

ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНОГО СТАНУ ВИКОРИСТАННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ ЕКСКАВАТОРІВ ДЛЯ ВИДОБУТКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН

М. Chebanov¹ <https://orcid.org/0000-0002-6681-2701>

Н. Zakinian¹ <https://orcid.org/0009-0007-1641-4768>

¹Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

RESEARCH OF THE CURRENT STATE OF USING HYDRAULIC EXCAVATORS FOR MINERAL MINING

Мета роботи. Полягає у комплексному дослідженні сучасного стану використання гідравлічних екскаваторів на відкритих гірничих роботах, аналізі існуючих схем черпання для виявлення системних недоліків у сучасних методах обґрунтування раціональних технологічних параметрів вибою.

Методика досліджень. Для досягнення поставленої мети використано комплексний методичний підхід, який поєднує методи наукового синтезу та узагальнення передового виробничого досвіду гірничодобувних підприємств, порівняльний аналіз кінематичних характеристик і просторових схем розташування виймального обладнання, дослідження просторово-кінематичних схем робочих зон.

Результати досліджень. Встановлено, що масовий перехід від традиційних канатних механічних лопат до гідравлічних машин набув глобального незворотного характеру: на сьогодні частка гідравліки у світовому парку сягнула 11 %, тоді як канатних машин — впала до 1,5 %. Встановлено, що ефективність роботи екскаватора залежить від технологічної схеми роботи: верхнє черпання максимізує висоту уступу до 8,5–10 м, тоді як нижнє знижує втрати копалини до 8–12 %. Збільшення кута розвантаження екскаватора до 180° спричиняє двократне падіння продуктивності, а впровадження наскрізних логістичних схем, вимагає розширення робочого майданчика до 13–15 метрів.

Наукова новизна. Вперше систематизовані недоліки сучасних методик проєктування параметрів вибою гідравлічних екскаваторів. Доведено, що існуючі статично-геометричні моделі та економічні підходи ігнорують динаміку процесу черпання та розвантаження. Сформована нова наукова задача, що полягає у обґрунтуванні змінного просторового розташування гідравлічного екскаватора відносно уступу та автосамоскида як критичного фактора впливу на загальну тривалість робочого циклу та продуктивність екскаватора.

Практична значимість. Результати проведеного дослідження та виявлені обмеження існуючих проєктних підходів формують необхідне наукове підґрунтя для розробки комплексної методики обґрунтування параметрів вибою роботи гідравлічних екскаваторів, яка оптимізує роботу та підвищить продуктивність гірничотранспортного комплексу.

Ключові слова: гідравлічний екскаватор, параметри вибою, кінематика копання, ширина робочого майданчика, висота уступу.

Вступ. Сучасний етап розвитку гірничодобувної промисловості характеризується постійним ускладненням гірничо-геологічних умов відпрацювання родовищ та об'єктивною необхідністю інтенсифікації видобувних процесів. Це зумовлює стійку тенденцію до технічного переоснащення кар'єрів і масового переходу від традиційних канатних механічних лопат до сучасних потужних гідравлічних екскаваторів. Попри активне впровадження гідравлічних виймальних комплексів на провідних підприємствах України, теоретична база щодо обґрунтування раціональних параметрів їхньої робочої зони суттєво відстає від темпів оновлення парку техніки. Аналіз останніх досліджень і публікацій, зокрема праць [1–4], свідчить, що існуючі підходи до обґрунтування параметрів вибою гідравлічних екскаваторів є концептуально недосконалими. Більшість методик спирається на спрощені статично-геометричні моделі та на економічні критерії оптимізації, не розглядаючи динаміку зміни продуктивності обладнання від місця його розташування. Тому актуальною задачею є розробка комплексної методики обґрунтування параметрів вибою екскаватора, яка розглядає процес екскавації як тісну просторово-кінематичну взаємодію в системі «екскаватор – автосамоскид».

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Метою статті є дослідження сучасного стану використання гідравлічних екскаваторів на кар'єрах, комплексний аналіз їхніх конструктивно-технологічних особливостей та застосовуваних схем роботи для виявлення системних недоліків в існуючих підходах до обґрунтування технологічних параметрів вибою. Вирішення цього завдання дозволить сформулювати базові наукові передумови для подальшої розробки комплексної аналітичної методики просторової оптимізації роботи гірничо-транспортного обладнання.

