

Improving the quality of coal within limited geometric parameters of mining workings

Andrii Pererva

Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

E-mail: pererva.a.y@nmu.one

Abstract.

The paper presents the results of analytical research and literature analysis aimed at identifying directions for technological improvements to enhance the quality of underground coal within limited geometric parameters of mining operations. Improving the quality of extracted coal in thin seam mining is essential for maximizing the efficiency of mining operations while adhering to environmental standards. This study explores the feasibility of various techniques and technologies to ensure coal quality despite limited financial resources by reducing the ash content of the final product. Technological enhancements applicable during mining include in situ pre-enrichment using specialized devices located in preparatory workings and surface interventions. Among other technologies, selective extraction, coal blending, and refining methods for processing final products are analyzed. Additionally, the economic feasibility and environmental implications of implementing these measures are investigated. The conclusions emphasize the importance of employing tailored approaches to enhance coal quality within the restricted geometric parameters of mining operations, thereby contributing to the sustainable development of mining enterprises and meeting the demands of the energy sector.

Key words: *coal mine, preparatory working, selective extraction, regression equations, ecological and economical parameters.*

Підвищення якості кам'яного вугілля в обмежених геометричних параметрах гірничих виробок

Андрій Перерва

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

E-mail: pererva.a.y@nmu.one

Анотація. У роботі наведено результати аналітичних досліджень та аналізу літературних джерел з метою встановлення напрямів технологічних удосконалень з підвищення якості вугілля безпосередньо під землею у обмежених геометричних параметрах гірничих виробок. Покращення якості видобутого вугілля при видобування тонких пластів є невід'ємною складовою для максимізації ефективності гірничодобувних робіт, причому із дотриманням екологічних стандартів. Це дослідження вивчає можливість застосування різних технік та технологій, котрі дозволяють при обмежених фінансових вливаннях забезпечити якість вугілля шляхом зменшення зольності кінцевої продукції. До розгляду приймаються технологічні удосконалень котрі можливі до застосування як під час видобування корисної копалини; попереднє збагачення безпосередньо у межах виймальної ділянки за допомогою спеціальних пристроїв розміщених у прилавних підготовчих виробках та заходи безпосередньо на поверхні. Серед інших технологій аналізуються: селективне виймання, змішування вугілля та вдосконалення методів обробки кінцевої продукції. Крім того, досліджується економічна доцільність та екологічні наслідки впровадження цих заходів. Висновки підкреслюють значення використання індивідуальних підходів для покращення якості вугілля в обмежених геометричних параметрах гірничих

виробок, що сприяє сталому розвитку гірничодобувних підприємств та відповідає вимогам енергетичного сектору.

Ключові слова: вугільна шахта, підготовчі виробки, селективне виймання, регресійні рівняння, екологічні та економічні параметри..

1. Вступ

Тематика покращення якості вугілля в умовах обмежених геометричних параметрів гірничих виробок є досить широкою і актуальною у гірничій промисловості. Багато досліджень та робіт було проведено в цьому напрямку, оскільки покращення якості вугілля має велике значення для підвищення продуктивності гірничодобувних підприємств та забезпечення дотримання екологічних стандартів. Численні наукові статті, дисертації, технічні звіти та інші публікації розглядають різні аспекти цієї теми, включаючи методи та технології покращення якості вугілля, ефективність різних підходів, економічну доцільність та екологічні аспекти [1].

Одним із напрямів покращення якості вугілля безпосередньо у очисному вибої є селективне виймання вугілля [2]. Цей спосіб гірничого видобування передбачає видалення лише певних шарів або ділянок вугільного пласта, зазвичай тих, що мають високу якість або значний комерційний інтерес [3]. Він використовується для зменшення вмісту пустої породи чи домішок у видобутому вугіллі та оптимізує процес виймання вугілля з урахуванням вимог якості кінцевого продукту [2-4].

Селективне виймання вугілля може бути реалізовано декількома способами. У першу чергу, воно передбачає попереднє виймання тонких шарів вугілля з високим вмістом вуглецю та низькою зольністю. Далі для забезпечення необхідних параметрів очисного вибою та розміщення персоналу проводиться присікання порожнього породного шару. Видобування також може проводитися навпаки спочатку породний прошарок далі пласт вугілля. Іншою технологією селективного виймання є селекція (видобування) лише вугілля з певних частин пласта, що мають кращу якість.

