

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Гірничо-металургійний факультет
Кафедра гірничої справи

*«Допущено до захисту»
Гарант ОПП*

Ольга БОГОМАЗ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

за підсумками виконання
освітньо професійної програми
«Відкрита розробка родовищ»
за спеціальністю 184 Гірництво

**на тему «Вивчення впливу зміни типорозмірного ряду виймально-
навантажувальної та транспортної техніки на режим гірничих
робіт»**

Керівник роботи

Сергій ЛУЦЕНКО

Консультант від
бази практики

Віктор ВИШНЕВСЬКИЙ

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають
посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Дмитро ЧОРНОМОРЕЦЬ

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Ігор ТОНЄВ

Запоріжжя 2026

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет гірничо-металургійний

Кафедра гірничої справи

Ступінь вищої освіти бакалавр

Спеціальність 184 Гірництво

ОПП Відкрита розробка родовищ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

_____ Ольга БОГОМАЗ

« ____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА
Чорноморець Д.В.

- Тема роботи Вивчення впливу зміни типорозмірного ряду виймально-навантажувальної та транспортної техніки на режим гірничих робіт

Керівник роботи: Луценко Сергій Олександрович, к.т.н., доцент

затверджені наказом Університету № 41 від 23.02.2026

- Термін подання роботи: 16.06.2026

- Вихідні дані до роботи: сучасний стан гірничих робіт в кар'єрі, парк основного гірничого устаткування, дані хронометражу продуктивності бурового обладнання

- Зміст пояснювальної записки (перелік питань): Анотація. Зміст. Вступ. РОЗДІЛ 1. Еволюція та сучасний стан виймально-навантажувальної техніки в умовах кар'єрів. РОЗДІЛ 2. Оцінка динаміки поточного коефіцієнта розкриття при зміні одиничної потужності виймально-транспортних машин. Загальні висновки. Бібліографія.

- Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): результати аналізу світової практики та особливостей експлуатації виймально-навантажувальної техніки в умовах кар'єрів; результати оцінки динаміки поточного коефіцієнта розкриття при зміні потужності машин; результати обґрунтування геометрії робочого борту та параметрів робочого майданчика для механічних і гідравлічних екскаваторів.

- Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
Розділ 1	Луценко С.О.
Розділ 2	Віктор Вишневський

- Дата видачі завдання 19.05.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір та аналіз вихідних даних, огляд літератури	25.05.2026	
2	Аналіз сучасного стану виїмково-навантажувальної техніки та технологій відпрацювання в умовах кар'єрів	01.06.2026	
3	Оцінка динаміки поточного коефіцієнта розкриву при зміні параметрів виїмково-транспортних машин	05.06.2026	
4	Обґрунтування геометричних параметрів робочих бортів та майданчиків при експлуатації виїмального обладнання	10.06.2026	
5	Розробка технологічних рекомендацій з оптимізації параметрів виїмання в поєднанні з автомобільним транспортом	14.06.2026	
6	Формулювання висновків, оформлення пояснювальної записки	16.06.2026	
7	Подання роботи на перевірку та підготовка до захисту	16.06.2026	
8	Підготовка презентаційних матеріалів	18.06.2026	

Керівник роботи

Сергій ЛУЦЕНКО

Здобувач

Дмитро ЧОРНОМОРЕЦЬ

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	5
ВСТУП.....	7
Розділ 1 Еволюція та сучасний стан виймально-навантажувальної техніки в умовах кар'єрів	10
1.1. Систематизація світової практики конструювання та експлуатації одноковшових екскаваторних машин.....	10
1.2. Вивчення особливостей роботи екскаваторів із гідравлічним приводом	13
1.3. Практика ведення гірничих робіт гідравлічними машинами зі зворотною лопатою в умовах складноструктурних масивів корисних копалин.....	20
1.4. Висновки до розділу 1.....	24
Розділ 2 Оцінка динаміки поточного коефіцієнта розкриття при зміні одиночної потужності виймально-транспортних машин	27
2.1. Загальні положення	27
2.2. Обґрунтування геометрії робочого борту при вийманні гірничої маси механічними лопатами	29
2.3. Характеристики та параметри екскаваторів.....	34
2.4. Обґрунтування ширини робочого майданчика за умови експлуатації екскаваторів типу "пряма лопата".....	36
2.5. Обґрунтування параметрів робочого майданчика при експлуатації гідравлічних екскаваторів у поєднанні з автомобільним транспортом ...	40
2.6. Висновки до розділу 2	47
Загальні висновки	48
Бібліографія.....	50

АНОТАЦІЯ

Вивчення впливу зміни типорозмірного ряду виймально-навантажувальної та транспортної техніки на режим гірничих робіт. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр зі спеціальності 184 Гірництво, ОПП «Відкрита розробка родовищ», 2026.

Актуальність теми. Зі збільшенням глибини гірничих робіт виникає об'єктивна необхідність підвищення кутів нахилу робочих бортів, що зазвичай реалізується шляхом звуження майданчиків або переходу на відпрацювання вищих уступів. Робота за таких умов вимагає залучення спеціальних екскаваторів із розширеними лінійними параметрами робочого обладнання. Однак через значні габарити та масу ця техніка втрачає необхідну мобільність і маневреність, що є критичним недоліком у тісному просторі нижніх горизонтів. До того ж базові моделі розкривних екскаваторів не володіють достатнім зусиллям копання для прямої екскавації, тому виникає потреба в обов'язковому попередньому розпушенні масиву буровибуховим способом. Водночас у стиснених умовах глибоких кар'єрів забезпечити належну якість дроблення порід вибухом стає вкрай складним технологічним завданням.

Вирішення специфічних проблем відпрацювання глибоких горизонтів безпосередньо пов'язане з переходом на експлуатацію потужних гідравлічних екскаваторів, чиї технологічні можливості суттєво перевершують параметри традиційних розкривних машин. Завдяки високим зусиллям копання та здатності до пошарової екскавації масиву, така техніка дозволяє ефективно відпрацьовувати високі уступи без розширення робочих майданчиків. Це дає змогу уникнути виділення додаткового простору для розміщення розвалу підірваної гірничої маси, що є обов'язковою умовою за класичної буровибухової підготовки. З огляду на зазначене, комплексне дослідження впливу нових типорозмірів виймально-навантажувального

та транспортного обладнання на режим гірничих робіт стає вкрай актуальним науково-практичним завданням.

Мета роботи полягає у встановленні закономірностей впливу параметрів різних типорозмірів сучасного виймально-навантажувального та транспортного обладнання на просторові характеристики робочої зони і режим гірничих робіт при відкритій розробці родовищ корисних копалин.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються такі **основні завдання**:

1. Проаналізувати сучасні тенденції оновлення парку гірничої техніки та оцінити технологічні переваги потужних гідравлічних екскаваторів (зокрема з робочим обладнанням «зворотна лопата») у порівнянні з традиційними канатними мехлопатами в умовах глибоких кар'єрів.

2. Виконати аналітичний розрахунок та обґрунтувати мінімальну ширину робочих майданчиків для різних технологічних схем експлуатації системи «екскаватор – транспорт».

3. Дослідити залежність обсягів виймання розкривних порід та динаміки експлуатаційного коефіцієнта розкриву від зміни просторових параметрів робочої зони при використанні різних типорозмірів обладнання.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: РЕЖИМ ГІРНИЧИХ РОБІТ, ГІДРАВЛІЧНИЙ ЕКСКАВАТОР, ПРЯМА МЕХАНІЧНА ЛОПАТА, ЗВОРОТНА ЛОПАТА, ШИРИНА РОБОЧОГО МАЙДАНЧИКА, КОЕФІЦІЄНТ РОЗКРИВУ.

ВСТУП

Під час впровадження новітніх технологічних схем на відкритих гірничих роботах, першочерговим завданням є забезпечення раціонального використання ресурсів. Основний наголос робиться на максимальному та якісному вилученні корисних копалин із масиву. Водночас необхідно підвищувати загальну продуктивність виробництва та вилучати з експлуатаційного циклу ті процеси, що спричиняють значну шкоду екології кар'єру та прилеглих територій.

Варто зазначити, що вирішення цих завдань у майбутньому відбуватиметься на тлі постійного погіршення гірничо-геологічних та експлуатаційних умов, що є характерним для абсолютної більшості діючих родовищ.

Традиційно базовою виймально-навантажувальною технікою на розрізах залишалися класичні екскаватори типу «механічна лопата». Проте аналіз поточних тенденцій оновлення парку машин свідчить про стрімке зростання частки потужних гідравлічних екскаваторів, які можуть бути обладнані прямою або зворотною лопатою. Гідравлічні кар'єрні екскаватори з робочим органом «зворотна лопата» дають змогу успішно відпрацьовувати забій як верхнім, так і нижнім черпанням. Вони вільно завантажують гірничу масу в транспортні засоби, що знаходяться безпосередньо на горизонті стоянки машини, а також на суміжних вищих або нижчих відмітках. Такі агрегати вигідно відрізняються своєю високою маневреністю та широкими експлуатаційними можливостями в умовах кар'єру.

У більшості випадків одноковшові машини класу «механічна лопата», які експлуатуються на відкритих гірничих розробках, характеризуються однотипною конструкцією та наявністю гусеничної бази. За своїм технологічним призначенням вони класифікуються на розкривні та видобувні, а за видом силової установки — на дизельні або електричні [1].

Ефективне ведення робіт на глибоких горизонтах кар'єру здебільшого потребує збільшення кута нахилу робочого борту. Цього досягають шляхом звуження робочих майданчиків або ж збільшенням висоти уступу, що відпрацьовується. Робота на завищених уступах вимагає залучення екскаваторів із подовженим робочим обладнанням. Проте через значну масу такі агрегати не здатні забезпечити необхідну маневреність та мобільність, які є вкрай важливими в обмеженому робочому просторі. До того ж, наявні розкривні мехлопати мають недостатній запас енергосилових зусиль. Це змушує підприємства масово застосовувати буровибухові роботи для розпушення масиву. Водночас у стиснених умовах глибоких горизонтів забезпечити належну якість дроблення породи вибухом стає дуже проблематично.

Вирішення проблеми поглиблення кар'єру полягає у впровадженні в технологічний процес сучасних гідравлічних екскаваторів, які мають значно кращі експлуатаційні характеристики порівняно з класичними розкривними машинами. Застосування гідравлічної техніки, використовуючи методи механічного розміцнення міцних порід, дає змогу здійснювати пошарове виймання високих уступів. Це дозволяє уникнути розширення робочих майданчиків під навал гірничої маси, що є обов'язковою умовою при традиційній буровибуховій підготовці масиву до екскавації.

Саме тому дослідження закономірностей зміни режиму гірничих робіт внаслідок оновлення парку кар'єрної техніки та переходу на машини іншого класу вантажопідйомності виступає надзвичайно актуальною науково-практичною проблемою.

Мета та завдання дослідження. Основна мета даної магістерської роботи зводиться до комплексного оцінювання того, як саме впровадження нового типорозмірного ряду виймально-навантажувального та транспортного устаткування впливає на загальні показники розвитку відкритих гірничих робіт.

Для реалізації поставленої мети було сформовано наступний перелік робочих завдань:

1. Виконати критичний огляд сучасної науково-методичної бази щодо принципів комплектування ефективних гірничотransпортних систем у кар'єрах.
2. Проаналізувати зміну експлуатаційних параметрів та режиму гірничих робіт при заміні традиційних машин на потужні гідравлічні екскаватори.
3. Окреслити ключові напрямки подальших наукових розробок для оптимізації взаємодії оновленого парку обладнання у вибої.

РОЗДІЛ 1

ЕВОЛЮЦІЯ ТА СУЧАСНИЙ СТАН

ВИЙМАЛЬНО-НАВАНТАЖУВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ В УМОВАХ КАР'ЄРІВ

1.1. Систематизація світової практики конструювання та експлуатації одноковшових екскаваторних машин

Зі збільшенням глибини ведення гірничих робіт на діючих підприємствах критичної ваги набувають питання раціонального використання ресурсів, забезпечення високих показників повноти вилучення та якості підготовки гірничої маси. Саме ці аспекти виступають визначальними орієнтирами при проектуванні та практичному впровадженні інноваційних технологічних схем відкритого видобутку.

За прогностичними оцінками, у вітчизняній гірничій галузі на найближчі роки збережеться стійка тенденція до домінування кар'єрних одноковшових екскаваторів як головної ланки при виконанні навантажувальних операцій у межах циклічних та циклічно-потоківих систем.