1. Характеристика конструктивно-технологічних особливостей сучасних гідравлічних екскаваторів.

Тенденція розвитку гірничих робіт характеризується інтенсивним заміщенням канатних електричних екскаваторів гідравлічними екскаваторами. Згідно зі статистичними даними світового ринку продажу гірничої техніки, станом на кінець 2023 року цей процес набув незворотного характеру. Застосування гідравлічних екскаваторів досягло 11 % від загальної світової гірничої техніки (близько 6 700 одиниць), тоді як частка застосування канатних механічних лопат скоротилася до вузькоспеціалізованих 1,5 % (близько 1 900 одиниць) [1] (рис.1).



Рис.1. Структура світового парку виймально-навантажувального обладнання

Динаміка ринку (рис. 2) свідчить про глибоку стагнацію сегменту канатних машин після історичного піку 2012 року: наприклад, за весь другий квартал 2024 року у світі було продано лише 7 одиниць канатних лопат, тоді як продажі гідравлічних екскаваторів продовжують зростати [5].

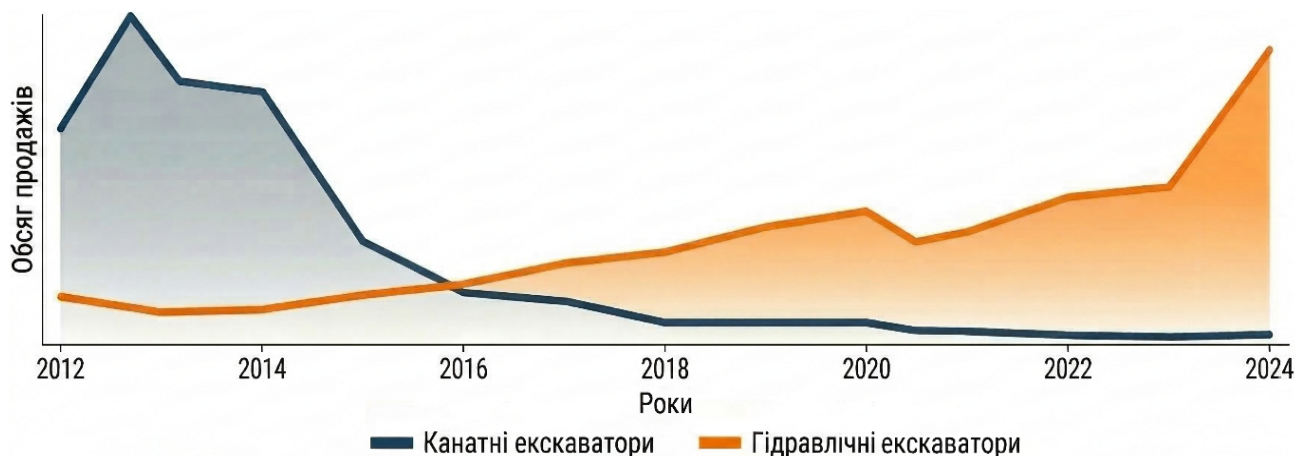


Рис. 2. Динаміка глобального ринку продажу екскаваторів

Такий зсув зумовлений глибокими відмінностями в техніко-економічних показниках застосування гірничої техніки. Виявлено, що канатний електричний екскаватор важить майже вдвічі більше за гідравлічний аналог при однаковому об'ємі ковша, і при цьому споживає на 37 % більше енергії при ідентичному навантаженні [5]. Крім того, колосальні капітальні витрати (CapEx) на канатну машину на рівні \$15–20 млн роблять її окупність високоризиковою.

Попри меншу масу, для базових кар'єрних машин 5-ї (32–50 т) та 6-ї (50–71 т) розмірних груп [6] експлуатаційна маса виступає функціональним параметром стабілізації: вона генерує необхідний утримуючий момент проти перекидання для реалізації максимальних зусиль копання у підірваній гірничій масі.

Аналіз конструктивних особливостей свідчить про експлуатаційну пріоритетність використання моноблочної стріли коробчастого перерізу [6], яка гарантує максимальну просторову жорсткість системи під час екстремальних навантажень.

