

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА ВІДКРИТИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ

**П'ЯТА МАКСИМ ВІТАЛІЙОВИЧ**

**«Аналіз досліджень по визначенню факторів, що впливають на техніко-  
економічні показники роботи екскаваторних ділянок на сучасних  
залізрудних кар'єрах»**

184 Гірництво

ОПП «Відкриті гірничі роботи»

Випускна робота

на здобуття рівня вищої освіти «магістр»

Керівник

Анатолій ПИЖИК / \_\_\_\_\_ /

Завідувач кафедри

Сергій ЖУКОВ / \_\_\_\_\_ /

Кривий Ріг

2024

## ЗМІСТ

Реферат	3
Вступ	5
1.Класифікація факторів, що впливають на техніко-економічні показники роботи екскаваторних ділянок	7
2.Аналіз впливу природно-техногенних факторів на техніко-економічні показники роботи екскаваторних ділянок	11
2.1.Аналіз впливу якості підготовки порід до виймання	11
2.2. Аналіз впливу кліматичних факторів	19
2.3.Аналіз впливу стратегії вибору виймально-навантажувальної техніки	22
3. Аналіз впливу ергатичних факторів на техніко-економічні показники екскаваторних ділянок	27
3.1.Аналіз впливу організації робіт	27
3.2. Аналіз впливу об'ємного модуля екскаватора та транспортної судини	32
3.3. Аналіз впливу тривалості циклу роботи екскаваторів	36
Висновки та рекомендації	44
Список використаних джерел	47

## РЕФЕРАТ

П'ята М.В. Аналіз досліджень по визначенню факторів, що впливають на техніко-економічні показники роботи екскаваторних дільниць на сучасних залізородних кар'єрах. Випускна роб. на здоб. другого (магістерського) рівня вищої освіти. - Кривий Ріг: Криворізький національний університет, 2024. – 51 с.

**Структура кваліфікаційної роботи:** вступ, основна частина, яка складається з трьох розділів та їх підрозділів, висновки до роботи та рекомендацій щодо напрямків подальших досліджень, перелік використаної науково-технічної літератури. Загальний обсяг роботи - 51 сторінка, з них 21 рисунок, список науково-технічних джерел – 44 найменування.

**Мета** дослідження полягає у визначенні та дослідженні факторів, які визначають техніко-економічні показники роботи екскаваторних дільниць на сучасних залізородних кар'єрах.

Відповідно до мети дослідження визначено основні **завдання дослідження:**

1. Виконати пошук науково-практичної літератури з теми впливу різних факторів на техніко-економічні показники роботи екскаваторних дільниць на сучасних залізородних кар'єрах.
2. Дослідити механізм впливу цих факторів на продуктивність екскаваторів та техніко-економічні показники роботи екскаваторних дільниць.

**Об'єктом дослідження** є комплекс виймально-навантажувальних процесів на екскаваторних дільницях залізородних кар'єрів.

**Предметом дослідження** основні параметри технологічного процесу екскавації на екскаваторних дільницях залізородних кар'єрів.

**Основними методами дослідження** є узагальнення сучасного стану та напрямків підвищення техніко-економічних показників роботи екскаваторних дільниць; аналіз науки та практики ведення виймально-навантажувальних робіт на залізородних кар'єрах.

У **вступі** зазначається своєчасність та важливість питання, яке досліджується в магістерській роботі, згадуються науковці, роботи яких йому присвячені.

**Основна частина роботи** складається з трьох розділів. Перший розділ присвячений класифікації факторів, що впливають на техніко-економічні показники роботи екскаваторних дільниць. Також тут виділені дві групи факторів впливу, які більш детально розкриваються у наступних розділах. Другий розділ присвячений аналізу впливу природно-техногенних факторів на техніко-економічні показники роботи екскаваторних дільниць, серед яких якість підготовки гірських порід до виймання, кліматичні фактори та стратегія вибору виймально-навантажувального обладнання. Третій розділ містить аналіз впливу ергатичних факторів на техніко-економічні показники екскаваторних дільниць. Серед цих факторів в роботі описаний вплив організації робіт на дільниці, об'ємного модуля екскаватора та транспортної судини та час циклу роботи екскаватора.

У **висновках** сформульовані загальні результати магістерського дослідження. **Рекомендації щодо напрямків подальших досліджень** містять важливі, перспективні та актуальні напрямки розвитку наукової думки у питанні, яке розглядалось в роботі.

**Ключові слова:** залізорудні кар'єри, продуктивність екскаваторів, техніко-економічні показники, екскаваторні дільниці.

## ВСТУП

Гірничовидобувна промисловість України є основою її промислового потенціалу та джерелом валютних надходжень до бюджету. Саме тому вкрай важливо підтримувати високу ефективність діючих гірничих підприємств та всіляко сприяти цьому.

Робота гірничовидобувних підприємств в сучасних умовах жорсткої конкуренції ґрунтується на виробленні продукції необхідної якості, максимальній продуктивності обладнання, зниженні собівартості продукції, застосуванням технологій ресурсозбереження, підвищенні технологічної і екологічної безпеки виробництва, а також в цілому техніко-економічних показників роботи підприємства.

Погіршення гірничо-технічних умов роботи кар'єрів, яке викликано збільшенням їх глибини, потребує виробленню нових підходів до оснащення виробництва технологічним обладнанням, яке забезпечуватиме високу продуктивність роботи підприємства навіть за несприятливих умов.

Виймально-навантажувальні роботи є одним з основних процесів технології відкритого видобутку корисних копалин, саме тому удосконаленню роботи екскаваторних дільниць приділяється так багато уваги через наявність резервів збільшення їхньої продуктивності. На виймально-навантажувальні роботи припадає до 25% всіх експлуатаційних витрат по кар'єру.

Продуктивність виймально-навантажувального обладнання є одним з найважливіших техніко-економічних показників ефективності відкритих гірничих робіт. Від неї залежить необхідна кількість обладнання та обслуговуючого його персоналу. Також вона значним чином впливає на продуктивність працюючих у комплексі засобів транспорту та їх кількість, на продуктивність праці робочих у кар'єрі та загалом — на розміри витрат на гірничі роботи. Вчені та практики систематично шукають напрямки організації та ведення екскаваторних робіт, що дозволяють знизити їх вартість, і вираженням цього є підвищення продуктивності екскаваторних дільниць.

Дана робота присвячена аналізу науково-практичних джерел з питання вивчення факторів, що впливають на техніко-економічні показники роботи екскаваторних ділень.

Ця тема не є новою і досліджується вже давно. Свого часу дані темі присвятили свої наукові дослідження такі вчені як О.І. Арсентьєв, М.В. Мельников, К.М. Трубецькой, В.В. Ржевський, Ю.І. Аністратов, В.Ф. Бизов, Б.Н. Тартаковський, М.С. Четверик, А.Ю. Дриженко, А.Г. Шапар, В.С. Хохряков, Д.Р. Каплунов, Рєпін М.Я. та багато ін..

# 1. КЛАСИФІКАЦІЯ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ЕКСКАВАТОРНИХ ДІЛЬНИЦЬ

Сучасні умови відкритої розробки великих крутоспадних рудних родовищ передбачають виймання значних об'ємів розкривних порід та корисної копалини, що вимагає ефективно використовувати виймально-навантажувальне обладнання, вартість якого оцінюється у кілька мільйонів доларів за одиницю.

Виймально-навантажувальні роботи є одним з чотирьох основних процесів технології відкритої розробки родовищ та у значній степені визначає техніко-економічні показники екскаваторних дільниць та гірничодобувного підприємства в цілому.

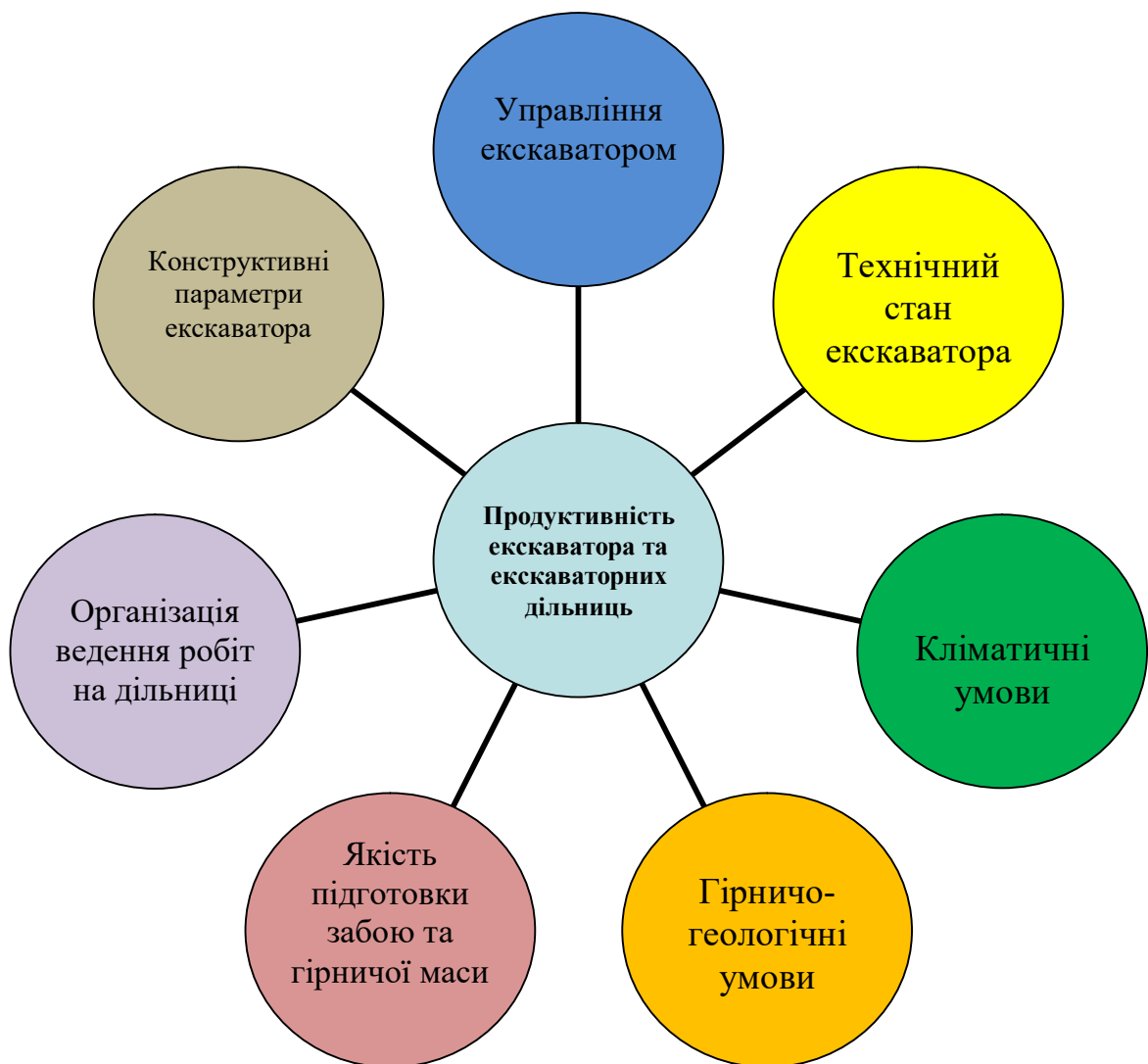
Головною особливістю виймально-навантажувальних робіт є те, що родовища корисних копалини і кар'єри є складними багатофакторними технологічними комплексами, що розвиваються протягом тривалого часу (десятки років) і характеризуються значними масивами інформації різного спрямування [10].

На думку [10] ефективність роботи екскаваторних дільниць залежить в першу чергу від якості підготовки гірської маси (гранулометричного складу) і оцінюється продуктивністю і енергоємністю технологічного процесу. Продуктивність екскаваторів і енергоємність навантаження в свою чергу, залежать від ряду факторів, таких як: гранулометричний склад, коефіцієнт екскавації, об'ємна маса, абразивність, злежування і змерзання порід, параметри розвалу гірської маси, ширина заходки, якість проробки підосви уступу, і вантажопідйомність транспортних судин тощо.

В посібнику [1] зазначається, що економічна ефективність відкритих гірничих робіт оцінюється за допомогою наступних *техніко-економічних показників*: місячної продуктивності праці робітників по корисній копалині; витрат на виймання  $1\text{ м}^3$  розкривних порід; собівартості видобутку корисної копалини; капітальних витрат, які доводяться на на 1 т корисної копалини; річного прибутку та рентабельності підприємства. Більшість цих показників

визначається на основі продуктивності кар'єрних екскаваторів, тому аналіз та вивчення факторів, що впливають на неї, є важливою та актуальною задачею.

На думку авторів [24] ефективність функціонування екскаваторів, а відповідно і екскаваторних дільниць визначається низкою факторів, серед яких основними є: організація ведення робіт, управління екскаватором, технічний стан екскаваторів дільниці, гірничо-геологічні умови видобутку, кліматичні умови, якість підготовки забою та гірничої маси (рис.1).



*Рис.1. – Фактори, що визначають ефективність роботи кар'єрних екскаваторів та екскаваторних дільниць*



Продуктивність виймально-навантажувального обладнання характеризує інтенсивність розробки родовища і залежить від цілої низки факторів. Продуктивність екскаваторів вимірюється кількістю кубічних метрів гірської маси (розкривної породи або корисної копалини), яка виймається з масиву в одиницю часу.

На підставі вивчення науково-практичних джерел за темою дослідження встановили, що продуктивність кар'єрних екскаваторів, і відповідно екскаваторних ділянок залежить від значної кількості факторів, які можна віднести до гірничо-геологічних, організаційно-технічних та конструктивних [2].

До основних *гірничо-геологічних факторів* можна віднести міцність та вологість порід, якість підготовки забою та гірських порід до виймання.

До *організаційно-технічних факторів* прийнято відносити: розміри вибою, висоту уступів, вид транспорту, в який здійснюється навантаження, відповідність ємності ковша екскаватора ємності транспортної судини, організацію робіт на уступі і в кар'єрі, кваліфікацію машиніста, ергономіку робочого місця, технічний стан тощо.

До *конструктивних параметрів* екскаватора відносять: тип екскаватора (гідравлічний, мехлопата, драглайн), його розмір, потужність та привід двигунів, робочу швидкість, місткість та форму ковша тощо.