Історично склалося так, що впродовж багатьох десятиліть монопольне становище серед виймального обладнання на кар'єрах займали машини типу «механічна лопата» з канатним механізмом напору. Впроваджені в експлуатацію ще в 1970-х роках, ці агрегати стали фундаментом інтенсифікації відкритого способу розробки родовищ. Найбільш розповсюдженими представниками цього класу техніки є класичні моделі ЕКГ-8І, ЕКГ-10 та ЕКГ-12,5 [2].

Кінематика їхнього робочого обладнання ґрунтується на двох перевірених часом машинобудівних концепціях: комбінації однобалкової стріли з двобалковим руків'ям (оснащеним рейковим

напором), або ж використання двобалкової стріли з однобалковим руків'ям (канатний чи рейковий напірний механізм).

Успішні конструктивні інновації, реалізовані в моделях ЕКГ-10, ЕКГ-12,5 створили надійну науково-технічну базу для подальших розробок. Спираючись на цей досвід, дослідники Р.Ю. Подерні та М.Х. Мухамедович ініціювали проектування модернізованого екскаватора, відмінною рисою якого є наявність подовженої стріли та системи важільного механізму [3].

Специфіка конструкції кар'єрних виймальних машин має безпосередній вплив на їхні лінійні габарити. Ігнорування цих базових принципів під час проектування нових моделей механічних лопат неминуче призводить до критичного зниження їхніх експлуатаційних показників та суттєвого звуження технологічних можливостей. Яскравим прикладом помилкового відхилення від класичних, перевірених роками пропорцій між енергосиловими параметрами та лінійними розмірами обладнання слугує досвід розробки екскаватора моделі ЕКГ-20.

Практика ведення гірничих робіт показує, що експлуатація мехлопат часто супроводжується тривалими простоями через аварії. Досліджуючи надійність функціонування таких машин на вугільних розрізах, науковці встановили наступну закономірність: від 33% до 48% усіх зафіксованих поломок припадає безпосередньо на робоче обладнання, тоді як ще від 25% до 49% несправностей виникають у напірних механізмах. Така статистика зумовлена насамперед інтенсивними динамічними навантаженнями, які безперервно діють на ці вузли під час черпання гірничої маси.

Показники надійності екскаваторного парку стрімко погіршуються з настанням холодів. У зимовий період фіксується різке зростання кількості відмов техніки. Найчастіше ця сезонна аварійність проявляється у вигляді виходу з ладу зубчастих передач, а також

руйнування ключових елементів виймального органу (деформації чи тріщинах стріл, руків'їв, самих ковшів, їхніх днищ та коромисел).

Проектування та впровадження у виробництво гідравлічних екскаваторів є одним із найбільш обґрунтованих як з технічного, так і з економічного погляду векторів розвитку сучасного гірничого машинобудування. Вагому роль у становленні та удосконаленні цієї категорії виймально-навантажувальної техніки відіграли фундаментальні праці таких видатних науковців, як В.М. Штейнцайг, Р.М. Штейнцайг, К.Н. Трубецькой, В.М. Щадов, Л.С. Скобелев, К.Є. Віницький, Є.Л. Рєзніков, П.Р. Хаспеков, Н.В. Мельников та низки інших фахівців. Крім того, величезний масив практичного досвіду щодо конструювання та експлуатації гідравлічних машин зосереджений у світовій закордонній практиці.

Порівняно з класичними канатними мехлопатами, ці агрегати характеризуються цілою низкою суттєвих експлуатаційних переваг. Серед них виділяють: здатність до роздільного (селективного) відпрацювання покладів складної будови, можливість здійснювати контрольоване обвалення робочих уступів, а також виконання розвантажувальних операцій у транспортні кузови з найменшою можливою висоти. Саме остання особливість сприяє різкому зниженню рівня динамічних ударних навантажень на вузли транспортних засобів, що пропорційно збільшує їхній робочий ресурс.

Зіставлення ключових енергетичних характеристик різних типів виймальних машин дає змогу чітко окреслити оптимальні межі їх промислового використання. Так, показник питомої металоємності гідравлічної техніки виявляється у 2,5–3 рази нижчим за аналогічний параметр у традиційних мехлопат. Водночас питоме зусилля черпання, яке розвивають гідравлічні екскаватори під час роботи у найбільш складній (нижній) зоні забою, перевищує показники канатних лопат у 2–3 рази.

Експлуатаційний потенціал гідравлічної техніки значно ширший, оскільки її конструкція дозволяє вільно маневрувати робочим органом на будь-якому відрізку траєкторії черпання.

Під час обґрунтування робочих параметрів для новітніх гідравлічних кар'єрних машин обов'язково слід брати до уваги їхню специфічну кінематику. Саме вона формує беззаперечну перевагу над класичними канатними лопатами. Використання гідроприводу суттєво оптимізує весь виймальний цикл. Це досягається завдяки безперервній підтримці найбільш вигідного кута різання масиву та кратному збільшенню зусиль копання. У результаті відчутно зростає коефіцієнт заповнення ковша. Особливо яскраво це проявляється під час відпрацювання низьких забоїв, де традиційна мехлопата фізично не здатна ефективно зачерпнути гірничу масу.

Додаткові конструктивні плюси гідравлічних екскаваторів – це здатність пересувати ріжучу кромку ковша суто горизонтально на різних відмітках врізання у забій, плавно розвертати його відносно стріли перед розвантаженням, а також вести виймання нижче рівня стоянки самих гусениць. Усе це формує принципово новий, високоефективний підхід до екскавації порід. Висока рентабельність машин класу гідравлічні екскаватори переконливо доведена світовою практикою: передові іноземні заводи вже багато років поспіль серійно випускають важкі гідравлічні комплекси, оснащені ковшами місткістю від 4 до 15 і більше кубічних метрів.

1.2. Вивчення особливостей роботи екскаваторів із гідравлічним приводом

У сучасній практиці ведення відкритих гірничих робіт спостерігається стійкий перехід від використання традиційних мехлопат до впровадження потужних гідравлічних екскаваторних комплексів. Детальний аналіз світового та вітчизняного

експлуатаційного досвіду свідчить, що застосування машин із гідравлічним приводом робочого органу дозволяє суттєво інтенсифікувати як видобувні, так і розкривні процеси на кар'єрах. Головною причиною такої модернізації парку техніки є висока адаптивність гідравлічних машин до складних гірничо-геологічних умов, включаючи здатність ефективно відпрацьовувати міцні скельні масиви та здійснювати високоточне селективне виймання корисної копалини.

Залучення до технологічних схем важких кар'єрних гідравлічних екскаваторів (наприклад, сучасних моделей лінійки Hitachi EX-2500 або Cat 6030 FS) відкриває широкі можливості для оптимізації просторових параметрів робочої зони. Завдяки унікальній кінематиці гідроприводу та варіативності робочого обладнання (пряма чи зворотна лопата), ці агрегати здатні ефективно відпрацьовувати забої з мінімальними часовими втратами на допоміжні маневри.

Дослідження сучасних підходів до комплектування парку техніки на відкритих розробках виявляє стійке зростання кількості потужних гідравлічних машин. Ці екскаватори, що оснащуються як прямою, так і зворотною лопатою, поступово витісняють класичні механічні лопати із загальної структури виймально-навантажувального обладнання. З метою оцінки динаміки постачання кар'єрних гідравлічних екскаваторів на вітчизняний ринок, було здійснено детальний моніторинг спеціалізованих галузевих видань та відкритої технічної літератури.

Біля витоків вивчення специфіки роботи та визначення раціональних умов експлуатації кар'єрних гідравлічних екскаваторів стояв Н.М. Мельников. У його дослідженнях було систематизовано базові технологічні схеми застосування таких комплексів, описано принципи їхньої дії, а також ґрунтовно проаналізовано ключові експлуатаційні переваги та недоліки цієї техніки [4].

У своїх наукових працях Р.Ю. Подерні здійснив глибокий аналіз напрямків розвитку гірничої техніки, призначеної для підземного та відкритого видобутку. Також у його дослідженнях чітко класифіковано провідні компанії, які є виробниками та постачальниками гірничого устаткування [5].

Своєю чергою, К.Ю. Аністратов [6] присвятив свої роботи виявленню тенденцій розвитку виймально-навантажувальної техніки, детально розглядаючи сфери її доцільного застосування та аналізуючи обсяги надходження машин на ринок.

Питома вага використання гідравлічної виймальної техніки на відкритих гірничих роботах демонструє стабільну тенденцію до збільшення. Якщо на початку 2000 р. більшість вітчизняних гірничих підприємств виявляли певну недовіру до впровадження машин із гідроприводом, то позитивні результати експлуатації на закордонних кар'єрах чітко сформували орієнтир на залучення імпортних екскаваторів цього класу. Згідно з даними, наведеними у джерелі [6], протягом останніх років гідравлічні машини в структурі загальних закупівель майже повністю замінили собою традиційні канатні мехлопати, що мають місткість ковша до 5 м³.

На сьогоднішній день обсяг постачання гідравлічних екскаваторів для потреб кар'єрів досяг рівня 84%. Більше того, виймальна техніка з гідроприводом зайняла домінуючі позиції навіть у сегменті машин з об'ємом ковша до 12 м³.

Сучасна практика відпрацювання родовищ відкритим способом масово спирається на використання виймально-транспортних комплексів, де основною навантажувальною ланкою виступають гідравлічні екскаватори зі зворотною лопатою (ЕГО), місткість ковша яких варіюється в межах 4–15 м³. Завдяки специфічній кінематиці та оптимізованій траєкторії руху ковша у забої, такі машини дають змогу суттєво мінімізувати втрати корисної копалини під час виймання.

Сьогодні гідравлічна техніка типу ЕГО успішно функціонує на залізородних, вугледобувних кар'єрах, а також на підприємствах з видобутку нерудних будівельних матеріалів. Подібні тенденції щодо оновлення парку гірничих машин характерні також для гірничо-збагачувальних комбінатів Узбекистану, Казахстану та низки інших держав.

Масовий промисловий випуск виймальних машин із гідравлічним приводом на світовому ринку розпочався ще наприкінці 1950-х років. На сьогодні найбільшого практичного впровадження в умовах вугільних розрізів та рудних кар'єрів набули високопродуктивні важкі гідравлічні екскаватори з робочим об'ємом ковша від 5 до 42 м³. Провідні позиції у сегменті конструювання та постачання такої потужної гірничої техніки стабільно утримують чотири глобальні машинобудівні корпорації: німецька компанія Liebherr, американська Caterpillar Inc., а також японські гіганти Komatsu Ltd. та Hitachi Group (рис. 1.1).

За результатами проведеного аналітичного огляду було сформовано таблицю 1.1. У ній систематизовано перелік базових моделей гідравлічної виймальної техніки з робочим обладнанням «зворотна лопата», які наразі знаходяться у промисловій експлуатації на відкритих гірничодобувних підприємствах України [7].

Вагомим чинником масового впровадження імпортової гідравлічної техніки на відкритих розробках виступає розгалужена інфраструктура офіційних дилерів та високоякісний сервісний супровід. Саме ці аспекти гарантують стабільну та безперебійну експлуатацію таких машин протягом усього терміну служби.



Рис. 1.1. Провідні світові компанії-виробники гідравлічних кар'єрних екскаваторів із робочим обладнанням «зворотна лопата»:
а – Liebherr; б – Komatsu; в – Caterpillar; г – Hitachi

Таблиця 1.1

Базовий модельний ряд гідравлічної виймальної техніки (тип робочого обладнання – зворотна лопата), що застосовується на гірничих підприємствах України

Місткість ковша,	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-42
Liebherr	R 9150 (8,3 м ³)	R 9250 (15 м ³)	R 9350 (18 м ³)	R 9400 (22 м ³)	R 9950 (26,5 м ³)	R 996-B (36 м ³), R 9800 (42 м ³)
Komatsu	PC-1250 (5-6,5 м ³)	PC-2000 (11-12 м ³)	PC-3000 (15 м ³)	PC 4000 (22 м ³)	PC 5500 (28 м ³)	PC 8000 (38-42 м ³)
Caterpillar	6015 (8,1 м ³)	6020 (12 м ³)	6030 (17 м ³)	6040 (22 м ³)	6050 (28 м ³)	6060 (34 м ³)
Hitachi	EX-1200 (5-6,5 м ³)	EX 1900 (12 м ³)	EX-2600 (15 м ³)	EX-3600 (22 м ³)	EX-5600 (29 м ³)	EX-800 (40 м ³)

Згідно з результатами вивчення експлуатаційних характеристик та світового досвіду, ефективним шляхом оновлення зношеного парку класичних мехлопат є перехід на використання гідравлічних машин зворотного черпання у тандемі з кар'єрним автотранспортом. Такий підхід дозволяє не лише позбутися застарілого обладнання, але й суттєво інтенсифікувати видобувні процеси, пропорційно збільшивши загальну продуктивність підприємства [8].

