

УДК 622.324.5+544.032

<https://doi.org/10.31474/1999-981X-2022-2-67-77>

Д.С. Малашкевич
М.В. Петльований
К.С. Сай
П.Б. Саїк
І.Ю. Клименко

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ВУГІЛЛЯ ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ МАЛОПОТУЖНИХ ЗАПАСІВ ШАХТ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ

Мета. Визначення технологічно досяжних резервів підвищення якості видобутого вугілля та енергетичної цінності викопного палива малопотужних запасів шахт Західного Донбасу на основі існуючих методів розрахунку, з урахуванням впливу засмічення бокових порід при традиційній та селективній технології видобування вугілля.

Методика. У роботі застосовані загальні наукові методи аналізу та синтезу, чисельні методи розрахунку теплової енергетичної здатності вугілля.

Результати. Аналіз кількісного впливу засмічення боковими породами вугілля на величину питомої теплоти згоряння гірничої маси показав, що при традиційному валовому видобуванні зменшення материнської зольності A_m на 1%, за умови $t_{бн}/t_в = const$, призводить до збільшення теплотворної здатності гірничої маси на 72 ккал/кг. При цьому, при однаковій материнській зольності пласта A_m , зниження відношення $t_{бн}/t_в$ на 0,05 призводить до зростання теплотворної здатності гірничої маси, що видобувається, в середньому на 400 ккал/кг. При селективній технології видобування зменшення A_m на 1%, за умови $t_{бн}/t_в = const$, призводить до росту теплотворної здатності вугілля в середньому на 40 ккал/кг. Зменшення відносної величини $t_{бн}/t_в$ на 0,05 призводить до підвищення теплотворної здатності вугілля в середньому на 15 ккал/кг при постійній материнській зольності A_m . Встановлено, що при переведенні шахт Західного Донбасу на прогресивну селективну технологію підвищується якість видобутого вугілля, загальний річний тепловий енергетичний потенціал викопного палива збільшується у 1,8 рази і досягає 8,97 Ткал на рік.

Практичне значення. Результати досліджень можуть бути використані при обґрунтуванні параметрів раціональної технології, спрямованої на підвищення якості вугілля, що видобувається, збільшення ступеня вилучення запасів з надр, економічності та екологічності вугледобувних, вуглезабагачувальних та енергогенеруючих підприємств.

Ключові слова: запаси вугілля, зольність, теплота згоряння, селективна технологія

Вступ.

Сьогодні перед Україною стоять завдання виходу на шлях сталого розвитку і мінімізації енергетичної залежності від країн-сусідів та імпортих енергетичних ресурсів як гарантії суверенітету нашої держави. «Зелена» енергетика, яка активно розвивається в рамках стратегії з декарбонізації економіки, поки що не здатна надійно та ефективно працювати в умовах нестабільності зовнішнього середовища, нестачі великих накопичувачів енергії, мінливих погодних умов та ін. [1]. Через це, для покриття провалів генерації сонячних та вітряних потужностей, необхідні стабільні джерела, якими залишаються традиційні теплові електростанції.

У той же час, незважаючи на гучні заяви експертів з приводу скорочення споживання вугілля, динаміка його попиту в останні роки свідчить про протилежне. Так, світовий обсяг споживання вугілля збільшився на 5,7% [2], а ціна енергетичного вугілля на ринку зросла з 58 до 430 \$ США/т

протягом останніх двох років [3]. При цьому частка вугілля у глобальному енергетичному споживанні, як і раніше, залишається суттєвою і становить 27% [2].

Тому в нинішніх умовах, для нашої країни, вугілля залишається надійною паливо-енергетичною сировиною, що забезпечує стійку та безпечну роботу енергетичного сектора. Однак на тлі позитивних змін у частині розробки та впровадженні у гірничодобувній промисловості маловідходних та екологічно чистих технологій, зростанні техніко-економічних і екологічних вимог до виробництва, слід звернути увагу на якість вугільної продукції, що видобувається.

Так, у більшості розвинутих країн світу, знижується попит на споживання низькокалорійного вугілля [4], а основні угоди купівлі-продажу енергетичного вугілля на світовому ринку проводяться на умовах поставки продукції з калорійністю понад 5000 ккал/кг [5]. У низці азійських країн середня калорійність вугілля, що

споживається тепло- та електрогенеруючими підприємствами складає 6000 ккал/кг [6]. Цьому сприяють діючі державні регулювання країн на перевезення високозольної продукції. Таким чином, в умовах сучасних тенденцій мінімізації впливу на навколишнє середовище, розвитку економіки замкнутого циклу, якісні показники енергетичного палива мають першорядне значення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Вирішенню питань підвищення споживчої якості вугільної продукції приділено значну увагу вітчизняних і закордонних дослідників. У роботах авторів [7-9] представлені розрахункові методи визначення теплоти згоряння, виходу легких речовин і вмісту сірки енергетичного вугілля. У роботі [10] досліджується вплив зольності, вологи, хімічного складу золи збагаченого вугілля на ефективність його спалювання і експлуатацію теплових електростанцій. У роботах [11-13] обґрунтовано економічну та технологічну доцільність використання в енергетиці збагаченого палива. Запропоновано підхід до корегування ціни вугілля, який забезпечує врахування теплоенергетичних властивостей палива. Авторами роботи [14] запропоновано математичну модель, що дозволяє проводити розрахунки обсягів вугільної продукції необхідного типу з прогнозними показниками якості. В тому числі, у роботах закордонних авторів [15-20] приведені методи розв'язування оптимізаційних моделей вибору і контролю якості видобутого вугілля, що ґрунтуються на визначальних теплофізичних параметрах енергетичного палива.

