

## ГІРНИЦТВО

УДК 622.271

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-1-13>

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВИЙМАЛЬНО-НАВАНТАЖУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ В УМОВАХ ТОВ «ЄРИСТІВСЬКИЙ ГЗК»

**Григор'єв Ігор Євгенійович,**

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри гірничої справи

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

ORCID ID: 0009-0006-2787-106X

**Григор'єв Юліан Ігорович,**

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри відкритих гірничих робіт

Криворізький національний університет

ORCID ID: 0000-0002-1780-5759

**Швець Єгор Миколайович,**

кандидат технічних наук

старший викладач кафедри відкритих гірничих робіт

Криворізький національний університет

ORCID ID: 0000-0003-1865-2018

**Луценко Сергій Олександрович,**

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри відкритих гірничих робіт

Криворізький національний університет

ORCID ID: 0000-0002-5992-3622

**Лукін Антон Юрійович,**

студент групи ГІВ-23-1м

Криворізький національний університет

ORCID ID: 0009-0002-3788-4965

*Метою роботи є підвищення ефективності використання виймально-навантажувального обладнання на Єристівському кар'єрі за рахунок впровадження інформаційних технологій. Для вирішення поставлених задач у статті були використанні такі методи: аналіз і синтез наукових джерел інформації для дослідження наукових основ використання виймально-навантажувального обладнання, аналіз світового досвіду ефективного використання виймально-навантажувального обладнання, аналіз досвіду впливу автоматизованих систем управління гірничим транспортом на виймально-навантажувальне обладнання; методи регресійного аналізу, економіко-математичного моделювання і техніко-економічної оцінки. Наукова новизна результатів дослідження полягає у встановленні факторів, які впливають на продуктивність виймально-навантажувального обладнання. Практична значимість полягає у можливості використання результатів досліджень гірничими підприємствами та проектними організаціями під час планування гірничих робіт. Таким чином, у роботі виконано порівняння продуктивності виймально-навантажувального обладнання, що використовується в умовах Єристівського кар'єра, в результаті чого було встановлено, що очікувана та фактична продуктивність має певні відмінності через показник часу циклу навантаження. В результаті досліджень було встановлено, що час циклу за куту повороту від 20° до 30° буде мінімальним та збільшить продуктивність драглайну. Крім того, в конкретних гір-*

ничо-технічних умовах встановлено, що впровадження автоматизованої системи управління "WENCO" дало змогу збільшити продуктивність гірничотранспортного комплексу та загалом покращити техніко-економічні показники роботи кар'єру.

**Ключові слова:** кар'єр, виймально-навантажувальне обладнання, екскаватор, час циклу навантаження, автоматизована система управління гірничим транспортом.

**Hryhoriev Ihor, Hryhoriev Yulian, Shvets Ehor, Lutsenko Serhii, Lukin Anton. Study of the efficiency of use of extraction and loading equipment in the conditions of "Yeristivsky MPP" LTD**

*The purpose of the paper is to increase the efficiency of the use of excavator equipment at the Yeristivsky open-pit due to the introduction of information technologies. The following methods were used to solve the problems in the paper: analysis and synthesis of scientific sources of information for the study of the scientific foundations of the use of extraction and loading equipment, analysis of world experience in the effective use of extraction and loading equipment, analysis of the experience of the influence of automated mining transport control systems on extraction and loading equipment; methods of regression analysis, economic-mathematical modeling and technical-economic assessment. The scientific novelty of the research results lies in the establishment of factors that affect the productivity of the extraction and loading equipment. The practical significance lies in the possibility of using research results by mining enterprises and project organizations when planning mining operations. Thus, the paper compares the performance of the excavator equipment used in the conditions of the Yeristov open-pit, as a result of which it was established that the expected and actual performance have certain differences due to the indicator of the load cycle time. As a result of research, it was established that the cycle time at a turning angle of 20° to 30° will be minimal and will increase the productivity of the dragline. In addition, in specific mining and technical conditions, it was established that the implementation of the automated management system "WENCO" made it possible to increase the productivity of the mining transport complex and, in general, improve the technical and economic performance of the pit.*

**Key words:** open-pit, extraction and loading equipment, excavator, load cycle time, automated mining transport management system.