Близьким за технологією виконання є роздільне виймання вугілля [5]. Проте необхідно зазначити, що це два різних способи гірничого видобування, які застосовуються для реалізації різних цілей і у різних умовах [6]. Роздільне виймання вугілля полягає у видобутку різних видів вугілля окремо, без сортування або сепарації на місці. Цей спосіб може використовуватися, коли вугілля різної якості знаходиться в різних шарах або зонах, і вимагається відповідне обладнання для окремого видобутку. Селективне виймання вугілля передбачає видобуток вугілля з конкретних шарів або зон, які мають певні якісні або комерційні переваги. Цей спосіб може використовуватися для забезпечення видобутку вугілля високої якості або для уникнення видобутку низькоякісного вугілля [7].

Роздільне виймання вугілля не передбачає подальшої обробки або сепарації на місці видобутку. Вугілля з різних ділянок шахти може бути оброблене окремо на поверхні, якщо це необхідно. Селективне виймання вугілля може передбачати додаткові процеси обробки або сепарації на місці видобутку, щоб виділити вугілля певної якості або характеристик [8].

Отже, хоча обидва способи можуть використовуватися для покращення якості видобутого вугілля, вони відрізняються за використаними цілями та процесами. Вони можуть допомогти покращити ефективність видобування, зменшити втрати вугілля через відсортування породних шарів пласта чи шарів з низьким вмістом вуглецю, а також підвищити якість кінцевого вугільного продукту [9]. Однак, обидва ці способи можуть вимагати додаткових технічних зусиль та ресурсів для їх реалізації. Іншим негативним моментом є проблема загосподарювання побічно видобутих пустих порід та вилучення неякісних домішок.

Оскільки автор цієї роботи має тісний зв'язок із процесами збагачення вугілля то у цій статті також розглянемо можливість змішування вугілля більш високої якості з меншовартісним вугіллям. Цей процес передбачає комбінування різних типів вугілля з метою підвищення його калорійних властивостей або інших параметрів якості. Такий підхід часто використовується в енергетичній промисловості та інших галузях, де важливо забезпечити стабільну та високу якість палива [10].

Звичайно, що змішування вугілля може мати декілька переваг. По-перше, такий процес дозволяє балансувати хімічним складом палива, забезпечуючи оптимальні параметри спалювання [11]. Наприклад, додавання вугілля з високим вмістом вуглецю може підвищити калорійні властивості суміші. По-друге, він може дозволити ефективніше використовувати менш якісні види вугілля, зменшуючи відходи та оптимізуючи виробничий процес [12].

Процес змішування вугілля вимагає точного контролю і підбору співвідношень різних компонентів для досягнення бажаної якості палива. Технології змішування вугілля можуть бути використані на різних етапах виробництва, від видобутку до підготовки та спалювання.

Незважаючи на те, що змішування вугілля може мати свої переваги, також існують деякі потенційні негативні аспекти. Якщо співвідношення компонентів не коректно встановлене або не контролюється належним чином, це може призвести до зниження якості палива і нестабільного горіння. Цей процес також може вплинути на викиди забруднюючих речовин, таких як діоксиди сірки та азоту. Загальновідомо, що ці сполуки мають негативний вплив на навколишнє середовище та здоров'я людини.

З іншого боку, процес змішування вугілля також може вимагати додаткових витрат на обладнання та управління, а також призводити до ризиків з точки зору безпеки, зокрема щодо виникнення пожеж та викиду газів. Усі ці аспекти потребують уважного управління та контролю, а також усестороннього моніторингу під час його реалізації.

У цій роботі розглядається можливість застосування технології сухого збагачення вугілля безпосередньо у гірничих виробках під землею чи на поверхні в умовах обмежених геометричних параметрів викликаних гірничими виробками чи будівлями поверхневого комплексу шахти [13]. Дана технологія є одним з напрямів вдосконалення якості видобутого вугілля на місці його видобутку. Цей процес полягає у відділенні корисних компонентів вугілля від домішок або видаленні зайвого породного матеріалу, що дозволяє покращити якість кінцевого продукту і знизити вміст зольних включень [14].

