-164. <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/111817>

27. Курс на енергонезалежність. (2020). Режим доступу: <https://energo.dtek.com/media-center/press/kurs-na-energonezavisimost-shakhtery-dtek-energo-dobyli-bolshe-22-mln-tonn-uglya-za-2019-god/>

28. Бондаренко, В.И., Ковалевская, И.А., Симанович, Г.А., & Черватюк, В.Г. (2012). *Геомеханика нагружения крепи очистных и подготовительных выработок в слоистом массиве слабых пород*. Днепропетровск, Украина: ЛизуновПрес.

29. Petlovanyi, M.V., Lozynskyi, V.H., Saik, P.B., & Sai, K.S. (2018). Modern experience of low-coal seams underground mining in Ukraine. *International Journal of Mining Science and Technology*, 28(6), 917-923. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.05.014>

30. 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>

31. Petlovanyi, M.V., & Medianyuk, V.Y. (2018). Assessment of coal mine waste dumps development priority. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (4), 28-35. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-4/3>

32. *Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області за 2019 рік*. (2020). Дніпро, Україна: Департамент екології та природних ресурсів Дніпропетровської облдержадміністрації, 320 с.

33. Петльований, М.В., & Гайдай, О.А. (2017). Аналіз накопичення і систематизація породних відвалів вугільних шахт, перспективи їх розробки. *Геотехнічна механіка*, (136), 147-158.

34. Krasovskyi, S., Kovrov, O., & Klimkina, I. (2021). Phytoremediation of coal dumps of the Western Donbass. *Collection of Research Papers of the National Mining University*, (65), 170-178. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/65.170>
35. Petlovanyi, M., Kuzmenko, O., Lozynskyi, V., Popovych, V., Sai, K., Saik, P. (2019). Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their developing in mining industrial regions in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 13(1), 24-38. <https://doi.org/10.33271/mining13.01.024>
36. Wang, F., Jiang, B., Chen, S., & Ren, M. (2019). Surface collapse control under thick unconsolidated layers by backfilling strip mining in coal mines. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, (113), 268-277. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2018.11.006>
37. Li, M., Zhang, J., Li, A., & Zhou, N. (2020). Reutilisation of coal gangue and fly ash as underground backfill materials for surface subsidence control. *Journal of Cleaner Production*, (254), 120113. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120113>
38. Малашкевич, Д.С., & Петльованій, М.В. (2021). Аналітичні дослідження параметрів розміщення породи присікання із застосуванням горизонтально-замкнутого закладного конвеєра. *Збірник Наукових Праць*, (66), 49-62. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/66.049>
39. 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>
40. Гребенкин, С.С., Мельник, В.В., & Бондаренко, В.И. (2013). *Прогрессивные технологии подземной отработки запасов месторождений полезных ископаемых с закладкой выработанных пространств*. Донецк, Украина: ВИК, 752 с.

41. Малашкевич, Д.С. (2021). *Розробка технологічних схем селективного відпрацювання пластів із залишенням породи у виробленому просторі (на прикладі шахт Західного Донбасу)*. Дніпро, Україна: ЛізуновПрес, 270 с.
42. *Global energy statistical yearbook 2019. Coal and lignite production*. (2020). Retrieved from: <https://yearbook.enerdata.net/coal-lignite/coal-production-data.html>
43. *Statista. Solid waste in China – statistics & facts*. (2020). Retrieved from: <https://www.statista.com/topics/5655/solid-waste-in-china/>
44. Макаревич, Ю.С., Бужин, Н.К., & Ключко, В.П. (1992). *Пневмозакладочные комплексы*. Киев, Украина: Техника, 139 с.
45. Фрянов, Ф.Н. (2000). *Утилизация отходов добычи и переработки угля*. Новокузнецк, Россия: Недра, 55 с.
46. Бузило, В.И., Сулаев, В.И., Кошка, А.Г., & Яворский, А. В. (2013). *Технология отработки тонких пластов с закладкой выработанного пространства*. Днепропетровск, Украина: НГУ, 124 с.
47. Волошин А.И. Теория и практика создания закладочных вибрационно-пневматических машин. *Уголь Украины*. 2013. №3. С. 8 – 12.
48. Колоколов О. В., Медяник В. Ю., Бескровный В. И. Оставление породы в шахте как фактор повышения эффективности разработки угольных пластов на больших глубинах. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. 2006. №9. С. 26 – 30.
49. Dayang, X. (2013). Backfill practice in China coal mines. *Journal of Mines, Metals and Fuels*, (61), 225-234.
50. Huang, J., Chuyuan, T., Longfei, X., & Zheng-fu, B. (2017). Green and sustainable mining underground coal mine fully mechanized solid dense stowing-mining method. *Sustainability*, 9(8), 1418. <https://doi.org/10.3390/su9081418>

