



JEL: L 23, L 52, L 72, M 11, O 14

DOI: 10.62911/ete.2025.03.01.10

Peculiarities of application of lifting and loading equipment in changing conditions of mining production

Citation:

Tereshko, D., Temchenko, O., Siedniev, P., & Bahashova, N. (2025). Peculiarities of application of lifting and loading equipment in changing conditions of mining production. Scientific and practical journal "Economics and technical engineering". Vol. 3 No. 1 (2025), 106-119. <https://doi.org/10.62911/ete.2025.03.01.10>

Dmytro Tereshko

Education seeker, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: tereshko_dp_24085@kneu.dp.ua

 ORCID iD: 0009-0004-2392-9987

Oleksandr Temchenko

Prof. DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: temchenko_oa50@ukr.net

 ORCID iD: 0000-0003-0020-2430

Pavlo Siedniev

Deputy Director for Production and Quality, Ukrtekhnoalliance LLC, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: pavelsednev76@gmail.com

 ORCID ID: 0009-0002-4555-726X

Natalia Bahashova

Assoc. Prof, PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: bahashova_nv@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0002-5242-1224

Received: 28/05/2025

Accepted: 04/06/2025



Abstract: The open-pit mining method, as the most widespread and productive, is currently of paramount importance in the development of the mining complex of Ukraine. One of the main directions of development of open-pit mining is continuous improvement of mining technology using the latest achievements in complex mechanization and automation of mining production. Over the past 30 years, the fleet of mining and loading equipment and mining transportation equipment has been almost completely renewed. The modern mining and loading, mining transportation and auxiliary equipment is characterized by a higher level of production and operation organization, as well as reliability and high performance in complex and changing operating conditions. Mining and loading operations in an open pit mine are essentially the removal of rock from the face and its loading into vehicles for further transportation to transshipment points. In deep iron ore quarries, powerful cyclic and continuous machines are used as extraction and loading equipment. Advanced domestic and imported equipment is used in the development of the Yeristovo iron quartzite deposit, which is being developed by the respective mining and processing plant. Draglines are mainly used for stripping operations, namely for removing overburden. Walking excavators manufactured by NKMZ are used to mine large volumes of rock, especially in large quarries. Both mechanical excavators (ECG) and hydraulic excavators of well-known models from such manufacturers as Caterpillar and Komatsu are used for mining and loading of minerals at Yeristovo deposit, and front loaders of these brands are also successfully used. Front-end loaders of popular brands Caterpillar and Komatsu are used to load overburden and minerals onto vehicles, and EKG-8i and EKG-10 are also used at reloading stations. To compare the achieved technical and technological indicators, the efficiency of excavation in deep iron ore pits was assessed in terms of reliability and energy intensity of mining production in the conditions of PrJSC Ingulets Iron Ore.

Keywords: deposits, mining production, equipment, productivity, quarry, machinery, dragline, mining, excavator, loader, reliability, energy intensity.

JEL:L 23, L 52, L 72, M 11, O 14

Peculiarities of application of lifting and loading equipment in changing conditions of mining production

Dmytro Tereshko

Education seeker, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: tereshko_dp_24085@kneu.dp.ua

 ORCID ID: 0009-0004-2392-9987

Oleksandr Temchenko

Prof. DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: temchenko_oa50@ukr.net

 ORCID ID:0000-0003-0020-2430

Pavlo Siedniev

Deputy Director for Production and Quality, Ukrtekhnalliance LLC, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: pavelsednev76@gmail.com

 ORCID ID: 0009-0002-4555-726X

Natalia Bahashova

Assoc. Prof, PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: bahashova_nv@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0002-5242-1224

Abstract: The open-pit mining method, as the most widespread and productive, is currently of paramount importance in the development of the mining complex of Ukraine. One of the main directions of development of open-pit mining is continuous improvement of mining technology using the latest achievements in complex mechanization and automation of mining production. Over the past 30 years, the fleet of mining and loading equipment and mining transportation equipment has been almost completely renewed. The modern mining and loading, mining transportation and auxiliary equipment is characterized by a higher level of production and operation organization, as well as reliability and high performance in complex and changing operating conditions. Mining and loading operations in an open pit mine are essentially the removal of rock from the face and its loading into vehicles for further transportation to transshipment points. In deep iron ore quarries, powerful cyclic and continuous machines are used as extraction and loading equipment. Advanced domestic and imported equipment is used in the development of the Yeristovo iron quartzite deposit, which is being developed by the respective mining and processing plant. Draglines are mainly used for stripping operations, namely for removing overburden. Walking excavators manufactured by NKMZ are used to mine large volumes of rock, especially in large quarries. Both mechanical excavators (ECG) and hydraulic excavators of well-known models from such manufacturers as Caterpillar and Komatsu are used for mining and loading of minerals at Yeristovo deposit, and front loaders of these brands are also successfully used. Front-end loaders of popular brands Caterpillar and Komatsu are used to load overburden and minerals onto vehicles, and EKG-8i and EKG-10 are also used at reloading stations. To compare the achieved technical and technological indicators, the efficiency of excavation in deep iron ore pits was assessed in terms of reliability and energy intensity of mining production in the conditions of PrJSC Ingulets Iron Ore.

Keywords: deposits, mining production, equipment, productivity, quarry, machinery, dragline, mining, excavator, loader, reliability, energy intensity.