Оскільки в роботі досліджується не лише продуктивність екскаваторів, а й інші техніко-економічні показники, то слід звертати увагу також на собівартість виймально-навантажувальних робіт, на що впливає вартість енергоносіїв, кількість та якість обладнання, яке застосовується.

В роботі [24] наводиться дещо інша класифікація факторів, що визначають техніко-економічні показники роботи екскаваторів та екскаваторних ділянок: ергатичні та природно-техногенні.

До ергатичних факторів автори відносять ті, які протікають за участю людини. До них відносять управління екскаватором машиністом, характер та рівень ведення гірничих робіт, їх організацію при здійсненні технології

видобування, а також характер ведення та рівень робіт при технічному обслуговуванні та ремонті гірничої машини.

До факторів природно-техногенного впливу відносять: гірничо-геологічні та кліматичні умови, якість підготовки забою та гірничої маси, обрану стратегію вибору, технічного обслуговування та ремонту обладнання, а також фактор природного старіння техніки.

В рамках даної роботи розглянемо деякі групи факторів (рис.1), на основі науково-практичної літератури спробуємо встановити характер їх впливу на техніко-економічні показники роботи екскаваторних дільниць.

## **2.АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННИХ ФАКТОРІВ НА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ЕКСКАВАТОРНИХ ДІЛЬНИЦЬ**

Як зазначалось вище, до основних гірничо-геологічних факторів, які впливають на техніко-економічні показники роботи екскаваторних дільниць, відносять міцність та вологість порід, а також якість підготовки гірських порід до виймання.

### **2.1.Аналіз впливу якості підготовки порід до виймання**

Буропідривні роботи, знаходячись на початку гірничого переділу, визначають подальшу ефективність наступних технологічних процесів, в тому числі й виймально-навантажувальних робіт. Процес екскавації гірської маси знаходиться в прямій залежності від буро-вибухових робіт. Так, наприклад, на думку [8] на етапі екскавації гірських порід якість підготовки масиву відбивається на продуктивності екскаваторів. За наявності у підірваній гірській масі великої кількості негабаритних шматків погіршуються умови роботи екскаваторів та значно знижується їх продуктивність, збільшуються простої транспорту під навантаженням. Зі зменшенням же величини середньозваженого розміру шматка підірваної гірської маси зростає продуктивність екскаватора та знижуються питомі витрати на процес екскавації [16,17].

Сьогодні до якості вибухового подрібнення з боку подальших технологічних процесів висуваються певні вимоги, які полягають в отриманні необхідного гранскладу підірваної гірської маси, що задовольняє вимогам високоефективної роботи обладнання, зокрема й виймально-навантажувального. Такі підвищені вимоги пов'язані в першу чергу з тим, що інколи вміст негабариту досягає 45%, а це, як відомо з практики ведення виймально-навантажувальних робіт, значно знижує ресурс вузлів і агрегатів екскаваторів, призводить до незапланованих простоїв, поламок, в кінцевому

рахунку знижуючи їх продуктивність та техніко-економічні показники роботи екскаваторних дільниць.

Наприклад, дослідженнями [16] встановлено, що продуктивність екскаваторів залежить від розподілу гранулометричного складу гірської породи, який характеризується логарифмічною дисперсією. Під час дослідження середній розмір шматка гірської маси знаходився в межах від 0,1 до 0,65 м, а логарифмічна дисперсія від 0,8 до 1,73 (рис.2.)

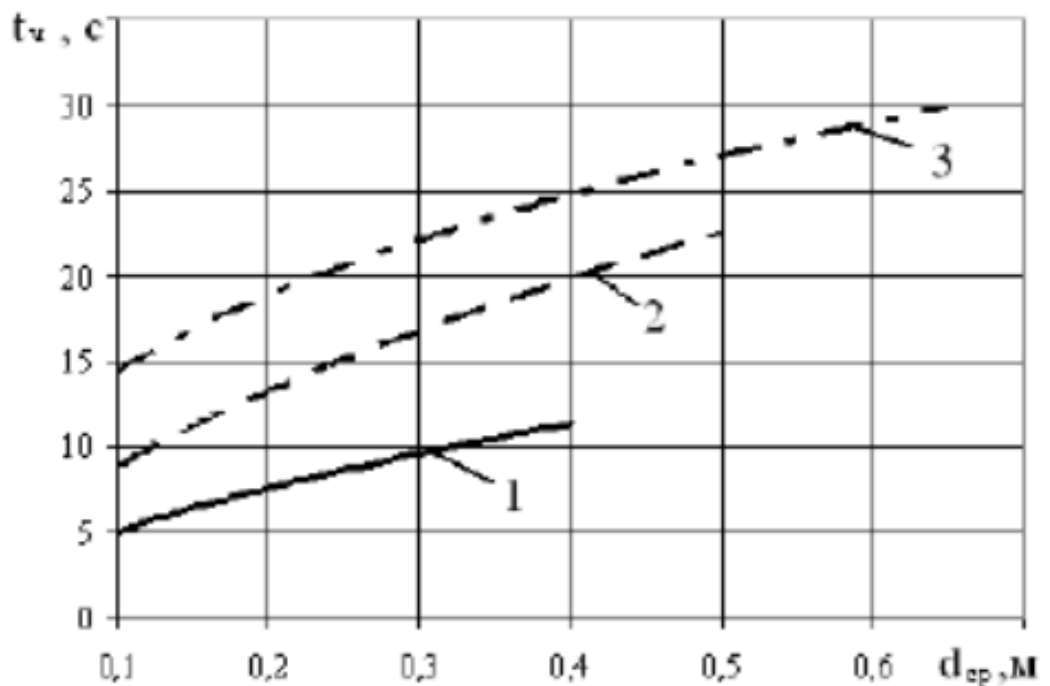


Рис.2. - Залежність часу черпання екскаватора від середнього розміру шматка гірничої маси (при логарифмічній дисперсії 1-0,8; 2-1,0; - 1,73)

Дослідженнями [16] також встановлено, що основною причиною збільшення тривалості циклу навантаження є опір впровадженню ковша в підірваний масив, який зростає у випадку крупнокускуватої гірничої маси.

Авторами було отримано емпіричну залежність, яка дозволяє визначити тривалість циклу екскаватора в залежності від середнього розміру куска гірської маси:

$$t_{ч} = a \cdot d_{ср}^b, с$$

де  $d_{сер}$  - середньозважений розмір куска гірської маси, м;  $a, b$  - коефіцієнти, що характеризують розподіл фракцій гірської маси в масиві, отримані дослідним шляхом (емпіричні).

В роботі [9] автори, на основі методики [16] досліджують зміну тривалості циклу кар'єрного екскаватора від середнього розміру шматка гірської маси при різних показниках дисперсії (рис.3)

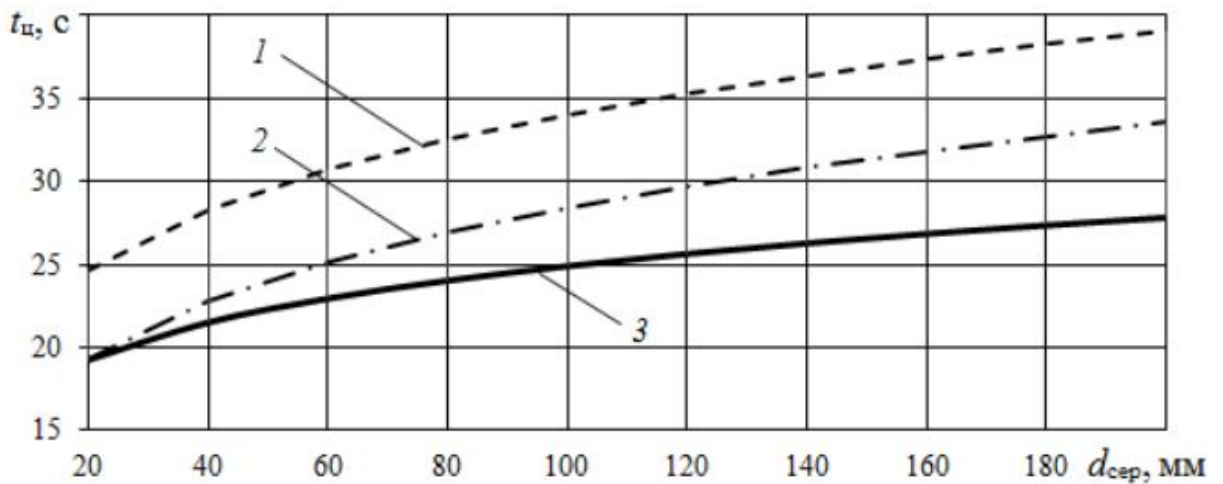


Рис.3 – Тривалість робочого циклу кар'єрного екскаватора від середнього розміру шматка гірської маси при різних показниках дисперсії  $D$ :

$$1 - D = 0,8; 2 - D = 1,0; 3 - D = 1,3$$

Аналіз роботи екскаваторної ділянки показав, що найбільший вплив на процес черпання породи ковшем екскаватора (питомий опір копання, посилення черпання, тривалість) здійснюють коефіцієнт наповнення ковша і параметри негабаритів. На рис. 4 показано, що при середньому розмірі кусків гірської маси до 400 мм продуктивність екскаватора є стабільною, якщо ж

діаметр середнього куска гірської маси збільшується, продуктивність спадає.

Групою дослідників [20] досліджувалась залежність продуктивності екскаватора від середнього розміру кусків гірської маси.

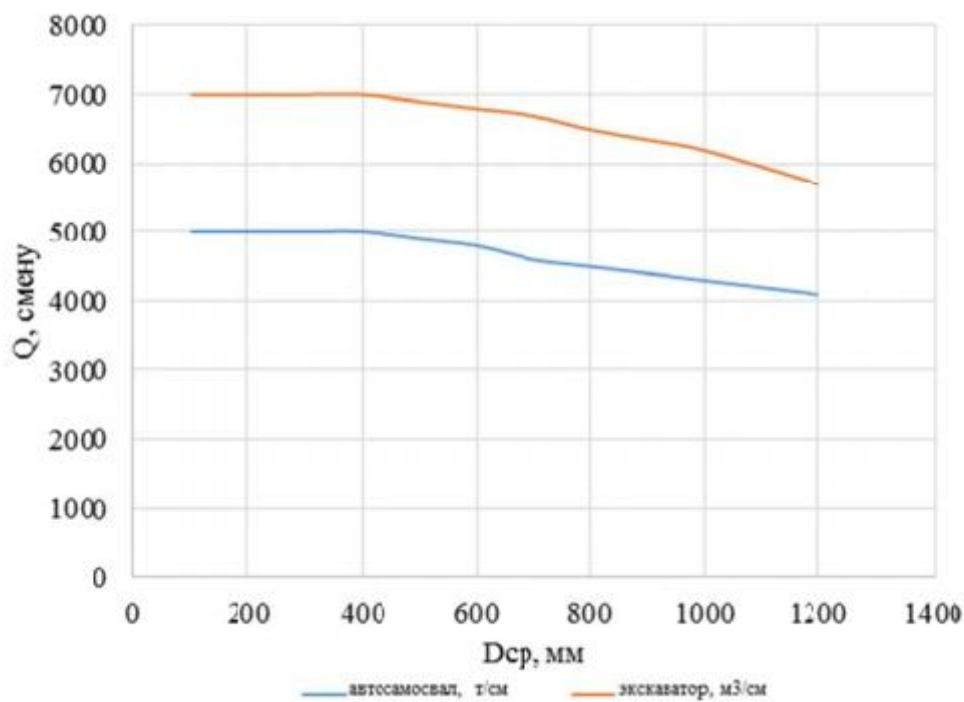


Рис. 4 - Залежність продуктивності екскаватора та автосамоскиду від кускуватості гірничої маси

Було встановлено, що між цими величинами існує така залежність (рис. 5):

$$Q_e = \frac{1}{a + b \cdot D_{cp}}, \text{ м/годину};$$

де  $a, b$  – емпіричні коефіцієнти, що дорівнюють відповідно 0,00146 та 0,00924.

Також вони стверджують, що при збільшенні виходу негабариту з 2 до 12% коефіцієнт екскавації знижується до 20%. До того ж кускуватість порід впливає на час циклу екскаватора (рис. 6).

Графіки свідчать, що зростання величини середнього куска гірської маси призводить до зростання часу циклу екскаватора. Дослідами встановлено, що зменшення середнього розміру кусків від 300 до 100 мм час навантаження автосамоскиду знижується приблизно на 40 %. Зменшення середнього розміру кусків гірської маси з 400 до 100 мм час навантаження думпкарів знижується близько на 64,3 %, зростає продуктивність локомотиво-складу на 15-30 % в залежності від відстані транспортування.