Реалізація даної технології як правило включає наступний алгоритм дій:

- первинне подрібнення вугілля до більш дрібних частин з метою полегшення процесу подальшого розділення;
- сепарація за допомогою різних способів, таких як вібраційні сита, магнітні сепаратори або гравітаційні методи, для видалення непотрібних домішок або зольних включень;
- класифікація фракцій: після сепарації вугілля може бути класифіковане за розміром частинок або іншими параметрами для подальшої обробки або використання;
- упаковка та транспортування: кінцевий продукт може бути упакований і транспортований (допускається транспортування насипом) до місця подальшого використання.

Цей процес дозволяє збільшити вибірковість вугілля, покращити якість кінцевого продукту та ефективно використовувати ресурси. Проте, з іншого боку, він вимагає усестороннього обґрунтування наукових підходів щодо реалізації у згаданих обмежених геометричних розмірах.

2. Методи та методика проведення досліджень

При проведенні досліджень щодо підвищення якості кам'яного вугілля в обмежених геометричних параметрах гірничих виробок та поверхневого комплексу застосовано комплексний метод, що логічно вписується у досить часто застосовану методику. Вони передбачають наступні етапи проведення робіт.

Літературний огляд. Починаючи з літературного огляду, було проаналізовано наявну літературу та публікації, що стосуються підвищення якості кам'яного вугілля. Це дозволяє отримати повний огляд сучасних підходів, технологій та стратегій, що використовуються у цій сфері.

Визначення геометричних параметрів гірничих виробок та споруд поверхневого комплексу. На даному етапі було проведено детальне вивчення геометричних параметрів згаданих об'єктів поверхневої та підземної інфраструктури шахти. До них відносяться: поперечні розміри, форма, глибина розробки (для підземних виробок), нахил (кут падіння) тощо. Це важливо для розуміння обмежень, які існують у виробництві вугілля.

Встановлення необхідних геометричних параметрів споруд у складі поверхневого комплексу шахти на поверхні виходить із основних принципів будівельної механіки та не становить особливих складнощів [15]. Для підземних гірничих виробок, у першу чергу, нам необхідно визначити ширину гірничої виробки у проходці [16]. Далі за допомогою уніфікованих перерізів встановити загальну площу поперечного перетину виробки. З цією метою використаємо математичний механізм запропонований у роботах [16-18]. Ширину виробки в проходці B_{np} можна визначити за виразом:

$$B_{np} = 1,1B + B_0$$

де B – ширина виробки у просвіті з урахуванням елементів кріплення та обладнання, що буде розташованим у ній, м;

B_0 – додаткова ширина залежно від технології проведення виробки.

Детально механізм встановлення ширини виробки у проходці у зоні стабільної геодинамічної активності наведено у роботі [15, 18].

Експериментальні дослідження. Цей етап включає проведення спеціалізованих експериментів для оцінки різних способів та технологій, спрямованих на підвищення якості кам'яного вугілля [19]. Автором роботи експериментальні дослідження буде наведено у наступних публікаціях. Вони ґрунтуватимуться на випробуванні технологій обробки, сортування та інших способів покращення якості вугілля для визначення їхньої ефективності в обмежених геометричних параметрів робочого простору.

Аналіз результатів. Після проведення аналітичних досліджень та експериментів проводиться аналіз отриманих результатів. Їх порівняння показує можливість застосування запропонованих математичних викладок до прогнозування кінцевих результатів якості отриманого продукту. Фактично, на цьому етапі проводиться оцінка ефективності різних способів та технологій, а також їхня можливість застосування та придатність у обмежених геометричних параметрах гірничих виробок чи споруд поверхневого комплексу шахти. Це робиться також із метою виявлення можливих обмежень чи проблем для подальшого їх виправлення та удосконалення процесу збагачення вугілля.

Формулювання рекомендацій. На основі аналізу отриманих результатів дослідження сформовані рекомендації щодо оптимальних стратегій підвищення якості кам'яного вугілля в умовах обмежених геометричних параметрів гірничих виробок чи споруд поверхневого комплексу шахти. Ці рекомендації стануть підґрунтям для подальших дослідницьких робіт автора, а також для впровадження нових технологій у гірничому виробництві.