Особливості застосування виймально-навантажувального устаткування в мінливих умовах гірничого виробництва

Дмитро Терешко

здобувач освіти, Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна

e-mail: tereshko_dp_24085@kneu.dp.ua

 ORCID ID: 0009-0004-2392-9987

Олександр Темченко

професор, д.т.н, Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна

Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна

e-mail: temchenko_oa50@ukr.net

 ORCID ID: 0000-0003-0020-2430

Павло Седнів

заступник директора з виробництва та якості ТОВ "Укртехноальянс", Кривий Ріг, Україна

e-mail: pavlesednev76@gmail.com

 ORCID ID: 0009-0002-4555-726X

Наталя Багашова

доцент., к.г.н., Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна

e-mail: bahashova_nv@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0002-5242-1224

Анотація: Відкритому способу розробки корисних копалин, як найбільш поширеному і продуктивному, в теперішній час надається першорядне значення у розвитку гірничо-видобувного комплексу України. Одним з головних напрямків розвитку відкритої розробки родовищ корисних копалин є постійне вдосконалення технології гірничих робіт з застосуванням новітніх досягнень комплексної механізації та автоматизації гірничого виробництва. За останні 30 років майже повністю оновився парк виймально-навантажувального обладнання та гірничотранспортного устаткування. Сучасне виймально-навантажувальне, гірничотранспортне та допоміжне устаткування характеризується більш високим рівнем організації виробництва та експлуатації, а також надійністю та високою продуктивністю в складних та мінливих умовах роботи. Виймально-навантажувальні роботи в кар'єрі власне й полягають у виїмці гірничої маси з вибою та навантаження її в транспорт для подальшого транспортування до перевантажувальних пунктів. В глибоких залізрудних кар'єрах в якості виймально-навантажувального устаткування застосовуються потужні машини циклічної і безперервної дії. При розробці Єристівського родовища залізистих кварцитів, що розробляється відповідним гірничо-збагачувальним комбінатом, використовується передова як вітчизняна, так і імпортна техніка.

Для виробництва розкривних робіт, а саме для зняття пустої породи використовують здебільшого драглайни. Для розробки значних обсягів гірських порід, особливо на великих кар'єрах, застосовуються екскаватори крокуючі (ЕШ) виробництва NKMZ.

Для видобутку та навантаження корисних копалин на Єристівському родовищі використовуються як екскаватори механічного типу (ЕКГ), так і гідравлічні екскаватори відомих моделей від таких виробників, як Caterpillar, Komatsu, а також успішно використовуються і фронтальні навантажувачі цих марок. Для навантаження розкривних порід і корисних копалин на транспортні засоби використовуються фронтальні навантажувачі популярних брендів Caterpillar, Komatsu, а також на перевантажувальних пунктах використовують ЕКГ-8і, ЕКГ-10. Для порівняння досягнутих техніко-технологічних показників проведено оцінку ефективності екскавації на глибоких залізрудних кар'єрах з позиції надійності та енергоємності гірничого виробництва в умовах ПрАТ «Інгулецького ГЗК».

Ключові слова: родовища, гірниче виробництво, устаткування, продуктивність, кар'єр, техніка, драглайн, видобуток, екскаватор, навантажувач, надійність, енергоємність.

Вступ (Introduction)

Українські гірничодобувні підприємства надають перевагу відкритому способу розробки корисних копалин, адже такий спосіб являється найбільш продуктивним. Щоб підвищити ефективність видобутку, знизити витрати та мінімізувати вплив на навколишнє середовище, підприємства гірничодобувного комплексу активно впроваджують сучасні технології видобутку корисних копалин. Впровадження використання імпортного обладнання є ключовим елементом ефективності виробничих процесів особливо в умовах глобальної економічної нестабільності. Використання імпортного обладнання (з Європи, США, Японії, Китаю) поєднується з вітчизняними розробками та модернізацією існуючої техніки.

ТОВ «Єристівський ГЗК» є одним з провідних гірничодобувних підприємств України яке утримує стабільний рівень виробництва в умовах складної економічної ситуації. Будівництво Єристівського кар'єру розпочалося у 2008 році у Полтавській області і тепер він є важливою частиною ГМК України. До війни сукупний внесок в ВВП країни складав 3,1%. Єристівський ГЗК залізорудної компанії Ferrexpo є наймолодшим українським ГЗК. З моменту свого заснування комбінат вирізнявся застосуванням кращих гірничих практик та сучасного технологічного обладнання. Попри війну він продовжує працювати та постачати продукцію споживачам мінеральної сировини і будувати плани на повоєнне майбутнє.

Для досягнення високих виробничих показників видобутку залізної руди в процесі відкритих гірничих робіт на цьому кар'єрі використовується високопродуктивне, ефективне та безпечне обладнання (Hryhoriev I. Ye., 2024). Цим дослідженням в контексті визначення можливостей підвищення ефективності використання виймально-навантажувального устаткування в умовах ТОВ "Єристівський ГЗК" було встановлено залежність фактичної продуктивності устаткування від часу циклу навантаження.

Питання щодо особливостей використання сучасного виймально-навантажувального устаткування та умови його застосування на прикладі ТОВ "Єристівський ГЗК" та ПрАТ «Інгулецький ГЗК» висвітлюються у дослідженнях українських вчених, серед яких (Hryhoriev I. Ye., 2024), (Anisimov O. O., 2023), (Sdvyzhkova, O., 2022), (Frolov O. O., 2021-2020), (Mishra, A., 2020), (Prokopenko, V. I., 2020), (Sobko B. Ie., 2020), (Symonenko, V. I., 2019) та інших. Вони розглянули дотичні теми, які перетинаються з визначенням ефективності використання сучасного виймально-навантажувального устаткування в умовах відкритих розробок корисних копалин.

Дослідженнями показників надійності виймально-навантажувального обладнання займалися відомі вчені (Hohynkevych T. A., 1985), (Shenderov A. I., 1976) ще в часи до незалежності України. Визначення впливу діаметра свердловин на ефективність вибухового відбою була досліджена (Usyk I. M., 1972), (Shapurin A. V., 1990) для умов кар'єра ПрАТ «ІнГЗК», де встановлено, що якість подрібнення порід вибухом суттєво впливає на подальшу роботу навантажувального устаткування. Передумови впровадження енергозберігаючих заходів в процесі видобутку і переробки залізорудної сировини також розглядали такі вчені як (Rakyshev B. R., 1998), (Temchenko A. H., 2000), (Maksymov S. V., 2012), (Diadechkin M. I., 2009), що дозволило визначити залежності продуктивності екскаваторів від діаметра куска гірничої маси на залізорудних кар'єрах.