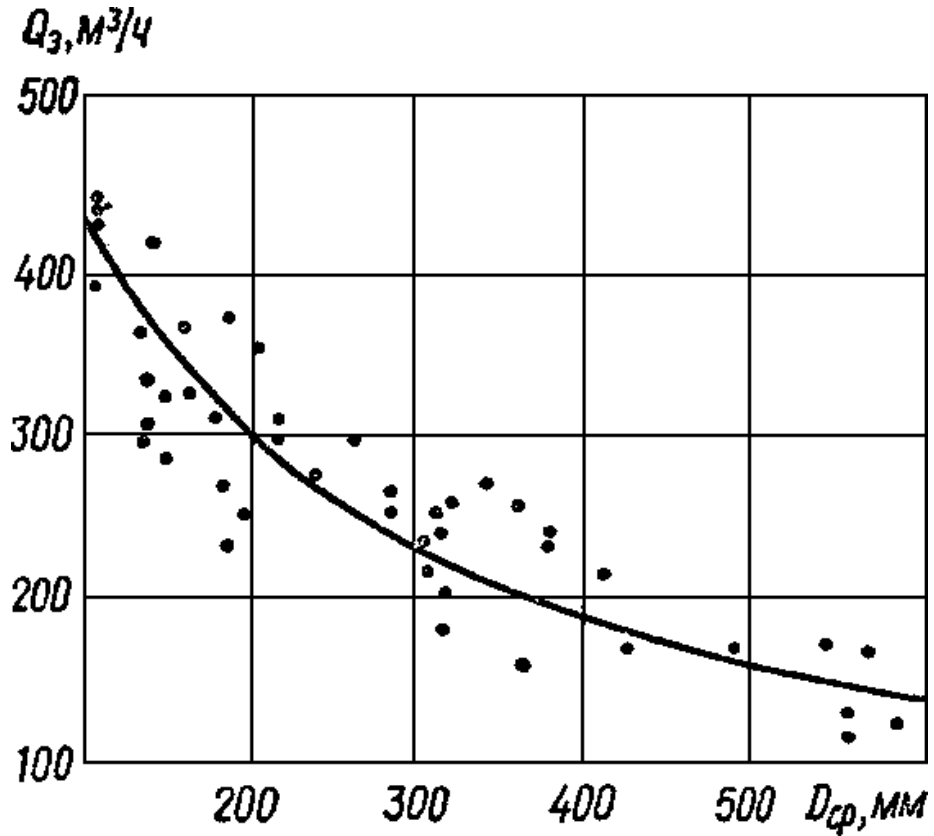


Рис. 5 - Залежність продуктивності екскаватора від кускуватості гірничої маси

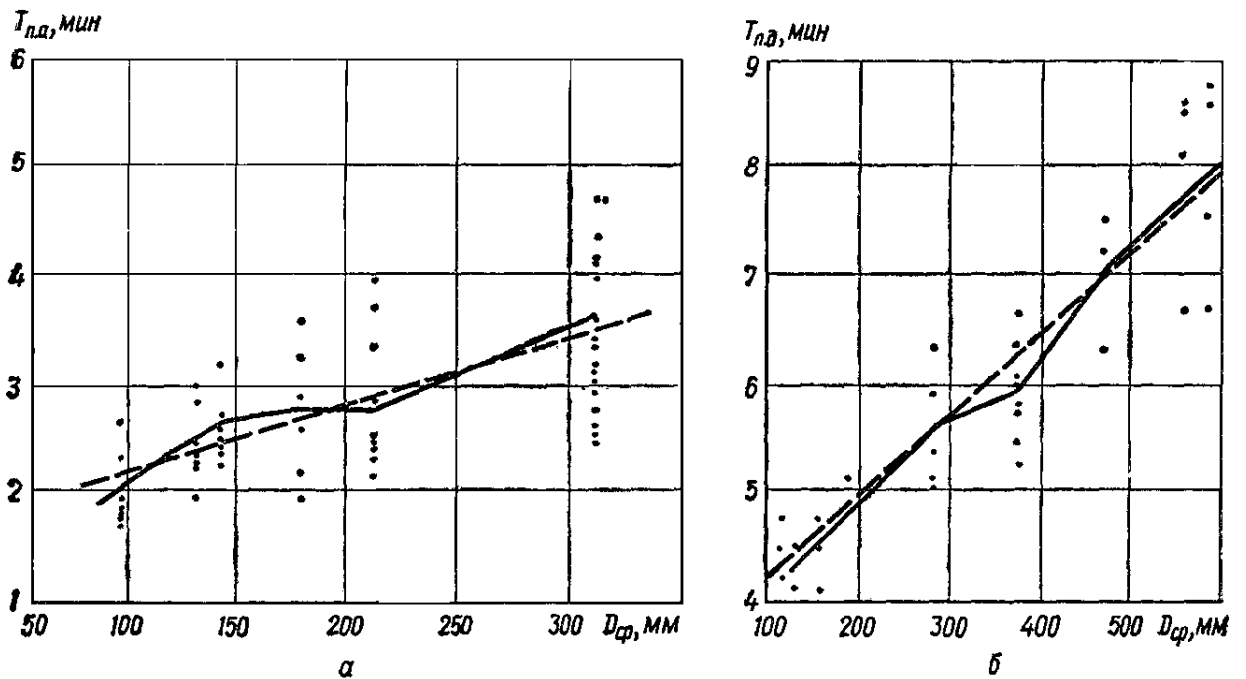


Рис. 6 - Залежність тривалості навантаження транспортних засобів від кускуватості гірничих порід: а – при автомобільному транспорті; б – при залізничному транспорті.

В роботі [19] був досліджений процес екскавації кар'єрних екскаваторів (механічних лопат та гідравлічних) з метою встановлення коефіцієнтів екскавації. Автор вважає, що між величиною середнього куска гірської маси  $d_{cp}$  і коефіцієнтом розпушення породи  $k_p$  порід для екскаватора ЕГ-12 існує такий зв'язок:

$$k_p = 4,53 \cdot d_{cp}^2 - 1,88 \cdot d_{cp} + 1,28. \quad ($$

Також автор з'ясував характер впливу коефіцієнта розпушення порід  $k_p$  на коефіцієнт екскавації  $k_e$  екскаватора (рис.7):

$$k_e = -4,3 \cdot k_p^2 - 10,4 \cdot k_p - 5,26.$$

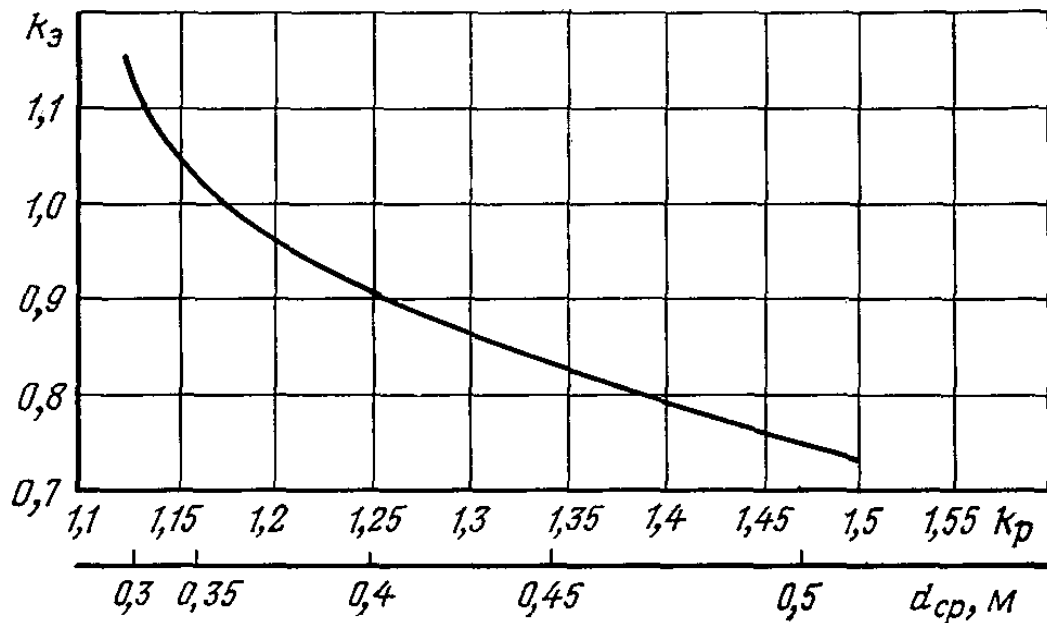


Рис. 7 - Залежність коефіцієнта екскавації кар'єрного гідравлічного екскаватора ЕГ-12 від гранулометричного складу і коефіцієнта розпушення

Аналіз графіка дозволяє зробити висновок, що величина коефіцієнту екскавації збільшується із підвищенням якості підготовки гірських порід до виймання - зменшення діаметра середнього куска гірської маси з 500 мм до 300 мм призводить до зростання коефіцієнта екскавації у 1,5 рази.

Результати дослідів, проведених та описаних авторами [18], свідчать про те, що при зміні вмісту негабаритних кусків у підірваній гірничій масі



продуктивність екскаватора змінюється за гіперболічним законом. У випадку значного вмісту кусків негабариту відбувається зниження продуктивності екскаватора до 40 %.

Також автори [18] наводять дані, що збільшення розміру середнього куска гірничої маси призводить до зростання коефіцієнта розпушення породи та зменшення коефіцієнта екскавації для ковшів різного об'єму (рис. 8).

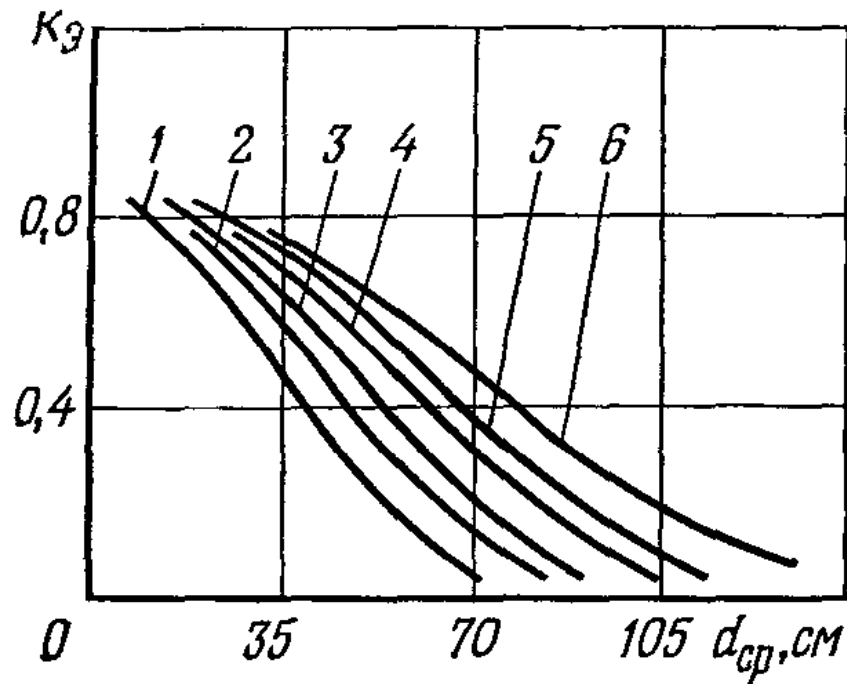


Рис. 8 - Графік залежності зміни коефіцієнта екскавації від величини діаметра середнього куску: 1, 2, 3, 4, 5, 6 – для ковшів об'ємом 4; 6; 8; 12,5 і 20 м<sup>3</sup> відповідно.

Група дослідників [21] провела та описала серію дослідів з метою встановлення характеру впливу кускуватості гірничих порід на продуктивність виймально-навантажувального обладнання. Автори зазначають, що зменшення діаметра середнього куску позитивним чином впливає на продуктивність екскаватора (зменшення розмірів середнього куску з 400 до 250 мм тривалість циклу скорочується на 15 %).

В роботі [22] наведено результати досліджень впливу показників якості вибухової підготовки гірських порід на продуктивність кар'єрних мехлопат.

Автори наводять залежність тривалості циклу роботи екскаватора від висоти розвалу і якості подрібнення гірничої маси:

$$t_{ц} = 0,55 \cdot H_p^2 - 7,75 \cdot H_p + 67,2 \cdot d_{cp} + 60, \text{ с} \quad ($$

де  $H_p$  – висота розвалу гірничої маси, м;  $d_{cp}$  – діаметр середнього куска підірваної породи, м.

Погіршення якості вибухової підготовки призводить до збільшення розмірів середнього куска гірничої маси та коефіцієнта розпушення:

$$K_p = 1,1 + 2 \cdot d_{cp}, \quad ($$

$$K_n = \sqrt{\frac{H_p}{15}}. \quad ($$

Змінна продуктивність екскаватора визначається:

$$Q = \frac{240 \cdot E \cdot T_{cm} \cdot \eta_e \cdot \sqrt{15 \cdot H_p}}{(1,1 + 2 \cdot d_{cp}) \cdot (60 - 7,75 \cdot H_p + 0,55 \cdot H_p^2 + 67,2 \cdot d_{cp})}, \text{ м}^3/\text{зм}$$

де  $E$  – місткість ковша екскаватора, м<sup>3</sup>;  $T_{cm}$  – тривалість зміни, г;  $\eta_e$  – коефіцієнт використання екскаватора протягом зміни.

В роботі [14] також робиться висновок, що на продуктивність роботи виймально-навантажувального обладнання, окрім інших факторів, значно впливає кускуватість гірських порід, що визначає час циклу екскаватора.

Аналіз наукових джерел дозволяє зробити висновок, що тема впливу якості підготовки гірської маси на техніко-економічні показники роботи екскаваторів не є новою, оскільки кускуватість гірничої маси суттєво на них впливає: збільшення кускуватості призводить до зниження продуктивності екскаваторів на 8-20%, збільшення часу циклу та часу на аварійні ремонти екскаватора. Це призводить до порушення ритмічної роботи екскаваторних дільниць та в цілому всього технологічного ланцюга.

## 2.2. Аналіз впливу кліматичних факторів

Вираженням дії кліматичних факторів на техніко-економічні показники роботи екскаваторних дільниць є вологість та температура гірської маси.

Кліматичними причинами, що знижують показники роботи та надійність виймально-навантажувального обладнання, є процеси промерзання розкритих уступів, робота в умовах підвищеної та низької температури, високої вологості та запиленості повітря, налипання з подальшим намерзанням гірничої маси на ковші екскаваторів.

Наприклад, при роботі в регіонах із підвищеною вологістю на поверхні матеріалу вже при відносній вологості 60–70 % з'являється молекулярний шар води, що проникає всередину матеріалу і викликає корозію провідників та ізоляції, що, у свою чергу, вимагає особливої уваги та догляду за електричною системою екскаватора.

В екскаваторі, що працює в умовах підвищеної температури, найбільше проблематичними є деталі, виготовлені з пластмас, та різні резинотехнічні вироби. Ця група елементів схильна до прискореного процесу старіння.

Робота в умовах підвищеної температури також призводить до зниження в'язкості робочої рідини, що, своєю чергою, може бути причиною значних обсягів витоків через зазори та ущільнення. Низька температура знижує механічну міцність матеріалів, збільшуючи їхню крихкість, сприяючи руйнуванню. Зростає в'язкість робочої рідини, викликаючи додаткові втрати тиску за рахунок збільшення опору трубопроводів, особливо гнучких, знижується коефіцієнт корисної дії, погіршуються механічні характеристики гідроприводу.

Запиленість повітря прискорює зношування пар, що труться, забруднює робочу рідину, забиває дротелі і канали, зменшує термін служби повітряних фільтруючих елементів.

Всі ці фактори напряму впливають на зношуваність деталей та справність екскаваторів в цілому, а опосередковано на збільшення простоїв екскаваторів та збільшення витрат на екскаваційні роботи.

