

© І.Є. Григор'єв¹, С.О. Луценко², Ю.І. Григор'єв², Є.О. Ткачук³, М.О. Гора²
¹ ДП «Державний проектний інститут «Кривбаспроект», Кривий Ріг, Україна
² Криворізький національний університет, Кривий Ріг, Україна
³ ТОВ «Рудомай», Кривий Ріг, Україна

ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ТИПОРОЗМІРУ ЕКСКАВАТОРУ НА МЕЖІ ВІДКРИТИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ

© I. Hryhoriev¹, S. Lutsenko², Ju. Hryhoriev², Je. Tkachuk³, M. Ghora²
¹ SE «State Design Institute «Krivbasproekt», Kryvyi Rih, Ukraine
² Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine
³ Ltd. «Rudomai», Kryvyi Rih, Ukraine

STUDY OF THE INFLUENCE OF EXCAVATOR TYPESIZE ON THE BOUNDARIES OF OPEN PIT MINING

Мета. Кар'єри вітчизняних гірничодобувних підприємств у великій своїй частці виходять на кінцеві проектні контури. У цьому аспекті велика роль надається актуалізації меж відкритої розробки і, відповідно, інших головних параметрів кар'єру, що знаходяться з ними у тісному взаємозв'язку. Визначення цих меж має враховувати максимум економічних і технологічних факторів. Питання визначення раціонального типорозміру виймально-навантажувального обладнання є важливим і актуальним, оскільки правильно обраний модельний ряд обладнання значним чином впливає не тільки на техніко-економічні показники відкритих гірничих робіт, а й загалом на головні параметри кар'єру. А тому метою даного дослідження є виявлення залежностей і дослідження впливу параметрів виймально-навантажувального обладнання на межі кар'єру.

Методика. В роботі використано методи аналізу та синтезу наукових джерел, графоаналітичний метод Ржевського при побудові кінцевих контурів кар'єру, застосовано кореляційний аналіз для встановлення аналітично залежності глибини кар'єра від ємності ковша екскаватору.

Результати. Виявлено два фактори, що по-різному впливають на кінцеву глибину кар'єру. З одного боку збільшення робочих параметрів екскаватору призводитиме до збільшення глибини, з іншого боку динаміка техніко-економічних показників призводить до меншої глибини кар'єру. Отримано математичні залежності сукупного впливу техніко-економічних показників і робочих параметрів екскаватору на глибину кар'єра.

Наукова новизна. Встановлено залежність кінцевої глибини кар'єру від ємності ковша екскаватору. Встановлено, що техніко-економічні показники мають більший вплив, ніж робочі параметри і зі збільшенням типорозміру екскаватору глибина кар'єра зменшується.

Практична значимість. Результати виконаних досліджень можуть бути використані проектними організаціями і гірничодобувними підприємствами при визначенні кінцевих контурів кар'єрів, що розробляють крутоспадні родовища.

Ключові слова: межі відкритих гірничих робіт, екскаватор, продуктивність, глибина кар'єра, граничний коефіцієнт розкриву.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Відкрита розробка родовищ корисних копалин характеризується значними обсягами

виймання гірських порід, умови залягання і міцність яких постійно змінюються по мірі поглиблення гірничих робіт. В той же час спостерігається стабільне зростання глибини кар'єрів і залучення в експлуатацію все більш складних ділянок і окремих покладів. Із врахуванням ринкової кон'юнктури постійно змінюється виробнича потужність гірничо-видобувних підприємств. По мірі розвитку науково-технічного прогресу змінюються техніка і технології, що застосовуються на відкритих гірничих роботах. Ці зміни неодмінно призводять до перегляду й інших параметрів відкритих гірничих робіт, оскільки всі вони знаходяться у тісному взаємозв'язку: виробничої потужності, глибини кар'єру, його геометрії в плані та режиму гірничих робіт. У гірничотехнічній літературі впродовж багатьох десятиків років систематизація і вивчення технології, техніки та організації гірничих робіт базуються на численних класифікаціях способів розкриття та систем розробки родовищ, комплектації машин і механізмів для виконання основних технологічних процесів, методах формування робочої зони кар'єрів, комплексів гірничого і транспортного обладнання, які обслуговують вантажопотоки на різних етапах його експлуатації. Незаперечним є факт тісного взаємозв'язку параметрів технологічного обладнання і головних параметрів кар'єру.