3. Результати та обговорення

Основні дослідження проводились на шахтних об'єктах ДП "Львіввугілля" (Державне підприємство "Львіввугілля") та Львівської вугільної компанії. Ці підприємства є одними з ключових підприємств у вугільній галузі України. Основним видом їх діяльності є видобуток та переробка вугілля. Дані компанії мають комплексну структуру, що включає в себе шахти, об'єкти з переробки та обробки вугілля, а також відділи з експорту чи продажу продукції.

Головним завданням даних підприємств є забезпечення вугіллям як енергетичних, так і промислових підприємств, які знаходяться у західному регіоні України. Вони також відіграє важливу роль у забезпеченні населення теплом та енергією. Для підвищення їх ефективності необхідно провадити модернізацію обладнання та впровадження нових технологій.

Розміри обладнання для сухого збагачення вугілля можуть значно варіюватися в залежності від різноманітних факторів, таких як обсяги видобутку, характеристики вугілля, потреби виробництва, доступність та фінансові можливості компанії тощо. Проте, існують певні типові компоненти та обладнання, які зазвичай використовуються у процесі сухого збагачення вугілля. На першому етапі, це роторні дробарки, дробарки молоткового типу та вібраційні сіткарі та центрифуги. Це обладнання використовується для подрібнення вугільних гірських мас до потрібного розміру частинок з метою подальшого відділення вугільних частинок від інших компонентів дробленого матеріалу.

Для видалення залізних домішок з вугільного матеріалу використовуються магнітні сепаратори. На наступному етапі використовуються сортувальні машини, які розділяють вугільні частинки за розмірами та іншими характеристиками. Спіральні концентратори або стільці для відновлення застосовуються для відновлення вугільних частинок за їхньою густиною. Сушарки або вентиляційні установки використовуються для видалення вологи з вугілля. Бункери, конвеєри та інші транспортні засоби необхідні для переміщення вугільних матеріалів між різними стадіями процесу збагачення.

Відповідно, залежно від технічного забезпечення необхідні розміри гірничих виробок можуть суттєво різнитися. Автор провів аналіз наявного кріплення підготовчих виробок, яке може бути використано для цих цілей. Виходячи із проведеного аналізу щодо можливого застосування кріплення польського виробництва у табл. 1 наведено технічні характеристики трьох ланкового кріплення, а у таблиці 2 – 5-ти ланкового кріплення.

В Україні компанією ВАТ «Західно-Донбаський науково-виробничий центр «Геомеханіка» розроблено інноваційну концепцію кріплення. Вони включають: шатрові (КШПУ-М), циркульно-лінійні (КЦЛ), полігональні (КПП), овоїдні з двома радіусами (КМП-А3(А4)Р2), овоїдні з трьома радіусами (КМП-А3(А4,А5)Р3), циркульно-лінійно овоїдні (КЦЛО) і кріплення спеціального призначені (кільцеві КМК, випукло-трикутні КВТ, кріплення розрізів АПКР, кріплення з'єднань КС). Виходячи з оцінки гірничо-геологічних умов, проведено вибір найбільш ефективних конструкцій кріплень для реалізації описаних цілей наведено у табл. 3 та 4. Відповідно виникає необхідність організація геомеханічного обґрунтування можливості застосування наведених типів кріплення, проведення моніторингу за їх роботою та розрахунок економічного ефекту впровадження кріплень.

Таблиця 1. Технічні характеристики кріплення ŁP 3-елементна

Позначення кріплення	Велич.	F	S	W	c	Маса компл.	верхняк		ніжка		
		[м ²]	[мм]				[кг]	R ₁	Маса	R ₂	Маса
							[мм]	[кг]	[мм]	[кг]	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Тип кріплення V21; V25; V29; V32											
ŁP10/V21/A	10	17,5	5500	3800	600 ± 30	253	3025	75	2675	103	
ŁP10/V25/A	10	17,5	5500	3800	550 ± 28	298	3075	89	2650	121	
ŁP10/V29/A	10	17,6	5500	3800	550 ± 28	346	3075	103	2650	141	
ŁP10/V32/A	10	17,8	5500	3800	600 ± 30	383	3075	114	2655	156	