Однією з проблем виймально-навантажувальних робіт, яка витікає з фактору підвищеної вологості та низьких температур, є налипання гірської породи на ковші екскаваторів. Інтенсивність налипання та намерзання порід залежить від їх вологості, кускуватості, фізичних властивостей і температури, матеріалу робочого обладнання, який контактує з ними. Вплив кліматичних факторів особливо сильно проявляється в зимовий та осінньо-весняний періоди. Усунути вплив цих факторів неможливо, що ускладнює роботу екскаваторів, знижує продуктивність екскаваторів, потребує рішень щодо зниження їх негативної ролі, здорожує процес екскавації.

В роботі [25] авторами при розгляді можливостей підвищення продуктивності екскаваторів при усуненні адгезії гірських порід до ковша запропоновано визначати їх технічну продуктивність з урахуванням коефіцієнту налипання породи на поверхню ковша:

$$Q_{техн} = \frac{3600 \cdot E \cdot k_n}{t_{ц} \cdot k_{розп}} \cdot k_{нал}, \text{ м}^3/\text{год.},$$

де  $E$  – місткість ковша екскаватора,  $\text{м}^3$ ;  $t_{ц}$  – час циклу роботи екскаватора, с;  $k_n$  – коефіцієнт наповнення ковша;  $k_{розп}$  – коефіцієнт розпушення породи;  $k_{нал}$  – коефіцієнт налипання породи на поверхню ковша (0,7-1).

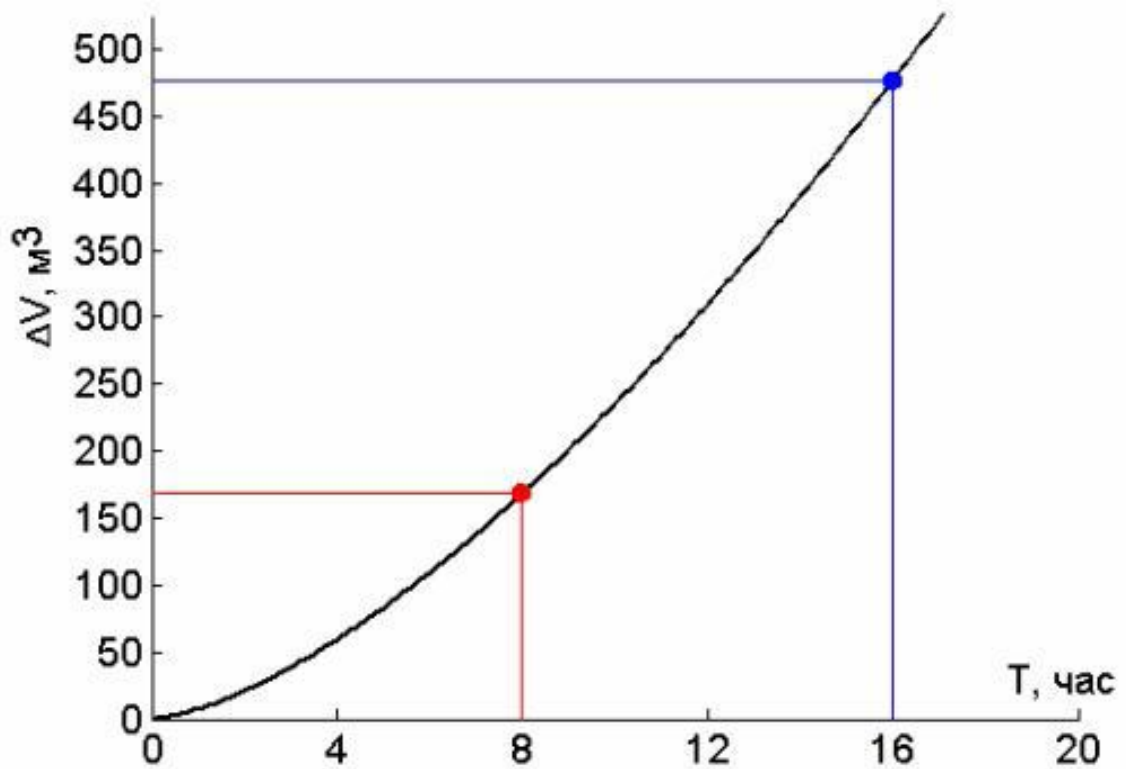
Коефіцієнт налипання  $k_{нал}$  пропонується визначати за виразом:

$$k_{нал} = \frac{q - q_{нал}}{q},$$

де  $q$  – об'єм породи в ковші екскаватора,  $\text{м}^3$ ;  $q_{нал}$  – об'єм породи, яка налипла на внутрішню поверхню ковша,  $\text{м}^3$ .

Автори зазначають, що процеси налипання та намерзання породи на ковші екскаваторів можуть зменшити їх продуктивність до 30%.

Рис.9 ілюструє залежність втрат продуктивності екскаватора при вийманні та вантаженні порід, що виникають при процесах намерзання та налипання гірської породи на ковш. З графіка видно, що втрати продуктивності екскаватора в зимовий час за зміну 8 годин складають  $170 \text{ м}^3$ , а за 2 зміни вже  $470 \text{ м}^3$ .



*Рис. 9 - Динаміка зростання втрат продуктивності екскаватора при розкривних роботах*

Сьогодні проблема впливу кліматичних факторів на продуктивність екскаваторів достатньо вивчена. Розроблені та постійно удосконалюються методи та способи боротьби з налипанням та намерзанням порід на ковші екскаваторів [26]:

- ✓ Конструктивні методи, спрямовані на забезпечення режиму роботи екскаваторів, несприятливого для розвитку адгезії - зменшення часу контакту та тиску; футеровка робочих поверхонь, вибір раціональної форми ковша.
- ✓ Хімічні методи, спрямовані на утворення проміжного шару між гірською породою і матеріалом ковша. В якості проміжного шару використовуються полімери, тверді, газоповітряні та рідинні змазки, еластомери, , електроосмос.
- ✓ Методи фізичного впливу на контактну зону гірничої породи і ковша екскаватора - електромагнітне поле, вібрація, ультразвук, теплова дія.

- ✓ Комбіновані методи – поєднання трьох вищеописаних методів, що робить їх більш універсальними, а також розширює діапазон їх застосування, чинить комплексний вплив.

### **2.3. Аналіз впливу стратегії вибору виймально-навантажувальної техніки**

Останніми роками помітний відчутний прогрес в створенні потужних гідравлічних екскаваторів, проте на сучасних залізородних кар'єрах досить висока доля механічних лопат з ковшами місткістю 10-15 м<sup>3</sup>.

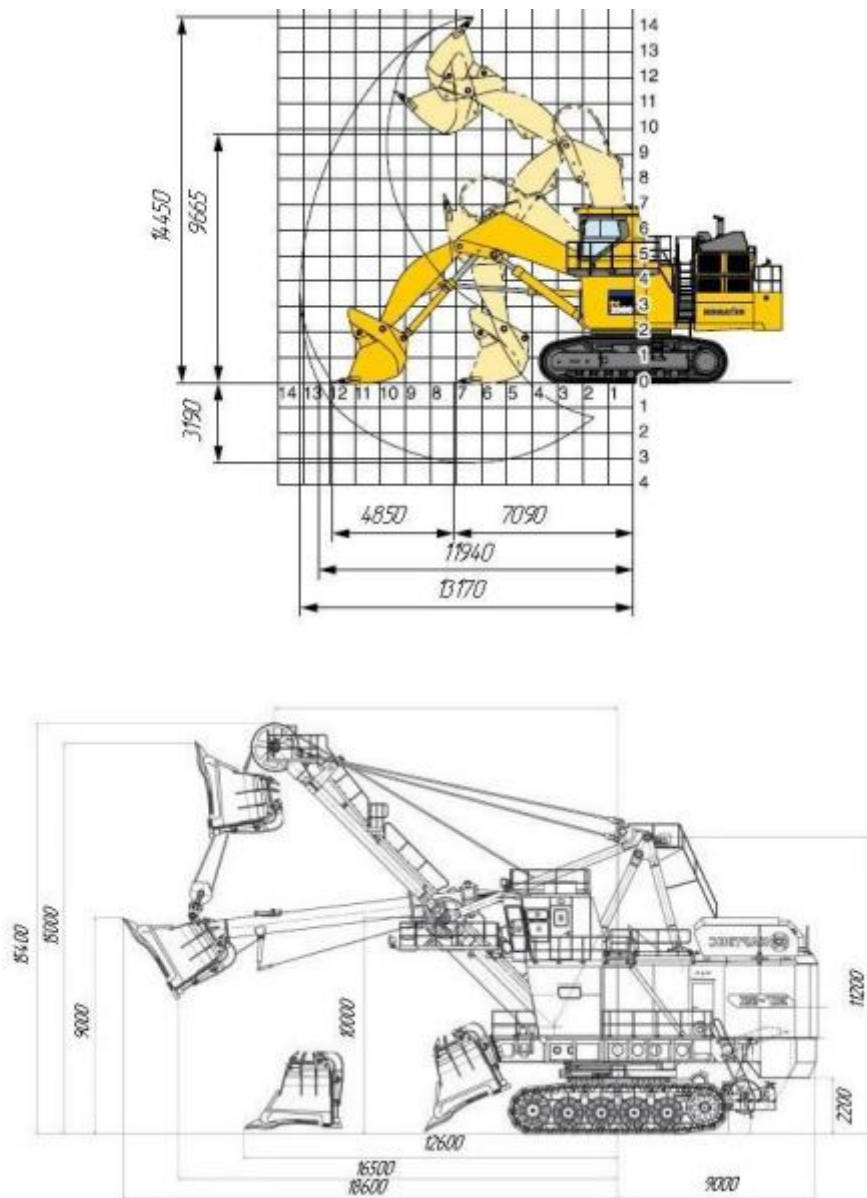
В науково-практичній літературі є багато думок з приводу стратегії вибору виймально-навантажувальної техніки та її впливу на продуктивність екскаваторних ділянок. На вибір виймально-навантажувального обладнання накладається вплив багатьох факторів: технологічних, економічних і навіть політичних.

Вважається, що у складних гірничо-геологічних умовах найбільш доцільним є використання гідравлічних екскаваторів, тому що вони технологічно більш гнучкіші: їхня маса менша, вони можуть бути оснащені як прямою, так і зворотною лопатою, мають більшу питому потужність, більш мобільний, може здійснювати селективну виїмку порід.

При цьому мехлопати прості та надійні, вони використовуються протягом десятків років на кар'єрах України, тому в наявності ремонтна база та великий досвід експлуатації. Але постачальником мехлопат є Росія, тому зараз з причини війни закупівля мехлопат є неприйнятною.

Усе це призводить до витіснення механічних лопат в класі кар'єрних екскаваторів, особливо на новостворених кар'єрах

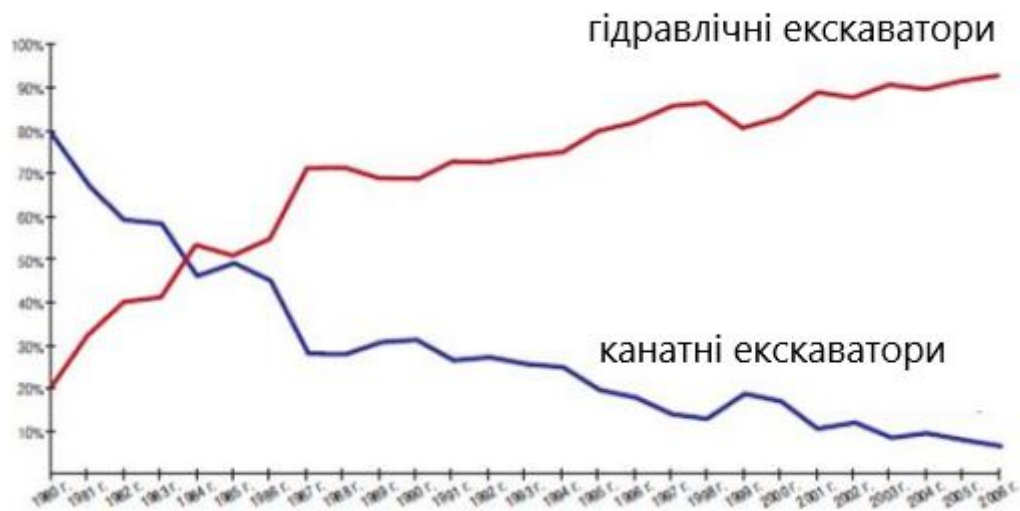
На рис. наведено порівняння габаритів гідравлічних екскаваторів та мехлопат з однаковим об'ємом ковша.



*Рис. 10. - Порівняння габаритів гідравлічного екскаватора та механічної лопати з однаковим об'ємом ковша*

Аналіз ринку екскаваторів демонструє стійку тенденцію до зменшення об'ємів продажів канатних екскаваторів і збільшення продажів гідравлічних (рис.11), що свідчить про зміну стратегії у виборі виймально-навантажувального обладнання для сучасних кар'єрів.

Ще близько 15 років тому питання доцільності переоснащення екскаваторного парку почало зароджуватись в науково-практичній літературі і вже сьогодні все більше голосів за гідравліку і на це є багато причин.



*Рис.11. - Динаміка поставок на світові ринки гідравлічних і канатних екскаваторів з ковшами місткістю більше 12м<sup>3</sup> з 1980-х років.*

Наприклад у праці [28] вчений наводить переваги гідравліки перед мехлопатами, які сприяють суттєвому підвищенню техніко-економічних показники роботи екскаваторних дільниць:

1. Гідравлічні екскаватори більше пристосовані для роботи в обводнених умовах;
2. Підвищене зусилля різання робочим органом;
3. Менша на 8-10% тривалість одиничного робочого циклу;
4. Здатність роботи з верхнім і нижнім черпанням та розвантаженням;
5. Більший коефіцієнт наповнення ковша при роботі в забоях невеликої потужності;
6. Високі мобільність і маневреність, здатність швидше переміщуватись при перегонах в новий забій.

Всі перераховані фактори впливають на час циклу екскаватора, коефіцієнт екскавації, коефіцієнт використання робочого часу екскаватора протягом зміни.