Однак у процесі видобування вугільний пласт піддається механічному руйнуванню та засміченню боковими породами, тому питома теплота згоряння видобутого вугілля, суттєво відрізняється від показників вугілля у пластах, які приймаються при розрахунках. Технологічна енергетична цінність вугілля формується у процесі виймання вугілля та обумовлена природньою характеристикою вугільного пласта, застосованою очисною технікою та технологією. Традиційна валова очисна технологія, в умовах відпрацювання малопотужних запасів Західного Донбасу, не дозволяє отримувати паливо високої якості, що призводить до зниження ефективності його використання [21]. Розроблені сучасні

прогресивні схеми селективного видобування вугілля сприяють покращенню його якості та акумулюванню шахтних пустих порід у підземному просторі, дозволяють повноцінно вилучати вугілля з родовищ та поставляти на теплові електростанції вугілля з мінімальною зольністю для ефективної генерації енергії, минаючи, при певних параметрах, складний і ресурсозатратний процес збагачення високозольної гірничої маси, основні параметри і технологічні аспекти якої детально описані в низці наукових робіт [22-24].

Таким чином, **метою роботи** є визначення технологічно досяжних резервів підвищення якості видобутого вугілля та енергетичної цінності викопного палива малопотужних запасів шахт Західного Донбасу на основі існуючих методів розрахунку, з урахуванням впливу засмічення бокових порід при традиційній та селективній технологіях видобування.

Виклад основного матеріалу.

Для того, щоб повніше оцінити резерви до підвищення енергетичного потенціалу вугільної продукції шахт Західного Донбасу, на першому етапі досліджень проведемо сучасний аналіз гірничотехнічних умов розробки, та встановимо основні тенденції зміни експлуатаційної і материнської зольності вугілля, кількості лав, що працюють з присіканням бокових порід, а також обсяги видобутку рядового вугілля на даних підприємствах.

В даний час шахти Західного Донбасу є флагманом вугільної галузі України. За 2021 рік вуглевидобувні підприємства даного регіону забезпечили видобуток 16,3 млн т рядового вугілля, що складає 55,4% від загального видобутку в Україні. Однак специфічні гірничо-геологічні умови експлуатації запасів викликають певні складнощі при веденні гірничих робіт, що в свою чергу впливає на якісні характеристики енергетичного палива, що видобувається шахтами.

Близько 75% запасів вугілля зосереджено в пластах потужністю менше 1 м, при цьому більш продуктивні запаси з відносно сприятливими умовами вже відпрацьовані або практично вичерпані. Проведена кількісна оцінка запасів вугілля показує, що на частку пластів з геологічною потужністю 0,50 – 0,54 м припадає 24,5%; 0,55 – 0,59 м – 17,2%; 0,60 – 0,70 м – 18,5%;

0,71 – 0,8 м – 14,7%; 0,81 – 0,9 м – 12,5%; 0,91 – 1,0 м – 9,4%; > 1 м – 3,2% від балансових запасів вугілля, що знаходяться в межах полів шахт Західного Донбасу (рис. 1).

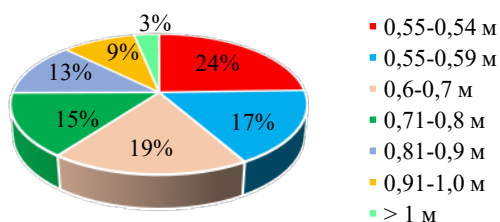


Рис. 1. Розподіл балансових запасів шахт Західного-Донбасу за геологічною потужністю вугільних пластів

Це найнижчі показники серед вугільних родовищ, які експлуатуються в інших гірничодобувних країнах світу. Досвід

роботи вітчизняних вугільників у цих умовах унікальний для світової практики.

Аналіз проведених досліджень за роботою очисних вибоїв в умовах шахт Західного Донбасу показав, що основний діапазон виймальної потужності в лавах припадає на величину 1,0 – 1,09 м. При цьому основна кількість очисних вибоїв у 2021 році працювала на пластах з геологічною потужністю $m_z = 0,6 - 0,99$ м в межах виймкових стовпів, з послідовним зниженням їх кількості на пластах з геологічною потужністю $m_z > 0,99$ м. В той же час, дивлячись на кількість лав за розподілом по показнику виймальної потужності m_e , то відбувається різке скорочення кількості таких спостережень n зі збільшенням величини m_e у очисних вибоях, що відображено на гістограмах рис. 2.

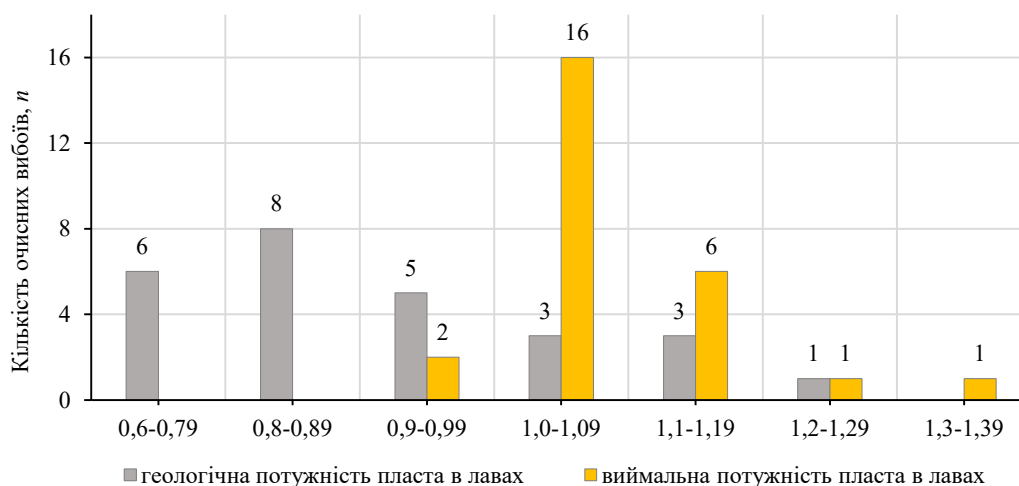


Рис. 2. Гістограми розподілу кількості лав за виймальною потужністю та геологічною потужністю пласта в очисних вибоях

Таким чином, близько 70% видобутку вугілля надходить з лав, які працюють з присіканням бокових порід, що значно збільшує експлуатаційну зольність видобутого вугілля. За показниками роботи шахт Західного Донбасу у 2021 році, середня експлуатаційна зольність видобутого вугілля склала 42,8%. Для порівняння, материнська зольність пластів складала від 6,2 до 11,8%.