В рамках даної роботи область дослідження звужена до вивчення впливу виймально-навантажувального обладнання на параметри відкритих гірничих робіт. Цей вплив зумовлюється наступними чинниками.

По-перше, типорозмір виймально-навантажувального обладнання визначає його продуктивність. Зі збільшенням продуктивності однієї одиниці екскаваторної техніки її загальний інвентарний парк зменшуватиметься, має бути переглянутий фронт гірничих робіт, а також типорозмір транспорту, що застосовується в парі з екскаватором та інші параметри технологічної схеми. Зміняться швидкості горизонтального і вертикального посування гірничих робіт.

По-друге, типорозмір екскаваторів впливає на значення ширини робочої площадки, що, разом із зміною ширини автодоріг, призводить до перегляду кутів укосів бортів кар'єру.

По-третє, такі технічні і технологічні зміни призводитимуть до перегляду техніко-економічних показників. В свою чергу зміна витрат на видобуток і виймання корисних копалин можуть призвести до зміни граничного коефіцієнту розкриву і контурів відкритих гірничих робіт.

Не дивлячись на те, що на сьогоднішній день існує низка систем, що дозволяють в автоматичному режимі визначати головні параметри відкритих гірничих робіт, дослідження на них впливу типорозміру виймально-навантажувального обладнання дозволять підвищити точність таких систем автоматизованого проектування та більш зважено та ґрунтовно обирати технологічний комплекс відкритих гірничих робіт.

Аналіз досліджень та публікацій. Проблемі обґрунтування оптимальної глибини відкритих гірничих робіт присвячено багато досліджень в Україні і за кордоном, що пов'язано із існуванням поняття допустимої глибини кар'єра, перевищення якої призводить до недоцільності подальшого відпрацювання родовища. У якості критерія оптимальності пропонується максимізувати загальний прибуток або чистий дисконтований дохід від відпрацювання запасів родовища.

Для вирішення поставленої задачі розроблені методи Лерча-Гросмана, Сеймура, плаваючого конусу, динамічного програмування, нейронні мережі, теорії графів, мережевих потоків та інші [1-3]. На базі цих методів широко використовуються програмні комплекси Surpac NPV Sheduler, K-Mine, Four-X, Mine Shed, інтегровані 3-вимірні CAD системи Data-Vulcan, MineScape, MineSight, Gemcom та інші [4-5].

Завдання оцінки раціональних меж відкритих гірничих робіт є однією з найбільш актуальних в гірничій практиці. Велика кількість гірничодобувних підприємств ведуть відкриту розробку за застарілими проектним рішенням, які втрачили живий зв'язок з сучасним рівнем техніки і технології гірничих робіт, а також заснованих на застарілих економічних оцінках.

В даний час ряд виробництв стоїть перед проблемою виснаження запасів, призначених для відкритого видобутку. Проблема виснаження запасів до прийняття рішення про припинення видобутку може бути вирішена переходом на підземний видобуток; включенням у відкриту розробку відпрацювання нових ділянок; включенням в відпрацювання техногенних родовищ [6-7]; розносом бортів і подальшого поглиблення кар'єрів до позначки, що дозволяє вести гірничі роботи з прийнятним рівнем рентабельності.

Перехід до підземного видобутку пов'язаний з необхідністю значних капітальних витрат на будівництво шахти, створенням необхідної інфраструктури та закупівлею обладнання, що фактично є окремим проектом гірничих робіт. Однак складні гірничо-геологічні умови родовища часто обмежують можливість застосування високопродуктивних механізованих систем розробки і зумовлюють великі операційні витрати при низькій продуктивності.

Слід зазначити, що підрахунок запасів, призначених для відкритого або для підземного видобутку, в ряді випадків проводився ще в радянський період часу. З урахуванням зміни економічних показників, розвитку технології і вартості товарної продукції дані оцінки застаріли і повинні бути переглянуті. Практика показує, що в окремих випадках запаси для відкритих гірничих робіт можуть бути збільшені в 2-3 рази. Відповідно до встановленої практики, одним з основних критеріїв для встановлення меж відкритих гірничих робіт є граничний коефіцієнт розкриття. Питанням визначення меж кар'єрів і раціональної величини граничного коефіцієнта розкриття в різний час були присвячені роботи багатьох відомих вчених в області відкритих гірничих робіт, включаючи: В.В. Ржевського, Н.В. Мельникова, Ю.І. Аністратова, О.І. Арсентьева, К.Е. Вінницького, К.Н. Трубецького, П.І. Городецького, П.Е. Зуркова, Б.П. Юматова, В.Л. Яковлева, В.С. Коваленко, Б.П. Боголюбова, В.Г. Близнюкова, М.Г. Саканцева та ін. [8-12].