Метою дослідження є вивчення особливостей використання сучасного виймально-навантажувального устаткування та умови його застосування на прикладі ТОВ "Єристівський ГЗК" та ПрАТ «Інгулецький ГЗК», яке дозволяє оцінити ключові аспекти використання потужного устаткування в мінливих умовах гірничодобувного виробництва, адаптацію до складних обставин, які склалися внаслідок негативної дії воєнного стану.

Матеріали та методи (Materials and Methods)

Виймально-навантажувальні роботи - один з основних технологічних процесів у залізорудних кар'єрах. Їх питома вага у загальних витратах на відкриту розробку родовищ сягає 25%. Ефективність виймально-навантажувальних робіт під час навантажування гірничої маси на залізничний і автомобільний транспорт значною мірою залежить від організації обмінних операцій на уступах, поєднання параметрів виймально-навантажувального і транспортного обладнання, взаємоузгодження виймально-навантажувальних робіт з іншими суміжними процесами.

Для проведення дослідження використано сукупність методів: загальні методи - синтез, узагальнення, абстрагування, системно-структурний, спеціальні методи - статистичний та порівняльного аналізу для оцінки рівня надійності та енергоефективності сучасного виймально-навантажувального устаткування на залізорудних кар'єрах.

Науковою базою для визначеної тематики дослідження виступили дослідження вітчизняних та міжнародних дослідників, матеріали наукових семінарів, симпозіумів, науково-практичних конференцій з питань розробки механізму оцінки ефективності екскавації на глибоких залізорудних кар'єрах з позиції надійності та енергоємності гірничого виробництва, документи законодавчо-нормативної бази України щодо специфіки організації та техніки безпеки на гірничому виробництві, статистичні матеріали суб'єктів господарської діяльності на ринку залізорудної сировини.

Результати (Results)

Як вже раніше було зазначено, Єристівський ГЗК у Полтавській області - перший успішний проєкт такого плану, що реалізований за часів незалежної України. Одним з ключових факторів, на який покладалися від початку, було залучення сучасної гірничої техніки провідних світових виробників. Перше гірниче обладнання це колісний грейдер марки CAT 16M та два гусеничні бульдозери CAT D10T виробництва Caterpillar. Перші розкривні роботи розпочали з залученням крокуючого екскаватора ЕШ-11/70.

Зі збільшенням обсягів виробництва поповнювався і парк гірничої техніки. В 2011 році відбувся запуск єдиного в Європі гідравлічного екскаватора Bucyrus RH200, а вже за рік запустили і другий гідравлічний екскаватор-гігант - Bucyrus RH340 та парк кар'єрних автосамоскидів вантажопідйомністю 220 т марки Caterpillar 793D та Caterpillar 789 вантажопідйомністю 180 т.

Наразі комбінат використовує гірничотранспортне устаткування брендів Caterpillar, Komatsu та Hitachi. Зокрема унікальні 34- та 26-кубові екскаватори, 220-тонні автосамоскиди, яких не так багато на родовищах Європи.

Єристівське родовище складне за гідрогеологічними умовами (4 водоносні горизонти). М'які розкривні породи мають середню потужність 68–70 м з низькою пропускну здатністю. У зв'язку з цим як основне виймально-навантажувальне устаткування під час розроблення розкривних порід на кар'єрі доцільно використовувати крокуючі екскаватори – драглайни типу ЕШ-11/70. При цьому екскаватор ЕШ-11/70 також передбачається використовувати в подальшому для проходження осушувальних траншей та їх поглиблення.

Екскаватор ЕШ-11/70 виробництва НКМЗ (Новокраматорський машинобудівний завод) — це потужний гірничий екскаватор на гусеничному ході, здатний ефективно працювати на великих глибинах і відстанях. Його основні переваги — велика місткість ковша, довга стріла та прийнятна енергоефективність завдяки електричному приводу. Він використовується на великих вугільних, рудних та інших кар'єрах.

Основні технічні характеристики екскаватора ЕШ-11/70:

1. Загальні параметри:

- Тип: однокішловий електричний драглайн
- Модель: ЕШ-11/70 (ЕШ – "екскаватор крокуючий", 11 – об'єм ковша в м³, 70 – довжина стріли в метрах)

- Призначення: розкривні та добувні роботи в кар'єрах
- Спосіб пересування: крокуючий (з опорною плитою)
- Привід: електричний (перемінний струм)

2. Робочі параметри:

- Місткість ковша: 11 м³ (можливі модифікації з ковшами 10–15 м³).
- Довжина стріли: 70 м.
- Максимальний радіус копання: до 70–75 м.
- Максимальна глибина копання: до 45–50 м.
- Висота вивантаження: до 30–35 м.

3. Силове обладнання:

- Потужність електродвигунів: ~2000–2500 кВт (залежить від модифікації)
- Напруга живлення: 6–10 кВ (промислова мережа змінного струму)
- Тип двигуна: асинхронні або синхронні електродвигуни.

4. Масово-габаритні характеристики:

- Робоча маса: ~600–800 т (залежить від конфігурації)
- Тиск на ґрунт: ~0,15–0,25 МПа
- Швидкість пересування: 0,1–0,3 км/год

5. Продуктивність:

- Теоретична продуктивність: до 1500–2000 м³/год (залежить від умов роботи)
- Робочий цикл: 30–60 секунд

Особливості та застосування:

- Призначений для масштабних кар'єрних робіт, особливо при розробці родовищ корисних копалин (вугілля, руда, будматеріали).
- Використовує крокуючий хід для пересування, що дозволяє працювати на м'яких ґрунтах.
- Обладнаний потужною електричною системою, що забезпечує високу ефективність при великих навантаженнях.
- Може працювати у складі екскаваторно-транспортних комплексів (разом з автосамоскидами або залізничними думпкерами).