На другому етапі досліджень, враховуючі дані особливості експлуатації запасів, на основі наявної усередненої статистичної інформації стосовно складу та характеристик вуглевмісних порід для умов Західного Донбасу, проведено аналіз кількісного впливу засмічення боковими породами вугілля на величину питомої

теплоти згоряння гірничої маси при традиційній (валовій) та селективній технології видобування вугілля.

Для визначення питомої теплоти згоряння гірничої маси виразимо рівняння з урахуванням впливу засмічення бокових порід через величину шару бокових порід $m_{\delta n}$, що бере участь у засміченні вугілля в процесі його видобування в очисному вибою. Таким чином величина $m_{\delta n}$ відображає кількість породи, яка присікається виконавчим органом та обвалюється при роботі очисного комплексу, що впливає на експлуатаційну зольність та, відповідно, на кількість корисного тепла, яку можна отримати з гірничої маси за прийнятою технологією. Питому теплоту згорання

гірничої маси при розглянутих технологіях видобування можна отримати за виразами:

– при традиційній технології видобування:

$$Q_{n1} = Q_{\epsilon} \frac{100 - \left(A_M + \frac{m_{\delta n} \cdot \gamma_{\delta n} (A_{\delta n} - A_M)}{m_{\delta n} \cdot \gamma_{\delta n} + m_z \cdot \gamma_{\epsilon}} \right)}{100} - 6W; \quad (1)$$

– при селективній технології видобування:

$$Q_{n2} = Q_{\epsilon} \frac{100 - \left(A_M + \frac{m_{\delta n} \gamma_{\delta n} (A_{\delta n} - A_M) - (1 - k_n)}{m_{\delta n} \gamma_{\delta n} (1 - k_n) + m_z \gamma_{\epsilon}} \right)}{100} - 6W, \quad (2)$$

де: Q_{ϵ} – вища теплота згоряння вугілля, ккал/кг; A_M – материнська зольність вугілля, %; $A_{\delta n}$ – середня зольність бокових порід, %; $m_{\delta n}$ – величина шару бокових порід, що бере участь у засміченні вугілля; m_z – геологічна потужність пласта, м; γ_{ϵ} та $\gamma_{\delta n}$ – відповідно об'ємна вага вугілля і породи, кг/м³; k_n – коефіцієнт, що враховує засмічення видобутого вугілля за рахунок неповного завантаження відбитої породи на забійний конвеєр при селективному вийманні; W – вологість, %.

В якості вихідних параметрів при розрахунках прийняті такі характеристики вуглевмісних порід: середня зольність бокових порід $A_{\delta n} = 97\%$; середній вихід летких речовин $V^{daf} = 42\%$; елементний склад горючої маси $C = 80,0\%$, $H = 6,0\%$, $N = 1,2\%$, $O = 12,1\%$; загальна сірка $S_t^d = 1,7$; об'ємна вага вугілля $\gamma_{\epsilon} = 1,45$ кг/м³; об'ємна вага породи $\gamma_{\delta n} = 2,5$ кг/м³; вологість $W = 8\%$; коефіцієнт корисної дії теплової електростанції – 0,45. В якості основних параметрів, що варіюються, прийнято: A_M – материнську зольність вугілля; $m_{\delta n}$ – величину шару порід, залучену у засміченні вугілля в процесі його видобування в очисному вибою, виражену у співвідношенні до виймальної потужності пласта m_{ϵ} .

Для початку проведемо аналіз впливу показника $m_{\delta n}/m_{\epsilon}$ та материнської зольності вугілля A_M на енергетичні характеристики видобутого палива при традиційній очисній технології. Використовуючи вираз (1), побудовані графіки залежності зміни показників експлуатаційної зольності вугілля та теплоти згоряння видобутого палива при материнській зольності пласта $A_M = 6\%$, $A_M = 8\%$, $A_M = 10\%$ та $A_M = 12\%$ (рис. 3).

Побудовані графіки (рис. 3) демонструють лінійну залежність другого порядку. Аналіз графіків показує, що зі

зниженням величини співвідношення $m_{\delta n}/m_{\epsilon}$ відбувається зниження експлуатаційної зольності A_{ϵ} та, відповідно, збільшується теплотворна здатність видобутої гірничої маси Q_{n1} . Згідно отриманих даних, в межах варіювання показника $m_{\delta n}/m_{\epsilon}$ при материнській пластовій зольності $A_M = 6\%$, експлуатаційна зольність змінюється в межах 11,3 – 53,0%, а теплотворна здатність викопного палива від 3057 до 6251 ккал/кг. В цілому зниження материнської зольності A_M на 1%, при умові $m_{\delta n}/m_{\epsilon} = const$, призводить до збільшення теплотворної здатності вугілля на 72 ккал/кг.