Міжнародна практика показує, що найбільш об'єктивна оцінка економічної ефективності гірничого проекту заснована на прибутковому методі. При цьому головним показником ефективності проекту є чистий дисконтований дохід - ЧДД. Даний підхід дозволяє враховувати продуктивність гірничого підприємства, термін виходу на проектну потужність, термін експлуатації підприємства, капітальні витрати і при необхідності динамічність показників собівартості. Тому визначенням меж відкритих гірничих робіт з урахуванням чистого диско-

нтового доходу слід визнати найбільш обґрунтованим підходом. Слід підкреслити, що межі відпрацювання та граничні контури кар'єра залежать також від відповідних технологічних рішень по освоєнню ділянки надр.

Постановка задачі. Враховуючи постійну зміну зовнішніх факторів – геологічних даних, рівня техніки і технології, ринкової кон'юнктури – пошук оптимальних меж кар'єра є ітераційним завданням. В даному дослідженні розглянемо як впливають показники виймально-навантажувальних робіт, а саме типорозмір обладнання, на межі відкритої розробки. Для досягнення такої мети мають бути вирішені основні задачі дослідження:

1) окреслити фактори впливу процесу екскавації на границі відкритих гірничих робіт;

2) дослідити взаємозв'язки параметрів екскаваторів на граничний коефіцієнт розкриття та границі відкритих гірничих робіт;

3) зробити висновки і винести рекомендації щодо формування технологічної ланки виймально-навантажувальних робіт.

Викладення матеріалу та результати. Для дослідження впливу типорозміру виймально-навантажувального обладнання на границі відкритих гірничих робіт розглянемо умовний кар'єр для типового родовища. В даному прикладі висота покриваючих порід становитиме 50 м, горизонтальна потужність покладу – 150 м, кут падіння – 70° , питома вага корисної копалини – $3,4 \text{ т/м}^3$, розкривних порід – 3 т/м^3 , довжина покладу – 1000 м. Для умовного кар'єру продуктивність по руді становитиме 7,65 млн. т, по розкривних породах – $8,3 \text{ млн. м}^3$.

Далі розрахуємо питомі приведені витрати на розробку родовища для варіантів застосування екскаваторів ЕКГ-5, ЕКГ-8І, ЕКГ-10, ЕКГ-12,5, ЕКГ-15 та ЕКГ-20. Із врахуванням робочих параметрів кожного екскаватору [13] розрахуємо кут відкосу робочого борту кар'єру та методом В.В. Ржевського визначимо глибину кар'єру для кожного екскаватору з врахуванням техніко-економічних показників та робочих параметрів обладнання.

Отже, для розрахунку витрат на виймально-навантажувальні роботи перш за все необхідно визначити кількість екскаваторів, що мають бути задіяні в роботі. Результати цих розрахунків зведемо в таблицю 1.

Таблиця 1

Розрахунок продуктивності і парка екскаваторів

Параметр	ЭКГ-5	ЭКГ-8И	ЭКГ-10	ЭКГ-12,5	ЭКГ-15	ЭКГ-20
Продуктивність, $\text{м}^3/\text{рік}$	2074000	2799900	2947263	3137142	3211650	3547384
К-сть экс. руд.	2	1	1	1	1	1
К-сть экс. розкр.	4	3	3	3	3	2

Наступним кроком розрахуємо питомі капітальні і експлуатаційні витрати [14] за основними статтями для руди та порід розкриття і зведемо результат в таблицю 2.

Наступним кроком дослідження буде визначення максимальної економічно-доцільної глибини гірничих робіт.

Таблиця 2

Собівартість екскавації по типорозмірам екскаваторів

Екскаватор	Витрати на видобуток руди, грн/м ³	Витрати на виймання розкриття, грн/м ³	Витрати на екскавацію, грн/м ³
ЕКГ-5А	5,08	2,85	5,85
ЕКГ-8І	5,11	3,78	6,13
ЕКГ-10	6,34	4,34	7,52
ЕКГ-12,5	8,03	5,32	9,47
ЕКГ-15	9,06	5,97	10,68
ЕКГ-20	10,91	6,26	12,61

Для цього, по-перше, виконаємо розрахунок граничного коефіцієнта розкриття для різних варіантів типорозміру виймально-навантажувального обладнання. Для розрахунку приймемо граничну собівартість на підприємствах з підземного видобутку на рівні $C_n=300$ грн/м³. Витрати на видобуток руди без урахування процесу екскавації – 69 грн/м³, розкриття порід – 35 грн/м³.