В роботі [29] автори також роблять висновок про переваги стратегії переоснащення екскаваторних парків гідравлічними екскаваторами. Такими



перевагами є найвищий річний фонд робочого часу (до 7000 годин); високі зусилля і динаміка копання. При цьому зазначають, що гідравлічні екскаватори мають високу питому потужність, а також елемент віддаленості ремонтних баз від зовнішніх інфраструктур по ремонту гідравлічних компонентів не сприяє високим техніко-економічним показникам.

На рис. 12 представлено результати досліджень по порівняно механічних лопат і кар'єрних гідравлічних екскаваторів, які наочно демонструють більшу інтенсивність посування фронту гірничих робіт при застосуванні гідравлічних екскаваторів, що відповідним чином позначається на техніко-економічних показниках роботи екскаваторних дільниць та всього гірничого підприємства в цілому.

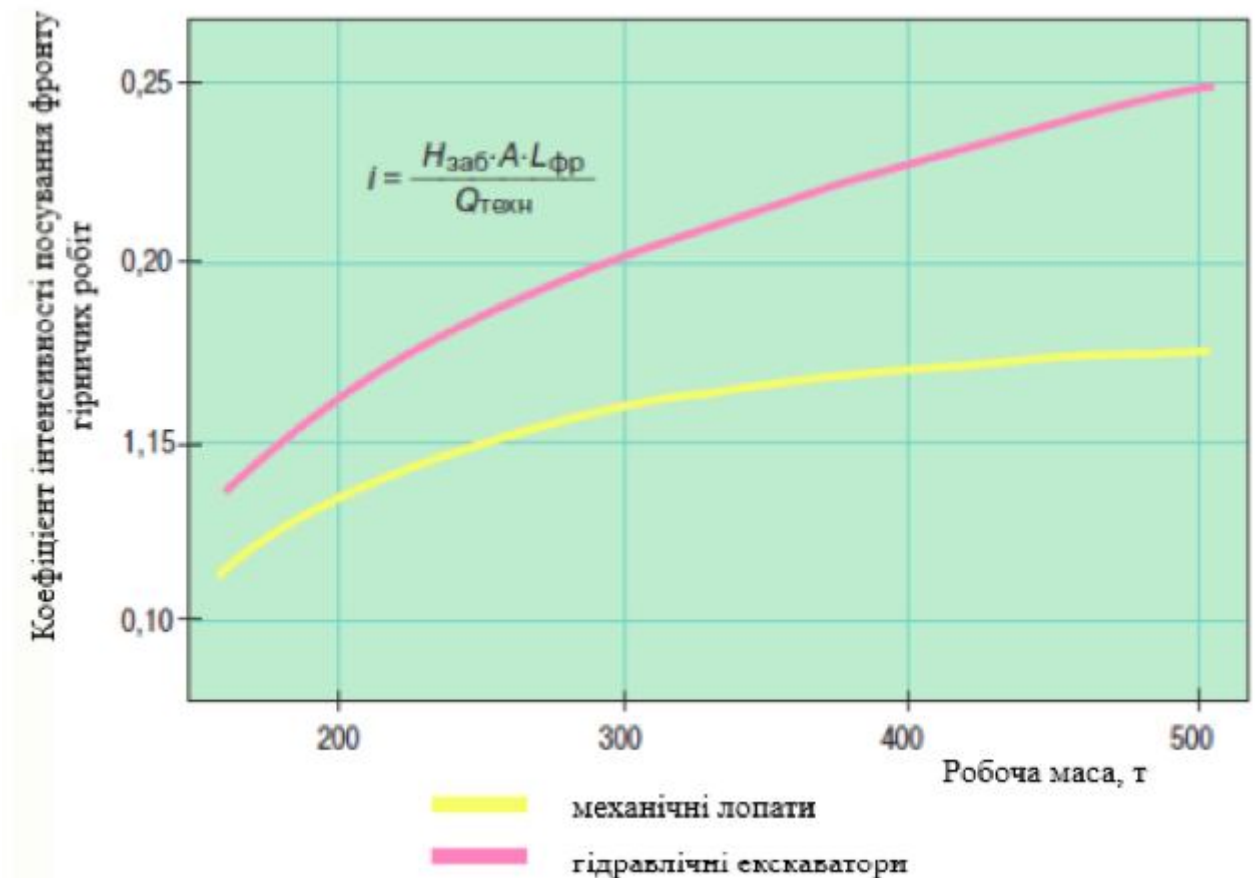


Рис. 12. - Графіки залежності інтенсивності посування фронту гірничих робіт від робочої маси гідравлічних екскаваторів та мехлопат

В роботі [30] наведені результати використання гідравлічних екскаваторів на кар'єрі Мурунтау, які свідчать про зростання техніко-економічних показників підприємства. Застосування на кар'єрі гідравлічних екскаваторів великої одиничної потужності і місткості ковша дали змогу забезпечити високі темпи видобутку і зростання продуктивності, при цьому відбулось скорочення загального парку виймально-навантажувального обладнання при глибині кар'єру, яка постійно збільшується.

### 3. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЕРГАТИЧНИХ ФАКТОРІВ НА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЕКСКАВАТОРНИХ ДІЛЬНИЦЬ

#### 3.1. Аналіз впливу організації робіт

Ідеальний процес екскавації можна вважати як такий, який є безперервним впродовж всього циклу. У кінці кожного циклу здійснюються роботи, передбачені регламентом: поворот на розвантаження, розвантаження ковша, опускання порожнього ковша в забій, переїзд екскаватора на нове місце вантаження тощо.

Проте на практиці спостерігаються часті непередбачені зупинки екскаваторів, які з цілим рядом причин: з відмовами екскаватора, організаційними та технологічними перервами тощо (рис.13)



Рис. 13. - Класифікація простоїв екскаваторів

Виразенням впливу організаційних факторів на процес екскавації є доволі поширений показник - коефіцієнт використання екскаватора в часі  $K_{\text{вик}}$ .

Оцінка впливу різних факторів на величину  $K_{\text{вик}}$  може здійснюватися на основі комплексу математичних моделей, що дозволяють врахувати та проаналізувати будь-який набір і поєднання факторів. Для полегшення аналізу фактори можна розділити на три підсистеми. Перша і друга підсистеми відповідають за простої з дільничних причин, а третя - загальнокар'єрних.

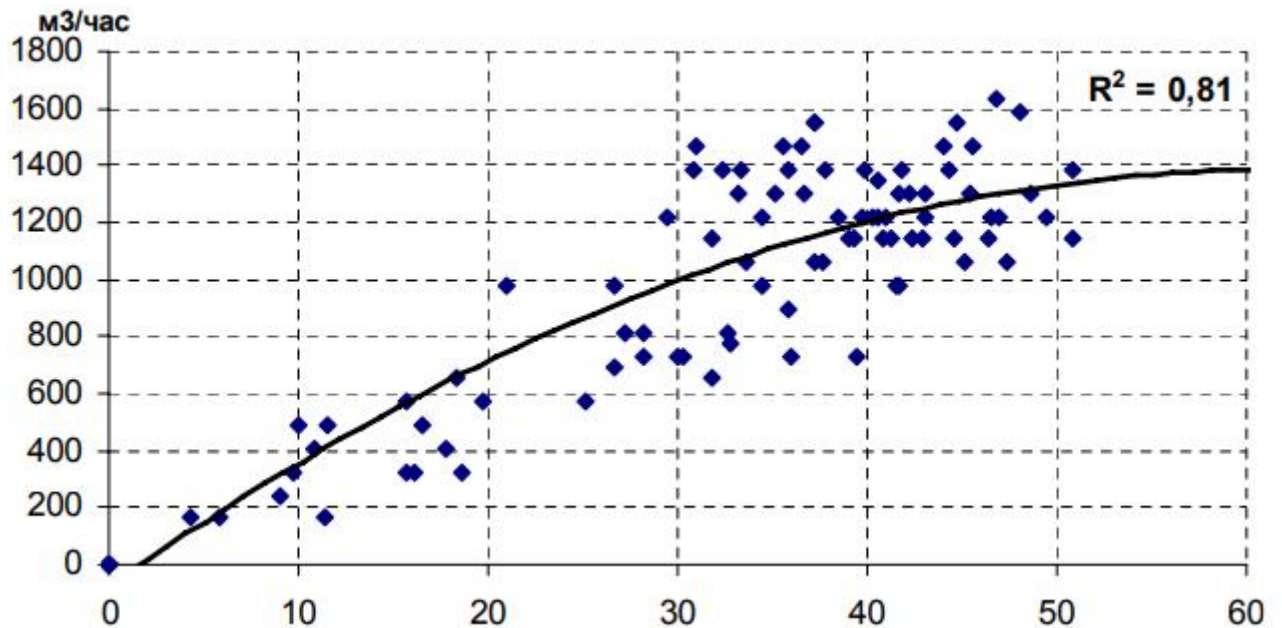
Суттєве підвищення  $K_{\text{вик}}$  (коефіцієнта використання екскаватора в часі), і підвищення техніко-економічних показників екскаваторних ділянок за рахунок зміни якого-небудь одного фактора неможливе. Доцільним є комплексне удосконалення організації робіт на екскаваторній ділянці, підвищення надійності виймально-навантажувального обладнання за рахунок вибору раціональних режимів його роботи, підвищення якості організації його ремонту тощо.

В статті [27] автори зазначають, що основними звітними показниками, що відображають роботу екскаваторного парку ділянки та рівень використання його можливостей, є об'єми гірничої маси, що видобуваються, а також розподіл календарного фонду часу (час перебування екскаватора в роботі, ремонті, простоях). На жаль, ці показники не дозволяють виявляти час, який використовується у виробничому процесі непродуктивно. Для визначення структури внутрішньовиробничих резервів необхідно виявлення фактичної структури розподілу часу екскаваторного парку. Авторами статті були проведені хронометражні спостереження за трьома складовими:

- часом, пов'язаним із виконанням заданих обсягів з технологічно можливою годинною продуктивністю – функціональним часом роботи;
- зайвими витратами часу на черпання, повороти, навантаження неповних ковшів, різну кількість занурених в автосамоскид ковшів тощо - надлишковим часом роботи екскаватора;
- часом, пов'язаним із проведенням обслуговування техніки, переїздами у забої, зачистками тощо - нефункціональним часом роботи.

За проведеними хронометражними спостереженнями екскаватора РН-2800 було зроблено висновок, що фактичний рівень використання його технологічних можливостей на даний час не перевищує 35%. У перерахунку на ємність ковша дана одиниця техніки працює як високопродуктивний екскаватор з ємністю ковша  $12 \text{ м}^3$ , замість  $33,6 \text{ м}^3$ . Причинами такого аудиту стала ситуація, коли продуктивність таких екскаваторів за паспортними даними

та реальними його можливостями може становити за добу 60 тис. м<sup>3</sup>. Фактично вона в 2-4 рази менша (рис.14)



*Рис. 14 - Продуктивність екскаватора РН 2800 ХРВ в залежності від реального часу роботи*

В результаті хронометражних спостережень було отримано ряд явних організаційно-технологічних факторів, що обмежують зростання продуктивності. Неявні фактори перебувають у реальному часі роботи екскаватора та впливають на функціональний час його роботи. Було проаналізовано неявних 14 факторів, які були зібрані у 5 груп:

- Якість підготовки гірничої маси;
- Кваліфікація машиністів екскаваторів;
- Нестача автотранспорту;
- Мотивація персоналу;
- Взаємодія між учасниками виробничого процесу

Головним неявним фактором, що обмежує продуктивність екскаватора РН2800ХРВ №154, на думку учасників виробничого процесу, які приймали участь в дослідженнях, є неузгоджена взаємодія між учасниками виробничого процесу та неефективна система їх мотивації, що підтверджується опитуванням, проведеним кореляційним аналізом, розрахунками. Зниження

впливу неявних обмежувальних організаційно-технологічних факторів може суттєво підвищити функціональний час роботи виймально-навантажувального обладнання.

Автори [27] роблять висновок, що дуже часто неявні фактори ігноруються, хоча вони співставні за впливом на рівень використання можливостей екскаватора з явними. Під час підготовки виробничих процесів необхідно враховувати неявні фактори.

Автори [31] констатують факт, що важливою проблемою покращення техніко-економічних показників екскаваторних ділянок залишається підвищення експлуатаційної продуктивності екскаваторів, яка залежить від безлічі робочих технологічних та конструктивно-технологічних параметрів виймальних машин, а також параметрів їх взаємодії з технологічним транспортом у конкретних гірничотехнічних умовах при розробці підготовленої гірської маси, що має певні фізико-механічні властивості. При цьому на ефективність роботи екскаваторів значною мірою впливають позапланові простої (ПП), які можуть виникати з організаційних та аварійних причин. До організаційних простоїв відносяться очікування навантаження гірничої маси екскаватором в автосамоскиди, простої в результаті видалення негабариту і тощо. До аварійних – поламка, ремонт чи заміна обладнання екскаваторів. У сукупності частка таких простоїв може становити близько 50% часу роботи екскаваторів, що негативно впливає на їх експлуатаційну продуктивність [31].

Для мінімізації простоїв на кар'єрах можуть бути уведені спеціальні заходи, що спрямовані наприклад на організацію роботи екскаваторів на два під'їзди тощо. Щоб реалізувати заходи щодо мінімізації всіх ПП, які можуть виникнути під час роботи з метою збільшення експлуатаційної продуктивності, потрібні величезні витрати. У зв'язку з цим автори [31] вважають актуальним завданням визначення в множині ПП тих, які найбільше впливають на експлуатаційну продуктивність екскаваторів з метою першочергової розробки для них заходів щодо попередження та мінімізації.

Для цього вони пропонують використовувати двофакторний дисперсійний аналіз із повтореннями, який є формальним методом визначення ступеня впливу групи факторів на відгук. При роботі екскаваторів факторами є тривалість простою (фактор А) та періодичність його появи (фактор Б) (Рис. 15).



Рис. 15 - Принцип двофакторного дисперсійного аналізу

Для вирішення задачі автори [31] застосовують імітаційне моделювання взаємодії гірничих машин та двофакторний дисперсійний аналіз з повтореннями, що дозволяє виділяти з усієї множини ПП найбільш значущі. Зменшення кількості ПП за рахунок виключення множини ПП, що мають незначний вплив на експлуатаційну продуктивність екскаваторних ділянок, сприяє спрощенню процесів оптимізації параметрів екскаваторів та розробки заходів щодо мінімізації простоїв.