Таблиця 2. Технічні характеристики кріплення ŁP 4-елементна

Позначення кріплення	Велич.	F	S	W	c±30	Маса компл.	верхняк			ніжка		
		[м ²]	[мм]				[кг]	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	Маса
							[мм]	[мм]	[мм]	[мм]	[кг]	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Тип кріплення V25												
ŁP11/V25/4/A	11	19,8	5800	4025	600	332	3250	3225	83	3320	83	
ŁP12/V25/4/A	12	21,8	6100	4225	600	346	3450	3364	87	3460	87	
ŁP13/V25/4/A	13	24	6400	4425	600	361	3650	3507	90	3605	90	
Тип кріплення V29												
ŁP11/V29/4/A	11	19,8	5800	4025	600	385	3250	3225	96	3320	96	
ŁP12/V29/4/A	12	21,9	6100	4225	600	402	3450	3369	100	3465	100	
ŁP13/V29/4/A	13	24	6400	4425	600	418	3650	3507	105	3605	105	
ŁP14/V29/4/A	14	25,6	6700	4550	600	430	3825	3603	107	3705	107	
ŁP15/V29/4/A	15	27,6	7000	4700	600	444	4025	3721	111	3825	111	
ŁP16/V29/4/A	16	29,6	7200	4900	600	458	4150	3845	115	3950	115	
ŁP17/V29/4/A	17	32,2	7500	5110	600	475	4350	3988	119	4095	119	
ŁP18/V29/4/A	18	34,8	7800	5325	600	492	4550	4136	123	4245	123	
ŁP19/V29/4/A	19	36,6	8000	5465	600	503	4675	4230	126	4340	126	
Тип кріплення V32												
ŁP10/V32/4/A	10	17,8	5500	3800	600	407	3275	3082	102	3175	102	
ŁP11/V32/4/A	11	19,8	5800	4025	600	427	3425	3235	107	3330	107	
ŁP12/V32/4/A	12	21,8	6100	4225	600	445	3625	3372	111	3470	111	
ŁP13/V32/4/A	13	24	6400	4425	600	463	3625	3511	116	3610	116	
ŁP19/V32/4/A	19	36,7	8000	5465	600	558	4700	4240	139	4350	139	
Тип кріплення V36												
ŁP10/V36/4/A	10	17,8	5500	3800	600	458	3075	3082	114	3175	114	
ŁP11/V36/4/A	11	19,8	5800	4025	600	478	3275	3235	120	3330	120	
ŁP12/V36/4/A	12	21,8	6100	4225	600	498	3425	3372	125	3470	125	
ŁP13/V36/4/A	13	24	6400	4425	600	518	3625	3511	130	3610	130	
ŁP14/V36/4/A	14	25,7	6700	4550	600	533	3825	3613	133	3715	133	
ŁP15/V36/4/A	15	27,6	7000	4700	600	550	4000	3724	137	3830	137	
ŁP16/V36/4/A	16	29,6	7200	4900	600	568	4150	3850	142	3955	142	
ŁP17/V36/4/A	17	32,1	7500	5110	600	589	4350	3993	147	4100	147	
ŁP18/V36/4/A	18	34,8	7800	5325	600	610	4550	4141	153	4250	153	

Таблиця 3. Технічні характеристики кріплення (аркова, шатрова, спеціальна)

Перетин, м ²	В, мм	Н, мм	Ширина, мм	Робочий опір, кН/арку	Несуча здатність, кН/арк	Спецпрофіль СВІ	Вага СВІ, кг
Кріплення КШПУ-М							
17,7	5335	4103	4700	268	490	СВІ 27	325
	5345	4093	4695		586	СВІ 33	402
20,3	5697	4473	5198	270	470	СВІ 27	352
	5707	4464	5194	300	560	СВІ 33	436
22,0	5736	4760	5258	300	610	СВІ-33	452
Кріплення АПКР							
18,1	5400	3700	5400	235	290	СВІ 27	327
21,5	5190	4500	5190	300	280	СВІ 33	454
Кріплення КМП-А3Р2							
18,0	5470	4380	4861	420	630	СВІ-27	336
		4366	4861	573	860	СВІ-33	415
Кріплення КМП-А4Р2							
18,0	5470	4364	4860	450	630	СВІ-27	352
		4350	4861	610	860	СВІ-33	434
22,0	5856	4617	5417	533	803	СВІ-33	472
Кріплення КМП-А3Р3							
17,2	5235	4135	4788	360	620	СВІ-27	325
			4785	480	930	СВІ-33	402
19,0	5380	4400	4995	360	600	СВІ-27	339
			4992	480	850	СВІ-33	419
20,6	5820	4486	5372	360	580	СВІ-27	353
		4446	5366	480	790	СВІ-33	436
Кріплення КМП-А4Р3							
19,1	5360	4460	4972	360	600	СВІ-27	358
	5372	4446	4970	480	840	СВІ-33	442
21,3	5430	4860	5109	360	570	СВІ-27	380
	5444	4845	5109	480	700	СВІ-33	469
Кріплення КМП-А5Р3							
17,6	5240	4425	4797	480	790	СВІ-33	435
19,0	5520	4224	5093	480	740	СВІ-33	442
21,8	5920	4672	5457	480	670	СВІ-33	482
25,0	6000	5115	5605	480	650	СВІ-33	513
Кріплення арочне податливе АПЗ							
18,3	5440	3960	5300	250	346	СВІ-27	326
			5290	310	485	СВІ-33	402
19,8	5475	4213	5395	250	343	СВІ-27	342
			5395	310	481	СВІ-33	429