Оскільки варіанти ведення гірничих робіт відрізнятимуться тільки процесом екскавації, почергово для кожного варіанта додамо витрати на екскавацію руди і розкриття порід. Для кожного з варіантів розрахуємо своє значення граничного коефіцієнта розкриття за формулою 1.

$$K_{ep} = \frac{C_n - a_i}{b_i} \quad (1)$$

де C_n – собівартість видобутку руди підземним способом, грн/м³; a_i – витрати на видобуток руди без врахування витрат на вилучення розкриття порід за i -м варіантом, грн/м³; b_i – витрати на видобуток розкриття порід за i -м варіантом, грн/м³.

Результати розрахунків зведемо в таблицю 3.

Таблиця 3

Розрахунок граничного коефіцієнта розкриття за варіантами типорозміру виймально-навантажувального обладнання.

Екскаватор	Витрати на видобуток руди, грн/м ³	Витрати на виймання розкриття, грн/м ³	Граничний коефіцієнт розкриття, м ³ /м ³
ЕКГ-5А	74,08	37,85	5,97
ЕКГ-8І	74,11	38,78	5,82
ЕКГ-10	75,34	39,34	5,71
ЕКГ-12,5	77,03	40,32	5,53
ЕКГ-15	78,06	40,97	5,42
ЕКГ-20	79,91	41,26	5,33

Для наочності результатів проведених досліджень зобразимо їх на рисунку 1 і 2, де наведені залежності витрат на екскавацію і граничного коефіцієнта розкриття від типорозміру екскаватора відповідно.

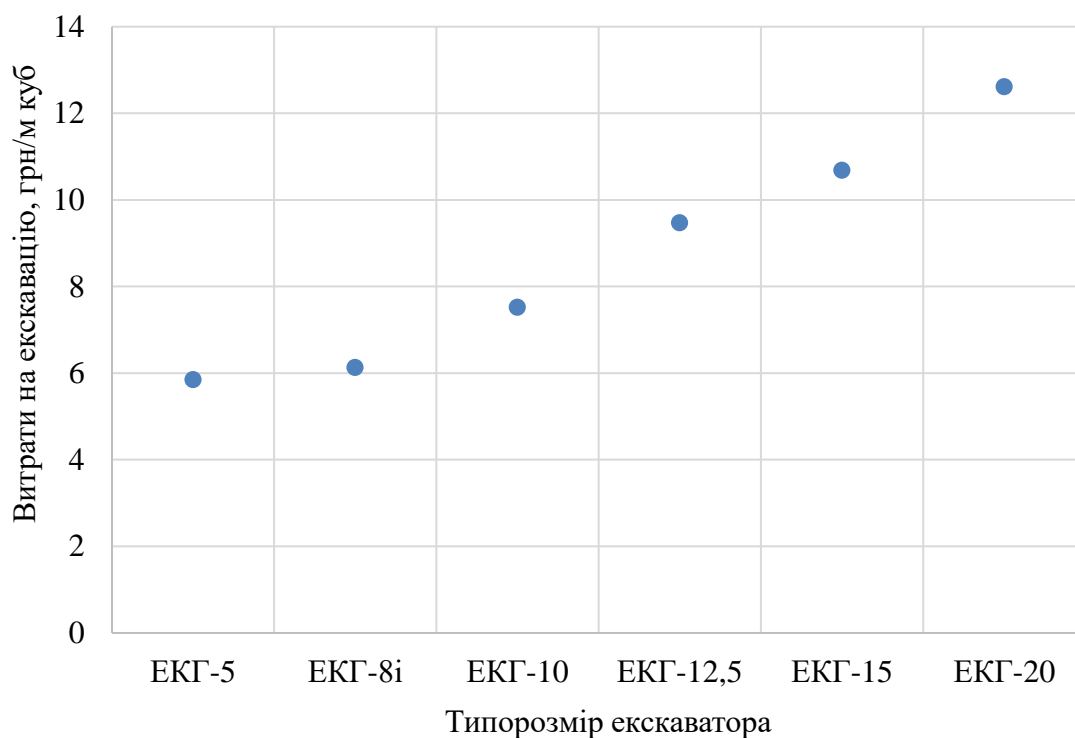


Рис. 1. Залежність витрат на екскавацію від типорозміру виймально-навантажувального обладнання