Також зі зниженням величини співвідношення $m_{\delta n}/m_{\epsilon}$ (при $A_M = const$), відбувається зростання показника теплотворної здатності Q_{n1} , досягаючи максимального значення при $m_{\delta n}/m_{\epsilon} = 0,05$. Так, наприклад, при $A_M = 6\%$ за умови валового відпрацювання пласта з породами присікання, що у кількісному плані еквіваленті величині $m_{\delta n} = 0,3$ м, при виймальній потужності $m_{\epsilon} = 1,05$ м, з лави буде видаватись гірнича маса з теплотворною здатністю близько 4100 ккал/кг. При цьому, вплив величини засмічення вугілля породою при однаковій материнській зольності пласта A_M відбувається наступним чином. Зниження відношення $m_{\delta n}/m_{\epsilon}$ на 0,05 при $A_M = 6\%$ призводить до зростання теплотворної здатності гірничої маси, що видобувається, в середньому на 400 ккал/кг. В той же час при $A_M = 8\%$ цей показник зменшується до 390 ккал/кг, при $A_M = 10\%$ – до 380 ккал/кг, при $A_M = 12\%$ – до 370 ккал/кг. Таким чином, при однаковій материнській зольності A_M та різній величині співвідношення $m_{\delta n}/m_{\epsilon}$, калорійність видобутої гірничої маси тим вище, чим більше показник m_{ϵ} та нижче величина $m_{\delta n}$.

Далі проаналізуємо вплив показників $m_{\text{бн}}/m_{\text{в}}$ та материнської зольності вугілля A_m на енергетичні характеристики видобутого

палива при прогресивній селективній технології видобування вугілля (рис. 4).

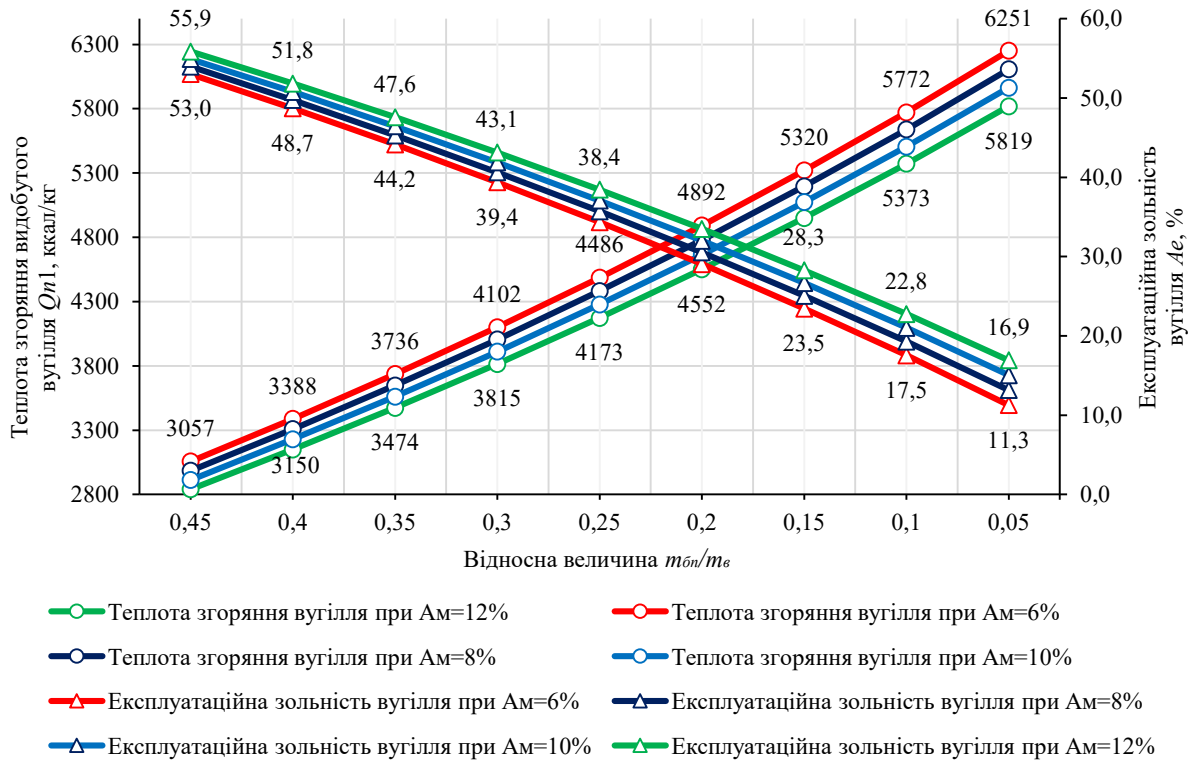


Рис. 3 Графіки залежності зміни показників експлуатаційної зольності та теплоти згоряння видобутого палива при традиційній валовій технології