Специфіка конструкції, унікальна кінематика навісного обладнання та оптимізована механіка взаємодії ковша з гірничим масивом наділяють екскаватори типу ЕГО беззаперечними технологічними перевагами. Завдяки цим властивостям значно розширюються межі їхнього раціонального використання. Зокрема, ця техніка здатна успішно функціонувати у важких кліматичних та гірничо-геологічних обставинах, відпрацьовувати техногенні відвали, а також вільно маневрувати у стисненому просторі забою. Окремою вагомою перевагою є здатність до високоточного селективного (роздільного) виймання корисної копалини, що забезпечує максимальну повноту вилучення мінеральної сировини з надр [9-11].

Гідравлічні екскаватори, обладнані зворотною лопатою, демонструють високу результативність під час експлуатації у складних обводнених вибоях. Також ця техніка є вкрай затребуваною при підготовці до відпрацювання нових горизонтів та під час проведення розрізних траншей [12].

Завдяки наявності трьох ступенів вільності стрілового обладнання, машини зворотного черпання здатні ефективно відпрацьовувати м'які масиви (з коефіцієнтом міцності до 10 згідно з класифікацією професора М.М. Протод'яконова), а також якісно розпушені вибуховим способом породи. При цьому процес виймання гірничої маси може безперешкодно виконуватися як вище, так і нижче відмітки стоянки самого екскаватора [13].

Ключовою технологічною особливістю гідравлічної техніки з таким типом навісного обладнання виступає здатність до повноцінного ведення робіт нижнім забоєм. Для більшості сучасних моделей цього класу машин середні показники глибини черпання варіюються в діапазоні від 4 до 18 метрів [14] (рис. 1.2).

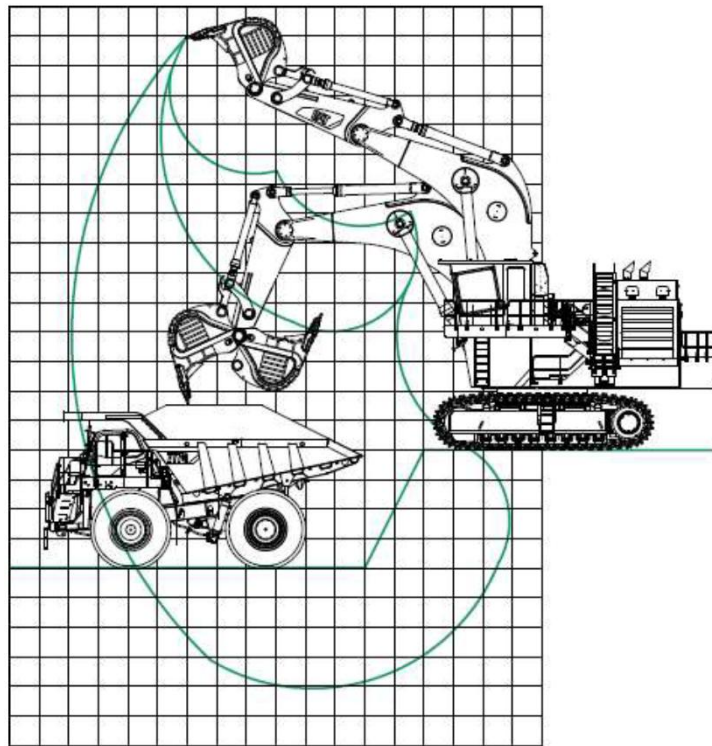


Рис. 1.2. Технологічна схема процесу черпання гідравлічним екскаватором зі зворотною лопатою

Під час відпрацювання гірничої маси нижче відмітки розташування гусеничного ходу, машини зі зворотною лопатою здатні самостійно формувати з'їзні траншеї з необхідним кутом нахилу. Це дає змогу безпечно переміщуватися на нижчорозташовані горизонти без залучення додаткової бульдозерної чи іншої допоміжної техніки [15].

Сучасні заводи-виробники комплектують кар'єрну гідравлічну техніку двома основними типами силових установок: двигунами внутрішнього згоряння (дизельними) або ж електричним приводом.

Гідравлічні екскаватори, що живляться від електромережі, характеризуються низкою суттєвих технологічних переваг. Серед головних плюсів виділяють високу точність керування робочими операціями, підвищений рівень безвідмовності, чудову ремонтпридатність та відчутне скорочення поточних витрат. Завдяки таким показникам, моделі з електроприводом виступають найбільш рентабельною альтернативою дизельним аналогам [8].

Конструктивне виконання електричних модифікацій базується на використанні уніфікованих, перевірених часом вузлів. Базові гідравлічні контури, елементи ходового візка та робоче навісне обладнання є абсолютно ідентичними тим, що встановлюються на дизельні версії екскаваторів. При цьому тягові зусилля та загальна продуктивність електродвигунів в умовах відкритого видобутку жодним чином не поступаються показникам дизелів. Визначальним фактором економії є те, що електричні машини не потребують регулярної закупівлі дорогих експлуатаційних матеріалів, таких як моторні оливи, комплекти фільтрів, охолоджуючі рідини та приводні паси. У підсумку, специфіка будови екскаватора з електричним живленням дозволяє радикально мінімізувати фінансові витрати на його сервісне та технічне обслуговування [16].

Аналіз глобальної практики експлуатації гідравлічної виймальної техніки демонструє переважання моделей, оснащених дизельними силовими установками. Вибір на користь двигунів внутрішнього згоряння зумовлений значним підвищенням маневреності, більшою швидкістю переміщення машини в межах робочої зони, а також повною незалежністю від стаціонарних кар'єрних ліній електропередач [17].

Водночас слід усвідомлювати, що платою за таку високу автономність є суттєве зростання поточних фінансових витрат на

утримання техніки, якщо проводити паралелі з її електричними модифікаціями.

Ще однією вагомою перевагою машин із гідроприводом є їхні компактніші габаритні параметри порівняно з традиційними канатними механічними лопатами. Важливо наголосити, що зменшення фізичних розмірів обладнання жодним чином не призводить до втрат у загальній продуктивності виймально-навантажувальних робіт.

1.3. Практика ведення гірничих робіт гідравлічними машинами зі зворотною лопатою в умовах складноструктурних масивів корисних копалин

Класифікація складноструктурних забоїв на основі кількості шарів, що вимагають селективного виймання, а також визначення їхніх просторових параметрів (форми та габаритів), вказують на важливу технологічну закономірність. Для мінімізації експлуатаційних втрат корисної копалини та оптимізації роботи екскаваторного парку, найбільш доцільним є розташування виймальної техніки на верхній площадці робочого уступу. Відповідно, така машина повинна володіти конструктивною здатністю здійснювати черпання гірничої маси нижче відмітки власної стоянки [18].

Історично склалося так, що світовий та вітчизняний гірничодобувний комплекс накопичив величезний практичний досвід експлуатації класичних механічних екскаваторів із прямою лопатою. Проте, на тлі домінування цього традиційного обладнання, протягом останніх років у кар'єрному просторі почали активно впроваджуватися інноваційні класи навантажувальної техніки: важкі фронтальні навантажувачі та високопродуктивні гідравлічні машини, оснащені прямою лопатою.

Залучення такої техніки демонструє найвищі показники рентабельності за умови відпрацювання масивів із простою

геологічною будовою. Саме у таких вибоях ці агрегати здатні реалізувати свій максимальний конструктивний потенціал щодо допустимої висоти уступу та граничної ширини екскаваторної заходки.

Водночас, за певних гірничотехнічних обставин, гідну конкуренцію вищезгаданому обладнанню за критерієм загальної ефективності здатна скласти техніка, що виконує виймання нижнім забоєм. Серед таких машин пріоритетну увагу гірничих інженерів привертають саме екскаватори з гідравлічним приводом та зворотною лопатою.

Під час комплексного аналізу та порівняння ефективності функціонування різного виймально-навантажувального устаткування доцільно спиратися на два ключові критерії: обсяги фактичних експлуатаційних втрат мінеральної сировини у процесі видобутку, а також коефіцієнт корисного використання машини під час виконання її основних технологічних операцій (безпосередньо черпання масиву та завантаження породи у транспортні засоби).

Навіть базовий порівняльний аналіз виймальної техніки за критерієм просторової варіативності формування виробок та кутів укусу забою доводить беззаперечну технологічну перевагу гідравлічних машин із робочим обладнанням зворотного черпання. Більше того, геометричні обриси виїмок, які здатна створювати така техніка, максимально точно повторюють морфологію структурно складних гірничих масивів.

Знаходячись на рівні верхньої площадки робочого уступу, екскаватор зі зворотною лопатою має змогу здійснювати виймання як клиноподібним перерізом, так і формувати траншеї з суворо вертикальними бортами (прямокутного профілю). Така специфіка роботи дозволяє суттєво мінімізувати експлуатаційні втрати мінеральної сировини під час відпрацювання крутоспадних покладів (із

кутом падіння в межах 75–90 градусів), оскільки повністю виключається необхідність залишення призм недобору.

Крім того, застосовуючи схему відступаючого вибою, цей тип навантажувального обладнання здатен пошарово відпрацьовувати масив у низхідному напрямку. Завдяки цьому з'являється можливість гнучко регулювати параметри укусу забою — від пологих значень до прямовисних, а за потреби навіть надавати йому ступінчастої форми. В умовах роздільного (селективного) видобутку така властивість відіграє вирішальну роль, адже вона дозволяє радикально знизити обсяги осипання корисної копалини вздовж укусу та запобігти її розубожуванню (засміченню) пустими породами.

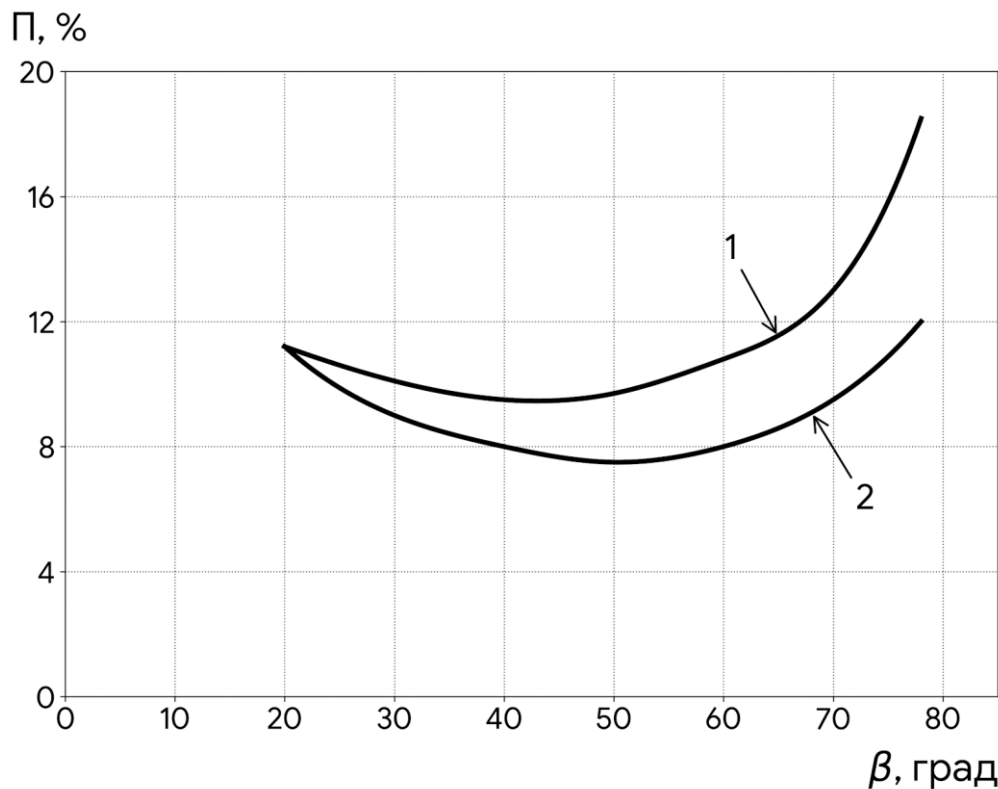


Рис. 1.3. Графічне відображення залежності нормативного рівня втрат мінеральної сировини (P) від кута падіння пласта (β) під час відпрацювання похилих та крутоспадних покладів виймальними машинами верхнього (1) і нижнього (2) черпання

Графічне відображення (рис. 1.3) ілюструє динаміку нормативних втрат вугільної маси під час експлуатації екскаваційної техніки, що працює верхнім і нижнім забоєм, з огляду на мінливість кута падіння покладу β . Наведені розрахункові дані базуються на параметрах вугільного пласта, потужність якого становить 5 м. Як свідчать результати аналізу, залучення гідравлічних екскаваторів зі зворотною лопатою для відпрацювання таких геологічних структур забезпечує суттєве скорочення обсягів втрат мінеральної сировини — з показників 10–19% до рівня 8–12%.