Сьогодні видобуток залізної руди є одним з найбільших важливих напрямів розвитку світової промисловості. Попит на залізо останнім часом на світових ринках значно виріс, тому розроблення нових родовищ залізної руди, нарощування темпів видобутку, вдосконалення систем розробки на наявних родовищах є важливими для задоволення попиту.

Компанія "Ferrexpo" у 2008 році розпочала будівництво Єристівського кар'єру, що розташований на Єристівському родовищі Кременчуцького району Полтавської області. Для досягнення високих виробничих показників видобутку залізної руди в процесі відкритих гірничих робіт на цьому кар'єрі використовується високопродуктивне, ефективне та безпечне обладнання. Виймально-навантажувальні роботи – один з основних технологічних процесів у 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.

Тривалість циклу навантаження є одним з ключових аспектів під час розрахунку продуктивності виймально-навантажувального

обладнання. Для визначення продуктивності обладнання гірниче підприємство вимірює його час циклу, а також ефективність машиніста [1]. Як правило, більш високі значення тривалості циклу висвітлюють проблеми в процесі навантаження. Таким чином, досліджуючи хронометраж тривалості циклу, можна встановити контрольні показники, що дасть змогу швидко визначити і вирішити проблеми.

Різним дослідникам вдалося визначити аспекти гірничої справи, де можна зробити покращення на основі оптимізації тривалості циклу. Незважаючи на те, що більшість дискусій була зосереджена на кар'єрних автосамоскидах, дуже мало досліджень було проведено стосовно продуктивності екскаватора, оскільки вона пов'язана з тривалістю циклу [2; 3; 4]. З появою гідравлічних екскаваторів продуктивність обладнання значно підвищилась. Відповідно, було досягнуто підвищення продуктивності гідравлічних екскаваторів за рахунок електронно-оптимізованих систем керування насосами замкнутого циклу обертання, що забезпечує більшу припустиму потужність, незалежні системи охолодження, які дають змогу екскаватору працювати на повній швидкості, а також гідравліку високого тиску [1; 5].

Традиційно під час розрахунку тривалості циклу навантаження екскаватора виділяють такі компоненти: час повороту (25%), час наповнення ковша (41%), час повороту повного ковша (24%) і час розвантаження (10%).

Оптимальна кількість ковшів для завантаження автосамоскиди становить від 3 до 6 [6]. Очевидно, що навички водіїв вантажівок і машиністів екскаваторів відіграють ключову роль у скороченні часу циклу навантаження. Завантаження вантажівки за найменшу кількість ковшів не обов'язково є найкращим підходом. Гірничі спеціалісти також зосереджують увагу на коефіцієнті заповнення разом із кількістю ковшів, але найважливішим для роботи гірничого підприємства є досягнення швидшого циклу навантаження [7].

Висота вантажівок відносно виймально-навантажувального обладнання також відіграє важливу роль у роботі навантажувального обладнання. Якщо екскаватор завантажує автосамоскиди, розташовані нижче за рівень стояння екскаватора і кут повороту (від 20° до 30°), час циклу може становити лише 20–23 секунди. З вантажівкою на верхньому уступі продуктивність екскаваторно-автомобільного комплексу знижується. Порівнюючи схеми навантаження, дослідники зазначають, що двостороннє завантаження хоч і є дещо складнішим, ніж одностороннє, проте за досвідом є продуктивнішим [7].

Система керування корисним навантаженням на кар'єрних вантажівках є ще одним викликом для гірничих робіт. З приходом новітніх технологій машиніст екскаватора може контролювати якість навантаження в режимі реального часу, щоб машиністи виймально-навантажувального обладнання могли збільшити середнє корисне навантаження самоскида та максимізувати продуктивність без збільшення кількості ковшів.