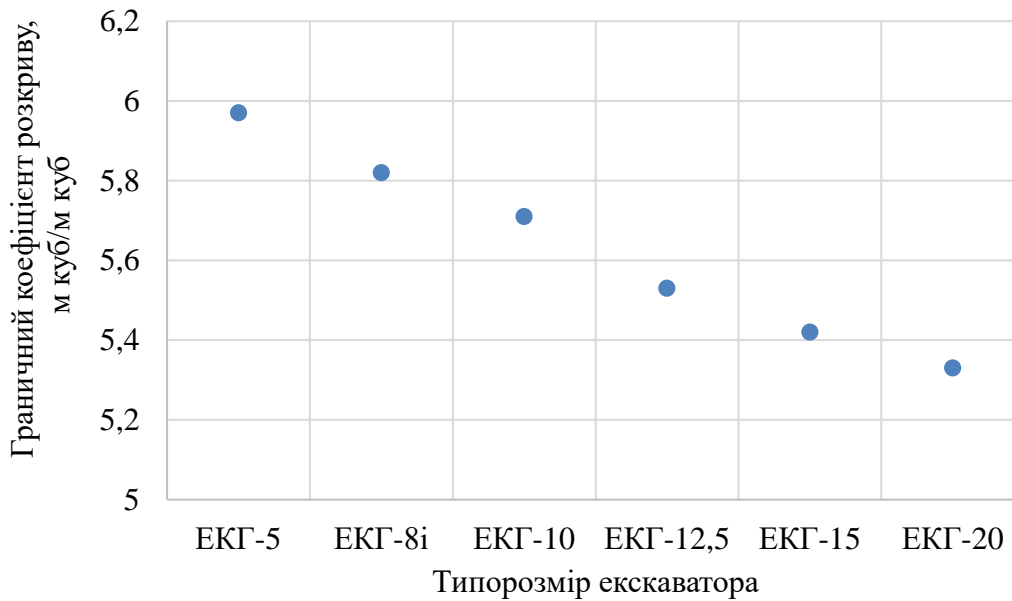


Рис. 2. Залежність граничного коефіцієнту розкриву від типорозміру виймально-навантажувального обладнання

Виходячи з розрахунків і наведених графіків, наочним і закономірним є зменшення граничного коефіцієнта розкриву через підвищення витрат на процес екскавації.

В той же час, окрім зміни техніко-економічних показників, заміна типорозміру виймально-навантажувального обладнання призводить і до зміни параметрів робочих площадок в кар'єрі, що, в свою чергу, призводить до зменшення кута відкосу робочого борта кар'єру. Для ілюстрації цієї залежності розрахуємо значення мінімальної ширини робочої площадки [15] за формулою (2).

$$B_{\min} = A_3 + x + c + T + z, \text{ м}, \quad (2)$$

де A_3 – ширина екскаваторної заходки, м; x – ширина розвалу, м; c – безпечна відстань між нижньою брівкою розвалу та транспортною смугою, (1 м); T – ширина транспортної смуги, м; z – ширина призми безпеки, (3 м).

Значення мінімальних робочих площадок і відповідні кути відкосу робочих бортів кар'єру за варіантами зведені в таблицю 4.

Таблиця 4

Розрахунок мінімальної робочої площадки і кута робочого борта кар'єру за варіантами типорозміру виймально-навантажувального обладнання

Параметр	Типорозмір екскаватора					
	ЭКГ-5	ЭКГ-8I	ЭКГ-10	ЭКГ-12,5	ЭКГ-15	ЭКГ-20
B_{\min} , м	53,5	67,4	69,92	74,16	76,02	87,33
Кут робочого борту, град	13,33	11,27	10,96	10,48	10,29	9,23

Користуючись отриманими значеннями граничного коефіцієнта розкриву і кутів робочих бортів кар'єру визначимо економічно обґрунтовані межі відкритих гірничих робіт за методом В.В. Ржевського.

Суть цього методу полягає в тому, що при правильно визначених межах кар'єру максимальний поточний коефіцієнт розкриву не має перевищувати граничного. Отже, для кожного варіанту типорозміру екскаватору і відповідних йому кутів відкосу робочого борта кар'єру послідовно отримуємо положення гірничих робіт за їх поглибленням. Згідно розрахунків і побудов, гранична глибина кар'єру становить 421 м. В результаті виконаних розрахунків і проведених побудов зведемо отримані дані у таблицю 5.