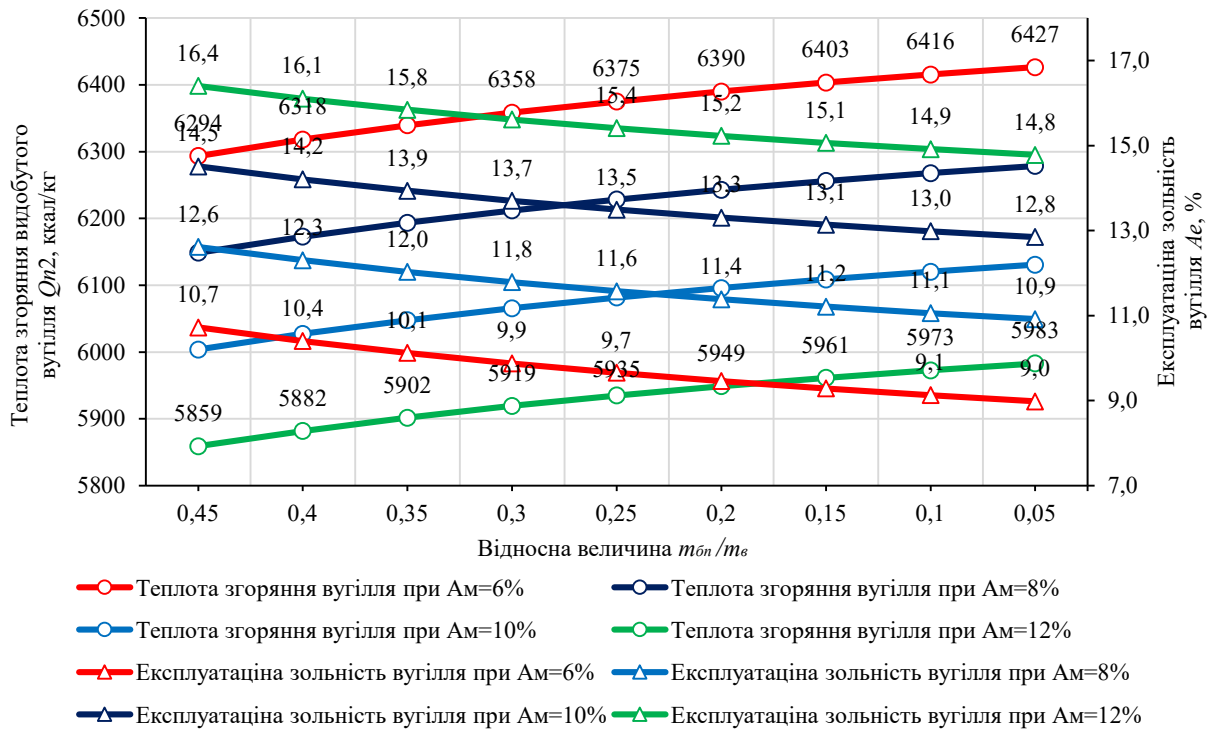


Рис. 4. Графіки залежності зміни показників експлуатаційної зольності та теплоти згоряння видобутого палива при селективній технології

Оцінюючи вплив материнської зольності пласта A_m та відносної величини $m_{\delta n} / m_e$, що характеризує рівень залучення порід у засміченні вугілля в процесі його видобування, можна стверджувати наступне. Аналіз отриманих залежностей (рис. 4) показує, що для даних умов досліджень зі зниженням відносної величини $m_{\delta n} / m_e$ при постійній материнській зольності пласта $A_m = 6\%$, експлуатаційна зольність змінюється у незначних межах від 9,0 до 10,7%, при цьому теплотворна здатність Q_{n2} видобутого вугілля сягає 6294 – 6427 ккал/кг. Показник теплотворної здатності вугілля збільшується в середньому на 40 ккал/кг зі зниженням на 1% материнської зольності пласта A_m (при $m_{\delta n} / m_e = const$). В тому числі зменшення відносної величини $m_{\delta n} / m_e$ на 0,05 призводить до підвищення Q_{n2} в середньому на 15 ккал/кг (при $A_m = const$).

Це свідчить про те, що вплив показника співвідношення $m_{\delta n} / m_e$ та A_m на експлуатаційну зольність і, відповідно, теплотворну здатність видобутого вугілля

при селективній технології значно менший, в порівнянні з даними отриманими при традиційній технології. Таким чином, за інших рівних умов, значний вплив на енергетичну складову чинить прийнята технологія видобування вугілля.

Отримані в результаті досліджень дані показують, що у порівнянні з традиційною технологією при переході на селективну можливо значно збільшити енергетичну цінність видобутого вугілля у 2,1 рази. При цьому, найбільше зростання отримуваної кількості корисної теплової енергії видобутого палива спостерігається із закономірним зниженням відносної величини $m_{\delta n} / m_e$.

Ефективність використання виробничого потенціалу шахт Західного Донбасу характеризують представлені на рис. 5 гістограми співвідношення між фактичним річним рівнем видобування гірничої маси при отриманій експлуатаційній зольності та обчисленій кількості видобутку, вираженого вже у якості товарного палива при 6000 ккал/кг і вологості 8%.

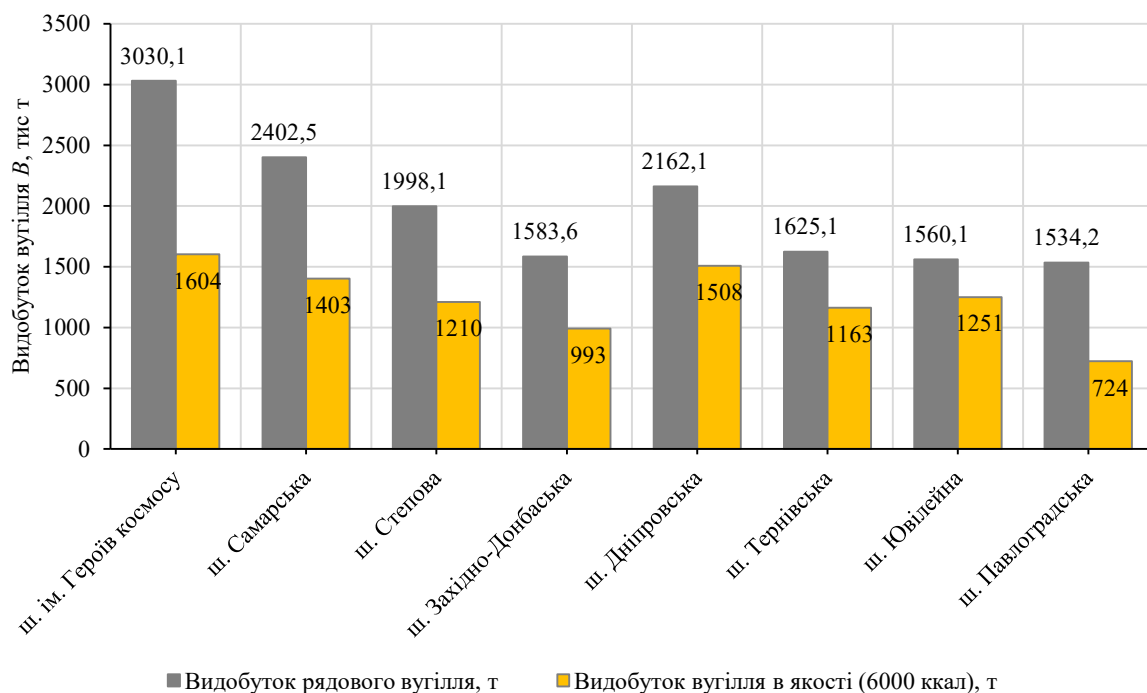


Рис. 5. Гістограми розподілу кількості видобутого вугілля шахт Західного Донбасу за 2021 рік при експлуатаційній зольності та у якості 6000 ккал/кг