У низці досліджень великої гірничої техніки розглянуто інші змінні, які впливають на продуктивність машини. Зокрема, було досліджено [2] вплив якості подрібнення матеріалу, який вантажили канатним екскаватором, на продуктивність навантаження.

В роботі [8] представлено результати досліджень, які порівнюють продуктивність роботи

гідравлічного екскаватора з продуктивністю канатної механічної лопати. Оцінено аналогічні машини гірничодобувного класу щодо енергії, необхідної для вилучення однакової одиниці кількості гірської маси з вибою. Результати дослідження також показали вищу собівартість на одиницю маси порівняно з екскаватором аналогічної вантажопідйомності та віку. Загалом електричні канатні екскаватори з вищою первісною вартістю покупки демонстрували нижчу питому вартість обслуговування, стаючи загалом більш економічними протягом 5 років експлуатації порівняно з гідравлічним екскаватором аналогічної потужності.

Виходячи з аналізу наукових досліджень щодо використання виймально-навантажувального обладнання під час розроблення родовищ відкритим способом, бачимо необхідність у підвищенні його ефективності за рахунок скорочення тривалості циклу, чого можна досягти шляхом використання спеціалізованих інформаційних технологій.

На основі даних продуктивності роботи основного гірничого устаткування за період з 1 січня 2021 року по 1 січня 2022 року проаналізуємо можливі шляхи її підвищення. Для подальшого детального аналізу нам необхідно визначити розрахункову експлуатаційну продуктивність устаткування. Порівняння продуктивності виконаємо для ЕШ-14/50 в умовах м'якого розкриття, а також для Bucyrus RH-200 та CAT 6060 на видобувних горизонтах по скельній гірській масі. Далі проведемо аналіз розрахункових даних продуктивності виймально-навантажувального обладнання в умовах Єристівського кар'єру і порівняємо їх з фактичними (табл. 1).

Порівнюючи дані продуктивності роботи виймально-навантажувального обладнання в умовах Єристівського кар'єру, відзначимо, що для екскаватора RH-200 фактична продуктивність за 2021 рік виявилась на 7% менше, для CAT 6060 – на 39% менше, для ЕШ-14/50 – на 21% менше, ніж розрахункова. Аналіз показників

Таблиця 1

**Показники часу циклу навантаження та продуктивності виймально-навантажувального обладнання**

Показник	Видобуток		Розкриття
	Bucyrus RH-200	CAT 6060	ЕШ-14/50
Обладнання			
Розрахункова продуктивність, м <sup>3</sup> /зм.	9 956	16 128	10 787
Фактична продуктивність, м <sup>3</sup> /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

тривалості циклу навантаження екскаваторів виявив, що фактичний час циклу навантаження має достатню похибку.

Єристівське родовище складне за гідргеологічними умовами (4 водоносні горизонти). М'які розкривні породи мають середню потужність 68–70 м з низькою пропускною здатністю.

У зв'язку з цим як основне виймально-навантажувальне обладнання під час розроблення розкривних порід на кар'єрі доцільно використовувати крокуючі екскаватори – драглайни типу ЕШ-14/50 та ЕШ-11/70. При цьому екскаватори ЕШ-11/70 передбачається використовувати для проходження осушувальних траншей та їх поглиблення. За подальшого розвитку гірничих робіт для збільшення продуктивності кар'єру по наносах можна переобладнати екскаватор ЕШ-11/70 у ЕШ-14/50 шляхом скорочення стріли на 20 м та заміни ковша на більш місткій.