Таблиця 5

Визначення глибини гірничих робіт і запасів корисних копалин за варіантами

Варіант типорозміру	Витрати на екскавацію, грн/м ³	Глибина гірничих робіт, м	Кут відкосу робочого борту, градусів	Запаси корисних копалин, тис. т
ЕКГ-5	5,85	422	13,33	195704
ЕКГ-8i	6,13	397	11,27	183447
ЕКГ-10	7,52	397	10,96	183447
ЕКГ-12,5	9,47	356	10,48	162492,8
ЕКГ-15	10,68	378	10,29	174052,8
ЕКГ-20	12,61	322	9,23	144999,8

Для наочності отриманих результатів візуалізуємо залежності кута відкосу робочого борта і глибини гірничих робіт від типорозміру виймально-навантажувального обладнання на рисунках 3 та 4 відповідно.

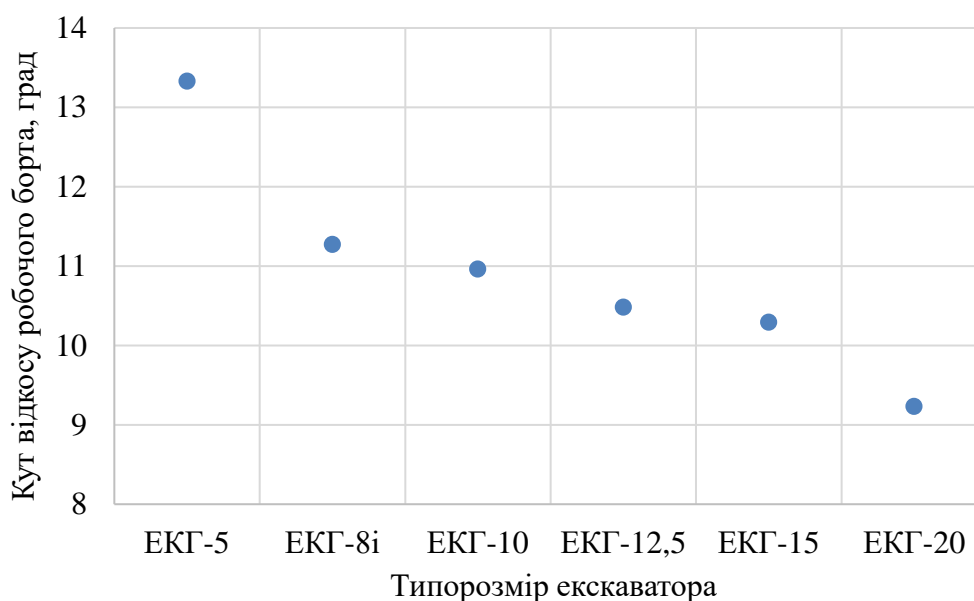


Рис. 3. Залежність кута відкосу робочого борта кар'єру від типорозміру екскаватору