Отже, значна варіативність технологічних можливостей гідравлічних машин зворотного черпання, зокрема їхня здатність формувати різноманітні конфігурації виїмок та гнучко змінювати параметри укосів, дає змогу здійснювати видобуток без утворення залишкових призм недобору в підшві пласта. Завдяки цьому досягається радикальна мінімізація поточних експлуатаційних втрат. Сукупність наведених факторів беззаперечно доводить високу доцільність та перспективність впровадження екскаваторів зі зворотною лопатою на відкритих гірничих роботах, передусім під час освоєння родовищ зі складною структурною будовою масиву.

Під час відпрацювання похилих та крутоспадних покладів екскаваторами з прямою лопатою (за умови горизонтального просування фронту гірничих робіт) спостерігається специфічне технологічне явище: ріжуча кромка ковша втрачає контакт із площиною розділу порід значно раніше, ніж машина реалізує свою граничну висоту черпання. Експлуатація техніки на максимальних висотних параметрах у таких вибоях неминуче призводить до формування експлуатаційних втрат — на підшві пласта утворюються так звані призми недобору (залишкові цілики), залишення яких є економічно недоцільним. З огляду на це, раціональна висота робочого уступу для

машин прямого черпання жорстко лімітується вимогою стовідсоткового зачищення породного контакту.

Натомість екскаватори, обладнані зворотною лопатою, які здійснюють виймання гірничої маси нижнім забоєм та функціонують у тяговому режимі (кінематика руху ковша спрямована до самої машини), позбавлені цього недоліку. Для такого обладнання висота уступу розраховується виходячи з можливості максимально повного використання лінійних робочих параметрів самого екскаватора [19].

Формування нераціональних геометричних параметрів робочого забою під час екскавації структурно складних блоків неодмінно спричиняє зростання тривалості навантажувальних операцій. У глобальному підсумку це призводить до суттєвого зниження коефіцієнта корисного використання гірничої техніки за її прямим функціональним призначенням.

1.4. Висновки до розділу 1

Дослідження сучасних векторів оновлення парку виймальних машин на відкритих розробках фіксує стабільне зростання питомої ваги важкої гідравлічної техніки, оснащеної робочим обладнанням прямого та зворотного черпання. Цей клас обладнання впевнено витісняє традиційні однокеровані екскаватори з механічною лопатою із загальної структури виймально-навантажувального устаткування кар'єрів.

Варто відзначити, що за умови ідентичної місткості ковша та забезпечення однакових лінійних параметрів робочого забою, класичні канатні екскаватори з прямою мехлопатою майже вдвічі перевищують свої гідравлічні аналоги як за експлуатаційною масою, так і за просторовими габаритами.

Визначальною технологічною перевагою гідравлічних машин зі зворотною лопатою виступає їхня здатність ефективно

відпрацьовувати гірничу масу як верхнім, так і нижнім вибоєм. При цьому загальна продуктивність такої техніки на 29% перевершує аналогічні показники канатних машин із прямою лопатою, а питома собівартість екскавації мінеральної сировини виявляється меншою на 15%.

Просторове планування гірничих робіт із залученням гідравлічних екскаваторів зворотного черпання спирається на три фундаментальні технологічні схеми. Перший підхід передбачає базування виймальної техніки на покрівлі робочого уступу з реалізацією виключно нижнього черпання. Відповідно до другої схеми, екскаватор встановлюється на нижній площадці та здійснює відпрацювання масиву вище рівня власної стоянки (верхнє черпання). Третя, комбінована система розробки, полягає у просторовому розташуванні машини на проміжному підступі, що дає змогу раціонально поєднувати елементи як верхнього, так і нижнього виймання гірських порід.

Зіставляючи експлуатаційні характеристики сучасної гідравлічної техніки (на кшталт високопродуктивних комплексів Hitachi EX-2500 чи Cat 6030 FS) із традиційними канатними екскаваторами прямого черпання (зокрема застарілими моделями серії ЕКГ), що функціонують на базі рейкового або тросового напірного механізму, доцільно виділити низку беззаперечних технологічних переваг машин із гідроприводом:

- широка номенклатура змінного навісного інструменту (різнопрофільні ковші, іклові розпушувачі, гідравлічні молоти), яким може оснащуватися базова платформа екскаватора (найчастіше подібна багатофункціональність реалізується на моделях із робочим об'ємом ковша до 5 м³);

- значно більша варіативність просторової кінематики та розширена траєкторія руху виконавчого органу в межах робочої зони забою;
- гарантовано високий коефіцієнт наповнення ковша гірничою масою, що набуває критичного значення під час екскавації малопотужних (невисоких) робочих уступів;
- створення оптимальних передумов для ведення високоточного роздільного (селективного) видобутку, що безпосередньо впливає на максимальну повноту вилучення корисної копалини з надр;
- відчутне скорочення загального хронометражу робочого циклу машини.

Зазначені машини успішно залучаються до роботи у важких гірничо-геологічних обставинах, а також під час відпрацювання техногенних масивів.

Водночас, зіставляючи експлуатаційні параметри техніки з гідроприводом із традиційними канатними екскаваторами прямого черпання, варто вказати й на певні об'єктивні недоліки перших:

- нормативний період експлуатації гідравлічної виймальної техніки орієнтовно в 2 рази коротший, ніж життєвий цикл класичних канатних мехлопат;
- нарощування масо-габаритних показників гідравлічних машин закономірно призводить до втрати їхньої маневреності в межах робочої зони забою;
- фінансові витрати на проведення поточних ремонтів та сервісного супроводу гідросистем значно перевищують аналогічні статті витрат для канатних екскаваторів.

Експлуатація гідравлічної техніки, оснащеної дизельними силовими установками, є найбільш раціональною на етапах гірничо-

капітальних робіт під час закладення нових кар'єрів, а також на об'єктах, що не мають підключення до стаціонарних промислових електромереж.

Як машини зворотного черпання з гідроприводом, так і традиційні канатні прямі лопати характеризуються власним спектром технологічних переваг та обмежень. Проте саме науково обґрунтований підхід до формування виймально-навантажувального парку гарантує досягнення максимальних показників продуктивності. Абсолютного витіснення застарілих машин серії ЕКГ з ринку поки не передбачається, однак перехід на такі сучасні технологічні рішення, як використання гідравлічних комплексів Hitachi EX-2500 або Cat 6030 FS, беззаперечно доводить, що цей клас техніки міцно та надовго закріпив за собою провідну нішу у видобувній галузі.

РОЗДІЛ 2

ОЦІНКА ДИНАМІКИ ПОТОЧНОГО КОЕФІЦІЄНТА РОЗКРИВУ ПРИ ЗМІНІ ОДИНИЧНОЇ ПОТУЖНОСТІ ВИЙМАЛЬНО-ТРАНСПОРТНИХ МАШИН

2.1. Загальні положення

Однією з базових умов технологічної стабільності кар'єру є підтримання нормативної геометрії робочої зони, зокрема забезпечення регламентованої ширини робочих майданчиків [20].

Проектні параметри майданчиків є розрахунковими величинами, що базуються на середніх показниках швидкості посування фронту робіт та встановленому нормативі забезпеченості підприємства готовими до виїмки запасами. У виробничих умовах фактична ширина майданчика вздовж лінії фронту не є константою: через циклічність технологічних операцій виїмки та транспортування, реальні лінійні розміри мають значні відхилення від середньопроектних значень.

У теорії та практиці проектування розрізняють два граничні стани ширини робочого майданчика.

Мінімальна ширина робочого майданчика виступає граничним параметром, що лімітує звуження робочої зони уступу. Даний показник є жорстко розрахунковим, встановлюється індивідуально для кожної ділянки робочої зони згідно з проектними рішеннями та регламентується галузевими нормативними документами з безпеки.

Максимальна ширина теоретично дозволяє реалізувати пошарову схему відпрацювання в межах контурів кар'єрного поля. Проте функціонування поглиблювальних систем розробки за умови максимальних параметрів майданчиків є технічно неможливим. Це обумовлено критичним уповільненням темпів поглиблення гірничих робіт та складністю своєчасної підготовки нижчележачих горизонтів до

виїмки (розкриття та нарізка нових з'їздів).

У межах проведеного дослідження виконано критичний аналіз існуючого методичного апарату визначення параметрів робочої зони. Слід констатувати наявність значного масиву розрахункових методик, що базуються на різних підходах до типізації виймально-навантажувального обладнання та схем транспортування гірничої маси.

Класифікація аналітичних підходів до встановлення ширини робочого майданчика дозволила виділити дві ключові технологічні схеми (рис. 2.1):

- розрахунок для скельного масиву, підготовка якого до виймання потребує проведення буровибухових робіт. у цій схемі визначальним чинником є параметри розвалу підірваної породи (x), оскільки саме контури підірваної маси після вибуху формують межі робочого простору для екскавації.

- розрахунок для м'яких та сипких розкривних порід, що відпрацьовуються безпосередньо з масиву (без попереднього розпушування). У даному випадку розрахункова база спирається на величину екскаваторної заходки (A_3), яка лімітується виключно кінематичними можливостями виймальної техніки та паспортними характеристиками вибою.

Подальша деталізація зазначених розрахункових підходів передбачає їх класифікацію за базовим лімітуючим фактором. Відповідно, виокремлюють три вузькопрофільні схеми обґрунтування:

- просторово-геометрична модель. Базується на гірничо-геологічних обмеженнях, де ключовим розрахунковим аргументом (детермінантою) виступає гранично допустимий кут нахилу робочого борту кар'єру;

- кінематична (екскаваторна) модель. Формування параметрів майданчика підпорядковується габаритно-робочим

характеристикам виймальної техніки. Ширина лімітується безпосередньо робочими радіусами дії застосованого одноківшевого екскаватора;



Рис. 2.1. Структурна схема підходів до обґрунтування параметрів робочої зони

– транспортно-комунікаційна модель. Визначальним чинником слугують техніко-експлуатаційні параметри кар'єрного автотранспорту. Розрахунок базується на забезпеченні нормативної ширини проїзної частини, врахуванні габаритів маневрування та радіусів розвороту великовантажних самоскидів.

2.2. Обґрунтування геометрії робочого борту при вийманні гірничої маси механічними лопатами

Кут нахилу робочого борту кар'єру виступає фундаментальним параметром, що детермінує загальну економічну ефективність ведення відкритих гірничих робіт. Закономірним наслідком стабільного поглиблення кар'єрного простору є тенденція до інтенсивного зростання поточного коефіцієнта розкриття.

Аналітичне обґрунтування взаємозв'язку між обсягами

поточного розкриву, геометрією робочої зони та елементами залягання рудного тіла (зокрема кутом падіння пласта) детально розкрито в праці [21]. Згідно з результатами наведених досліджень доведено, що динаміка поточного коефіцієнта розкриву перебуває у прямій пропорційній залежності від інтегрального критерію впливу робочого борту, який формалізується у вигляді такого математичного відношення:

$$K_{el} = \frac{\sin(\alpha_p + \beta)}{\sin(\alpha_p)} \quad (2.1)$$

Графічна інтерпретація залежності критерію впливу робочого борту від його кута нахилу та елементів залягання покладу наведена на рис. 2.2. Аналіз отриманих кривих свідчить, що інтенсифікація (збільшення крутизни) кута нахилу робочого борту з 15° до 30° (за умови кута падіння $B = 20^\circ$) призводить до зниження показника впливу в 1,44 раза. Водночас встановлено, що зі збільшенням кута падіння пласта та ухилу денної поверхні інтенсивність цього впливу набуває ще більших значень.

Фактичне значення кута робочого борту є похідною від базових просторових параметрів системи розробки: висоти уступу [22] та ширини робочого майданчика. Своєю чергою, ці параметри жорстко лімітуються габаритно-кінематичними характеристиками застосованого виймально-навантажувального комплексу, а також фізико-механічними властивостями гірського масиву.

Практика ведення гірничих робіт показує, що на глибоких горизонтах робочі зони характеризуються надзвичайно стисненими (обмеженими) умовами для маневрування великогабаритної техніки, а вміщувальні породи представлені переважно скельними масивами високої міцності. Візуалізація технологічного механізму зниження обсягів поточного розкриву шляхом збільшення крутизни робочого борту наведена на рис. 2.3.

Зазначені гірничо-геологічні умови обумовлюють необхідність застосування класичних схем відпрацювання масиву. Ця технологія

базується на попередньому розпушенні міцних корінних порід буропідричним способом [23] та подальшій екскавації гірничої маси механічними лопатами (переважно базовими моделями типу ЕКГ-8І, що характеризуються лімітованими кінематичними та енергосиловими параметрами).