Із отриманих даних рис. 5 випливає, що вихід товарного вугілля з гірничої маси, що видобувається на шахтах становить від 48,3% (ш. Павлоградська) до 78,0% (ш. Тернівська). Таким чином гірничо-видобувні

підприємства втрачають 22,0 – 51,7% видобутку, що в середньому по шахтам Західного Донбасу складає близько 37%, або дорівнює 6 млн т гірничої маси.

На третьому етапі досліджень, виходячи з цих положень, розглянемо, який потенціал до підвищення енергетичної цінності видобутого вугілля мають представлені шахти при переході на прогресивну селективну технологію видобування вугілля. В якості вихідних даних використані досягнуті виробничі показники цих підприємств за останній рік та середньорічні показники якості видобутої гірничої маси, які беруть участь у виразах при перерахунку кількості корисної копалини на калорії теплової енергії.

На рис. 6 представлено гістограми розподілу співвідношення між кількістю отриманої теплової енергії з видобутої гірничої маси при традиційній та прогресивній селективній технології відпрацювання вугільних пластів. Різниця між показниками визначає технічно можливий потенціал шахт до підвищення енергетичної цінності видобутого вугілля при переході на прогресивну селективну технологію видобування вугілля із зольністю близькою до материнської зольності пласта, що відпрацьовується очисною технікою.

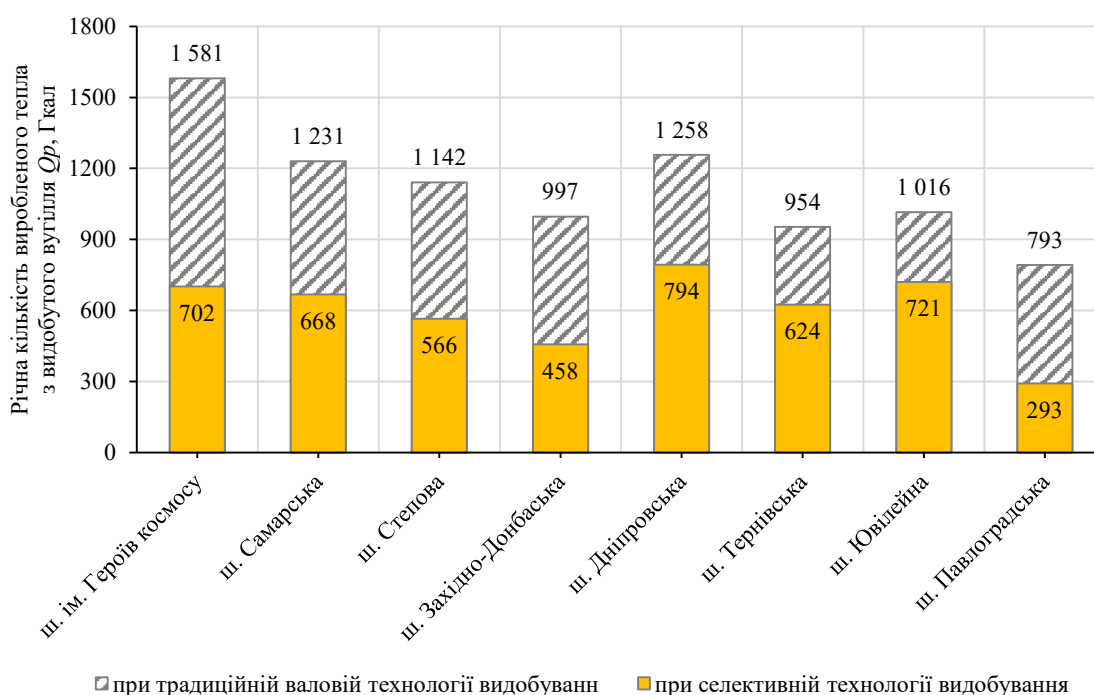


Рис. 6. Енергетичний потенціал видобутого вугілля шахт Західного Донбасу

Аналіз отриманих даних рис. 6 показує, що при обчисленні кількості видобутого палива за калорійним еквівалентом, рейтинг шахт розподіляється інакше на відміну від оцінки за обсягами гірничої маси. Так, серед діючих вугільних підприємств у Західному Донбасі, найбільшу кількість теплової енергії – 0,79 Ткал на рік отримано з шахти Дніпровська, де за останній рік було видобуто 2,16 млн т гірничої маси із зольністю 37,1%. Для порівняння, у рейтингу за даними загальної річної кількості видобутої гірничої маси (рис. 5), перше місце займає шахта ім. Героїв космосу, видобуток якої становив 3,03 млн т рядового вугілля із зольністю 49,0%.