Як вже зазначалось, на відкритих розробках при проведенні розкривних робіт з подальшим вантаженням породи на гірничі автосамоскиди, в кар'єрі Єристівського родовища застосовують один з найбільших гідравлічних екскаваторів у світі, а саме Bucyrus RH200 та Bucyrus RH340.

Bucyrus RH200 та Bucyrus RH340 –екскаватори, який раніше вироблялися компанією Bucyrus International, яка була поглинена Caterpillar в 2011 році. Після придбання Bucyrus компанією Caterpillar деякі моделі були перейменовані та модернізовані, але RH200 залишається однією з найпотужніших машин у своєму класі.

Bucyrus RH200 або CAT6050 - екскаватор-гігант (рис. 1), призначений для наймасштабніших кар'єрних робіт. Він широко використовується на родовищах в Америці, Європі та Азії для розкривних робіт, видобутку вугілля, руди та інших корисних копалин.



Рисунок 1. Гідравлічний екскаватор Bucyrus RH200 (CAT 6050), Єристівський кар'єр.

Модель RH340 або CAT 6060 (рис. 2) - універсальна модель, компактніший, але такий же високопродуктивний для високонавантажених робіт.



Рисунок 2. Гідравлічний екскаватор Bucyrus RH340 (CAT 6060). Єристівський кар'єр.

Обидві моделі відомі своєю надійністю. Порівняння технічних показників гідравлічних кар'єрних екскаваторів (табл. 1.) наведено нижче.

Таблиця 1. Порівняння показників застосування гідравлічних кар'єрних екскаваторів Bucyrus RH200 та Bucyrus RH340

№ п/п	Характеристика	Bucyrus RH200 (CAT 6050)	Bucyrus RH340 (CAT 6060)
1	Вага	~537 тонн	~570 тонн
2	Об'єм ковша	25-28 м ³	25-34 м ³
3	Двигун	електропривід	електропривід
4	Потужність	~2 520 к.с. (1 880 кВт)	~3 000 к.с. (2 240 кВт)
5	Макс. радіус копання	~19,5 м	~18,9 м
6	Макс. глибина копання	~9,2 м	~8,9 м

7	Застосування	Великі відкриті кар'єри (вугілля, руда)	Середні та великі кар'єри (руда, породи)
---	--------------	--	---

Ключові відмінності:

1. Потужність та розміри:
 - RH200 — більший і потужніший екскаватор, призначений для наймасштабніших кар'єрних робіт.
 - RH340 — компактніший, але досить високопродуктивний, часто використовується у середніх кар'єрах.
2. Ковш:
 - RH200 може обладнуватися ковшами об'ємом понад 40 м³, тоді як RH340 — до 34 м³.
3. Глибина копання:
 - RH200 має більший виліт стріли, що дозволяє йому ефективніше працювати на глибоких розробках.
4. Енергопостачання:

Обидві моделі використовують електропривід через високу потужність.

Проведемо аналіз розрахункових даних продуктивності виймально-навантажувального обладнання в умовах Єристівського кар'єру і порівняємо їх з фактичними (табл. 2).

Таблиця 2. Показники часу циклу навантаження та продуктивності виймально-навантажувального обладнання в умовах ТОВ «Єристівський ГЗК»

Показник	Видобуток		Розкрив
	Висyrus RH200	CAT 6060	ЕШ-11/70
Обладнання			
Розрахункова продуктивність, м ³ /зм	9 956	16 128	10 787
Фактична продуктивність, м ³ /зм	9 269	9 900	8 562
Відхилення, %	7%	39%	21%
Теоретичний час циклу, хв	3	2	4,48
Фактичний час циклу, хв	2,4	2,31	6,15
Різниця в часі	-20 с	-31 с	+97 с

Порівнюючи дані продуктивності роботи виймально-навантажувального обладнання в умовах Єристівського кар'єру відзначимо, що фактична продуктивність значно менше ніж розрахункова. З теорії та практики відкритих гірничих робіт відомо, що продуктивність роботи екскаваторів-драглайнів можна істотно підвищити за рахунок зменшення кута повороту із вибою до точки розвантаження породи.

Оцінка ефективності екскавації на глибоких залізрудних кар'єрах з позиції надійності та енергоємності гірничого виробництва за складних і мінливих умов господарювання на ПрАТ «Інгuleцький ГЗК»

Інтенсифікація технологічних режимів у досить важких умовах роботи на кар'єрах не дозволяє навіть при ідеальних умовах експлуатації та обслуговування забезпечити безвідмовну роботу основних видів обладнання. Вихід з ладу окремих видів обладнання призводить до перевантажень обладнання, збитку через невиконання плану по залізрудній продукції, створює складнощі в управлінні технологічними процесами. Окрім того, особливу актуальність набуває вирішення завдання визначення факторів, які впливають на експлуатаційну надійність технологічних схем з установами відповідних закономірностей, виявленням «вузьких» місць з метою обґрунтованого планування терміну служби і резерву гірничого обладнання, планування технічного обслуговування, планово-попереджувальних ремонтів, капітальних ремонтів, обґрунтування потреби в запасних частинах, енергозбереження та нормування енергетичних ресурсів.

Визначення надійності технологічних процесів

З метою визначення показників надійності у відповідності з відомою методикою (Hohynkevych T. A., 1985), (Shenderov A.I., 1976) була оброблена вихідна інформація та розраховані показники надійності одного з ключових технологічних процесів: екскавації сирової руди при застосуванні циклічно-потокової технології (табл. 3).