51. Zhang, Q., Zhang, J., Wu, Z., & Chen, Y. (2019). Overview of solid backfilling technology based on coal-waste underground separation in China. *Sustainability*, 11(7), 2118. <https://doi.org/10.3390/su1107211844>

52. Устройство для закладки выработанного пространства лавы: пат. 9693 Республика Беларусь: МПК E21F 15/06, № u 20130421; заявл. 20.05.13.

53. Колоколов О.В. Технология закладки выработанного пространства в шахтах и рудниках. Днепропетровск: Сич, 1997. 135 с.

54. Wang Ch., Sh. Tu. Selection of an Appropriate Mechanized Mining Technical Process for Thin Coal Seam Mining. *Mathematical Problems in Engineering*. Vol. 2015, Article ID 893232, 10 pages, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/893232>.

55. Prediction of the Height of the Water-Conducting Zone Above the Mined Panel in Solid Backfill Mining / J.Zhang et al. *Mine Water Environmental*. 2014. Vol. 33. P. 317 – 326.

56. Deformation characteristic of key stratum overburden by raw waste backfilling with fully-mechanized coal mining technology / J.X. Zhang et al. *J China Coal Soc*. 2010. Vol. 35(3). P. 357 – 362.

57. Strata movement control due to bulk factor of backfilling body in fully mechanized backfilling mining face / Y.L. Huang. *J Min Saf Eng*. 2012. Vol. 29(2). P. 162 – 167.

58. Strata movement of dense backfilling mining / X.X. Miao et al. *J. China Univ. Min. Technol*. 2012. Vol. 41. P. 863 – 867.

59. Control principle and technology of final compression ratio of backfilling materials / Y.J. Zhou et al. *J. Min. Saf. Eng*. 2012. Vol. 29. P. 351 – 356.

60. Strata movement control due to bulk factor of backfilling body in fully mechanized backfilling mining face / Y.L. Huang. *J. Min. Saf. Eng*. 2012. Vol. 29. P. 126 – 167.

61. Study on waste-filling method and technology in fully-mechanized coal mining / X.X. Miao. *J. China University of Mining. Technology*. 2010. Vol. 35. P. 1 – 6.

62. Compression ratio design and research on lower coal seams in solid backfilling mining under urban areas / H.Z. Li. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2016. Vol. 53. P. 125 – 131.

63. Негрей, С.Г. (2016). Испытания породных полос с ограниченной податливостью. *Вісті Донецького Гірничого Інституту*, (2), 54-60.

64. Zhang, J.X., Deng, X.J., Zhao, X., Ju, F., & Li, B.Y. (2016). Effective control and performance measurement of solid waste backfill in coal mining. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 31(2), 91-104. <https://doi.org/10.1080/17480930.2015.1120384>

65. Deng, X., Zhang, J., de Wit, B. W., & Ju, F. (2016). Pressure propagation characteristics of solid waste backfilling material during compaction and its applications in situ. *Geotechnical and Geological Engineering*, 34(5), 1631-1642. <https://doi.org/10.1007/s10706-016-0070-2>

66. Petlovanyi, M.V., Zubko, S.A., Sai, K.S., & Khalymendyk, O.V. (2021). Structural bonds development in the backfill mass when changing the dispersion of the binding material. *Energy- and Resource-Saving Technologies of Developing the Raw-Material Base of Mining Regions: multi-authored monograph*. Petroșani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 294-312. <https://doi.org/10.31713/m1018>

67. Petlovanyi, M., & Mamaikin, O. (2019). Assessment of an expediency of binder material mechanical activation in cemented rockfill. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14(20), 3492-3503.