Також за результатами проведених розрахунків можна побачити, що сумарна кількість отриманої теплової енергії з гірничої маси шахт Західного Донбасу при роботі за традиційною валовою технологією має технічно досяжний потенціал близько 4,82 Ткал на рік. При цьому, при переведенні шахт на прогресивну селективну технологію, загальний річний тепловий енергетичний потенціал, який можливо отримати з видобутого викопного палива, збільшується у 1,8 рази і досягає 8,97 Ткал на рік. Порівняння отриманих показників свідчить про те, що завдяки застосуванню селективної технології, на вугільних підприємствах Західного Донбасу можна підвищити енергетичний

потенціал видобутого палива на 4,15 Ткал, що еквівалентно тепловій енергії, яку отримують при спалюванні на ТЕС приблизно 7 млн т вугілля із зольністю 22%.

Таким чином, видобувати більше вугілля не означає отримувати більше товарного палива, важливо одержувати калорії енергії і чим вище калорійність видобутого енергетичного палива, тим більше в подальшому буде вивільнено ресурсів з технологічних ланцюжків, що покривають перевезення багатотонних «баластових» порід, їх переробку і збагачення, складування у відвали і шламосховища. Це підвищить ефективність роботи вугледобувних, вуглезбагачувальних та енергогенеруючих підприємств, знизить вплив на довкілля.

Висновки.

В роботі представлені результати досліджень щодо визначення технологічно досяжних резервів підвищення якості видобутого вугілля та енергетичної цінності вихідного палива малопотужних запасів шахт Західного Донбасу на основі аналітичних методів розрахунку, з урахуванням впливу засмічення бокових порід при традиційній та селективній технологіях видобування вугілля.

Аналіз кількісного впливу засмічення боковими породами вугілля на величину питомої теплоти згоряння гірничої маси показав, що зі зменшенням величини співвідношення $m_{\text{бн}}/m_{\text{в}}$ відбувається зниження експлуатаційної зольності A_e та відповідно збільшується теплотворна здатність видобутої гірничої маси $Q_{\text{н1}}$.

При традиційному валовому видобуванні зменшення материнської зольності A_m на 1%, при умові $m_{\text{бн}}/m_{\text{в}} = \text{const}$, призводить до збільшення теплотворної здатності гірничої маси на 72 ккал/кг. При цьому, при однаковій материнській зольності пласта A_m , зниження відношення $m_{\text{бн}}/m_{\text{в}}$ на 0,05 призводить до зростання теплотворної здатності гірничої маси, що видобувається, в середньому на 400 ккал/кг. При селективній технології видобування зменшення A_m на 1%, при умові $m_{\text{бн}}/m_{\text{в}} = \text{const}$, призводить до росту теплотворної здатності вугілля в середньому на 40 ккал/кг. Зменшення відносної величини $m_{\text{бн}}/m_{\text{в}}$ на 0,05 призводить до підвищення теплотворної здатності вугілля в середньому

на 15 ккал/кг при постійній материнській зольності A_m .

За результатами проведених досліджень встановлено, що при переведенні шахт Західного Донбасу на прогресивну селективну технологію підвищується якість видобутого вугілля, загальний річний тепловий енергетичний потенціал вихідного палива збільшується у 1,8 рази і досягає 8,97 Ткал на рік.

Отримані результати досліджень можуть бути використані при обґрунтуванні параметрів раціональної технології, спрямованої на підвищення якості вугілля, що видобувається, збільшення ступеня вилучення запасів з надр, економічності та екологічності гірничого виробництва.

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

Список літератури

1. Кулик М.П. Перспективи безпечного функціонування об'єднаної енергетичної системи України. *Вчені записки таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки.* 2021. Т. 32(71), №2. С. 67-73.
2. *Coal and Lignite Production.* Electronic resources. 2021. Retrieved from: <https://yearbook.enerdata.net/coal-lignite/coal-production-data.html>
3. *Trading Economics.* Electronic resources. 2022. Retrieved from: <https://tradingeconomics.com/commodity/coal>
4. Михайленко О.Г., Краснікова Н.А. Конкурентоспроможність України на світовому ринку мінеральної продукції. *Економіка та держава.* 2021. №7. С. 71-82.
5. Тимофеев О.А., Шарипов Ф.Ф., Петренко Б.В. Влияние эпидемии COVID-19 на рынок угля в Китае. *Уголь.* 2021. №1(1138). С. 63-67.
6. Черечукин А.В. Анализ ключевых трендов международного рынка угля (на примере стран Северо-Восточной Азии). *Научное обозрение. Серия 1: Экономика и право.* 2021. №1. С. 96-105.
7. 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.
8. Випанасенко С.І., Овсянников В.В. Забезпечення управління якістю палива для теплових електростанцій. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету.* 2012. №37. С. 104-111.

9. Языкков Н.А., Симонов А.Д., Яковлев В.А. Расчетный метод оценки низшей теплоты сгорания твердых топлив на основе данных технического анализа. *Журнал Сибирского федерального университета. Химия*. 2018. №11(1). С. 93-109.
10. Козлов В.А. Влияние химического состава золы угля на эксплуатационные параметры топок. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2012. №5. С. 238-247.
11. Пілова К. Визначення конкуренто-спроможності кам'яного вугілля за вартістю корисного тепла. *Схід*. 2011. № 3(110).
12. Пілова Е.П. Формирование цены на уголь с учетом его энергетической ценности. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2007. №11. С. 188-191.
13. 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.
14. 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.
15. 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
16. 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
17. 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
18. 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
19. 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
20. 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
21. 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
22. 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.
23. 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.
24. 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