Приведена в цій таблиці інформація свідчить про те, що найнижча надійність (ймовірність безвідмовної роботи) характерна саме для процесу екскавації, середня величина показника надійності якого за вказаний період складає лише 0,409. Аналіз експлуатаційних даних показує, що в загальній структурі потоку відмов екскаваторів частка відмов механічного устаткування становить приблизно 50 %, значну частину з них (30 %) займають відмови металоконструкцій. Останнє пов'язане з тим, що в металоконструкціях особливу небезпеку представляють зварні з'єднання, в яких найбільш інтенсивно виникають і розвиваються тріщини. Найбільш важливим фактором у даній проблемі є якість підривної підготовки гірських порід до екскавації. Кількісної мірою якості підривної підготовки гірських порід до екскавації є, як правило, середній діаметр куску у розвалі або вихід негабариту. Дані показники функціонально пов'язані між собою (рис. 3).

Таблиця 3. Вихідна інформація та показники надійності екскаваторів типу ЕКГ на ПрАТ «ІНГЗК»

Період	Чистий час роботи, годин	Простої екскаватора, пов'язані з відмовою електричної частини				Простої екскаватора, пов'язані з відмовами механічної частини				Ймовірність безвідмовної роботи	Ймовірність відмов, Р	Направленість на відмову, Т	Коефіцієнт готовності, Кг
		Кількість простотів, од.	Час простоїв, год.	Інтенсивність відмов	Інтенсивність відновлення	Кількість простоїв, од.	Час простоїв, год.	Інтенсивність відмов	Інтенсивність відновлення				
Лип 2018	724	15	29,58	0,022	0,507	6	14,7	0,008	0,408	0,786	0,214	539,7	0,968
Сер. 2018	629	11	216,58	0,027	0,051	45	144,42	0,093	0,312	0,385	0,615	21,1	0,753
Вер 2018	616	99	190,25	0,232	0,520	21	90,83	0,040	0,113	0,113	0,887	8,7	0,734
Жовт. 2018	639	62	198,67	0,115	0,628	27	147,33	0,055	0,257	0,257	0,743	20,0	0,827
Лист 2018	660	10	20,42	0,016	0,490	2	6	0,003	0,861	0,861	0,139	1229,6	0,978
Груд 2018	644	18	31,5	0,029	0,571	4	22,67	0,006	0,751	0,751	0,249	319,6	0,954
Січ 2019	650	33	66,58	0,057	0,496	29	254,33	0,073	0,354	0,354	0,646	25,8	0,824
Лют 2019	604	60	1268,25	0,126	0,468	20	95,33	0,039	0,266	0,266	0,734	18,4	0,804
Бер 2019	645	67	157,75	0,137	0,425	22	134,25	0,043	0,236	0,236	0,764	14,6	0,765
Квіт 2019	642	33	73,75	0,058	0,447	23	165,17	0,048	0,427	0,427	0,573	35,4	0,847
Трав. 2019	649	33	76,08	0,058	0,434	26	183,42	0,056	0,404	0,404	0,596	31,2	0,835
Черв 2019	635	58	97,42	0,108	0,595	23	129,92	0,046	0,203	0,293	0,707	22,9	0,834
Лип 2019	629	81	144,83	0,167	0,559	26	11,58	0,042	0,187	0,187	0,813	36,7	0,931
Середнє значення										0,409			