68. Petlovanyi, M.V., Zubko, S.A., Popovych, V.V., & Sai, K.S. (2020). Physicochemical mechanism of structure formation and strengthening in the backfill massif when filling underground cavities. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Technologii*, (6), 142-150. <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2020-133-6-142-150>

69. Bai, E., Guo, W., Tan, Y., & Yang, D. (2018). The analysis and application of granular backfill material to reduce surface subsidence in China's northwest coal mining area. *PLOS ONE*, 13(7), e0201112. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201112>

70. Закладочные работы в шахтах: справочник. / под ред. Д.М. Бронникова, М.Н. Цыгалова. Москва: Недра, 1989. 400 с.

71. 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. <https://doi.org/10.1155/2021/6693888>

72. 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. <https://doi.org/10.1007/s11771-015-2716-2>

73. 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. <https://doi.org/10.1002/ese3.307>

74. 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. <https://doi.org/10.3390/en11020288>

75. Yang, S., Song, G., & Yang, J. (2020). An analytical solution for the geometric broken characteristics of the overlying strata and its physical modeling study in longwall coal mining. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(3). <https://doi.org/10.1007/s12517-020-5169-3>

76. 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.
<https://doi:10.4028/www.scientific.net/ssp.277.213>

77. 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 2015: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining*, 133-138. <https://doi.org/10.1201/b19901-25>

78. Zhang, J., Zhang, Q., Sun, Q., Gao, R., Germain, D., & Abro, S. (2015). Surface subsidence control theory and application to backfill coal mining technology. *Environmental Earth Sciences*, 74(2), 1439-1448. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4133-09>

79. 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*, 229-233. <https://doi.org/10.1201/b17547-41>

80. 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. <https://doi.org/10.3390/su12041528>

81. 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. <https://doi.org/10.3390/land10010023>

82. 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. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020101030>

83. Gautam, A.D., & Yadu, L.K. (2021). Study on the characteristics of overburden dump of the coal mines. *Transportation, Water and Environmental Geotechnics*, 63-71. https://doi.org/10.1007/978-981-16-2260-1_6

84. 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. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11055-w>

85. Buzylo, V., Pavlychenko, A., & Borysovska, O. (2020). Ecological aspects of filling of worked-out area during underground coal mining. *E3S Web of Conferences*, (201), 01038. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020101038>

86. Darvishi, A., Ataei, M., & Rafiee, R. (2020). Investigating the effect of simultaneous extraction of two longwall panels on a maingate gateroad stability using numerical modeling. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, (126), 104172. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2019.104172>

87. Duan, H., Sun, M., & Li, Q. (2019). A new gob-side entry retaining approach with reinforced filling gangue wall in thin coal seam. *Geotechnical and Geological Engineering*, 38(1), 883-895. <https://doi.org/10.1007/s10706-019-00874-5>

88. 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. <https://doi.org/10.1504/ijogct.2018.093132>

89. Yang, X., Mao, W., Wang, E., Sun, Y., Wang, J., & He, M. (2019). Mechanism and control methods of roof deformations in gob-side entry retention by roof cutting under medium-thick coal seams. *Geotechnical and Geological Engineering*, 38(1), 265-282. <https://doi.org/10.1007/s10706-019-01015-8>

90. Zhang, M., Zhang, Y., Ji, M., Chen, Z., & Zhu, S. (2019). A successful case study on the reuse of gob side entry retaining by non-coal pillar mining in Gaohe mine. *Journal of Mines, Metals and Fuels*, 67(2), 41-50.

91. 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>

92. Малашкевич, Д.С., Петльований, М.В., Сай, К.С., & Козій, Є.С. (2020). Кількісно-якісна оцінка запасів вугілля як важливий етап обґрунтування доцільності їх селективного відпрацювання. *Вчені Записки Таврійського Національного Університету Імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні Науки*, 31(70(5)), 158-166. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/26>

93. Kovalevs'ka, I., Symanovych, G., & Fomychov, V. (2013). Research of stress-strain state of cracked coal-containing massif near-the working area using finite elements technique. *Annual Scientific Technical Collection – Mining of Mineral Deposits*, 159-164. <https://doi.org/10.1201/b16354-27>

94. Shashenko, O., Shapoval, V., Khalymendyk, O., Andrieiev, V., Arbuzov, M., Hubar, O., & Markul, R. (2019). Features of the nonlinear calculation of the stress-strain state of the “rock massif – excavation support” system taking into account destruction. *Transport Means 2019: Proceedings of the 23rd International Scientific Conference*, (3), 1356-1363.