Відомо, що значну частину загальної собівартості одиниці кінцевої продукції від розроблення корисних копалин займає вартість екскавації розкривних порід. Драглайни працюють у комплексі з автосамоскидами Cat-789С вантажопідйомністю 180 т. Річні обсяги виїмки м'якого розкриття становлять 40–50 млн м<sup>3</sup>. Висоти уступів по наносах становлять 13, 12, 13, 12, 18 м (від відмітки +68 до 0) і прийняті відповідно до робочих параметрів екскаваторів. Враховуючи водонасиченість м'яких порід, проєктні кути укосів уступів по м'яких породах становлять 30°. Берми безпеки – 15 м. Відпрацювання уступів проводиться торцевим забоем.

Навантаження м'яких порід здійснюється безпосередньо в автосамоскиди, що розташовані

на рівні установки екскаватора та нижче рівня установки, тобто на верхньому майданчику уступу чи на нижньому.

З теорії та практики відкритих гірничих робіт відомо, що продуктивність роботи екскаватора-драглайна можна істотно підвищити за рахунок зменшення кута повороту із забою до точки розвантаження породи.

Зменшити кут повороту екскаватора і, відповідно, час повороту можна шляхом навантаження автосамоскида, що розташований нижче рівня стояння драглайну. Це суттєво підвищить продуктивність драглайну і продуктивність екскаваторно-автомобільного комплексу загалом, що приведе до скорочення витрат на розкривні роботи.

Далі було розглянуто два варіанти роботи ЕШ-11/70 із завантаженням у автосамоскиди: з верхнім і нижнім розвантаженням драглайну.

Для порівняння ефективності роботи двох схем за нижнього розвантаження породи в автосамоскиди та розвантаження на рівні стояння екскаватора визначимо річну експлуатаційну продуктивність драглайнів, а результати розрахунків наведемо у табл. 2.

Аналіз розрахунків показав, що продуктивність драглайнів значною мірою залежить від місця встановлення автосамоскида під навантаження. Під час завантаження автосамоскида на рівні установки екскаватора кут повороту складає в середньому 90°, а нижче рівня установки – 10°. Таким чином, значно скорочується тривалість робочого циклу екскаватора, при цьому зростає його продуктивність. Наприклад, річна продуктивність драглайнів ЕШ-14/50 та ЕШ-11/70 під час їх завантаження нижче рівня

Таблиця 2

**Значення річної експлуатаційної продуктивності за зміни кута повороту навантаження**

Кут повороту, $\varphi_n$ , град.	Тривалість циклу, $t_{\text{ц}}$ , с		Річна експлуатаційна продуктивність $Q_p$ , тис.м <sup>3</sup> /рік	
	ЕШ-14/50	ЕШ-11/70	ЕШ-14/50	ЕШ-11/70
10	28,4	28,5	3 955	3 094
20	33,5	33,5	3 346	2 630
30	37,9	37,7	2 963	2 336
40	41,7	41,5	2 689	2 124
50	45,3	45	2 478	1 961
60	48,6	48,2	2 309	1 829
70	51,7	51,3	2 169	1 720
80	54,7	54,2	2 050	1 627
90	57,6	57	1 948	1 548
100	60,4	59,7	1 859	1 478
110	63,1	62,3	1 780	1 415
120	65,7	64,8	1 710	1 360
130	68,2	67,3	1 646	1 311

установки буде становити 3,95 млн м<sup>3</sup> та 3,1 млн м<sup>3</sup> відповідно. Інакше за завантаження автосамоскидів на рівні установки екскаваторів та куті повороту  $\varphi = 90^\circ$  продуктивність драглайнів зменшується вдвічі.

На основі розрахунків отримано графік залежності річної експлуатаційної продуктивності екскаваторів від кута повороту навантаження (рис. 1).

Отримані залежності підтвердили, що за однакового кута повороту та приблизно однакового часу циклу повороту у ЕШ-14/50 річна експлуатаційна продуктивність буде вища, ніж у ЕШ-11/70.