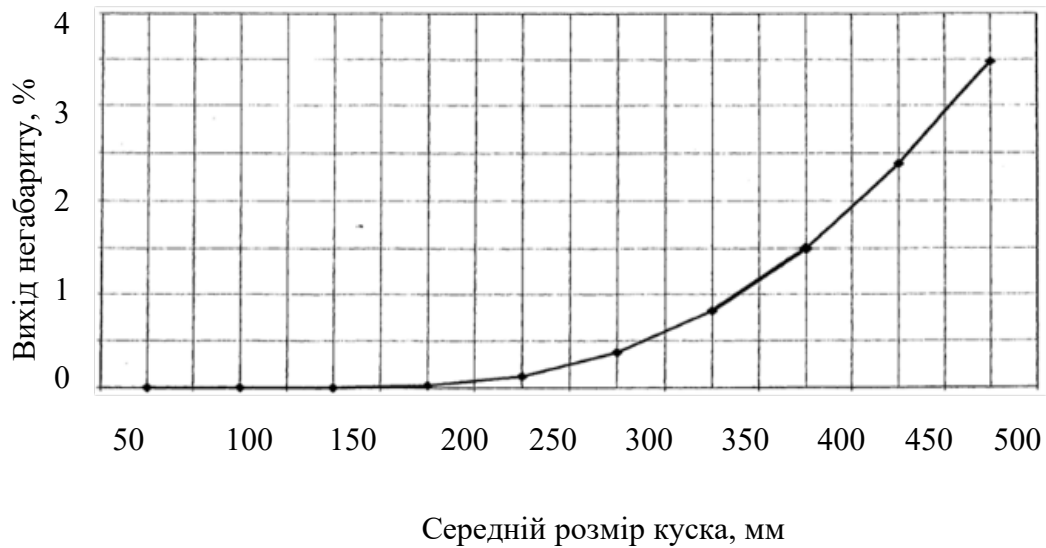


Рисунок 3. Залежність виходу негабарита від середнього діаметра куска

Виконані виміри гранулометричного складу підірваної гірничої маси у кар'єрі ПрАТ «ІнГЗК» показує, що середній діаметр куска складає 400 - 450 мм. Основним фактором впливу на тріщиноутворення у металоконструкціях екскаваторів є наявність випадкових перевантажень, що виникають внаслідок зіткнення ковша з некондиційними шматками (55 %), шарами зруйнованих порід з низьким коефіцієнтом розпушення (25 %). Збільшення середнього діаметра куска у розвалі ($d_{\text{ср}}$) з 0,3 до 0,5 м збільшує ріст тріщин у 3 - 3,5 рази, а при зміні коефіцієнта розпушення за шарами розвалу з 1,1 до 1,5 збільшує в 4,2 рази. Зменшення середнього діаметра куска підірваної гірничої маси в 1,5 рази збільшує в 2,5 рази необхідний обсяг породи, що екскавується, для перетворення стандартного тріщиноподібного дефекту в тріщину. Зі збільшенням енергоємності процесу в 2,5 рази середня кількість циклів навантаження на металоконструкції екскаватору зростає приблизно в 1,7 рази. Це вказує на зміну умов роботи - від вибою з середньою глибиною 0,3 м до менш якісно підготовленого вибою з глибиною близько 0,5 м. Дослідженнями [Usyk I.M., 1972], [Shapurin A.V, 1990] проведеними для умов кар'єра ПрАТ «ІнГЗК» встановлено вплив якості подрібнення порід вибухом на напруження в основних вузлах екскаватора при роботі у важкому вибою ($d_{\text{ср}}=400$ мм) в 3,55 - 4,57 рази вище, ніж при роботі в легкому вибою ($d_{\text{ср}}=180$ мм). Отримані залежності доцільно враховувати при плануванні термінів і обсягів робіт у конкретних умовах гірничого виробництва на окремому залізрудному родовищі, у тому числі на кар'єрі ТОВ «Єристівський ГЗК».

Визначення енергоємності технологічних процесів.

Для визначення енергоємності з використанням відомих методик енергетичної оцінки відкритої гірничої технології проведені розрахунки експлуатаційної продуктивності екскаватора ЕКГ -8І в залежності від діаметра середнього куска, результати яких представлені на рисунку 2, з якого видно, що при зміні середнього куска від 200 до 450 мм продуктивність знижується з 346,3 до 183,5 м³/год, тобто в 1,9 рази. Суттєво впливаючи на експлуатаційну продуктивність екскаватора, якість подрібнення ($d_{\text{ср}}$) відбивається і на енергоємності процесу навантаження. Поряд з кусковатістю підірваної гірничої маси другим показником її стану, який впливає на продуктивність і енергоємність екскавації, є коефіцієнт розпушення, який відображає ряд фізичних параметрів середовища: якість дроблення ($d_{\text{ср}}$), ступінь переміщення масиву, зв'язаність порід, зрушеність, стійкість. Дослідженнями відомого вченого (Tanhaiev I.A., 1986) встановлена залежність коефіцієнта розпушення від середнього діаметра підірваної гірничої маси:

$$K_p = 1 + d_{\text{ср}} \cdot (1)$$

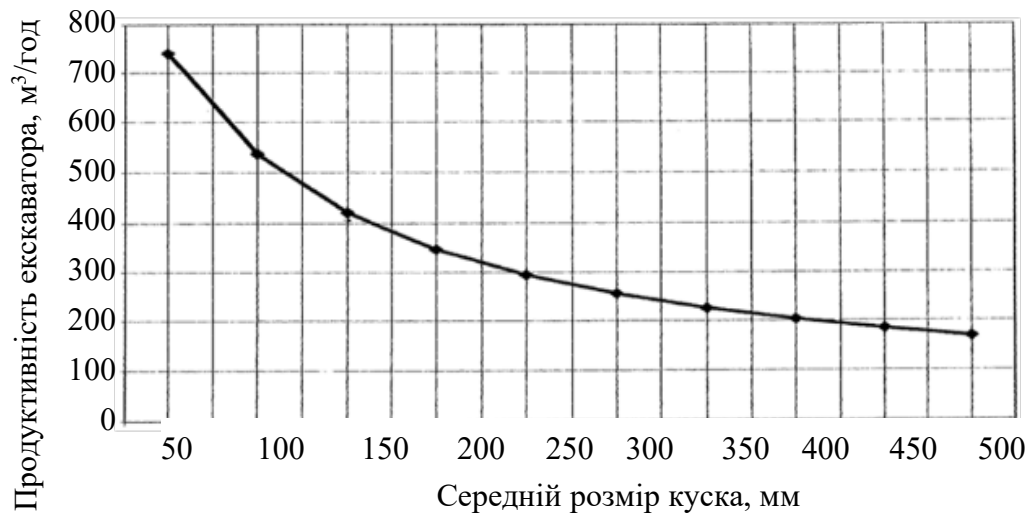


Рисунок. 4. Залежність продуктивності екскаватора ЕКГ -8І від середнього діаметра куска гірничої маси

Просторова змінність коефіцієнта розпушення в поєднанні з нестабільною якістю подрібнення порід у різних точках розвалу за даними досліджень (*Rakyshev B.R., 1998*), (*Temchenko A.H., 2000*), (*Maksymov S.V., 2012*) суттєво впливає на енергоємність екскавації і продуктивність екскаватора залежно від поєднання абсолютних значень $d_{\text{сер}}$, K_p та інших факторів, питомі енергетичні витрати на екскавацію 1 м³ гірничої маси можуть відрізнятися в 10 разів. Аналіз звітних даних кар'єру ПрАТ «ІнГЗК» у 2019 році показує, що при розмірі середнього куска підірваної гірничої маси 450 мм питомі витрати електроенергії на екскавацію склали 1,58 кВт.год/м³, при розмірі середнього куска 200 мм енергоємність екскавації не перевищувала 0,6 кВт.год/м³, а витрати електроенергії знизились в 2,63 рази. Для оцінки якості вибуху нами пропонується використовувати енергетичну шкалу екскавації, переваги якої, насамперед, полягають в її універсальності. Зокрема, значення питомої енергоємності навантаження практично не залежать від марки екскаватора типу механічна лопата. Енергетичну шкалу можливо використовувати для оцінки якості вибуху. На відміну від традиційного способу визначення якості вибуху по гранулометричному складу гірничої маси, така оцінка є більш об'єктивною, оскільки включає весь комплекс фізико-технічних параметрів вибою (табл. 4). Виходячи з наведеного, стає правомірне твердження про те, що за дуже поганої якості подрібнення наявна висока енергоємність екскавації і подрібнення.