95. Солодянкин, А.В., & Дудка, И.В. (2016). Исследование влияния очистных работ на устойчивость участковых выработок в условиях ОП «Шахта «Партизанская» ГП «Антрацит». *Вісник Криворізького національного університету*, (41), 102-107.

96. Халимендик, Ю.М., Барышников, А.С., Бруй, А.В., Воронин, С.А., & Ефремов, А.В. (2014). Эффективность применения канатных анкеров в условиях слабых боковых пород. *Форум Гірників*, (2), 171-182.

97. Petlovanyi, M., Malashkevych, D., Sai, K., Bulat, Ie., & 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. <https://doi.org/10.33271/mining15.04.122>

98. Bondarenko, V., Kovalevska, I., Symanovych, H., Barabash, M., & Snihur, V. (2018). Assessment of parting rock weak zones under the joint and downward mining of

coal seams. *E3S Web of Conferences*, (66), 03001.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186603001>

99. Khomenko, O., Kononenko, M., & Petlyovanyy, M. (2014). Investigation of stress-strain state of rock massif around the secondary chambers. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, 241-245.
<https://doi.org/10.1201/b17547-43>

100. Kovalevska, I., Symanovych, H., Barabash, M., & Snihur, V. (2017). Research into rock pressure manifestations in interstratal rocks during descending and simultaneous mining of C₉ and C₁₀^{Top} coal seams. *Mining of Mineral Deposits*, 11(1), 50-56.
<https://doi.org/10.15407/mining11.01.050>

101. Shashenko, O. M., Hapieiev, S. M., Shapoval, V. G., & Khalymendyk, O. V. (2019). Analysis of calculation models while solving geomechanical problems in elastic approach. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (1), 28-36.
<https://doi:10.29202/nvngu/2019-1/21>

102. Симанович, А.М. (1973). Совершенствование способов охраны подготовительных выработок. Донецк: Донбасс, 121 с.

103. Shashenko, A., Gapieiev, S., & Solodyankin, A. (2009). Numerical simulation of the elastic-plastic state of rock mass around horizontal workings. *Archives of Mining Sciences*, 54(2), 341-348.

104. Iordanov, I., Novikova, Y., Simonova, Y., Yefremov, O., Podkopayev, Y., & Korol, A. (2020). Ex-perimental characteristics for deformation properties of backfill mass. *Mining of Mineral Deposits*, 14(3), 119-127.
<https://doi.org/10.33271/mining14.03.119>

105. Соцков, В.А., Малашкевич, Д.С., & Русских, В.В. (2016). Анализ влияния частичной закладки выработанного пространства на НДС углевмещающего массива при селективной отработке тонких угольных пластов. *Геотехнічна Механіка*, (129), 54-64.

106. Петльований, М.В., & Сай, К.С. (2021). Моделювання напруженого стану закладного масиву при різних фізико-механічних властивостях. *Вісті Донецького Гірничого Інституту*, 1(48), 7-18. <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2021-1-7-18>

107. Малашкевич, Д.С., Петльований, М.В., Постол, Н.О., & Постол, М.О. (2020). Аналіз якості видобутого кам'яного вугілля та шляхи її підвищення на шахтах Західного Донбасу. *Збірник Наукових Праць Національного Гірничого Університету*, (62), 53-64. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/62.053>

108. Петльований, М.В. (2020). Інтенсифікація використання шахтних порід у закладних сумішах: екологічні та технологічні наслідки. *Фізико-Технічні Проблеми Гірничого Виробництва*, (22), 103-117.

109. Петлёванный, М.В., & Кузьменко, А.М. (2017). Разрушение закладочного массива в зависимости от технологии его возведения. *Збірник Наукових Праць Національного Гірничого Університету*, (52), 159-166.

110. Петлёванный, М.В., Кузьменко, А.М., Сай, Е.С., & Филоненко, А.В. (2019). Взаимосвязь технологических параметров формирования закладочного массива с его качественными характеристиками. *Фізико-Технічні Проблеми Горного Производства*, (21), 91-105.

111. Малашкевич, Д.С., Петльований, М.В., & Сай, К.С. (2021). Визначення раціональних параметрів зведення закладних масивів при селективній технології виймання тонких вугільних пластів. *Наукові праці ДонНТУ. Серія «Гірничо-геологічна»*, 1(25)-2(26), 28-36.