Для подальшого вдосконалення роботи гірничотранспортного обладнання розглянемо впроваджену на Єристівському кар'єрі АСУ "WENCO", що є багатофункціональною та охоплює всі основні процеси організації та управління гірничо-транспортним обладнанням і роботою кар'єру загалом. Впровадження системи підняло на вищий рівень організацію виробництва та управління гірничотранспортним комплексом за рахунок підвищення якості та оперативності отримання інформації, виявлення порушень, автоматизувало управління розподілом самоскидів, що дало змогу підвищити своєчасність та обґрунтованість прийняття рішень з управління процесами, підвищити швидкість та точність виконання технологічних операцій.

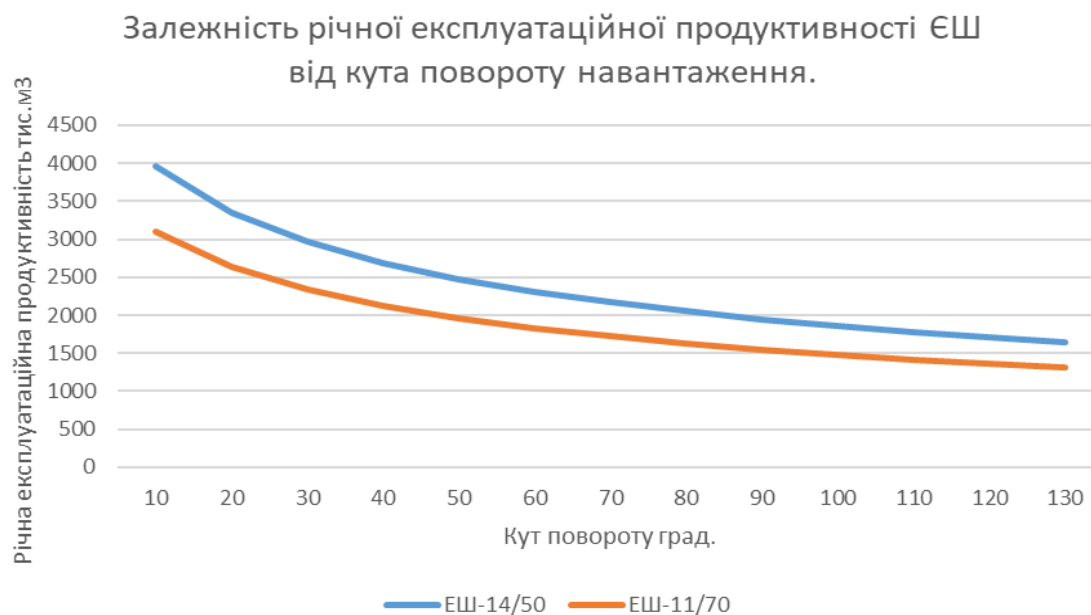
Впровадження системи розширило склад та якість засобів (інструментів) контролю та

управління гірничотранспортними роботами. Використання технічних та програмних засобів систем забезпечило можливість здійснювати централізований, оперативніший і суворіший контроль над технологічними процесами [5]. Оперативний інструментальний контроль дав можливість підвищити технологічну та виробничу дисципліну, покращити організацію та безпеку робіт. Це підвищило ефективність виконання технологічних операцій та привело до покращення технологічних параметрів ведення робіт.

В результаті за період впровадження "WENCO" підвищилась ефективність використання гірничої та транспортної техніки. Вперше на 20...30% знизився час простою автосамоскида біля вантажної техніки. За ступенем збільшення парку автосамоскидів ефект від зменшення часу простоїв проявляється все більше.

Встановлено, що на 2...3% підвищилося середнє завантаження самоскидів, знизився розкид обсягу завантаження, зменшилися випадки недовантажень та перевантажень самоскидів. Використання системи "WENCO" дало змогу збільшити кількість навантажених автосамоскидів САТ 789С вантажопідйомністю 180 тонн на 1042 одиниці за рік за рахунок зростання швидкості навантаження екскаватором Висурус RH-200.