### 3.2. Аналіз впливу об'ємного модуля екскаватора та транспортної судини

Класикою гірничої науки передбачається такий вибір транспортних засобів, які мають відповідати розмірній групі екскаватора, та забезпечувати завантаження не менше трьох ковшів екскаватора. Нормальна та ефективна роботи екскаватора потребує транспортних засобів, для заповнення кузова яких необхідно 4-6 ковшів екскаватора.

В роботі [32] автор пропонує здійснювати раціональний підбір екскаваторів та самоскидів по об'ємному модулю на основі комп'ютерного моделювання. Ним було розглянуто 3 екскаватори та 3 автосамоскиди, в результаті чого утворилось 9 комбінацій. Для них він визначав різні показники, в тому числі і об'ємний модуль, тобто співвідношення ємностей ковша та транспортної судини. На основі проведених ним досліджень було встановлено, що при об'ємному модулі 6.5-7 продуктивність комплексу нижча, при об'ємному модулі 4-6 значно збільшується продуктивність екскаваторно-автомобільного комплексу.

В цій роботі продемонстровано, що збільшення вантажопідйомності автосамоскидів в кращий бік впливає на продуктивність комплексу, проте при об'ємному модулі більше 6,5 - 7,0 продуктивність комплексу навіть нижче, ніж у комплексів з меншими за об'ємом самоскидами, але більшим ковшем екскаватора.

Практикою встановлено, що кузов самоскиду вміщує різний об'єм породи. Це залежить від її об'ємної маси, а на об'єм породи в ковші екскаватора також впливає об'ємна маса породи і коефіцієнт наповнення ковша екскаватора. Число ковшів екскаватора, яке потрібне для завантаження транспортної судини визначається виразом:

$$n = \frac{q}{\gamma \cdot k_n \cdot E},$$

де  $q$  - вантажопідйомність транспортної суди (автосамоскида чи вагону), т;

$\gamma$  - об'ємна маса породи (щільність), т/м<sup>3</sup>;



$k_n$  - коефіцієнт наповнення ковша екскаватора;

$E$  - ємність ковша екскаватора, м<sup>3</sup>

Ще у 1970-х роках П.Томаковим [35] було уведено чисельне співвідношення ємностей транспортної судини та ковша екскаватора з метою зменшення експлуатаційних витрат екскаваторних ділень. Він вирахував раціональні значення об'ємного модуля та прив'язував його до відстаней транспортування: 4-6 при відстані транспортування породи до 1 -1,5 км, 6-10 при відстані транспортування породи до 5 км і 8-10 при відстані транспортування породи до 8 км.

Проте сьогодні сучасні вчені вважають, що ці положення та регламентації добре працювали при плановій економічній системі. При ринковій системі потрібно враховувати більш об'єктивні фактори, а навіть комплекс факторів, до яких відносять продуктивність екскаватора і транспорту (автосамоскидів).

Проте це не означає, що зовсім виробничники відмовляються від використання такого показника як об'ємний модуль, бо вважають, що невідповідність ємностей екскаваторів і автосамоскидів призводять до значних технологічних і організаційних простоїв, перевантаження або недовантаження автосамоскидів тощо. При цьому дотримання інструкцій щодо 4-6 ковшів забезпечує максимальну продуктивність екскаваторної діленьці та транспорту, а також мінімальні економічні витрати на вантаження породи.

На рис. 16 наочно продемонстровано, що оптимальним об'ємним модулем, який забезпечує найбільшу продуктивність екскаваторних діленьці є 4-6, найгірший показник при об'ємному модулі 2, найкращий – при 4-5.

Відомий дослідник М. В. Васильєв [34] зазначає, що на основі численних досліджень мінімальним об'ємним модулем може бути 4, а максимальним - не більше 6-7.

В джерелах [36,37] йдеться про те, що розвиток параметрів автосамоскидів та екскаваторної техніки безпосередньо взаємопов'язаний. Як правило, вибір оптимального співвідношення місткості ковша екскаватора та

вантажопідйомності автосамоскида досягається виконанням умови навантаження кузова в 5-12 циклів екскавації, тобто об'ємний коефіцієнт становить від 5 до 12.

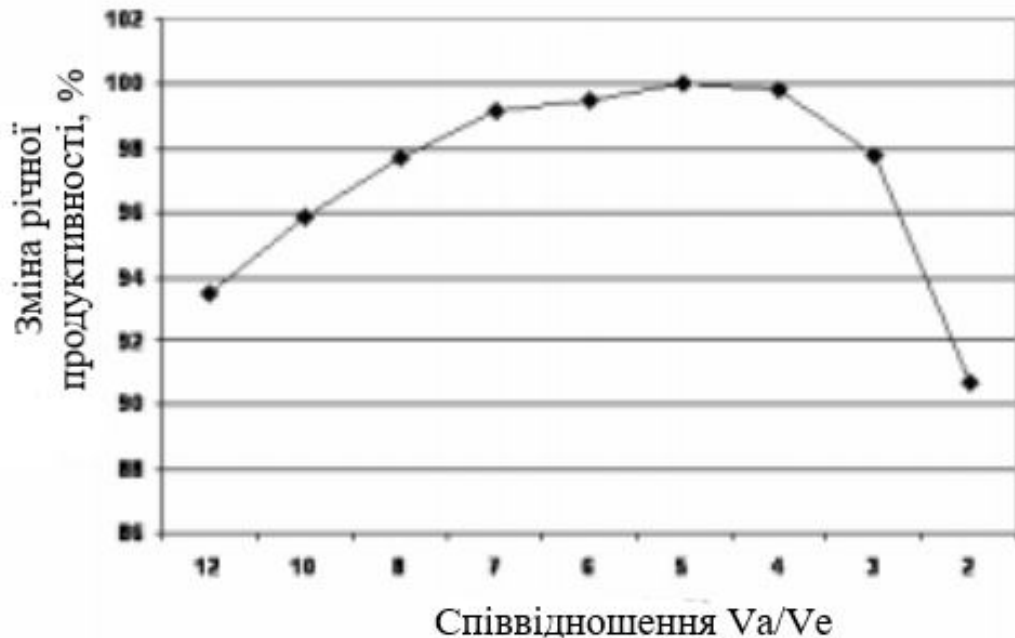


Рис. 16 - Зміна річної продуктивності автосамоскида в залежності від співвідношення  $V_a / V_e$ .

Об'ємний модуль визначає міру продуктивного використання як екскаватора, так і автосамоскида і цим впливає на техніко-економічні показники екскаваторних дільниць.

Той об'ємний модуль, який за конкретних гірничотехнічних умов забезпечує високі техніко-економічні показники екскаваторних дільниць і є оптимальним. Значення модуля буде орієнтиром при формуванні екскаваторно-автомобільних комплексів (ЕАК) кар'єрів.

В статті [44] автори стверджують, що продуктивність екскаваторних дільниць залежить від співвідношення ємності ковша екскаватора і геометричних параметрів кузова автосамоскида, кількості ковшів у кузові та їх кратності, що впливає на ефективність використання вантажності транспортних засобів, тривалість циклу гірничого обладнання. Тобто дуже важливо скільки

транспортний засіб знаходиться під навантаженням, скільки повних ковшів екскаватор вантажить у автосамоскиди, тощо.

Проведені авторами [44] дослідження дозволяють стверджувати, розмір ковша екскаватора має більший вплив на продуктивність автотранспорту, ніж ємність автосамоскида на продуктивність екскаватора. Це пов'язано з тим, що наприклад досліджуваний екскаватор «Volvo EC480» з ємністю ковша 3,3 м<sup>3</sup> дозволяє скоротити час простою автосамоскидів під навантаженням у 1,6 рази та забезпечити зменшення часу рейсу автосамоскида в 1,15–1,2 рази незалежно від ємності автосамоскида (рис.17).

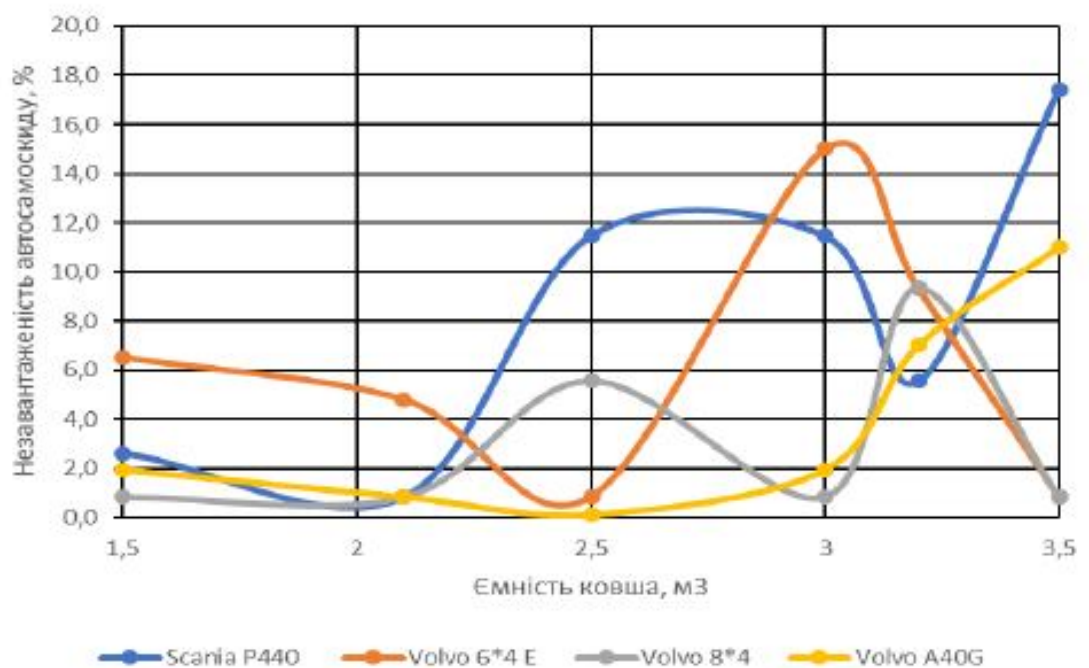


Рис. 17 - Графіки залежності ефективності використання вантажності автосамоскидів від місткості ковша екскаватора

Аналіз графіка на рисунку 17 дозволяє зробити висновок, що, чим менша ємність автосамоскида, тим більша розбіжність, пов'язана з його незавантаженістю. А збільшення ємності автосамоскидів при збільшенні ємності ковша екскаватора призводить до повного завантаження автосамоскидів. На основі досліджень автори встановили, що збільшення корисного використання екскаваторів «Volvo EC480» в часі, за рахунок повного

завантаження автосамоскидів, може призвести до збільшення продуктивності екскаваторних ділянок в 1,1 рази.

В роботі [38] наведені результати аналізу показників роботи екскаваторно-автомобільних комплексів глибоких кар'єрів Кривбасу. Автор обґрунтовує раціональний об'ємний модуль існуючого парку кар'єрних автосамоскидів та виймально-навантажувального обладнання в залежності від об'ємної ваги і фізико-механічних властивостей гірської маси. Автор робить висновок, що ефективних показників роботи екскаваторних ділянок можна отримати на основі якісного визначення об'ємного модуля.

Раціональне співвідношення залежить як від технічних характеристик виймально-навантажувального обладнання (маса, геометричні параметри екскаватора, тривалість циклу, ємність ковша тощо), так і від гірничо-технічних факторів (фізико-механічних властивостей порід, параметрів забою, відстані транспортування гірської маси, параметрів та складності автодоріг, організації робіт).

У підсумку можна стверджувати, що раціональний об'ємний модуль є величиною непостійною, оскільки знаходиться в залежності від багатьох факторів. Гірничотехнічні умови є особливими та специфічними для кожного кар'єру і носять імовірнісний характер, тому простих та універсальних рішень для всіх родовищ немає.

Згідно з аналізом науково-практичних джерел, раціональне співвідношення ємностей ковшів екскаваторів і кузовів автосамоскидів коливається в межах від 3: 1 до 6:1. Одні дослідники вважають мінімально допустимим об'ємний модуль 2, інші – 4, а максимально допустимим від 6 до 8. Сьогодні існує багато інструментів для визначення оптимального співвідношення, зокрема економіко-математичне моделювання.

### **3.3. Аналіз впливу тривалості циклу роботи екскаваторів**

В основі техніко-економічних показників роботи екскаваторних ділянок лежить тривалість циклу роботи екскаваторів, який має різні складові

залежно від умов роботи екскаваторів. В процесі екскавації екскаватори здійснюють ряд операцій, які складають цикли, чим забезпечують необхідне наповнення транспорту.

Автори роботи [39] вважають, що визначення експлуатаційної продуктивності екскаваторів ґрунтується на встановленні часу циклу їх роботи, взаємозв'язку між потужністю двигунів напору, підйому, повороту, величини питомого опору копанню; моменту оберткових частин екскаватора; кута повороту; конструктивних особливостей механізму відкривання днища ковша; тривалості безперервної роботи та пересування екскаватора; а також ймовірності безвідмовної роботи в заданих умовах експлуатації. Ці показники визначаються різними параметрами та коефіцієнтами.

Для оцінки експлуатаційних показників роботи екскаваторів автори [39] розробили методику із застосуванням методу математичного моделювання з реалізацією у середовищі DELPHI. Методика ґрунтується на результаті узагальнення досліджень В.В. Ржевського, Н.Г. Домбровського, Ю.І. Белякова, Р.Ю. Подерні та інших:

$$Q_{\text{мехн}} = \frac{3600E \cdot K_e \cdot K_{em} \cdot K_v \cdot K_n \cdot K_m \cdot K_c \cdot K_{кл} \cdot P(t)}{9.8 \cdot 10^4 \cdot K_e \cdot K_p \cdot K_f \cdot E + 0.322 \sqrt{\frac{I(1.37 + \eta_{нов}^2) \beta^2}{N_{нов} \cdot \eta_{нов}}}} \cdot \frac{t_p}{t_p + t_n}$$

де  $E$  - місткість ковша екскаватора,  $\text{м}^3$ ;  $K_e$  - коефіцієнт екскавації;  $K_{ет}$  - коефіцієнт реалізації технічної продуктивності у процесі експлуатації;  $K_B$  - коефіцієнт використання кар'єрних екскаваторів у часі;  $K_{п}$  - рівень досконалості підготовленості вибою;  $K_c$  - рівень технічного стану екскаватора;  $K_m$  - рівень професійної підготовленості та діяльності машиніста екскаватора;  $K_{кл}$  - коефіцієнт, що враховує кліматичні умови;  $P(t)$  - ймовірність безвідмовної роботи екскаватора;  $K_f$  - коефіцієнт питомого опору копанню,  $\text{МН/м}^2$ ;  $N_{п}$  - потужність двигуна механізму підйому,  $\text{кВт}$ ;  $\eta_{п}$  - ККД механізму підйому;  $I$  - момент інерції оберткових частин екскаватора;  $N_{нов}$  - потужність двигуна механізму повороту,  $\text{кВт}$ ;  $\eta_{нов}$  - ККД механізму повороту;  $\beta$  - кут повороту, градусів;  $t'_p$  - час розвантаження ковша в залежності від якості гірської маси, с;

$t_p$  - тривалість безперервної роботи екскаватора з одного місця встановлення, с;  
 $t_n$  - тривалість одного пересування екскаватора, с;  $t_o$  - включення та спрацювання механізму відкривання днища ковша екскаватора.