References

1. Kulyk, M.P. (2021). Prospects for the safe functioning of the unified energy system of Ukraine. *Academic Notes of the V.I. Vernadsky Taurida National University. Series: Technical Sciences*, 32(71(2)), 67-73. (in Ukrainian).
2. *Coal and Lignite Production*. (2021). Retrieved from: <https://yearbook.enerdata.net/coal-lignite/coal-production-data.html>
3. *Trading Economics*. (2022). Retrieved from: <https://tradingeconomics.com/commodity/coal>
4. Mykhaylenko, O.G., & Krasnikova, N.A. (2021). Competitiveness of Ukraine on the world market of mineral products. *Economy and the State*, (7), 71-82. (in Ukrainian).
5. Timofeev, O.A., Sharipov, F.F., & Petrenko, B.V. (2021). The impact of the COVID-19 epidemic on the coal market in China. *Coal*, 1(1138), 63-67. (in Russian).
6. Cherechukin, A. V. (2021). Analysis of key trends in the international coal market (on the example of the countries of Northeast Asia). *Scientific Review. Series 1: Economics and Law*, (1), 96-105. (in Russian).
7. Filippenko, Yu.N., Rudavina, E.V., & Chernyavsky, N.V. (2010). Influence of ash content on the calorific value, volatile output and sulfur content in thermal coals of Ukraine. *Modern Science: Research, Ideas, Results, Technologies*, (1), 44-47. (in Russian).
8. Vypanasenko, S.I., & Ovsyanikov, V.V. (2012). Ensuring fuel quality management for thermal power plants. *Collection of Scientific Works of the National Mining University*, (37), 104-111. (in Ukrainian).
9. Yazykov, N.A., Simonov, A.D., & Yakovlev, V.A. (2018). Calculation method for estimating the net calorific value of solid fuels based on technical analysis data. *Journal of the Siberian Federal University. Chemistry*, 11(1), 93-109. (in Russian).
10. Kozlov, V.A. (2012). Influence of the chemical composition of coal ash on the operational parameters of furnaces. *Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*, (5), 238-247. (in Russian).
11. Pilova, K. (2011). Determining the competitiveness of hard coal in terms of the cost of useful heat. *East*, 3(110). (in Ukrainian).
12. Pilova, E.P. (2007). Formation of the price of coal, taking into account its energy value. *Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*, (11), 188-191. (in Russian).
13. Maidukov, G.L., Bolbat, V.N., Grigoryuk, M.E., Maidukova, S.S., & Ponomarenko, S.V. (2012). Profitability of coal products: formation conditions

- and innovative potential. *Industrial Economics*, 1-2(57-58), 215-231. (in Russian).
14. Makortetskiy, M.M., Perov, M.O., & Novitskiy, I.Yu. (2017). Mathematical model of the optimal structure of coal production for TPPs of Ukraine, taking into account environmental constraints. *Problems of General Energy*, (2), 40-48. (in Ukrainian).
15. Park, S., Zaib, Q., & Park, H.S. (2021). Characterization and optimization of calorific value of low grade coal by statistical experiment and modelling. *Environmental Engineering Research*, 26(2), 200070. DOI:10.4491/eer.2020.070
16. Banković, M.V., Stevanović, D.R., Pešić, M.D., Tomašević, A.Đ., & Kolonja, L.R. (2018). Improving efficiency of thermal power plants through mine coal quality planning and control. *Thermal Science*, 22(1 Part B), 721-733. DOI:10.2298/TSCI170605209B
17. Yu, L., Gai, K., & Liu, L. (2021). Analysis and research on coal quality in Hetaoyu coal mine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 859(1), 012006. DOI:10.1088/1755-1315/859/1/012006
18. Dejan, S., Božo, K., Ranka, S., Dinko, K., & Mirjana, B. (2013). Application of stochastic models for mine planning and coal quality control. *Thermal Science*, 18(4), 1361-1372. DOI:10.2298/tsci130201031s
19. Cai, F., Yang, L., Yuan, Y., & Taghizadeh-Hesary, F. (2022). The application of an improved fuzzy comprehensive evaluation in coal quality rating: The case study of China. *Frontiers in Energy Research*, (9), 752472. DOI:10.3389/fenrg.2021.752472
20. Tang, Y., Li, R., & Wang, S. (2020). Research progress and prospects of coal petrology and coal quality in China. *International Journal of Coal Science & Technology*, 7(2), 273-287. DOI:10.1007/s40789-020-00322-3
21. 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
22. Malashkevych, D.S. (2021). *The development of technological schemes for the selective working out of layers with the rock remaining in the produced space (on the example of the mines of Western Donbass)*. Dnipro: Lizunov Press, 270 p. (in Ukrainian).
23. Bondarenko, V.I., Ruskykh, V.V., Malashkevych, D.S., & Sotskov, V.A. (2017). Technological scheme and equipment for selective coal mining by longwalls. *Journal of Donetsk Mining Institute*, (2), 19-24. (in Russian).
24. 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

Надійшла до редакції 17.11.2022

Рецензент д-р. техн. наук, проф. В.І. Бузило

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

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

E-mail: petlyovany@ukr.net

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

E-mail: kateryna.sai@gmail.com

Сайк Павло Богданович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри гірничої інженерії та освіти Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

E-mail: saik.p.b@nmu.one

Клименко Ірина Юріївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри управління на транспорті Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

E-mail: klymenko.i.yu@nmu.one

INCREASING THE ENERGY POTENTIAL OF COAL WHILE DEVELOPMENT OF LOW-THICKNESS RESERVES IN THE WESTERN DONBAS MINES

Purpose. Development and generalisation 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 tunnelling operations.

Methods. A comprehensive methodical approach, containing the systematisation and generalisation 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 systematised 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 implications. The research results can be used in planning non-waste technological schemes for mining the coal with an increased energy potential.

Keywords: coal reserves, ash content, combustion heat, selective technology

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

E-mail: malashkevychnmu@gmail.com

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

E-mail: petlyovany@ukr.net

Sai Kateryna Serhiivna – 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

Saik Pavlo Bohdanovych – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mining Engineering and Education, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

E-mail: saik.p.b@nmu.one

Klymenko Iryna Yuriiivna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Transportation Management, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

E-mail: klymenko.i.yu@nmu.one