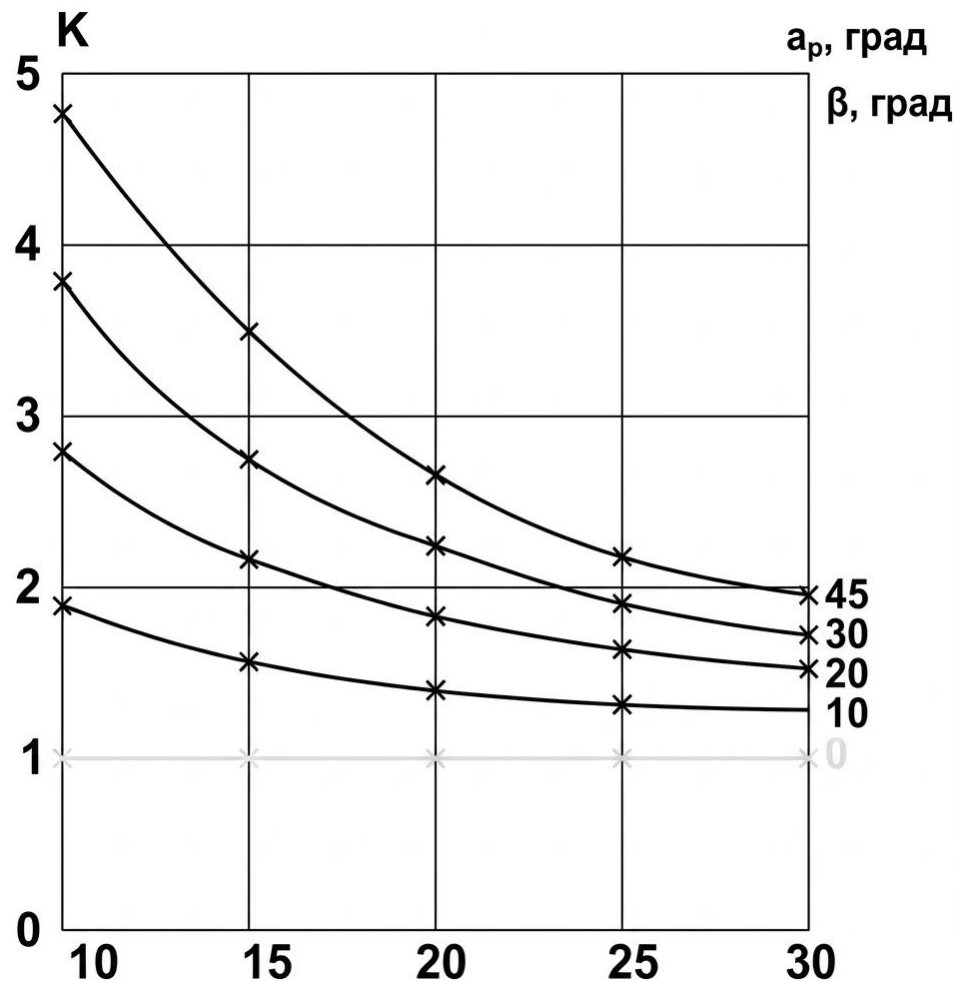


Рис. 2.2. Залежність показника впливу робочого борту ($K_{вл}$) від його кута нахилу (α_p) та кута падіння покладу (β)

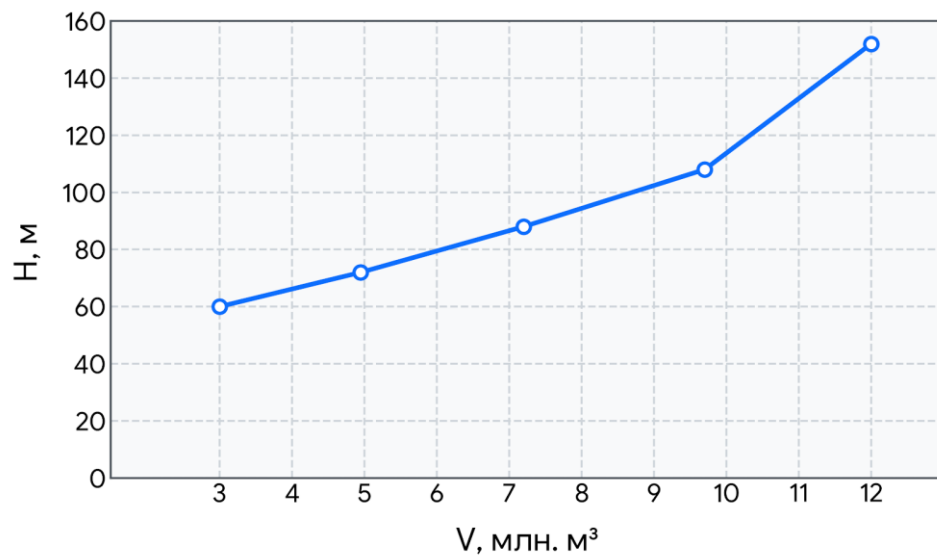


Рис. 2.3. Динаміка питомих обсягів розкривних робіт при збільшенні крутизни робочого борту

Досягнення нормативної якості дроблення скельного масиву супроводжується утворенням значного за обсягом розвалу підірваної породи, що вимагає резервування відповідної площі. Згідно з типовими технологічними паспортами [24], під час відпрацювання 15-метрових уступів у міцних породах із застосуванням екскаватора ЕКГ-8І розрахункова ширина розвалу сягає 38–40 м. Це, своєю чергою, диктує необхідність формування робочого майданчика загальною шириною 51 м.

За таких просторових параметрів навантаження підірваної маси здійснюється за двозахідною схемою екскавації. Геометричне моделювання профілю робочого борту за умови дотримання вказаних лінійних параметрів майданчиків демонструє, що результуючий кут його нахилу є надзвичайно пологим і не перевищує 16° (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Технологічні параметри розробки скельного масиву на уступах висотою $h_y = 15$ м із застосуванням мехлопат типу ЕКГ-10

Інтенсифікація кута нахилу робочого борту є можливою за рахунок впровадження виймального обладнання зі збільшеними лінійними характеристиками. Зокрема, експлуатація екскаваторів із подовженим робочим обладнанням (що забезпечує більшу висоту черпання) у комбінації з технологічними схемами чергування робочих, запобіжних та тимчасово неробочих берм, дозволяє підвищити результуючий кут укосу робочої зони до 20–24° (табл. 2.1) [25].

Економічним наслідком реалізації таких просторових рішень є оптимізація фінансових показників: виробнича собівартість розкривних робіт скорочується на 1–3%, а питомі приведені витрати на екскавацію гірничої маси знижуються на 22%.

Таблица 2.1

Геометричні характеристики елементів системи розробки при експлуатації різних класів екскаваторної техніки

Типорозмір екскаватор а	Висота робочого уступу, м	Кут укосу робочого уступу	Собівартість розкривних робіт, %	
			проста	приведена
ЕКГ-5	10-12	8-14	100-102	100-94
ЕКГ-10	12-15	10-17.5	98-100	89-83
ЕКГ-8УС	18-20	13-20	95-97	83-77
ЕКГ-5У	20-22	14-24	97-99	87-77

Водночас, впровадження екскаваційної техніки з розширеними робочими радіусами (що уможливорює відпрацювання уступів більшої висоти) супроводжується низкою технологічних компромісів. Таке обладнання характеризується підвищеною металоємністю та вимагає більшої встановленої потужності приводів. Крім того, зростання габаритів машини об'єктивно збільшує тривалість робочого циклу, що призводить до падіння експлуатаційної продуктивності екскаватора і, як наслідок, може спровокувати відставання темпів підготовки рудних запасів до виїмки. Наприклад, за даними [26], збільшення максимальної висоти черпання в 1,6 раза (від 12,5 до 20,2 м) спричиняє двократне падіння продуктивності виймального агрегату.

Ширина розвалу підірваної гірничої маси (B_p) є базовою просторовою складовою загальної ширини робочого майданчика. Аналітично цей показник визначається як сума ширини екскаваторної заходки (A) та відстані додаткового зміщення (відкиду) підірваної породи відносно початкового контуру укусу уступу (ΔB), що визначається таким виразом:

$$B_p = A + \Delta B, \text{ м} \quad (2.2)$$

Фактичні лінійні розміри розвалу підірваної маси в умовах кар'єрів характеризуються значною просторовою варіативністю, коливаючись у межах від 15 до 70–77 м. При цьому підірвана порода займає критично велику площу робочої зони, поглинаючи від 40–50% до 60–70% від загальної проєктної ширини робочого майданчика.

Узагальнення промислового досвіду ведення буропідричних робіт (БПР) свердловинними зарядами вертикального типу [27] доводить, що кінцева геометрія розвалу жорстко детермінується регламентними параметрами БПР та фізико-механічними властивостями гірського масиву. Достовірно встановлено, що контури підірного блоку інтенсивно розширюються пропорційно до збільшення питомих витрат вибухових речовин (ВР) (рис. 2.5).

Нарощування параметрів підриного блоку (ширини екскаваторної заходки) з відповідним збільшенням кількості

свердловин також є фактором збільшення дальності відкиду породи. Профільними дослідженнями [28] підтверджено наявність чіткої лінійної кореляції між шириною масиву, що підривається, та кінцевими контурами розвалу. Окрім цього, результати досліджень фіксують прямо пропорційну залежність геометричного розширення розвалу від висоти відпрацьовуваного уступу та коефіцієнта міцності руйнованих порід (рис. 2.6).

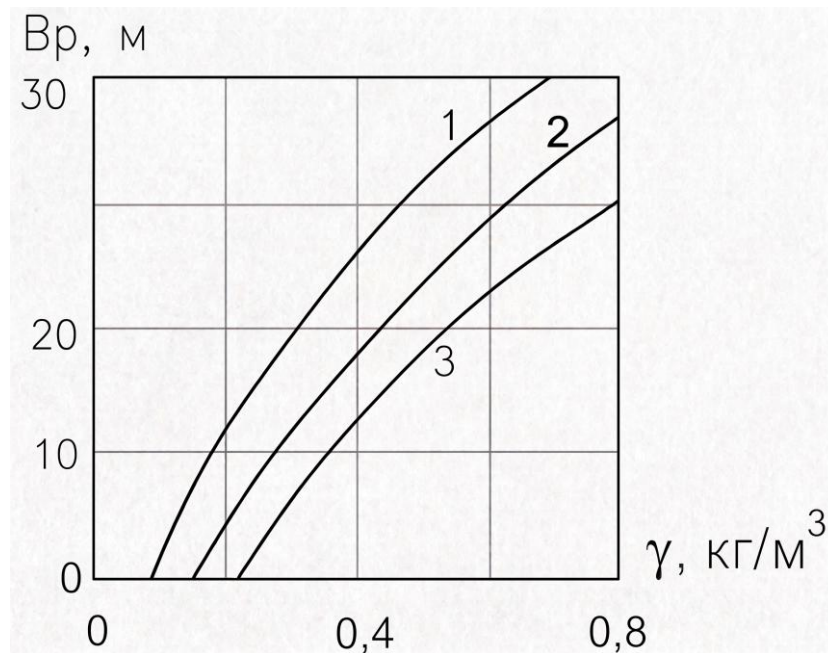


Рис. 2.5. Графік залежності ширини розвалу підірваної маси (B_p) від питомих витрат вибухових речовин (γ) з урахуванням категорії підривності масиву:

- 1 — породи легкої підривності; 2 — породи середньої підривності;
3 — важкопідривні породи

2.3. Характеристики та параметри екскаваторів

Ключовою передумовою ефективної експлуатації сучасного кар'єру є забезпечення стабільно високої експлуатаційної продуктивності виймально-навантажувального комплексу впродовж усього життєвого циклу гірничодобувного підприємства. Вирішення цього завдання вимагає чіткої ідентифікації та систематизації

факторів, що детермінують продуктивність одноківшевих екскаваторів. З цією метою було виконано аналітичний огляд фундаментальних праць [29]. Дослідження багатьох авторів пропонують репрезентативні методики розрахунку продуктивності та містять комплексні рекомендації щодо оцінки цього експлуатаційного критерію.