Як можна побачити формула велика та враховує безліч факторів, частину яких розглянуто у попередніх параграфах. Одним з таких факторів є кут повороту платформи. Автори розглянули та змодельовали як він позначається на експлуатаційній продуктивності екскаваторів (рис.18).

Аналіз залежностей, показаних на графіках дозволяє зробити висновок, що при збільшенні кута повороту платформи продуктивність екскаваторів плавно спадає, при цьому чим більше ємність ковша екскаватора, тим ця тенденція сильніша.

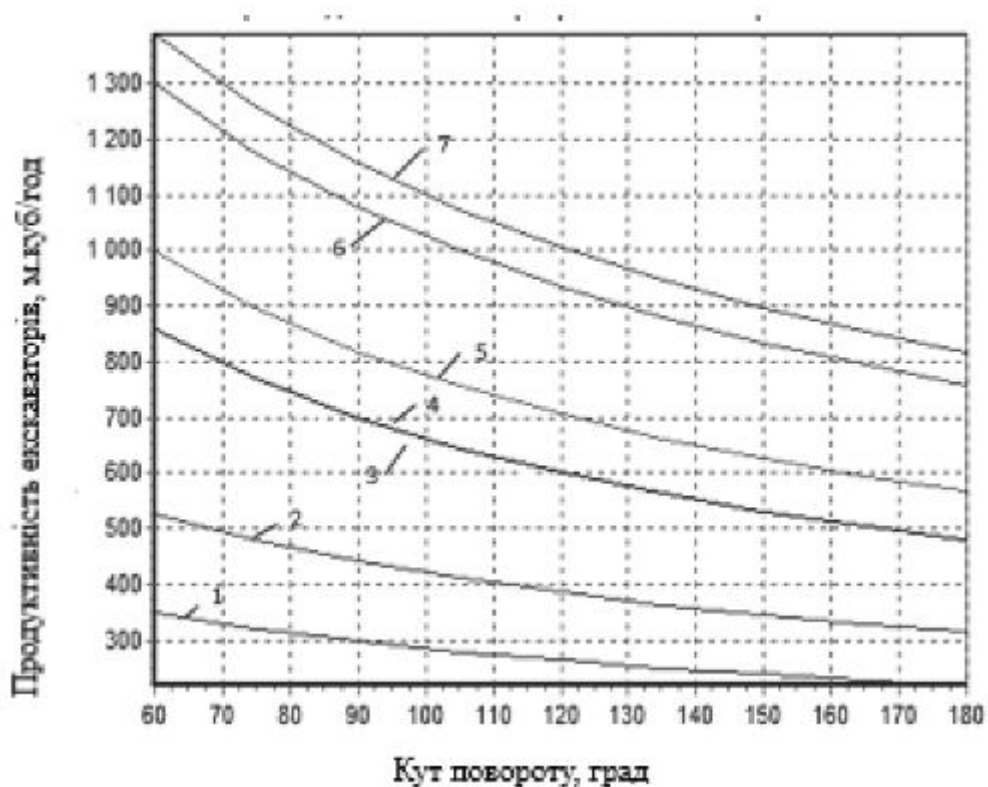


Рис. 18 - Залежність годинної технічної продуктивності екскаваторів від кута повороту платформи: 1 - при  $Q_{tex} = 5 \text{ м}^3$ ; 2 - при  $Q_{tex} = 8 \text{ м}^3$ ; 3 - при  $Q_{tex} = 10 \text{ м}^3$ ; 4 - при  $Q_{tex} = 12,5 \text{ м}^3$ ; 5 - при  $Q_{tex} = 15 \text{ м}^3$ ; 6 - при  $Q_{tex} = 18 \text{ м}^3$  і 7 - при  $Q_{tex} = 20 \text{ м}^3$

В технічній літературі побутує обґрунтована думка, що двостороннє навантаження гірських порід (рис.19, 20) у автосамоскиди сильно скорочує

цикл навантаження у порівнянні зі звичайним навантаженням. Найкоротший цикл може збігатися з циклом копання екскаватора. Зазвичай двостороннє навантаження застосовується у екскаваторів із зворотною лопатою.



*Рис. 19 – Подвійне навантаження*



*Рис. 20 – Звичайна схема навантаження самоскида екскаватором із зворотною лопатою*

Між шириною екскаваторної заходки та тривалістю операції повороту – складової часу циклу – існує залежність. Крім того, ширина екскаваторної заходки впливає на частоту і тривалість переміщення екскаватора блоком.

На рис.21 продемонстровано залежність продуктивності екскаватора від ширини заходки. За даними натурних спостережень встановлені кореляційні залежності технічної продуктивності екскаваторів від ширини заходки.



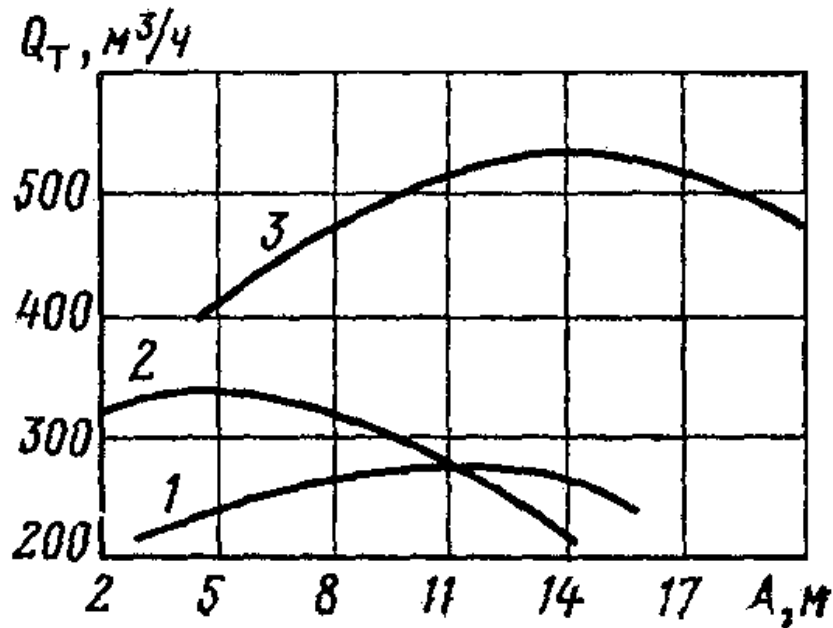


Рис. 21 - Залежність продуктивності екскаватора від ширини заходки: 1 – для екскаваторів ЕКГ-4 при залізничному транспортуванні гірничої маси; 2 – для екскаваторів ЕКГ-4 при застосуванні автомобільного транспорту; 3 – для екскаваторів ЕКГ-8 при залізничному транспортуванні гірничої маси.

Цей зв'язок пояснюється наступним чином.

Технічна продуктивність екскаватора з урахуванням впливу ширини заходки обчислюється з виразу

$$Q_m = \frac{3600 \cdot E \cdot \bar{k}_e}{t'_y}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad ($$

де  $\bar{k}_e$  – середній коефіцієнт екскавації для заданих умов;  $t'_y$  – розрахунковий час екскаваторного циклу, с.

Розрахунковий час екскаваторного циклу можна визначити:

$$t'_y = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} [t_{yi} - (t_{zi} + t_{ni})]}{n_1} + t_{zi} + t_{ni}, \text{ с}, \quad ($$

де  $t_{yi}$  – тривалість екскаваторного циклу за  $i$ -спостереженням, с;  $t_{zi}$  – тривалість повороту екскаватора від забою до транспортної судини за  $i$ -спостереженням, с;



$t_{ni}$  – тривалість повороту екскаватора від транспортної судини до забою, с;  $n_l$  – кількість спостережень.

При визначенні продуктивності екскаватора з урахуванням ширини заходки не враховується час на пересування екскаватора блоком. Товщина блоку, що відпрацьовується екскаватором без переміщення, або довжина одного переміщення  $l_n$  – величина, яка визначає кількість гірської породи, яку вантажить екскаватор між двома переміщеннями:

$$V' = A \cdot \bar{h}_3 \cdot l_n, \text{ м}^3 \quad ($$

де  $A$  – ширина заходки, м;  $\bar{h}_3$  – середня висота забою, м;  $l_n$  – довжина одного переміщення, м.

Отже, час на переміщення екскаватора за одну годину роботи можна визначити:

$$T_n = \frac{3600 \cdot E \cdot \bar{k}_e}{t'_y \cdot A \cdot \bar{h}_3 \cdot l_n} \cdot t_{nep}, \text{ год.}, \quad ($$

де  $t_{nep}$  – тривалість одного переміщення, год.

Отже, технічна продуктивність екскаватора:

$$Q_m = \frac{3600 \cdot E \cdot \bar{k}_e}{t'_y} \cdot \left( 1 - \frac{3600 \cdot E \cdot \bar{k}_e}{t'_y \cdot A \cdot \bar{h}_3 \cdot l_n} \cdot t_{nep} \right), \text{ м}^3/\text{год.}$$

Як видно з рисунку залежності описано параболічними кривими.

Для екскаваторів ЕКГ-4 при застосуванні залізничного транспорту (крива 1):

$$Q_m = 159,66 + 20,95 \cdot A - 0,97 \cdot A^2, \text{ м}^3/\text{год.}; \quad ($$

Для екскаваторів ЕКГ-4 при застосуванні автомобільного транспорту (крива 2):

$$Q_m = 301,69 + 13,59 \cdot A - 1,39 \cdot A^2, \text{ м}^3/\text{год.}; \quad ($$

Для екскаваторів ЕКГ-8 при застосуванні залізничного транспорту (крива 3):

$$Q_m = 201,97 + 49,56 \cdot A - 1,81 \cdot A^2, \text{ м}^3/\text{год.} \quad ($$

Відмінність у залежностях при застосуванні різних видів транспорту пояснюється тим, що зменшення ширини заходки призводить до зменшення циклу екскавації, але обмежено. Зменшення ширини заходки при застосуванні залізничного транспорту обмежується радіусом дії кузова екскаватора через збільшення кута повороту екскаватора.

При застосуванні автомобільного транспорту зменшення ширини заходки дозволяє зменшити кут повороту екскаватора через те, що автосамоскид можна встановити під завантаження біля нижньої бровки розвалу. До того ж при зменшенні ширини заходки при залізничному транспорті знижується крок переукладання залізничної колії. Тому при застосуванні залізничного транспорту зменшення ширини заходки матиме набагато менший вплив на підвищення ефективності роботи екскаваторних ділянок, ніж при застосуванні автомобільного транспорту.

В роботі [40] автор згадує про зв'язок між часом черпання, як складовою циклу роботи екскаватора, та середнім діаметром куска гірничої маси:

$$t_{\text{ч}} = 4 \cdot d_{\text{cep}}^{0,57} + 1,7 \cdot E^{0,24}, \text{ с}$$

Також автор емпіричним шляхом встановив залежність часу повороту екскаватора на розвантаження від кута повороту екскаватора та ємності його ковша:

$$t_{\text{н.роз.}} = 0,115 \cdot \beta^{0,84} \cdot E^{0,15}, \text{ с}$$

Експериментальні дані та розрахункові близькі, що свідчить про достовірність методу, запропонованого автором, проте дані залежності дають більш точні результати, які можна враховувати при визначенні техніко-економічних показників екскаваторних ділянок.

В роботі [42] також запропоновано обчислювати тривалість екскаваторного циклу за емпіричною формулою:

$$t_{\text{ч}} = \frac{67d_{\text{cep}}^2}{E} + \frac{E}{0,11E + 0,6} + \sqrt[3]{\frac{(35 \cdot E + 0,42 \cdot E^2)^{\frac{5}{3}} \cdot \beta^2}{E}} + t_p, \text{ с}$$

Аналіз формули дозволяє встановити складний зв'язок між тривалістю екскаваторного циклу та ємністю ковша екскаватора, середнім розміром куска гірської маси, а також кутом повороту екскаватора.

Перший дріб формули – це час черпання екскаватора, а вираз з коренем – сумарна тривалість поворотних операцій екскаватора, с.

В роботі [43] запропоновано визначати час циклу з урахуванням середньозваженого по об'єму діаметру кусків гірської маси:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{н}} + 17,94 = 9 \cdot e^{0,7 D_{\text{сер}}} + 17,94, \text{ с}$$

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Виймально-навантажувальні роботи займають до 25% всіх експлуатаційних витрат по гірничому підприємству. Основними напрямками підвищення техніко-економічних показників роботи екскаваторних дільниць є збільшення продуктивності екскаваторів.

Аналіз, проведений в магістерській роботі, свідчить, що відсутня єдина методика визначення продуктивності екскаваторів, що враховує фізико-механічні властивості порід, екскаваторної дільниці та робочого горизонту, оскільки вони постійно змінюються; технологічні параметри вибою; конструктивно-силові параметри екскаватора, ймовірність показників надійності його роботи; випадковий характер подачі транспорту; кваліфікацію машиніста екскаватора та кліматичні умови.

У конкретних умовах роботи кар'єру продуктивність екскаваторів та екскаваторних дільниць залежить від безлічі природних, гірничо-технологічних, організаційних факторів, що складно піддаються обліку та значною мірою взаємодіють з конструктивними параметрами кар'єрних екскаваторів, які по суті мають імовірнісний характер.