Таблиця 4. Технічні характеристики кріплення (кругова)

Перетин, м ²	Діаметр, мм	Робочий опір, кН/арку	Несуча здатність, кН/арк	Спецпрофіль СВП	Вага СВП, кг
КМК 4 - кругова					
24,5	5600	300	489	СВП 27	541
	5584	330	579	СВП 33	670
КМК 5 - кругова					
23,7	5504	270	495	СВП 27	540
	5490	300	571	СВП 33	670
24,5	5600	270	470	СВП 27	541
	5584	300	560	СВП 33	670

Наведене кріплення дає можливість розміщувати різні типи обладнання для зміни геометричних параметрів виробок, основні із них вимагатимуть внесення доповнень у процес підтримки підготовчих виробок. Саме цей напрямок є напрямом подальших досліджень автора цієї роботи.

4. Висновок

Технологія сухого збагачення вугілля є сучасним методом очищення вугільної руди від небажаних домішок та води без використання великих обсягів води. Вона може бути реалізована як на поверхні, так і під землею, що робить її гнучким рішенням для різних геологічних умов. Основна мета технології сухого збагачення полягає у видаленні важких мінеральних домішок, які зазвичай супроводжують вугілля, таких як кам'яне вугілля, брухт, пісковики та інші, а також у зменшенні рівня вологості у вугіллі. Це допомагає підвищити якість вугілля, знизити його вміст попутних речовин і, як наслідок, забезпечити ефективнішу роботу енергетичних станцій та інших споживачів вугілля.

Одним з важливих переваг сухого збагачення є його спроможність зменшувати відходи, порівняно з традиційними методами збагачення вугілля, які вимагають значних обсягів води. Це може мати значний вплив на екологічну стійкість гірничодобувних та енергетичних підприємств, зменшуючи водний відтік та забезпечуючи ефективніші технологічні процеси.

Нарешті, важливою перевагою технології сухого збагачення вугілля є її потенціал для підвищення економічної ефективності видобутку вугілля, зменшення витрат на обробку та транспортування, що може позитивно позначитися на загальній економічній прибутковості галузі.

У статті проаналізовано можливість застосування даної технології з покращення якості вугілля при розташуванні відповідного обладнання безпосередньо в умовах вугільних шахт. Обґрунтовано необхідність збільшення поперечних розмірів гірничих виробок, що закріплені стандартним кріпленням національного та польського виробництва. Це обумовлено тим, що дані дослідницькі роботи ведуться на шахтах заходу України і саме тут згадане кріплення отримало поширення.