У статті детально проаналізовано роботу екскаваторно-автомобільного комплексу Єристівського кар'єру. Аналіз виробничої потужності дав змогу виявити потенціал для її збільшення. Покращення показників роботи



**Рис. 1. Залежність річної експлуатаційної продуктивності ЄШ від кута повороту навантаження**

екскаваторно-автомобільного комплексу вбачається у зменшенні кута повороту екскаватора під час навантаження та використанні схеми з нижнім завантаженням. Проаналізовано роботу драглайна та доведено, що час циклу за куту повороту від 20° до 30° та завантаження автосамоскиду, що розташований нижче за рівень стояння екскаватора, буде найменшим, річна продуктивність драглайну буде найвищою, а двостороннє завантаження – продуктивнішим, хоча й складнішим у реалізації.

Встановлено, що зменшити негативний вплив організаційних факторів можна шляхом впровадження новітніх інформаційних систем. Так, проаналізовано позитивний досвід використання АСУ "WENCO" на Єристівському кар'єрі. Таким чином, завдяки швидкій адаптації виробничої системи до актуальних проблем у роботі виймально-навантажувального обладнання і транспорту вдалося покращити показники його роботи і знизити собівартість видобутку руди відкритим способом.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Hendricks C., Peck J., Scoble M. Machine performance monitoring in surface mines. *Mining Engineering*. 1992. Vol. 44, no. 3. P. 243–250.
2. Osanloo M., Hekmat A. Prediction of shovel productivity in the Gol-e-Gohar iron mine. *Journal of Mining Science*. 2005. Vol. 41, no. 2. P. 177–184.
3. Ercelebi S.G., Bascetin A. Optimization of shovel-truck system for surface mining. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2009. Vol. 109, no. 7. P. 433–439.
4. Fujita K., Yasuda T., Imaie K. Ultra large hydraulic excavators and dump trucks for large open-pit mines. *Hitachi Review*. 2011. Vol. 60, no. 5. P. 267–271.
5. Nel S., Kizil M.S., Knights P. Improving truck-shovel matching. *35<sup>th</sup> APCOM Symposium: Wollongong, NSW*, 2011. P. 381–391.
6. Kirmanli C., Erceleni S.G. An expert system for hydraulic excavator and truck selection in surface mining. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2009. Vol. 109, no. 12. P. 727–739.
7. Vemba M.M.D.S. Loading and transport system at SMC-optimization. *The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*. 2004. Vol. 104, no. 3. P. 139–147.
8. Technology improves shovel productivity. *Engineering and mining journal*. 2018. Vol. 219, no. 5. P. 46–49. URL: <https://www.e-mj.com/flipbooks/may-2018-2/?showpage=48>.

#### REFERENCES:

1. Hendricks C., Peck J., Scoble M. (1992). Machine performance monitoring in surface mines. *Mining Engineering*. 44 (3), 243–250.
2. Osanloo M., Hekmat A. (2005). Prediction of Shovel Productivity in the Gol-e-Gohar Iron Mine. *Journal of Mining Science*, 41 (2), 177–184.
3. Ercelebi S.G., Bascetin A. (2009). Optimization of shovel-truck system for surface mining. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 109 (7), 433–439.
4. Fujita K., Yasuda T., Imaie K. (2011). Ultra large hydraulic excavators and dump trucks for large open-pit mines. *Hitachi Review*. 60 (5), 267–271.
5. Nel S., Kizil M.S., Knights P. (2011). Improving truck-shovel matching. *35<sup>th</sup> APCOM Symposium: Wollongong, NSW*. 381–391.
6. Kirmanli C., Erceleni S.G. (2009). An expert system for hydraulic excavator and truck selection in surface mining. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 109 (12), 727–739.
7. Vemba M.M.D.S. (2004). Loading and transport system at SMC-optimization. *The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*. 104 (3), 139–147.
8. Engineering and mining journal (2018). *Technology Improves Shovel Productivity* [online], no. 5. Retrieved from: <https://www.e-mj.com/flipbooks/may-2018-2/?showpage=48>.