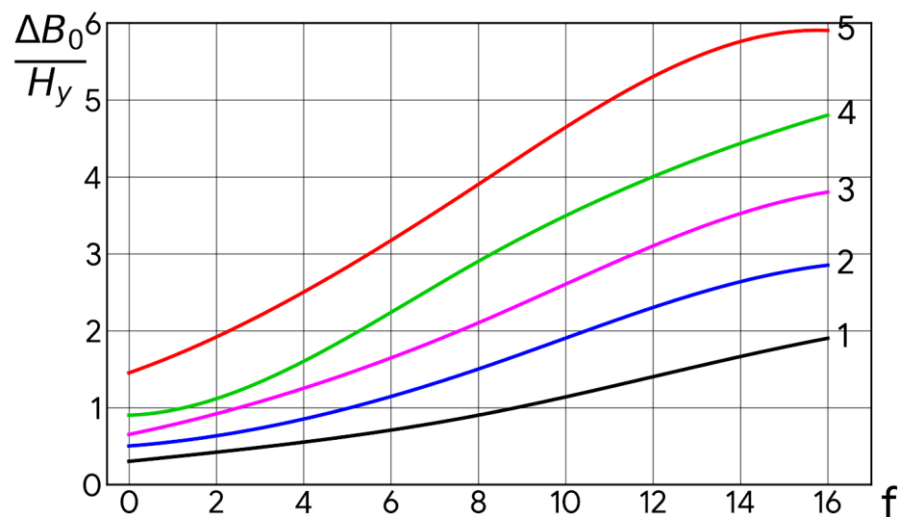


Рис. 2.6. Залежність досліджуваного відношення ($\Delta B_0^6/h_y$) від коефіцієнта міцності порід з урахуванням категорії їх підривності: 1, 2, 3 — породи легкої, середньої та важкої підривності відповідно; 4, 5 — вельми важкопідривні та надзвичайно важкопідривні масиви

Процес моделювання продуктивності екскаваторів (зокрема, базових канатних мехлопат) базується на врахуванні комплексу змінних величин, похідних від їх габаритно-робочих параметрів. Вагомою технологічною перевагою сучасних гідравлічних екскаваторів, що аналізуються в межах даного дослідження, є їхня модульність — можливість оснащення змінним робочим обладнанням. Це дозволяє здійснювати цільовий підбір конфігурації ковша відповідно до конкретних гірничо-геологічних умов вибою.

Геометричні параметри змінного обладнання суворо диференціюються залежно від фізико-механічних властивостей

масиву. Так, ковші збільшеної ширини та місткості доцільно експлуатувати у сипких або якісно розпушених породах. Натомість для екскавації міцних скельних масивів застосовують звужені ковші посиленої конструкції, що дозволяє сконцентрувати зусилля проникнення. Окрім загальної геометрії, на опір породи черпанню безпосередньо впливає конфігурація ріжучої кромки, зокрема використання адаптерів із вкороченими або подовженими коронками (зубами) ковша.

2.4. Обґрунтування ширини робочого майданчика за умови експлуатації екскаваторів типу "пряма лопата"

Під час розрахунку параметрів робочого майданчика важливо знайти правильний баланс. З одного боку, простір вибою має бути достатнім для безперебійної та продуктивної роботи екскаватора. З іншого боку, майданчик доцільно робити максимально вузьким, щоб збільшити загальний кут нахилу робочого борту кар'єру (це дозволяє зменшити обсяги розкриву). Загалом, як свідчить огляд існуючих методик, алгоритм розрахунку принципово відрізняється залежно від типу масиву: чи це м'які породи, чи міцні скельні.

Слід враховувати, що закладена в проєкт ширина майданчика — це усереднена розрахункова величина. Вона визначається на основі планової швидкості відпрацювання уступів та необхідного резерву готової до виїмки породи. Проте в реальних умовах експлуатації цей показник не є постійним. Оскільки процеси виймання та вивезення гірничої маси відбуваються циклічно, фактична ширина майданчика вздовж лінії фронту постійно коливається відносно затвердженого проєкту.

Аналітичне обґрунтування граничних (мінімально допустимих) просторових параметрів робочих майданчиків виконано стосовно базової технологічної схеми «одноківшевий екскаватор —

автосамоскид». Зазначені лінійні розміри розраховано виключно з умови безпечного розміщення виймально-навантажувального і транспортного обладнання, інженерних споруд та нормативних зазорів безпеки (без урахування ширини смуги резерву підготовлених до виїмки запасів). Встановлені величини виступають жорстким технологічним лімітом, що обмежує граничне звуження робочої зони в процесі експлуатації кар'єру.

У межах даного дослідження здійснено критичний огляд існуючих методичних підходів до визначення параметрів робочої зони. Зокрема, фундаментальною є методологія, запропонована А.І. Арсентьевим [30]. Згідно з цим підходом, проектна ширина робочого майданчика формується як комплексна величина, що інтегрує площі для розміщення експлуатованого обладнання, транспортних комунікацій, ліній електропередач (ЛЕП), а також обов'язкову смугу, що гарантує нормативний резерв готових до виїмки запасів гірничої маси.

Відповідно до зазначеної розрахункової бази, середньопроєктна (нормативна) ширина робочого майданчика на видобувному уступі формалізується у вигляді такого математичного виразу (2.3):

$$B = B_{\min} + \frac{\mu A_p}{L_p h}, \text{ м} \quad (2.3)$$

Для умов відпрацювання скельних масивів за умови використання залізничного транспорту нормативна ширина робочих майданчиків традиційно закладається в діапазоні 75–93 м. Натомість інтеграція кар'єрних автосамоскидів дозволяє дещо оптимізувати цей параметр, звузивши його до 75–80 м. Водночас застосування технології підривання масиву в один ряд свердловин створює експлуатаційні передумови для додаткового скорочення лінійних розмірів робочого простору до 50–70 м.

Слід зауважити, що в реальних виробничих умовах кар'єру просторові характеристики робочої зони — зокрема, результуючий кут

нахилу борту та поточна ширина берм — не є статичними показниками і зазнають безперервних динамічних трансформацій у процесі ведення гірничих робіт.

Згідно з фундаментальними положеннями теорії проектування відкритих розробок [31], допустимий інтервал коливань розрахункової ширини робочого майданчика ($Ш_{рп}$) регламентується такими математичними межами:

$$B + 1,7R_{ч.у.} \geq Ш_{р.п} \geq B + B_1 \quad (2.4)$$

де B - ширина робочої площадки між подошвою вищележачого розкривного та верхньою брівкою нижчележачого видобувного уступів, м; B_1 – ширина смуги екскавації, м.

Для комплексного аналізу в межах даного дослідження також розглянуто методику визначення параметрів робочої зони, що регламентується довідковим комплексом "Типові технологічні схеми ведення гірничих робіт на вугільних кар'єрах" [32] (рис. 2.7).

$$Ш = A + c_2 + E + c_1 + П_E, м \quad (2.5)$$

Просторові параметри робочого майданчика повинні гарантувати безпечні умови для безперебійної та вискоєфективної експлуатації виймально-навантажувального і транспортного обладнання.

У наукових працях [33] обґрунтовано розрахункову модель, згідно з якою загальна ширина робочого майданчика диференціюється на дві базові просторові складові: технологічно необхідний мінімум та смугу резерву підготовлених до виїмки запасів. Відповідно до цього підходу, за умови одночасного ведення гірничих робіт на кількох суміжних уступах, експлуатація майданчиків із мінімально допустимими габаритами є виправданою лише на одному з горизонтів. Для забезпечення безпечної взаємодії обладнання на інших ділянках робочої зони обов'язковою вимогою є закладення просторового резерву гірничої маси.

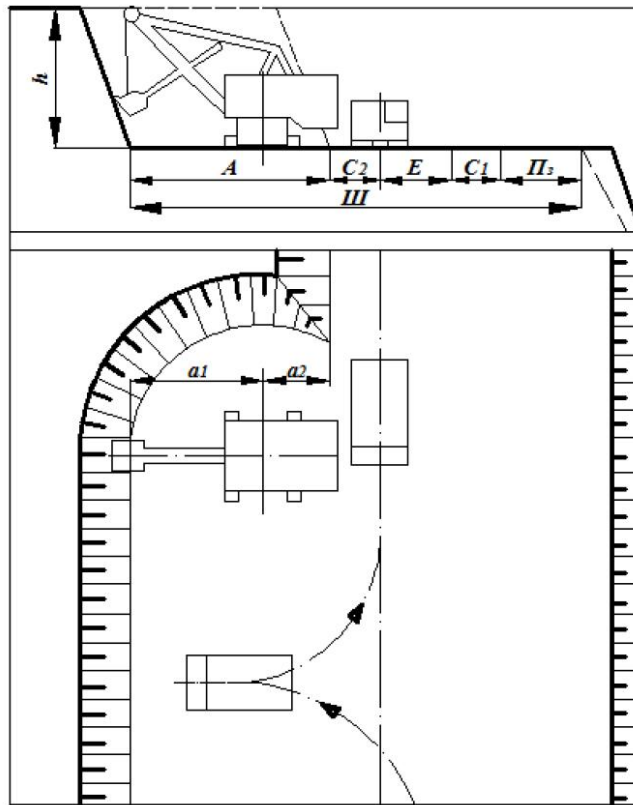


Рис. 2.7. Параметри технологічної схеми відпрацювання уступу без застосування буропідривних робіт:

A — нормативна ширина екскаваторної заходки в цілику, м;
 a_1, a_2 — горизонтальна відстань від поздовжньої осі пересування екскаватора до внутрішньої та зовнішньої нижньої брівки заходки відповідно, м; C_2 — відстань від осі транспортної комунікації до нижньої брівки уступу, м; C_1 — відстань від осі транспортної комунікації до смуги прокладання мереж електропостачання, м; E — лінійна відстань між поздовжніми осями суміжних смуг руху транспорту, м; Π_e — ширина смуги для розміщення пристроїв електропостачання, м; Ш — мінімально допустима ширина робочого майданчика, м.

Така просторова стратегія зумовлена тим, що мінімальна розрахункова ширина виступає критичною граничною величиною. Будь-яке звуження робочого простору нижче цієї регламентованої позначки є прямим порушенням Правил безпеки при розробці родовищ корисних копалин відкритим способом і призводить до зриву

нормативних параметрів технологічного циклу. Таким чином, підтримка розрахункового резерву ширини берми є не просто безпековою вимогою, а ключовою передумовою для забезпечення ритмічної та стабільно високої експлуатаційної продуктивності виймально-навантажувального комплексу.

Безпечне звуження мінімального робочого майданчика можливе за рахунок застосування альтернативного виймального обладнання. При цьому обов'язковою умовою є збереження нормативних параметрів вибою та експлуатаційної продуктивності. Оскільки більшість класичних алгоритмів розрахунку просторових параметрів уступу орієнтовані на традиційні канатні мехлопати, виникає потреба в розгляді методик, адаптованих специфічно для гідравлічних екскаваторів.

2.5. Обґрунтування параметрів робочого майданчика при експлуатації гідравлічних екскаваторів у поєднанні з автомобільним транспортом

На сьогодні відсутній єдиний стандартизований підхід до визначення ширини робочого майданчика, тому проєктні організації застосовують варіативні методики. Попри те, що відкриті гірничі роботи суворо регламентуються загальними правилами безпеки, необхідно враховувати принципові кінематичні відмінності між канатними мехлопатами та гідравлічними екскаваторами.