Наявність жорсткого кінематичного зв'язку між елементами робочого обладнання дозволяє оператору активно змінювати кут різання безпосередньо в процесі черпання [8]. Як результат, машина здатна адаптуватися до мінливої міцності масиву, ефективно обходити негабарити та виконувати селективне виймання з точним відокремленням корисної копалини від пустої породи безпосередньо у вибої.

Залежно від конфігурації уступів та технологічних завдань формується структурна пропорція обладнання: майже 90 % виготовлених машин оснащуються зворотною лопатою. На противагу цьому, основні гірничі екскаватори з об'ємом ковша понад 5–6 м³ переважно комплектуються прямою лопатою, кінематична схема якої (рис. 3) генерує значно більше зусилля черпання при розробці масиву вище рівня стояння [9].

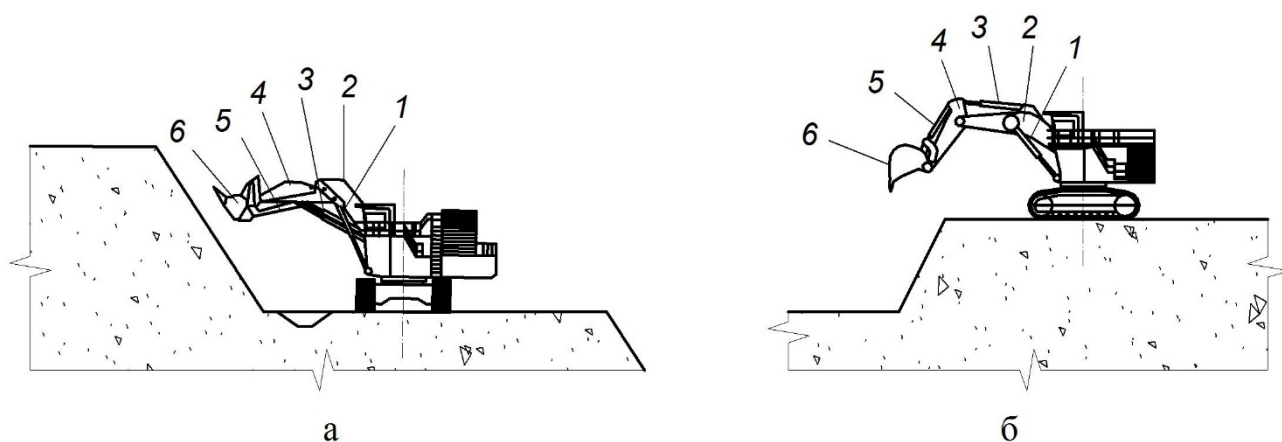


Рис. 3. Основні види робочого обладнання одноківшевих гідравлічних екскаваторів: а, б – «пряма» та «зворотна» лопати відповідно;

1 – гідроциліндри піднімання та опускання стріли; 2 – стріла; 3, 5 – гідроциліндри повороту відповідно рукоятки і ковша; 4 – рукоятка; 6 – ківш

Оцінюючи надійність системи, слід відзначити, що перехід від одномоторної схеми до індивідуального гідроприводу докорінно змінив рівень захисту обладнання [6]. Встановлено, що під час стопорних режимів (упору в нездоланну перешкоду) запобіжні клапани автоматично перепускають рідину в зливну магістраль, миттєво знімаючи пікові динамічні навантаження з металоконструкцій. Крім того, незалежний гідропривід кожного гусеничного візка реалізує кінематичну функцію контр-обертання (розвертання навколо власної осі на місці), що є критично необхідним критерієм маневреності під час подачі автосамоскидів за тупиковою схемою в обмежених умовах глибоких кар'єрів.

2. Практика застосування гідравлічних екскаваторів при видобутку корисних копалин на підприємствах України

Досвід провідних гірничодобувних підприємств України доводить, що системне впровадження гідравлічних екскаваторів продиктоване різними стратегічними цілями: від цілеспрямованого укрупнення одиничної потужності на залізрудних гігантах до комплексної уніфікації парку та переходу на безвибухове вторинне дроблення на кар'єрах з видобутку нерудних матеріалів.