References

1. Pivnyak, G., Dychkovskiy, R., Smirnov, A., & Cherednichenko, Y. (2013). Some aspects on the software simulation implementation in thin coal seams mining. *Energy Efficiency Improvement of Geotechnical Systems*, 1–10. <https://doi.org/10.1201/b16355-2>
2. Dychkovskiy, R.O., Tymoshenko, Y.V., & Astafiev, D.O. (2014). Method of analytical investigation of wall advance speed and forms of line face influence on stress-strain state of a rock massif. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 1, 11-16. [https://doi.org/10.31474/2073-9575-2023-1\(29\)-14-23](https://doi.org/10.31474/2073-9575-2023-1(29)-14-23)
3. Miller, J. D., & Ye, Y. (1989). Selective flotation of fossil resin from Wasatch Plateau high-volatile bituminous coal. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 6(2), 87–93. <https://doi.org/10.1007/bf03402533>
4. Astafiev, D., & Shapovalov, Y. (2013). On the question of implementation prospects of selective mining for exploitation unconditional coal seams. *Mining of Mineral Deposits*, 313–316. <https://doi.org/10.1201/b16354-57>
5. Jeremic, M. L. (2020). Room and pillar mining. *Strata Mechanics in Coal Mining*, 233–296. <https://doi.org/10.1201/9781003079170-7>
6. Ghasemi, E., Ataei, M., & Shahriar, K. (2014). An intelligent approach to predict pillar sizing in designing room and pillar coal mines. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 65, 86–95. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2013.11.009>
7. Dychkovskiy, R., Vladyko, O., Maltsev, D., & Cáceres Cabana, E. (2018). Some aspects of the compatibility of mineral mining technologies. *Rudarsko-Geološko-Naftni Zbornik*, 33(4), 73–82. <https://doi.org/10.17794/rgn.2018.4.7>
8. Griadushchiy, Y., Korz, P., Koval, O., Bondarenko, V., & Dychkovskiy, R. (2007). Advanced Experience and Direction of Mining of Thin Coal Seams in Ukraine. *Technical, Technological and Economical Aspects of Thin-Seams Coal Mining, International Mining Forum*, 2007, 2–7. <https://doi.org/10.1201/noe0415436700.ch1>
9. Shavarskiy, I., Falshtynskiy, V., Dychkovskiy, R., Akimov, O., Sala, D., & Buketov, V. (2022). Management of the longwall face advance on the stress-strain state of rock mass. *Mining of Mineral Deposits*, 16(3), 78–85. <https://doi.org/10.33271/mining16.03.078>
10. Querol, X., Klika, Z., Weiss, Z. et al. (2001). Determination of element affinities by density fractionation of bulk coal samples. *Fuel*, 80, 1. 83-96.
11. Spears, D.A., Zheng, Y. (1999). Geochemistry and origin of elements in some UK coals. *Int. J. Coal Geol.* 38. (3-4), 161-179.
12. Haidai, O., Ruskykh, V., Ulanova, N., Prykhodko, V., Cabana, E. C., Dychkovskiy, R., Howaniec, N., & Smolinski, A. (2022). Mine Field Preparation and Coal Mining in Western Donbas: Energy Security of Ukraine – A Case Study. *Energies*, 15(13), 4653. <https://doi.org/10.3390/en15134653>
13. Lockhart, N. C. (1984). Dry beneficiation of coal. *Powder Technology*, 40(1–3), 17–42. [https://doi.org/10.1016/0032-5910\(84\)85053-6](https://doi.org/10.1016/0032-5910(84)85053-6)
14. Polulyakh, A.D. Moiseenko, O.V. Nelepov, V.F. Shevchenko, L.G. & Pererva A.Yu. (2007). Enrichment of minerals. *D.: Scientific and technical collection*, 31(72), 20- 31.
15. Dychkovskiy, R.O., Saik, P.B., Lozynskiy, V.G., Potempa M., Chowaniec A., & Kokowski, K. (2017). Application of Ukrainian experience in determining the step of installing frame supports for preparatory workings in Polish mines. *Materials of the international conference "Miners' Forum - 2017" – D.: NGU.*, 78-85.
16. Dychkovskiy R.O., Timoshenko Ye.V. (2009). On the issue of determining the loads on the support of a mechanized complex at high speeds of advancing the face. *Geotechnical Mechanics*. (81). 67-74.
17. Jones, M. E. (1983). Logistic Support Loads. *Logistic Support of a Manned Underwater Production Complex*, 50–61. https://doi.org/10.1007/978-94-009-6655-0_5
18. SOU 10.1.00185790.011:2007. (2007) Preparatory workings in flat seams. Selection of support, methods, and means of protection. *Ministry of Coal Industry of Ukraine; DonVUGI, UkrNDIproekt. – K.: Ministry of Coal Industry of Ukraine*, 2007. 116.
19. Sudhakar, P., Latha, P., & Reddy, P. V. (2016). Various methods of conducting crop experiments. *Phenotyping Crop Plants for Physiological and Biochemical Traits*, 3–13. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-804073-7.00001-6>