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

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

114. Grebenkin, S.S., Mel'nik, V.V., & Bondarenko, V.I. (2013). *Progressivnyye*

tekhnologii podzemnoy otrabotki zapasov mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh s zakladkoю vyrabotannykh prostranstv. Donetsk, Ukraina: VIK, 752 s

115. 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*: пат. 124528 Україна: МПК E21C 41/18. №a201808443; заявл. 03.08.2018; опубл. 06.10.2021; Бюл. №3. – 4 с.

116. Бондаренко, В.І., Малашкевич, Д.С., Кошка, О.Г., Медяник, В.Ю., & Пойманов, С.М. (2019). *Спосіб селективної виїмки корисних копалин із закладкою виробленого простору*: пат. 133713 Україна: МПК E21F 15/00, E21C 41/16. №u201809105; заявл. 03.09.2018; опубл. 25.04.2019; Бюл. №8. – 4 с.

117. Бондаренко, В.І., Малашкевич, Д.С., Пойманов, С.М., Петльований, М.В., & Прокопенко, К.М. (2021). *Спосіб роздільного виймання вугілля*: пат. 147809 Україна: МПК E21C 37/00. №u202007488; заявл. 24.11.2020; опубл. 16.06.2021; Бюл. №24. – 4 с.

118. Малашкевич, Д.С., Петльований, М.В., & Пойманов, С.М. (2021). *Спосіб закладки виробленого простору*: пат. 147810 Україна: МПК E21F 15/06. №u202007389; заявл. 30.11.2020; опубл. 16.06.2021; Бюл. №24. – 4 с.

119. СОУ 10.1.00185755.001-2004. (2004). *Вугілля буре, кам'яне та антрацит. Методика розрахунку показників якості*. Київ, Україна: Мінпаливенерго України.

120. Филиппенко Ю.Н., Рудавина Е.В., Чернявский Н.В. Влияние зольности на теплоту сгорания, выход летучих и содержание серы в энергетических углях Украины. *Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии*. 2010. №1. С. 44-47.

121. Випанасенко С.І., Овсяников В.В. Забезпечення управління якістю палива для теплових електростанцій. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2012. №37. С. 104-111.

122. Языков Н.А., Симонов А.Д., Яковлев В.А. Расчетный метод оценки нижней теплоты сгорания твердых топлив на основе данных технического анализа. *Журнал Сибирского федерального университета. Химия*. 2018. №11(1). С. 93-109.

123. Козлов В.А. Влияние химического состава золы угля на эксплуатационные параметры топок. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2012. №5. С. 238-247.

124. Пілова К. Визначення конкуренто-спроможності кам'яного вугілля за вартістю корисного тепла. *Схід*. 2011. № 3(110).

125. Пилова Е.П. Формирование цены на уголь с учетом его энергетической ценности. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2007. №11. С. 188-191.

126. Майдуков Г.Л., Болбат В.Н., Григорюк М.Е., Майдукова С.С., Пономаренко С.В. Рентабельность угольной продукции: условия формирования и инновационный потенциал. *Экономика промышленности*. 2012. Т. 1-2, №57-58. С. 215-231.

127. Макортецький М.М., Перов М.О., Новицький І.Ю. Математична модель оптимальної структури вугільної продукції для ТЕС України із врахуванням екологічних обмежень. *Проблеми загальної енергетики*. 2017. №2. С. 40-48.

128. Park S., Zaib Q., Park H.S. Characterization and optimization of calorific value of low grade coal by statistical experiment and modelling. *Environmental Engineering Research*. 2021. №26(2). 200070. DOI:10.4491/eer.2020.070

129. Banković M.V., Stevanović D.R., Pešić M.D., Tomašević A.Đ., Kolonja L.R. Improving efficiency of thermal power plants through mine coal quality planning and control. *Thermal Science*. 2018. №22(1B). P. 721-733. DOI:10.2298/TSCI170605209B

130. Yu L., Gai K., Liu L. Analysis and research on coal quality in Hetaoyu coal mine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. №859(1). 012006. DOI:10.1088/1755-1315/859/1/012006

131. Dejan S., Božo K., Ranka S., Dinko K., Mirjana B. Application of stochastic models for mine planning and coal quality control. *Thermal Science*. 2013. №18(4). P. 1361-1372. DOI:10.2298/tsci130201031s