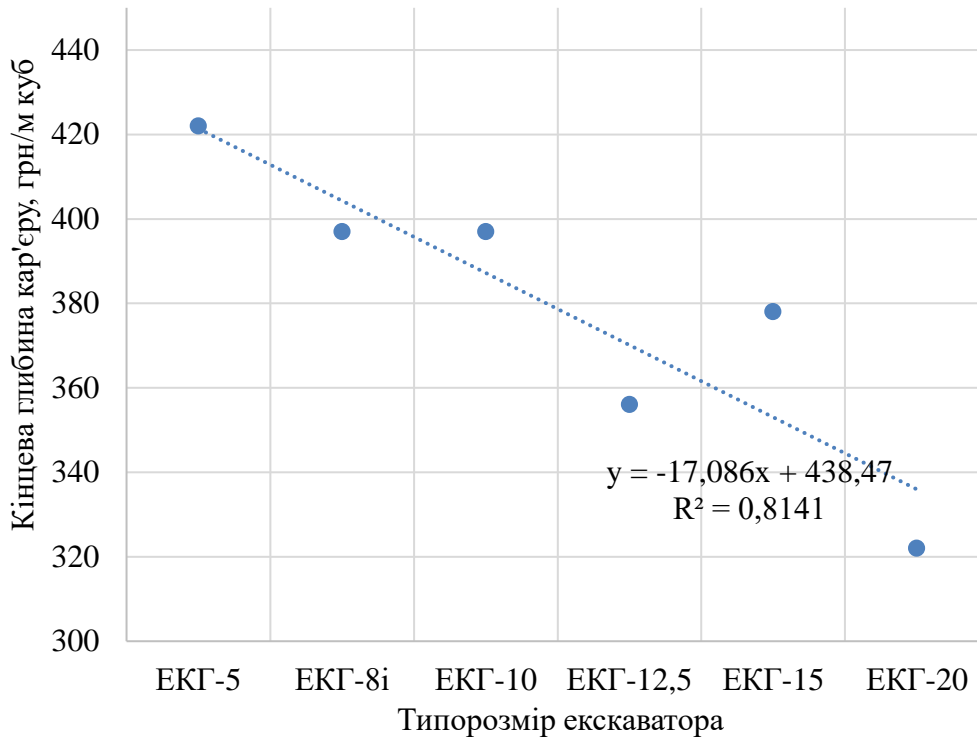


Рис. 4. Залежність кінцевої глибини кар'єру від типорозміру екскаватору

З одного боку кінцева глибина кар'єру залежить від витрат на екскавацію: чим більші витрати, тим менша кінцева глибина. Однак і кут відкосу робочого борту також впливає на кінцеву глибину. Якщо б предметом дослідження був лише кут відкосу робочого борту без врахування зміни граничного коефіцієнта розкриву, то було б закономірним обернено пропорційне збільшення глибини із зменшенням кута. Однак у нашому випадку існує два фактори і, вочевидь, зниження граничного коефіцієнта розкриву має більший вплив на глибину.

Не дивлячись на локальні відхилення, дана залежність може бути описана лінійним рівнянням $y = -17,086x + 438,47$ з коефіцієнтом кореляції $R^2 = 0,8141$, що підтверджує наявність тренду.

Щодо запасів корисних копалин, то для умовного прикладу із покладом правильної геометричної форми вони є лінійною функцією від глибини кар'єру.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Було виявлено два фактори, що по-різному впливають на кінцеву глибину кар'єру. З одного боку можна очікувати, що збільшення робочих параметрів екскаватору призводитиме до збільшення глибини, що наочно видно із графічних побудов. З іншого боку техніко-економічні показники призводять до меншої глибини кар'єру. В результаті проведеного дослідження і побудови відповідних графіків було виявлено, що техніко-економічні показники мають більший вплив, ніж робочі параметри і зі збільшенням типорозміру екскаватору глибина кар'єра зменшується. Для обраного модельного ряду і наведеного умовного родовища було отримано математичне рівняння, що описує дану залежність.

Перелік посилань

1. Беллман Р. (1965). *Прикладные задачи динамического программирования*. Наука.
2. Астафьев, Ю.П., Банзюков, В. Г., Шепун, О. Г., Сулима, Г.С., & Полянский В.С. (1980). *Горное дело*. Недра.
3. Арсентьев, А.И. (1970). *Определение производительности и границ карьеров*. Недра.
4. Капутин, Ю.Е. (2004). *Информационные технологии планирования горных работ*. Недра.
5. Капутин, Ю.Е. (2008). *Информационные технологии и экономическая оценка горных проектов*. Недра.
6. Григор'єв, І. Є., Григор'єв, Ю. І., Усачов, В. Е., & Євтушенко, М. С. (2018). Технологія відпрацювання техногенного родовища відкритими рудоскатами. *Збірник Наукових Праць Національного Гірничого Університету*, 56, 18-28.
<http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/153977>
7. Joukov, S, Lutsenko S.,Hryhoriev, Y, Martyniuk, M, & Peregudov, V. (2020). Justification of the method of determination of the border overburden ratio. *E3S Web of Conferences*, 166, 02005.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016602005>.
8. Звонарев, Н.К. (1994). Оптимизация углов наклона бортов карьера при его углубке. *Горный журнал*, 2, 28-32.
9. Ржевский, В.В., Новожилов М.Г., & Юматов, Б.П. (1971) *Научные основы проектирования карьеров*. Недра.
10. Зурков, П.Э. (1953). Определение производительности карьера. *Научные труды Магнитогорского горно-металлургического института*, 15, 29-35.
11. Близиюков, В.Г., & Ковальчук, В.А. (1992). Влияние концентрации горных работ на технико-экономические показатели разработки. *Известия вузов. Горный журнал*, 8, 76-79.
12. Арсентьев, А.И., Советов, Г.А., & Хохряков, В.С. (1972). *Планирование развития горных работ в карьерах*. Недра.
13. Офіційний сайт виробника екскаваторів Уралмашзавод (2020). *Рабочие параметры гусеничных экскаваторов*. <http://www.uralmash.ru>
14. Державний комітет промислової політики України. (2007) *Методичні рекомендації з формування собівартості продукції (робіт, послуг) у промисловості*. Київ.
15. *Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. Частина 1. Гірничі роботи. Ліквідація гірничодобувних підприємств. Техніко-економічна оцінка і показники*. (2007). Кривий Ріг: «Мінерал».