Аналіз експлуатаційних показників залізрудних підприємств, зокрема ПрАТ «Полтавський ГЗК» та ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (АМКР), свідчить про стійку тенденцію до формування парку машин надвисокої одиничної потужності. Стратегічним вектором розвитку в умовах інтенсивного видобутку є масштабування техніки, де заміна гідравлічних екскаваторів середнього класу на масивніші аналоги дозволяє не лише скоротити загальну кількість екскаваторів, але й суттєво оптимізувати логістику великовантажних автосамоскидів [1]. Зменшення кількості необхідних циклів черпання для заповнення кузова безпосередньо впливає на швидкість обміну транспорту, що у підсумку забезпечую зниження експлуатаційної собівартості кожної видобутої тони руди. Водночас, для умов колосального вантажообігу АМКР критичним критерієм вибору обладнання виступає коефіцієнт технічної готовності. На прикладі машин надвисокої одиничної потужності класу Komatsu PC3000 (рис. 4) доведено, що гарантований

ресурс безвідмовної роботи на рівні 6000 мотогодин є фундаментальною вимогою для підтримки безперервного виробничого циклу [10], оскільки такий показник надійності практично повністю нівелює ризики аварійних простоїв, які були хронічною проблемою зношених механічних лопат.



Рис. 4. Гідравлічний екскаватор класу надвисокої одиничної потужності (Komatsu PC3000) в умовах залізорудного кар'єру

На противагу залізорудному сегменту, в секторі розробки нерудних матеріалів формується інша стратегія експлуатації. Дослідження виробничої практики Промислово-будівельної групи «Ковальська» виявляє цілеспрямовану відмову від використання фізично застарілої чи орендованої техніки на користь розбудови власної уніфікованої виробничої бази. Системне впровадження високопродуктивних екскаваторів (зокрема, класу Volvo EC750DL) (рис. 5) для розробки складних скельних гранітних масивів розглядається як інструмент забезпечення стабільності всього ланцюга постачання «кар'єр — переробний завод» [10]. Збалансована диференціація уніфікованого парку машин дозволяє підприємству гнучко перерозподіляти навантаження між вибоями та складами залежно від міцності сировини [10], водночас оптимізуючи сукупні витрати на сервісне обслуговування.



Рис. 5. Робота гідравлічного екскаватора (Volvo EC750DL) у скельному вибої гранітного кар'єру

Важливою технологічною перевагою сучасних виймальних комплексів є реалізація принципу багатофункціональності через їхню інтеграцію зі змінними гідромолотами. Аналіз передового досвіду ТОВ «Жежелівський кар'єр» [11] та кар'єрів групи «Ковальська» (зокрема Розвадівського) [10] свідчить, що таке технологічне поєднання суттєво оптимізує робочий процес. Доведено, що застосування гідромолотів на базі екскаваторів перетворює стандартну навантажувальну машину на мобільний інтегрований комплекс, здатний здійснювати високоточну селективну підготовку цінного блочного каменю та оперативне вторинне дроблення негабариту безпосередньо у вибої. Як наслідок, підприємства отримують можливість відмовитися від руйнування негабаритів накладними зарядами вибухівки. Це ліквідує локальні простой кар'єру, пов'язані з вторинними буровибуховими роботами, та запобігає утворенню мікротріщин у товарному камені, зберігаючи його фізико-механічні властивості.

3. Аналіз технологічних схем ведення виймально-навантажувальних робіт

Ефективність функціонування сучасних гідравлічних комплексів в умовах кар'єрного простору визначається не лише їхніми номінальними силовими характеристиками, а насамперед здатністю оптимізувати просторові параметри вибою, мінімізувати кути повороту платформи та синхронізувати роботу виймального і транспортного обладнання в умовах просторових обмежень. Порівняльний аналіз технологічних схем роботи екскаватора при різному розташуванні його у вибої (рис. 6) доводить суттєву відмінність кінематичних можливостей залежно від рівня стояння машини.