Таблиця 4. Енергетична шкала екскавації

Якість дроблення	Енергоємність екскавації кВт*год/м³	Ймовірні значення $d_{\text{сер}}$, мм
Добра	<0,4	<200
Задовільна	0,4-0,7	<300
Погана	0,7-0,9	<400
Дуже погана	>0,9	>400

Цей висновок у повній мірі узгоджується з висновками, наведеними в роботі (*Diadechkin M.I., 2009*), а також аналізом звітних даних дробильної фабрики ПрАТ «ІнГЗК» за 2019 рік, який показує, що при розмірі середнього куска підірваної гірничої маси 400 - 450 мм питомі витрати електроенергії складають 3,13 кВтгод/т, при розмірі середнього куска 200 мм енергоємність подрібнення не перевищувала 2,0 кВт год /т, тобто витрати електроенергії

зросли в 1,57 рази. Це вказує на об'єктивну необхідність зниження енергоємності виробництва товарної продукції шляхом оптимізації розміру середнього куска при вибуховій підготовці руди з перерозподілом енергетичних витрат між вибуховим дробленням (в сторону вибухових робіт) і механічним подрібненням на збагачувальній фабриці, що дозволить підвищити продуктивність як виймально-навантажувального, так і подрібнювального устаткування на 6-10 %. Таким чином, запропонована методика оцінки надійності і енергоємності технологічних процесів може бути використана при формуванні ефективності подальшого застосування відкритої гірничої технології на глибоких кар'єрах з позиції забезпечення конкурентоспроможності товарної залізовмісткої продукції.

Висновки (Conclusions)

Отже, в теперішній час особливу актуальність набуває вирішення завдання визначення факторів, які впливають на експлуатаційну надійність технологічних схем екскавації гірничої маси з установами відповідних закономірностей, виявленням «вузьких» місць з метою обґрунтованого планування терміну служби і резерву гірничого обладнання, зокрема ефективного застосування мехлопат, драглайнів та гідравлічних іноземних екскаваторів в складних та мінливих умовах виробництва, планування технічного обслуговування, планово-попереджувальних ремонтів, капітальних ремонтів виймально-навантажувального устаткування, обґрунтування потреби в запасних частинах, енергозбереження та нормування енергетичних ресурсів при подальшій розробці глибоких залізородних кар'єрів.

Таким чином, запропонована методика оцінки надійності і енергоємності технологічних процесів може бути використана при подальшому застосуванні виймально-навантажувального устаткування для подальшої розробки вітчизняних родовищ корисних копалин в контексті підвищення ефективності відкритої гірничої технології з позиції забезпечення конкурентоспроможності вітчизняної залізовмісткої продукції на зовнішніх ринках.

Конфлікт інтересів (Conflicts of interest)

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Фінансування (Funding)

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування.

Внесок авторів (Authors contribution)

Автори даної науково-дослідницької статті внесли відповідний вклад у дослідження та проведення аналізу обраної проблематики, щодо напрацювання засад для оцінки ефективності застосування сучасного виймально-навантажувального устаткування на глибоких залізородних кар'єрах з позиції надійності та енергоємності гірничого виробництва за складних і мінливих умов господарювання на сучасних гірничо-збагачувальних комбінатах України. Концептуалізація, аналіз даних, запропоновані рекомендації по роботі, Т.О; огляд літератури, аналітичні дані, побудова рисунків, таблиць, візуалізація Т.Д., огляд літератури, загальний аналіз, висвітлення проблеми, С.П.; огляд літератури та методика, висвітлення проблеми, перевірка даних, запропоновані рекомендації Б.Н. Усі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису.

Література (References)