На основі аналізу науково-практичних джерел зроблено наступні **висновки:**

1. На продуктивність екскаваторів та техніко-економічні показники екскаваторних дільниць має вплив велика кількість факторів, які можна умовно поділити на дві великі групи: природно-техногенні та ергатичні.
2. До *ергатичних факторів* відносять ті, які протікають за участю людини. До них відносять управління екскаватором машиністом, характер та рівень ведення гірничих робіт, їх організацію при здійсненні технології видобування, а також характер ведення та рівень робіт при технічному обслуговуванні та ремонті гірничої машини.
3. До *факторів природно-техногенного впливу* відносять: гірничо-геологічні та кліматичні умови, якість підготовки забою та гірничої маси, обрану

стратегію вибору, технічного обслуговування та ремонту обладнання, а також фактор природного старіння техніки.

4. Одним з найвпливовіших факторів, які визначають техніко-економічні показники роботи екскаваторних дільниць, є *якість підготовки порід до виймання*, тобто ступінь подрібнення та кускуватість гірських порід. Це питання добре висвітлено в науковій літературі, оскільки кускуватість гірничої маси суттєво впливає на роботу екскаваторів: збільшення кускуватості призводить до зниження їх продуктивності на 8-20%, збільшує час циклу та час на аварійні ремонти екскаватора. Це призводить до порушення ритмічної роботи екскаваторних дільниць та в цілому всього технологічного ланцюга.
5. Однією з причин, що знижують показники роботи екскаваторних дільниць, є негативні *прояви кліматичних явищ* - налипання з подальшим намерзанням гірничої маси на ковші екскаваторів. Ці процеси можуть знизити їх продуктивність роботи екскаваторних дільниць до 30%.
6. В науково-практичній літературі є багато думок з приводу *стратегії вибору виймально-навантажувальної техніки* та її впливу на продуктивність екскаваторних дільниць. На вибір виймально-навантажувального обладнання накладається вплив багатьох факторів: технологічних, економічних і навіть політичних. Вважається, що у складних гірничо-геологічних умовах найбільш доцільним є використання гідравлічних екскаваторів, при цьому мехлопати прості та надійні.
7. На продуктивність роботи екскаваторних дільниць значний вплив має *значення об'ємного модуля* виймально-навантажувального обладнання та транспорту. Раціональне співвідношення параметрів екскаваторів і автосамоскидів на кар'єрах коливається від 3:1 до 6:1. Мінімально допустимим співвідношенням деякі дослідники вважають 2:1, інші - 4:1, а максимально допустимим 8:1.

8. В основі продуктивності екскаваторів лежить *тривалість робочого циклу*, який залежить від різних факторів. В зв'язку з цим обґрунтування раціональних параметрів елементів системи розробки є важливим з точки зору підвищення ефективності роботи екскаваторних дільниць.
9. Суттєвим фактором впливу на техніко-економічні показники роботи екскаваторних дільниць є *організація роботи* обладнання. Доцільним є комплексне удосконалення організації робіт на екскаваторній дільниці, підвищення надійності виймально-навантажувального обладнання за рахунок вибору раціональних режимів його роботи, підвищення якості організації його ремонту тощо.

На аналізі літературних джерел за темою дослідження сформульовані наступні **напрямки** подальшого розвитку питання:

1. Моделювання роботи екскаваторних дільниць за конкретних гірничо-геологічних умов роботи та створення комп'ютерних програм розрахунку продуктивності кар'єрних екскаваторів, планування та нормування експлуатації гірничотранспортного обладнання, вибору транспорту, забезпечення ним гірничих робіт та встановлення раціонального режиму його функціонування.
2. В зв'язку з великим числом впливових факторів існує необхідність створення методики комплексної оцінки впливу якомога більшої їх кількості. Для цього сьогодні є багато інструментів – математичне, імітаційне моделювання, генетичне програмування тощо.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Відкриті гірничі роботи: Ч. I. Процеси відкритих гірничих робіт: навч. посіб. для студ. спеціальності 184 «Гірництво»/ О.О.Фролов, Т.В.Косенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 151 с.
2. Fisonga M., Mutambo V.P. Optimization of the fleet per shovel productivity in surface mining: Case study of Chilanga Cement, Lusaka Zambia // Cogent Engineering. 2017. Vol. 4. No 1. Article 1386852. [DOI: 10.1080/23311916.2017.1386852](https://doi.org/10.1080/23311916.2017.1386852).
3. Brunton I., Thornton D., Hodson R., Sprott D. Impact of blast fragmentation on hydraulic excavator dig time // Paper presented at the 5th Large Open Pit Conference. 2003, pp. 39—48.
4. Dotto M. S., Pourrahimian Y. Effects of fragmentation size distribution on truck-shovel productivity. Mining Optimization Laboratory. 2018, pp. 335—342.
5. Beyglou A., Johansson D., Schunnesson H. Target fragmentation for efficient loading and crushing — the Aitik case // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2017, vol. 117, no. 11, pp. 1053—1062.
6. Dey S., Mandal S. K., Bhar C. Application of MR and ANN in the prediction of the shovel cycle time, thereby improving the performance of the shovel-dumper operation—A case study // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2022, vol. 122, no. 10, pp. 597—606.
7. Manyele S. Investigation of excavator performance factors in an open-pit mine using loading cycle time // Engineering. 2017, vol. 9, pp. 599—624.
8. Маринин М. А., Рахманов Р. А., Аленичев И. А., Афанасьев П. И., Сушкова В. И. Изучение влияния гранулометрического состава взорванной горной массы на производительность экскаватора WK-35 // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2023. — № 6. — С. 111—125
9. Фролов, О. О., Литвинчук, І. Д. , & Дзьоба, М. В. (2022). Встановлення закономірностей зміни продуктивності экскаватора від гранулометричного

- складу флювіогляціальних відкладів на розкритті кар'єру Соснівського родовища гранітів. Технічна інженерія, (1(89), 158–165. [https://doi.org/10.26642/ten-2022-1\(89\)-158-165](https://doi.org/10.26642/ten-2022-1(89)-158-165)
- 10.Євтєєва Л. І. Оптимізація процесу екскавації гірської маси в кар'єрах з урахуванням динамічного опору копанню: дис. канд. техн. наук : 05.15.03. Київ, 2017. 183 с.
  - 11.Фролов О.О. Оптимізація технологічних параметрів екскаваторноавтомобільних комплексів кар'єрів / О.О.Фролов, М.І.Соколовська, Л.В.Краморенко, В.А.Кононович // Вісник НТУУ «КПІ», 2017, Вип.34.- С. 28-33.
  - 12.Matsimbe J. Optimization of shovel-truck productivity in quarries. International Journal of Research in Advent Technology. 2020;8(10):1–9. <https://doi.org/10.32622/ijrat.810202008>
  - 13.Quang H.V., Hoang T.N. A vision-based excavator productivity analysis in Vietnam. Transport and Communications Science Journal. 2021;72(4):423–436.
  - 14.Demirel N., Taghizadeh A., Khouri S., Tyuleneva E. Optimization of the Excavatorand-Dump Truck Complex at Open Pit Mines — the Case Study // E3S Web Conf. 2018, vol. 41(5), 01006. [DOI: 10.1051/e3sconf/20184101006](https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184101006).
  - 15.Campelo Ana Carla de Melo Moreira. The impact of payload truck factor use in mine performance reports for an open pit copper mine in Brazil / Campelo Ana Carla de Melo Moreira, Marin Tatiane // REM – International Engineering Journal. 2018. Vol. 71. Iss. 3. P. 443-449. [DOI: 10.1590/0370-44672017710189](https://doi.org/10.1590/0370-44672017710189)
  - 16.Угольников В.К. Влияние гранулометрического состава горной массы на производительность экскаваторов / В.К. Угольников, С.Е. Гавришев, Н.В. Угольников // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – С. 73-81.
  - 17.Egorov V. V., Volokitin A. N., Ugolnikov N. V., Sokolovskiy A. V. Justification of parameters and technology of drilling and blasting operations to ensure the required lumpiness. Mining Industry. 2021, no. 3, pp. 110—115.



18. Совершенствование методов проектирования и планирования горных работ в карьере. Под ред. Акад. Н.В.Мельникова. – Л.: Наука, 1981. – 280 с.
19. Штейнцайг Р.М. Определение коэффициента экскавации карьерного гидравлического экскаватора. // Горный журнал. – 1981. – №12. – С. 37-38.
20. Друкованый М.Ф., Тартаковский Б.Н., Вишняков В.С., Ефремов Э.И. Влияние дробления пород на эффективность технологических процессов открытой разработки. – К.: Наукова думка, 1974 - 272 с.
21. Ткачук К.Н., Недашковский Ю.В., Ильин П.П., Донченко П.А. О получении требуемого гранулометрического состава взорванной горной массы. - Сб. Разработка рудных месторождений, вып. 15. К.: Техника, 1973. - С. 65-68.
22. Олейников А.С., Максименко Н.А., Сокол М.Т., Музыров А.А. Влияние основных показателей качества взрыва на производительность экскаватора. Сб. Совершенствование техники и технологии открытой разработки месторождений, вып. 4. Киев, «Наукова думка», 1974.
23. Хорешок А.А. Оценка степени взаимовлияния вместимости ковша экскаватора и кузова автосамосвала / А.А. Хорешок, Д.М.Дубинкин, С.О.Марков, М.А.Тюленев // Вестник КГТУ.– 2021. –№3 - С.104-112.
24. Иванов С.Л. Оценка наработки карьерных экскаваторов перспективного модельного ряда в реальных условиях эксплуатации / С.Л.Иванов, П.В.Иванова, С.Ю.Кувшинкин // Записки Горного института. 2020. Т. 242. С. 228-233. [DOI: 10.31897/PMI.2020.2.228](https://doi.org/10.31897/PMI.2020.2.228)
25. Зеньков С.А. Анализ возможного повышения производительности экскаваторов при устранении адгезии грунта к ковшу / С.А. Зеньков, Н.А. Балахонов, К.А. Игнатьев // Вестник МГСУ, 2014, №2. - С.98 -104.
26. Фальковский Ю.Г. Способы и средства борьбы со смерзаемостью горной массы, с примерзанием и прилипанием ее к ковшам экскаваторов и горнотранспортному оборудованию / Ю.Г.Фальковский, Д.Т. Ковалёв // Добыча угля открытым способом. – М. – 1979. – 28 с.
27. Соколовский А.В. Влияние организационно-технологических факторов на уровень использования возможностей экскаваторного парка /

- А.В.Соколовский, А.Л.Жуков, Л.Л.Царегородцев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – С. 317-324.
- 28.Анистратов К.Ю. Карьерные экскаваторы – гидравлика или канат? // Уголь. 2010. № 6. С. 31–35.
- 29.Слесарев Б.В.Исследование условий и параметров экскавации мощных карьерных гидравлических экскаваторов / Б.В. Слесарев, П.Булес // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2015. – С.42-51.
- 30.Рубцов С.К. Опыт применения гидравлических и канатных экскаваторов на карьере Мурунтау / С.К.Рубцов, А.Г.Шлыков, Е.Н. Кочегаров // Горный информационно-аналитический Бюллетень . - 2006. - С. 268-276.
- 31.[Зиновьев В.В.](#) Определение степени влияния внеплановых простоев на эксплуатационную производительность экскаваторно - автомобильного комплекса / В.В.Зиновьев, И.С.Кузнецов, П.И.Николаев, А.В.Кузнецова // Вестник КГТУ. – 2024. - №4. – С.117-124.
- 32.Журавлев А.Г. К вопросу обоснования производительности экскаваторно-автомобильных комплексов методом компьютерного моделирования / А.Г. Журавлев, А.В. Скороходов // Проблемы недропользования. – 2015. – №2.-С. 53-60.
- 33.Хорешок А.А. Определение оптимального соотношения сопряженных параметров карьерных экскаваторно-автомобильных комплексов / А.А. Хорешок, Ю.В. Стенин // Вестник КузГТУ. – 2007. – С. 3-4.
- 34.Васильев М.В. Транспорт глубоких карьеров / М.В. Васильев. – М.: Недра, 1981. – 295 с.
- 35.Томаков П. И. Структуры комплексной механизации карьеров с техникой циклического действия. – М.: Недра, 1976. – 232 с.
- 36.Ахметова М.И. Комплексная оценка и способы повышения показателей качества эксплуатации карьерных автосамосвалов: дис. докт.философии : 6D070700: Горное дело. Алматы, 2019. 133 с.

37. Кольга А.Д., Горячих В.Д. Современное развитие транспорта на горнопромышленных предприятиях // Современные проблемы транспортного комплекса. 2013. № 4 (4). С. 115-120
38. Веснин А. В. Пути повышения эффективности работы экскаваторно-автомобильных комплексов в сформировавшихся специфических условиях карьеров Криворожского региона // Вісник національного технічного університету «ХПІ». – Харків, 2014. – № 9(1052). – С. 113 – 119.
39. Мислибаев И.Т., Махмудов А.М., Махмудов Ш.А. Теоретическое обобщение режимов функционирования и моделирование эксплуатационных показателей работы экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 1. – С. 102–110. DOI: [10.25018/0236-1493-2021-1-0-102-110](https://doi.org/10.25018/0236-1493-2021-1-0-102-110).
40. [Курехин Е.В. Выемка маломощных пластов гидравлическими экскаваторами зарубежного производства / Геотехнология. – 2008. – С.3-5.](#)
41. Казангапов А.Е., Куттыбаев А.Е., Саменов Г.К., Петрунько А.Н. Зависимость производительности экскаватора от кусковатости взорванной породы на Житикаринском карьере // Вестник Казахского национального технического университета. – Алматы, 2006. – №2. – С.153-156.
42. Ташкинов А. С., Сысоев А. А., Ташкинов И. А. Сравнительная оценка производительности карьерных экскаваторов при разработке взорванных пород // Вестник КГТУ. — 2009. — №4. — С. 17—20.
43. Кононенко Е. А., Исайченков А. Б. Влияния кусковатости взорванных пород на производительность экскаватора Вискус 495HD // Маркшейдерия и недропользование. — 2014. — № 6. — С. 17—19.
44. Анісімов, О. О., Гриценко, Л. С., Давіденко, Н. Д., Черняєва, О. В., & Сидоренко, І. К. (2023). Фактори, що впливають на продуктивність экскаваторно-автомобільних комплексів. Технічна інженерія, (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)