132. Cai F., Yang L., Yuan Y., Taghizadeh-Hesary F. The application of an improved fuzzy comprehensive evaluation in coal quality rating: The case study of China. *Frontiers in Energy Research*. 2022. №9. 752472. DOI:10.3389/fenrg.2021.752472

133. Tang Y., Li R., Wang S. Research progress and prospects of coal petrology and coal quality in China. *International Journal of Coal Science & Technology*. 2020. №7(2). P. 273-287. DOI:10.1007/s40789-020-00322-3

134. 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. 01013. DOI:10.1051/e3sconf/202020101013

135. Малашкевич Д.С. *Розробка технологічних схем селективного відпрацювання пластів із залишенням породи у виробленому просторі (на прикладі шахт Західного Донбасу)*: монографія. Дніпро: ЛізуновПрес, 2021. – 270 с.

136. Бондаренко В.И., Русских В.В., Малашкевич Д.С., Соцков В.А. Технологическая схема и оборудование для селективной добычи угля длинными очистными забоями. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2017. №2. С. 19-24.

137. 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

ДОДАТОК А

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

м. Дніпро

07 грудня 2022 р.

**ВИТЯГ З ПРОТОКОЛУ № 6
засідання Науково-технічної ради**

Присутні: *Члени Науково-технічної ради:* проф. Павличенко А.В., перший проректор, голова Ради; проф. Дичковський Р.О., професор кафедри гірничої інженерії та освіти, заступник голови Ради; доц. Нікітенко І.С., доцент кафедри загальної та структурної геології, учений секретар Ради; чл.-кор. НАН України, проф. Беншта О.С., професор кафедри електроприводу; проф. Гнатушенко В.В., завідувач кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії; проф. Легеза Ю.О., професор кафедри цивільного, господарського та екологічного права; проф. Вагонова О.Г., завідувач кафедри прикладної економіки та публічного управління; проф. Таран І.О., завідувач кафедри управління на транспорті; проф. Шабанова Ю.О., завідувач кафедри філософії і педагогіки; проф. Кузьменко О.М., професор кафедри гірничої інженерії та освіти; проф. Папаїка Ю.А., завідувач кафедри електроенергетики; Олішевський І.Г., голова Ради молодих вчених, асистент кафедри безпеки інформації та телекомунікацій; Міщенко В.С., студент.

Усього 13 з 15 членів Науково-технічної ради

СЛУХАЛИ: Доповідь про результати виконання завершеної науково-технічної (експериментальної) розробки молодих вчених за державним замовленням: «Розробка прогресивних технологій повноцінного вилучення енергетичного вугілля з акумуляцією пустих порід у підземному просторі». Доповідач – керівник тематики, к.т.н. Малашкевич Д.С.

УХВАЛИЛИ:

1. Звіт керівника науково-технічної (експериментальної) розробки молодих вчених «Розробка прогресивних технологій повноцінного вилучення енергетичного вугілля з акумуляцією пустих порід у підземному просторі» к.т.н. Малашкевича Д.С. схвалити.

2. Вважати науково-технічну (експериментальну) розробку молодих вчених «Розробка прогресивних технологій повноцінного вилучення енергетичного вугілля з акумуляцією пустих порід у підземному просторі» під керівництвом к.т.н. Малашкевича Д.С. завершеною та виконаною у повному обсязі.

Голова
Науково-технічної ради



Артем ПАВЛИЧЕНКО

Вчений секретар

Ігор НІКІТЕНКО

РЕЦЕНЗІЯ

на науково-дослідну роботу з теми ГП-502 (проект молодих вчених)

«Розробка прогресивних технологій повноцінного вилучення енергетичного вугілля з акумуляцією пустих порід у підземному просторі»

Актуальність теми досліджень. 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. 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 40-50%. 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 маловідходності процесу видобутку. Зниження собівартості вугілля за рахунок створення мало- або 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 імпорتنих поставок із США, ПАР та інших країни.

Створення технології видобування вугілля з акумуляцією пустих порід у виробленому просторі дозволить суттєво покращити техніко-економічні показники шахт й екологічний стан довкілля у гірничодобувних регіонах.

Характеристика отриманих наукових та практичних результатів.

1. Досліджено тенденцію неухильного погіршення якості видобутого енергетичного вугілля на провідних вугільних шахтах, яка пояснюється зменшенням геологічної потужності пластів (до 0,83 м) та необхідністю виконання присікання порід підшви пласта при веденні очисних робіт.