- Anisimov, O. O., Hrytsenko, L. S., Davidenko, N. D., Cherniaieva, O. V., & Sydorenko, I. K. (2023). Faktory, shcho vplyvaiut na produktyvnist ekskavatorno-avtomobilnykh kompleksiv [Factors affecting the productivity of excavator-truck systems]. *Tekhnichna Inzheneriia*, 1(91), 262–270. [https://doi.org/10.26642/ten-2023-1\(91\)-262-270](https://doi.org/10.26642/ten-2023-1(91)-262-270)
- Carvalho, F. P. (2017). Mining industry and sustainable development: Time for change. *Food and Energy Security*, 6(2), 61–77. <https://doi.org/10.1002/fes3.109>
- Diadechkyn, M. I., & Shypovskiy, H. V. (2009). Vybukhove ruinuвання sylno obvodnennykh porodnykh masyviv na Inhuletskomu HZK [Blasting destruction of highly watered rock masses at Inhuletskyi Mining and Processing Plant]. *HirnychiZhurnal*, 2, 37–39.
- Frolov, O. O., & Beltek, M. (2021). Influence of the hydraulic excavator location with a backhoe in the face on the efficiency of rock mass excavation. *Visnyk KrNU imeni Mykhaila Ostrohradskoho*, 3(128), 70–75. <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2021.3.70-75>
- Frolov, O. O., & Kosenko, T. V. (2020). Udoskonalennia metodu vyznachennia ratsionalnykh parametriv ekskavatorno-avtomobilnykh kompleksiv potuzhnykh karieriv [Improving the method for determining rational parameters of excavator-truck systems in powerful quarries]. *Tekhnichna Inzheneriia*, 1(85), 242–248. [https://doi.org/10.26642/ten-2020-1\(85\)-242-248](https://doi.org/10.26642/ten-2020-1(85)-242-248)
- Frolov, O.O., Sokolovska, M.I., Kramorenko, L.V., & Kononovych, V.A. (2017). Optymizatsiia tekhnologichnykh parametriv ekskavatorno-avtomobilnykh kompleksiv [Optimization of technological parameters of excavator-truck systems]. *Visnyk NTUU «KPI». Serii: Hirnytstvo*, 34, 28–33. <https://doi.org/10.20535/2079-5688.2017.34.110487>
- Holynkevych, T. A. (1985). *Prykladna teoriia nadiinosti* [Applied reliability theory] (2nd ed.). Vyscha Shkola.
- Hryhoriev, I. Ye., Hryhoriev, Yu. I., Shvets, Ye. M., Lutsenko, S. O., & Lukin, A. Yu. (2024). Doslidzhennia efektyvnosti vykorystannia vyimalno-navantazhuvalnoho obladdnannia v umovakh TOV «Yerystivskiy HZK» [Research on the efficiency of excavating and loading equipment at Yerystivskiy Mining and Processing Plant]. *Naukovyi Zhurnal Metinvest Politekhniky. Serii: Tekhnichni Nauky*, 1, 90–95. <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-1-13>
- Maksymov, S. V., Temchenko, O. A., & Temchenko, H. V. (2012). Peredumov vsuperech enerhooshchadnym vytratam u protsesi vydobutku ta pererobky kvartsovoi rudy [Prerequisites for energy-saving costs in the extraction and processing of quartz ore]. *Visnyk KTU*, 32, 250–255.
- Maleki, M., Jélvez, E., Emery, X., & Morales, N. (2020). Stochastic open-pit mine production scheduling: A case study of an iron deposit. *Minerals*, 10(7), 585. <https://doi.org/10.3390/min10070585>
- Mishra, A., Palei, S. K., & Gupta, S. (2020). Reliability analysis of dragline using equivalent aging model. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45(8), 6975–6984. <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04622-3>
- Palei, S. K., Das, S., & Chatterjee, S. (2020). Reliability-centered maintenance of Rapier dragline for optimizing replacement interval of dragline components. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 37(4), 1121–1136. <https://doi.org/10.1007/s42461-020-00226-5>
- Prokopenko, V. I., Pilov, P. I., Cherep, A. Y., & Pilova, D. P. (2020). Managing mining enterprise productivity by open pit reconstruction. *Eurasian Mining*, 1, 42–46. <https://doi.org/10.17580/em.2020.01.08>
- Purhamadani, E., Bagherpour, R., & Tudeshki, H. (2021). Energy consumption in open-pit mining operations relying on reduced energy consumption for haulage using in-pit crusher systems. *Journal of Cleaner Production*, 291, 125228, 497–504. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125228>
- Rakyshev, B. R. (1998). *Enerhoiemnist mekhanichnoh oruinuvannia hirskykh porid* [Energy intensity of mechanical rock destruction]. Baspaher.
- Sdvyzhkova, O., Moldabayev, S., Bascetin, A., Babets, D., Kuldeyev, E., Sultanbekova, Z., ..., & Issakov, B. (2022). Probabilistic assessment of slope stability at ore mining with steep layers in deep open pits. *Mining of Mineral Deposits*, 16(4). <https://doi.org/10.33271/mining16.04.011>

- Shamsi, M., Pourrahimian, Y., & Rahmanpour, M. (2022). Optimisation of open-pit mine production scheduling considering optimum transportation system between truck haulage and semi-mobile in-pit crushing and conveying. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 36(2), 142–158. <https://doi.org/10.1080/17480930.2021.1996983>
- Shapurin, A. V. (1990). *Rozrakhunka parametriv buropidryvnykh robot* [Calculation of drilling and blasting parameters]. UMK VO.
- Shenderov, A.I., Yemelianov, O.A., & Odin, I.M. (1976). *Nadiinist i produktyvnist hirnychotransportnoho obladdannia* [Reliability and productivity of mining transport equipment]. Nedra.
- Sinha, S. K., & Choudhary, B. S. (2020). Pit optimization for improved NPV and life of mine in heterogeneous iron ore deposit. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series D*, 101(2), 253–264. <https://doi.org/10.1007/s40033-020-00236-z>
- Sobko, B. Ie., Panchenko, V. V., Lotous, V. V., & Vinivitin, D. V. (2020). *Orhanizatsiia i planuvannia vidkrytykh hirnychykh robot (systemnyi pidkhid)* [Organization and planning of open-pit mining (system approach)]. NTU "DP".
- Symonenko, V. I., Haddad, J. S., Cherniaiev, O. V., Rastsvietaiev, V. O., & Al-Rawashdeh, M. O. (2019). Substantiating systems of open-pit mining equipment in the context of specific cost. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series D*, 100, 301–305. <https://doi.org/10.1007/s40033-019-00185-2>
- Taghizadeh, A., & Demirel, N. (2017). Application of machine learning for dragline failure prediction. *E3S Web of Conferences*, 15, 03002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20171503002>
- Tanhaiev, I.A. (1986). *Enerhoiemnist protsesiv vydobutku i pererobky korysnykh kopalyn* [Energy intensity of mining and mineral processing processes]. Nedra.
- Temchenko, A.H., & Temchenko, O.A. (2000). Enerhoiemnist droblennia hirslykh hporid za tsyklichno-potokovoi tekhnolohii [Energy intensity of rock crushing in cyclic-flow technology]. *Naukovi Aspekty Pidvyshchennia Efektyvnosti Hirnychoho Vyrobnystva*, 100–103.
- Usyk, I. M., Oberemok, O. M., Heneralov, H. S., et al. (1972). Vplyv diametra sverdlovyn na efektyvnist vybukhovoho rozkryvu sylnoobvodnennykh zalizystykh kvartsytiv [The influence of borehole diameter on the efficiency of blasting in highly watered ferruginous quartzites]. *Hirnychyi Zhurnal*, 5, 39–42.