Існуючі алгоритми розрахунку базуються переважно на експлуатаційних параметрах або виймального, або транспортного обладнання. Зокрема, у галузевому нормативному виданні [32] наведено методику розрахунку параметрів майданчика для гідравлічних екскаваторів із робочим обладнанням «зворотна лопата» за формулою (2.6). Визначальним фактором у цьому алгоритмі виступають саме просторові робочі характеристики виймально-

навантажувальної машини (рис. 2.8).

$$a) Ш_{p.n.} = A + b_n + C_1 + E + C_3 + П_E, м \quad (2.6)$$

$$б) Ш_{p.n.} = X + b_n + C_1 + E + C_3 + П_E, м \quad (2.7)$$

Для умов розробки родовищ нерудних матеріалів [34] алгоритм розрахунку для екскаваторів типу «пряма лопата» жорстко регламентується «Нормами технологічного проектування підприємств промисловості нерудних будівельних матеріалів». Згідно з цим галузевим стандартом [35], під час відпрацювання м'яких порід нормативна ширина робочого майданчика обчислюється за такою математичною залежністю (рис. 2.9, формула 2.8) [35]:

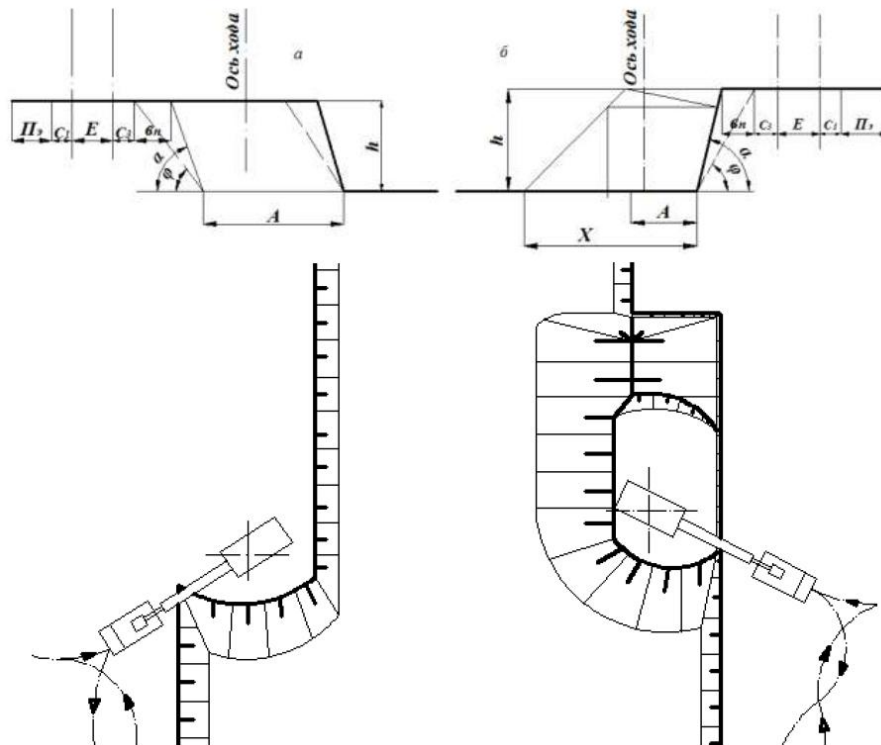


Рис. 2.8. Схема до розрахунку просторових параметрів робочої зони гідравлічного екскаватора

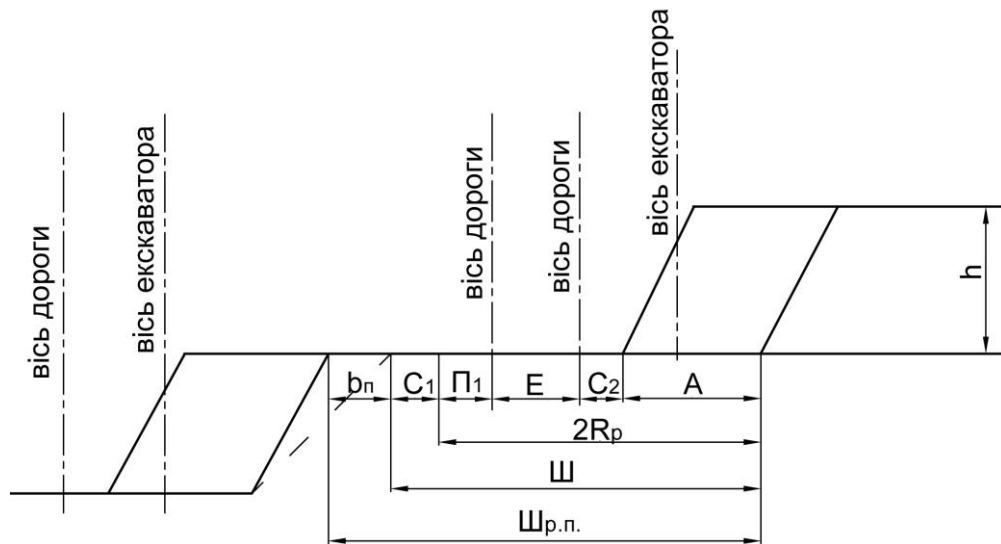


Рис. 2.9. Розрахункова схема параметрів робочого майданчика

$$Ш_p = A + П_m + П_0, м \quad (2.8)$$

$$П_m = П_0 + П_n + П_0^I, м \quad (2.9)$$

де $П_0$ - ширина запобіжної смуги з боку підосви вищележачого уступу, м; $П_0=1,5$ м; $П_n$ - ширина технологічної автодороги в межах робочої зони, м (регламентується габаритними розмірами розрахункового автосамоскида); $П_0^I$ - ширина запобіжної смуги з боку верхньої брівки уступу (для пухких порід), $П_0^I = 6,5$ м

У разі застосування зворотної лопати для відпрацювання уступу нижнім черпанням загальний розрахунковий алгоритм залишається незмінним, однак нормативна ширина екскаваторної заходки обчислюється згідно з виразом (2.10):

$$Ш_{p.n.} = A + C_2 + E + c_1 + П_1 + b_n, м \quad (2.10)$$

Проектна ширина робочого майданчика детермінується індивідуально, тому для кожної експлуатаційної ділянки цей показник зазнає просторово-часових коливань. Враховуючи дискретний характер розвитку гірничих робіт, технологічно обґрунтованою є експлуатація робочих зон із варіативними лінійними параметрами. Відтак, залучення машин ідентичного типорозмірного ряду дозволяє оптимізувати (звужити) робочий простір, повністю зберігаючи

нормативні габарити вибою та не допускаючи зниження планової продуктивності підприємства.

Нормативні значення та характеристики складових елементів робочого майданчика систематизовано у табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Розрахункові значення складових елементів ширини робочого майданчика

Екскаватор	c_2	E	Π_1	c_1
ЕКГ-10	3-3,5	5	3	3-3,5
ЕКГ-12,5;	3,5-4	6-6,5	3	3,5-4,5

Ключова відмінність у методиці розрахунку параметрів робочої зони для гідравлічних екскаваторів із обладнанням «зворотна лопата» полягає в обґрунтуванні ширини екскаваторної заходки (A_3). Для умов відпрацювання масиву нижнім черпанням зазначений параметр обчислюється за математичною залежністю (2.11), наведеною у праці [29]:

$$A = 1,7(B_x + 3) + I_q \operatorname{ctg} \alpha, \text{ м} \quad (2.11)$$

де B_x - габаритна ширина ходової бази екскаватора, м; I_q - либина черпання нижче рівня стояння екскаватора, м.

На основі аналітичних розрахунків за залежністю (2.5) визначено параметри робочого майданчика для гідравлічного екскаватора Hitachi EX2500 (обладнання «зворотна лопата») при його експлуатації за відповідними технологічними схемами. Базові технічні характеристики виймальної машини систематизовано в табл. 2.3:

$$\text{EX2500} \quad \text{Ш}_{p.n.} = A + C_2 + E + c_1 + \Pi_1 + b_n = 40 \text{ м}$$

На основі технічних характеристик канатного екскаватора ЕКГ-12 (обладнання «пряма механічна лопата») проведено розрахунок параметрів його робочого майданчика. Базові показники експлуатованої моделі систематизовано в табл. 2.4:

$$\text{ЕКГ-12} \quad \text{Ш}_{p.n.} = A + C_2 + E + c_1 + \Pi_1 + b_n = 45 \text{ м}$$

Таблиця 2.3

Технологічні параметри гідравлічних екскаваторів Hitachi
(обладнання «зворотна лопата»)

Екскаватор	$E, \text{ м}^3$	$\max R_{\text{ч}}, \text{ м}$	$l_{\text{ч}}, \text{ м}$	$\max R_{\text{р}}, \text{ м}$	$\max H_{\text{ч}}, \text{ м}$	Маса, т	Ширина ходу, м	Висота екскаватора, м	Радіус обертання кузова, $R_{\text{к}}, \text{ м}$
EX190	11	15,3	8,1	14,5	13,5	192	6,35	5,25	5,60
EX250	15	17,0	8,6	16,0	16,2	249	7,38	6,13	6,20
EX260	17	17,3	8,7	16,3	16,5	254	7,78	6,13	6,29

Таблиця 2.4

Експлуатаційно-технічні характеристики кар'єрних екскаваторів
(обладнання "пряма механічна лопата")

Екскаватор	$E, \text{ м}^3$	$\max R_{\text{ч}}, \text{ м}$	$R_{\text{ч.у.}}, \text{ м}$	$\max R_{\text{р}}, \text{ м}$	$\max H_{\text{ч}}, \text{ м}$	Маса, т	Ширина ходу, м	Висота екскаватора, м	Радіус обертання кузова, $R_{\text{к}}, \text{ м}$
ЕКГ-12	12	21	14,3	18,5	15	672	9	12	10
ЕКГ-15	15	22,6	15,6	20	16,4	672	8	15,4	10

Ефективне функціонування виймально-навантажувального та транспортного комплексів базується на забезпеченні безперебійної взаємодії кожної технологічної одиниці в системі "екскаватор — автосамоскид".

Аналітичне визначення мінімальних параметрів майданчика за залежністю (2.12) [36–38] вимагає комплексного врахування як габаритів транспортної ланки, так і варіативності технологічних схем експлуатації гідравлічних екскаваторів із робочим органом «зворотна лопата» (рис. 2.10).

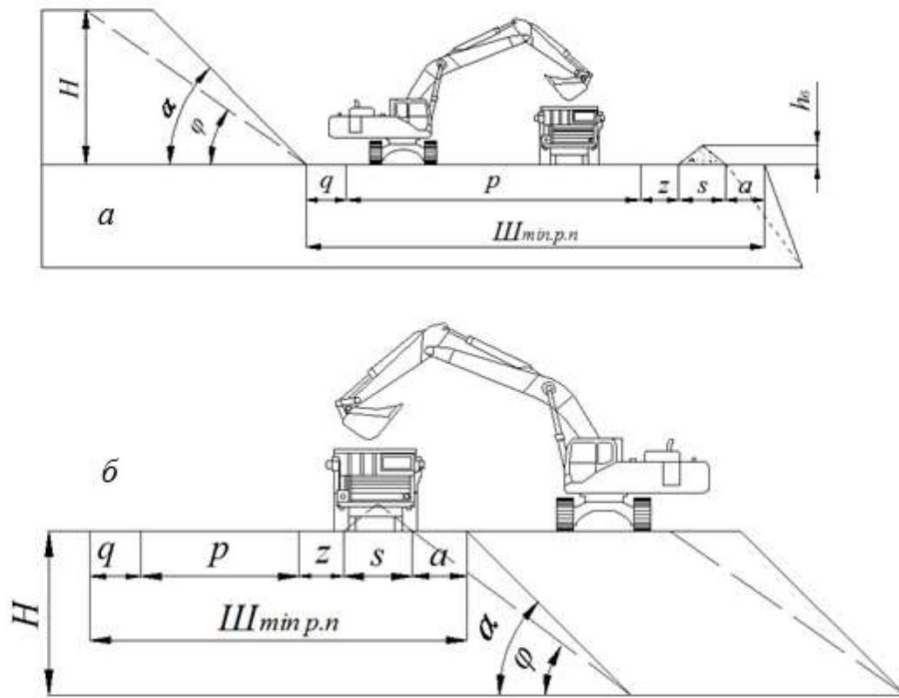


Рис. 2.10. Обґрунтування мінімальної ширини робочого майданчика для різних технологічних схем

$$Ш_{п.п.н} = R_a + 0.5(L_a + B_a) + 2q + z + s + a, \text{ м} \quad (2.12)$$

Нормативні показники для розрахунку мінімальної ширини робочого майданчика та джерела їхнього обґрунтування представлено в табл. 2.5.

Застосування залежності (2.12) дозволило обчислити мінімальну ширину робочого майданчика для умов експлуатації автосамоскида БелАЗ-75131, яка становить $Ш_{п.п.н} = 33$ м.

За результатами обчислень встановлено значення мінімальної ширини робочого майданчика, які детермінуються габаритами задіяного автотранспорту та екскаватора. Водночас, для забезпечення високої продуктивності комплексу «екскаватор – автосамоскид», критично важливо, щоб саме робочі параметри виймальної машини виступали лімітуючим (визначальним) фактором під час оптимізації розмірів робочої зони.

Таблиця 2.5

Числові параметри складових елементів мінімального робочого майданчика та їх нормативне обґрунтування

Параметри елементів	Позначенн	Примітка	Значенн
Мінімальний радіус розвороту автосамоскида	R _a	Експлуатаційні характеристики БелАЗ-7517	14
Довжина автосамоскида	L _a	Експлуатаційні характеристики БелАЗ-7517	12,3
Ширина автосамоскида	B _a	Експлуатаційні характеристики БелАЗ-7517	6,8
Безпечна відстань від автосамоскида до нижньої брівки уступу	q	Норми технологічного проектування	1,5
Ширина утримуючого ґрунтового валу	s	Норми технологічного проектування	3,5
Ширина призми можливого обвалення	a	Норми технологічного проектування	2
Відстань від подошви ґрунтового валу до кромки	z	Норми технологічного проектування	0,5

За результатами проведених досліджень встановлено розрахункові значення мінімальної ширини робочого майданчика: для канатного екскаватора ЕКГ-12 (обладнання «пряма механічна лопата») цей показник становить $Ш_{p.n.min} = 45$ м, тоді як для одноківшевого гідравлічного екскаватора Hitachi EX2500 — $Ш_{p.n.min} = 40$ м.