2. Аналіз відомих вітчизняних і закордонних розробок із залишення шахтних порід показав здебільшого наявність рішень щодо їх закладання у вироблений простір шахт на рівні 20-40%. Проте, на сьогодні відсутні дієві та ефективні технологічні рішення щодо створення технологій видобування вугілля з акумуляцією порід у виробленому просторі.

3. Запропоновано алгоритм аналітичних досліджень визначення виходу порід під час ведення очисних і прохідницьких робіт, а також визначення перспективних обсягів підземних пустот для розміщення утворених пустих порід за календарний рік. Розроблено комбіновану методику дослідження гранулометричного складу зруйнованих порід присікання на основі шахтних і лабораторних досліджень із використанням інформаційних технологій. Розроблено та обґрунтовано комп'ютерну модель для розрахунку напруженого стану геомеханічної системи центрального закладного штреку.

4. Встановлено, що найбільше надходження всіх пустих порід на поверхню відбувається внаслідок виконання очисних робіт із присіканням порід підшви – 39% та проведення підземних гірничих виробок для підготовки нових запасів вугілля до відпрацювання – 33%, решта джерел, у межах 2-16%. Встановлено, що підземні пустоти мають колосальний потенціал до розміщення порід від очисних, прохідницьких та ремонтних робіт, обсяг утворення яких у 2,8-4,8 разів перевищує обсяг утворення порід.

5. Розроблено нові концептуальні підходи до нових просторово-планувальних рішень гірничих робіт з технології видобування вугілля з акумуляцією порід при урахуванні обов'язкових невід'ємних елементів.

6. Встановлено, що коефіцієнт розпушення шахтних порід, зруйнованих в очисному вибої очисним комбайном КА-200, змінюється за логарифмічною залежністю від їх гранулометричного складу. Визначено, що у зруйнованій породі міститься 75% фракцій розміром до 50 мм, які цілком можуть бути придатні як закладний матеріал. Встановлено, що зруйновані породи вибою в межах фракцій 0-140 мм мають насипну щільність $1,28 \text{ г/см}^3$, коефіцієнт розпушення – 1,7, пустотність та максимальний запас ущільнення закладного масиву – 41,9%.

7. Встановлено, що при однаковій щільності зведення закладного масиву, усадка E_e буде тим більшою, чим менший σ_{cm} породи, що використовується в якості закладного матеріалу. Встановлено логарифмічну залежність між ефективною потужністю пласта m_{ef} , межею міцності породи закладного матеріалу σ_{cm} та опором кріплення очисного комплексу P_k .

8. Розкрито механізм ефективного логістичного функціонування породотранспортних систем акумуляції пустих порід у підземному просторі зі збереженням рівня інтенсифікації видобутку. Розроблено нову класифікацію

вибору раціональних способів закладання пустих шахтних порід та її елементів як методичний інструмент залежно від мети їх призначення.

9. Встановлено, що при застосуванні прогресивної технології із акумуляцією пустих порід у підземному просторі шахт у межах відпрацьованої площі запасів пласта C_{10}^6 загальна експлуатаційна зольність вугілля, що видається з очисного та прохідницького вибоїв, складає 15,2% в порівнянні з традиційною технологією видобування забезпечує зниження експлуатаційної зольності на 31,5% або в 3 рази.

10. Визначено, що технологія видобування вугілля з акумуляцією порід у виробленому просторі дозволяє підвищити у 2,0-2,6 рази енергетичний потенціал видобутого вугілля у порівнянні із традиційним валовим видобуванням, який широко застосовується на шахтах України.

Загальний висновок. Вважаю, що наукова науково-дослідна робота з теми ГП-502 «Розробка прогресивних технологій повноцінного вилучення енергетичного вугілля з акумуляцією пустих порід у підземному просторі» має закінчений характер, переконливу наукову новизну і практичну значимість. Робота виконана на високому професійному рівні. Результати досліджень, приведені в даному звіті, широко апробовані і викладені в достатній кількості публікацій, зокрема у закордонних виданнях англійською мовою, що позитивно впливатиме на міжнародний імідж авторів як досвідчених молодих науковців.

Рецензент

Директор інституту природокористування

НТУ «Дніпровська політехніка»,

Доктор технічних наук, професор



Володимир БУЗИЛО
Володимир БУЗИЛО