АННОТАЦІЯ

Цель. Карьеры отечественных горнодобывающих предприятий в большей своей части выходят на конечные проектные контуры. В этом аспекте большая роль отводится актуализации границ открытой разработки и, соответственно, других главных параметров карьера, которые находятся с ними в тесной взаимосвязи. Определение этих границ должно учитывать максимум экономических и технологических факторов. Вопрос определения рационального типоразмера выемочных-погрузочного оборудования является важным и актуальным, поскольку правильно выбранный модельный ряд оборудования в значительной степени влияет не только на технико-экономические показатели открытых горных работ, но и в целом на основные параметры карьера. Поэтому целью данного исследования является выявление зависимостей и исследование влияния параметров выемочных-погрузочного оборудования на границы карьера.

Методика. В работе применены методы анализа и синтеза научных источников, графоаналитический метод Ржевского при построении конечных контуров карьера, применены корреляционный анализ для установления аналитических зависимостей глубины карьера от емкости ковша экскаватора.

Результаты. Выявлено два фактора, которые по-разному влияют на конечную глубину карьера. С одной стороны, увеличение рабочих параметров экскаватора приводит к увеличению глубины, с другой стороны динамика технико-экономических показателей приводит к меньшей глубине карьера. Получены математические зависимости совокупного влияния технико-экономических показателей и рабочих параметров экскаватора на глубину карьера.

Научная новизна. Установлена зависимость конечной глубины карьера от емкости ковша экскаватора. Установлено, что технико-экономические показатели имеют большее влияние, чем рабочие параметры и с увеличением типоразмера экскаватора глубина карьера уменьшается.

Практическая значимость. Результаты выполненных исследований могут быть использованы проектными организациями и горнодобывающими предприятиями при определении конечных контуров карьеров, разрабатывающих крутопадающие месторождения.

Ключевые слова: *границы открытых горных работ, экскаватор, производительность, глубина карьера, граничный коэффициент вскрыши.*

ABSTRACT

Purpose. The quarries of domestic mining enterprises, for the most part, go to the final design contours. In this aspect, an important role is assigned to the actualization of the boundaries of open-pit mining and, accordingly, other main parameters of the open-pit, which are closely related to them. The determination of these boundaries should take into account the maximum of economic and technological factors. The issue of determining the rational standard size of mining and loading equipment is important and relevant, since a correctly selected model range of equipment significantly affects not only the technical and economic indicators of open pit mining, but also, in general, the main parameters of the open pit. Therefore, the purpose of this study is to identify dependencies and study the influence of parameters of excavation and loading equipment on the boundaries of the open pit.

Methodology. The paper uses methods of analysis and synthesis of scientific sources, Rzhevsky's graphical-analytical method during determining the final contours of a open-pit, applied correlation analysis to establish analytical dependences of open-pit depth on excavator bucket volume.

Results. Two factors have been identified that have a different impact on the final career depth. On the one hand, an increase in the operating parameters of an excavator leads to an increase in depth, on the other hand, the dynamics of technical and economic indicators leads to a decrease depth of the open pit. The mathematical dependences of the cumulative effect of technical and economic indicators and operating parameters of an excavator on the depth of a open-pit have been obtained.

Scientific novelty. The dependence of the final open-pit depth on the excavator bucket capacity has been established. It was found that the technical and economic indicators have a greater impact than the operating parameters and with an increase in the size of the excavator, the depth of the open-pit decreases.

Practical significance. The results of the studies performed can be used by design organizations and mining enterprises to determine the final contours of open-pits developing steeply dipping deposits.

Key words: *boundaries of open pit mining, excavator, productivity, open-pit depth, economic overburden ratio.*