Оптимізація просторових параметрів робочої зони, зокрема скорочення ширини майданчика на 5 м (12%, рис. 2.11), забезпечує суттєве зменшення поточних обсягів розкривних робіт. При проектній глибині кар'єру на кінець відпрацювання $H = 200$ м обсяг невийнятого розкриву становить $\Delta V = 1352100$ м³.

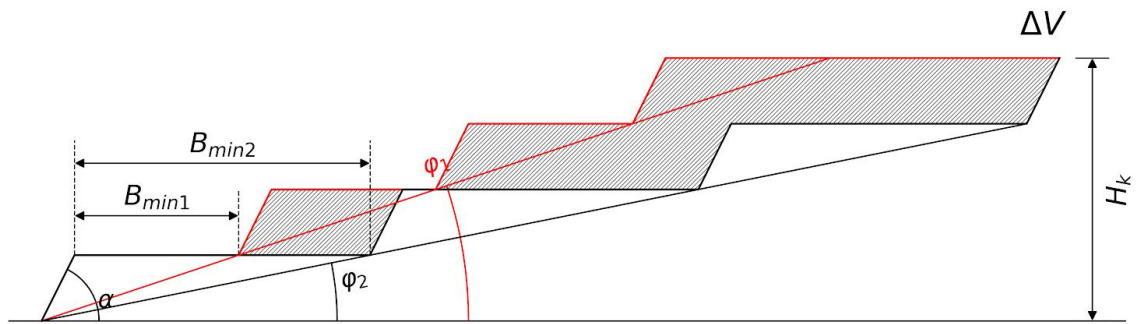


Рис. 2.11. Вплив ширини робочого майданчика на обсяги виймання розкривних порід

Зменшення мінімальної ширини робочого майданчика на 12% за рахунок застосування гідравлічних екскаваторів забезпечує зниження експлуатаційного коефіцієнта розкриву на $\Delta n = 0,24 \text{ м}^3/\text{м}^3$ (відповідно на 11%). Можливість оптимізації просторових параметрів робочої зони в гірничотехнічних умовах глибоких кар'єрів створює передумови для вдосконалення методів управління та стабілізації поточного коефіцієнта розкриву.

2.6. Висновки до розділу 2

Питання обґрунтування ширини робочого майданчика в умовах застосування гідравлічних екскаваторів із робочим обладнанням "зворотна лопата" залишається недостатньо вивченим. Більшість існуючих наукових підходів до визначення цього параметра базуються на досвіді експлуатації традиційних канатних машин (прямих мехлопат). На сьогодні відсутня загальноприйнята методика, яка б комплексно враховувала специфічний набір розрахункових елементів для гідравлічного обладнання, зокрема вплив способу підготовки нового горизонту до виїмки. Водночас впровадження зворотної лопати має суттєві технологічні переваги: воно не лише дозволяє зменшити мінімальну ширину робочого майданчика порівняно з класичними екскаваторами, але й створює передумови для скорочення відстані транспортування гірничої маси.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Аналіз сучасних тенденцій розвитку гірничих робіт свідчить про збільшення частки потужних одноківшевих гідравлічних екскаваторів у загальній структурі парку виймально-навантажувального обладнання на кар'єрах. За умови однакової місткості ковша та забезпечення рівних параметрів вибою, традиційні канатні екскаватори типу «пряма механічна лопата» майже вдвічі перевищують гідравлічні аналоги за експлуатаційною масою та габаритами. Важливою технологічною перевагою гідравлічних машин є здатність ефективно відпрацьовувати масив як верхнім, так і нижнім черпанням. Завдяки цьому продуктивність такого обладнання вища на 29%, а собівартість виймання гірничої маси нижча на 15% порівняно з канатними мехлопатами.

Застосування автономних дизельних гідравлічних екскаваторів є найбільш доцільним на етапі гірничо-капітальних робіт під час будівництва кар'єрів, а також на підприємствах із відсутнім або обмеженим централізованим електропостачанням. Хоча гідравлічні екскаватори з обладнанням «зворотна лопата» та класичні канатні машини типу «пряма механічна лопата» мають свої специфічні технологічні переваги й недоліки, саме раціональний підбір гірничодобувної техніки дозволяє досягти максимальної продуктивності екскаваторного транспорту, що має критичне значення для оптимізації робіт в умовах Першотравневого кар'єру. Незважаючи на те, що гідравлічна техніка навряд чи повністю витіснить традиційні канатні мехлопати, вона вже міцно закріпила за собою вагому виробничу нішу. Разом із тим, актуальним і недостатньо вивченим залишається питання аналітичного обґрунтування мінімальної ширини робочого майданчика безпосередньо для умов експлуатації гідравлічних екскаваторів зворотної дії. Наявні наукові підходи до визначення цього показника здебільшого спираються на багаторічний

досвід застосування канатних прямих лопат. На сьогодні у гірничій науці відсутня комплексна загальноприйнята методика, яка б базувалася на необхідному наборі розрахункових елементів саме для гідравлічного обладнання, а також повною мірою враховувала б специфіку способу підготовки нового горизонту до виймання.

Впровадження гідравлічних екскаваторів із робочим обладнанням «зворотна лопата» забезпечує суттєве зменшення мінімальної ширини робочого майданчика порівняно з іншими типами виймальних машин.

Зменшення мінімальної ширини робочого майданчика на 12% за рахунок застосування гідравлічних екскаваторів забезпечує зниження експлуатаційного коефіцієнта розкриву на $\Delta n = 0,24 \text{ м}^3/\text{м}^3$ (відповідно на 11%). Можливість оптимізації просторових параметрів робочої зони в гірничотехнічних умовах глибоких кар'єрів створює передумови для вдосконалення методів управління та стабілізації поточного коефіцієнта розкриву.

Бібліографія.

1. Ситенков В.М. Аналіз областей застосування канатних та гідравлічних екскаваторів при відкритій розробці родовищ / В.М. Ситенков, А.Р. Ганін, Т.В. Донченко, Д.О. Шибанов // Рациональное освоения надр. – 2014. – №3. – С. 30-37.
2. Подерни Р.Ю. Одноковшовые экскаваторы с гидроприводом и область их применения / Р.Ю. Подерни // Реферативный сборник. - 1982. – С. 45-49.
3. Подерни Р.Ю. Горные машины и автоматизированные комплексы для открытых горных работ / Р.Ю. Подерни. - Недра, 1979. – 142 с.
4. Мельников Н.Н. Технология применения и параметры карьерных гидравлических экскаваторов / Н.Н. Мельников, Д.Г. Неволин, Л.С. Скобелев. – 1992. – 216 с.
5. Подэрни Р.Ю. Анализ современного состояния мирового рынка поставок выемочно-погрузочного карьерного оборудования (карьерные лопаты и драглайны) / Р.Ю. Подэрни // Горная промышленность. – 2013. – №6. – С. 14-18.
6. Анистратов К.Ю. Анализ рынка карьерных экскаваторов и самосвалов в странах СНГ / К.Ю. Анистратов // Горная промышленность. – 2012. – №2. – С. 16-19.
7. Логінов Є.В. Особливості застосування гідравлічних екскаваторів типу зворотна лопата / О.В. Логінов // Науковий журнал – 2016. – №6. – С. 152-154.
8. Кельш Хайнц Рюдигер Обоснование силовых и режимных параметров копания и средств адаптации карьерных гидравлических экскаваторов: дис. канд. техн. наук: 05.05.06 / Кельш Хайнц Рюдигер. – 2010. – С. 183.
9. SME Mining Engineering Handbook / ed. by P. Darling. 3rd ed. Englewood : Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 2011. 1984 p.

10. Іванов О.П. Кар'єрні гідравлічні екскаватори HITACHI / О.П. Іванов // Металургійна та гірничорудна промисловість. – 2005 – №2. – С. 53-55.
11. Перелигін В. Гідравлічні екскаватори Hitachi – гідний конкурент кар'єрним канатним екскаваторам / В. Перелигін // Металургійна та гірничорудна промисловість. – 2006 – №6. – С. 24-25.
12. Czaplicki J. M. Shovel-Truck Systems: Modelling, Analysis and Calculations. Boca Raton : CRC Press, 2014. 238 p.
13. Burt C. N., Caccetta L. Equipment selection for surface mining: A review. Interfaces. 2014. Vol. 44, No. 2. P. 143–162.
14. Дриженко А. Ю. Кар'єрні технологічні гірничо-транспортні системи : підручник. Дніпропетровськ : НГУ, 2011. 530 с.
15. Caterpillar Performance Handbook. 49th ed. Peoria : Caterpillar Inc., 2019. 2160 p.
16. Логінов Є.В. Екскаватори гідравлічні Liebherr для кар'єрів // Металургійна та гірничорудна промисловість. – №2. – 2003.
17. Loginov E.V. Improving the efficient of mining in the deposit of broken stone // Scientific Reports on Resource Issues / Technische University Bergakademie Freiberg. – Freiberg. – 2015. – P. 183-185.
18. Інструкція із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до родовищ металічних корисних копалин : затв. наказом Державної комісії України по запасах корисних копалин від 17 черв. 2005 р. № 71. Офіційний вісник України. 2005. № 27. Ст. 1623.
19. Єдині правила безпеки при розробці родовищ корисних копалин у відкритий спосіб. - Київ, 2003. – 115 с.
20. Правила безпеки при веденні гірничих робіт та переробки твердих корисних копалин / Норми та правила в галузі промислової безпеки. - 2014. – 276 с.

21. Луценко С. О. Планування режиму гірничих робіт при розробці глибоких кар'єрів. Вісник Криворізького технічного університету : зб. наук. праць. Кривий Ріг, 2011. Вип. 27. С. 26–30.
22. Soderberg A. T. Elements of Long Range Open Pit Planning. Mining Congress Journal. 1956. Vol. 15, No. 4. P. 21–24.
23. Гуменик І. Л., Корсунський Г. Я., Ложніков О. В. Технологія відкритої розробки пологих родовищ корисних копалин. Дніпро : НГУ. 2014. 310 с.
24. Бизов В. Ф., Дриженко А. Ю. Відкриті гірничі роботи : підручник для вузів за напрямком «Гірництво». Кривий Ріг : Мінерал, 2004. 341 с. (Бібліотека гірничого інженера : в 14 т. ; т. 13)
25. Hustrulid W. A., Kuchta M., Martin R. K. Open Pit Mine Planning and Design. 3rd ed. Boca Raton : CRC Press, 2013. 1308 p.
26. Nuray D., Samanta B. Investigation of Excavator Performance Factors in Open-Pit Mining // Scientific Research Publishing (SCIRP). 2020. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.scirp.org>.
27. Demirel N., Ta Q.B. Optimization of the Excavator-and-Dump Truck Complex at Open Pit Mines // E3S Web of Conferences. 2018. № 41. С. 01006. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184101006>
28. Блізнюков В.Г., Луценко С.О., Пижик А.М. Гірнича справа: Навчальний посібник. Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О. 2014, 412 с.
29. Відкриті гірничі роботи: підручник / А.Ю. Дриженко; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т – Д.: НГУ, 2014. – 590 с.
30. Арсентьев А.И. Производительность карьеров / А.И. Арсентьев. – СПб, 2002. – 85 с.
31. Відкриті гірничі роботи: Ч. І. 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.

32. Бизов В.Ф. Основи технології гірничого виробництва. – Т. IV “Виробничі процеси”: Підручник для студентів вищих навчальних закладів за напрямком “Гірництво”. - Кривий Ріг: Мінерал, 2000. – 247 с. з іл.

33. Луценко С. О. Дослідження взаємозв'язку ширини робочої площадки і довжини фронту гірничих робіт. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування : зб. наук. праць. Рівне, 2016. Вип. 2(74). С. 140–147.

34. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. Київ : Міністерство промислової політики України, 2007. 279 с.

35. Промисловий транспорт: СП 37.13330.2012. Актуалізована редакція СНиП 2.05.07-91. - 2012. – 196 с.

36. Lutsenko S., Hryhoriev Y., Kuttybayev A., Imashev A., Kuttybayeva A. Determination of mining system parameters at a concentration of mining operations. News of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. 2023. Vol. 1, No. 457. P. 130–141. <https://doi.org/10.32014/2023.2518-170X.264>

37. Кривда В.В. Обоснование рациональных параметров систем разработки железорудных карьеров при применении автосамосвалов усовершенствованной конструкции: дис. канд. техн. наук: 05.15.03 / Виталий Валерьевич Кривда. – Днепропетровск. – 2015. – 212 с.

38. Логінов Е.В. Зменшення експлуатаційного коефіцієнта розкриву при використанні гідравлічних екскаваторів / О.В. Логінов // Промислова безпека підприємств мінерально-сировинного комплексу у XXI столітті. Том 2. – 2017. – №4. – С. 108-116.