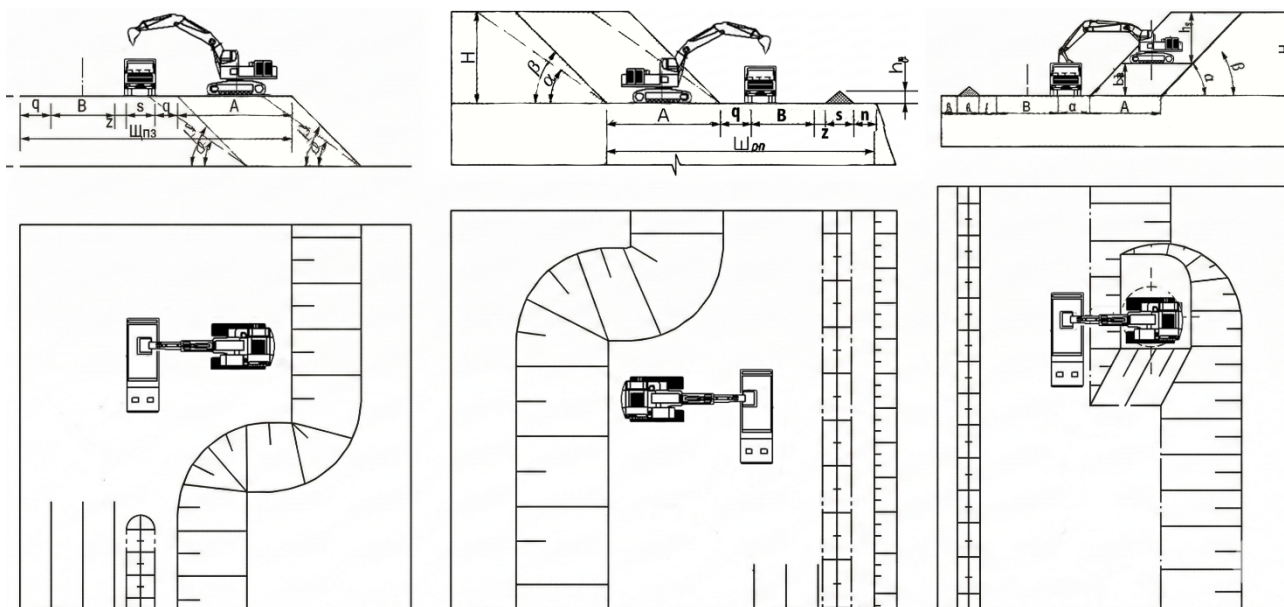


Рис. 6. Технологічні схеми роботи гідравлічних екскаваторів:
нижнє, верхнє та комбіноване черпання

В роботі [2] встановлено, що застосування схеми верхнього черпання, за якої екскаватор розташовується на підшві уступу, дозволяє максимально повно використати кінематичний потенціал стріли та рукояті, забезпечуючи більшу висоту відпрацювання шару до 8,5–10 м. На противагу цьому, схема нижнього черпання, де базове шасі знаходиться на покрівлі уступу, накладає обмеження на ви-

соту вибою, проте залишається пріоритетною для умов, що вимагають високої точної селективної виїмки. Виявлено, що саме нижнє черпання забезпечує візуальний контроль підосви та її якісну зачистку, що дозволяє суттєво знизити рівень експлуатаційних втрат корисних копалин з 10–19 % до 8–12 % [12].

У випадках, коли параметри гірського масиву перевищують граничні кінематичні характеристики обладнання, критичним фактором інтенсифікації робіт виступає впровадження технології поділу уступу на підступи (sub-bench mining) [12]. Застосування підступів дозволяє гнучко розподіляти робочі зони між потужним та допоміжним обладнанням або здійснювати послідовне відпрацювання одним екскаватором з проміжних майданчиків [2].

При цьому фундаментальне значення має оптимізація кута повороту платформи екскаватора, який має критичну математичну залежність із загальною продуктивністю комплексу. Аналітичні розрахунки засвідчують, що збільшення кута розвантаження з 30° до 180° призводить до неминучого зниження технічної продуктивності гідравлічного екскаватора у два рази [12] (рис. 7). З огляду на це, зміна співвідношення висот підступів розглядається як ефективний інструмент керування кінематичною траєкторією ківша. Доведено, що оптимізація висоти підступів дозволяє мінімізувати тривалість робочого циклу саме за рахунок скорочення часу на маневрові повороти платформи [2].

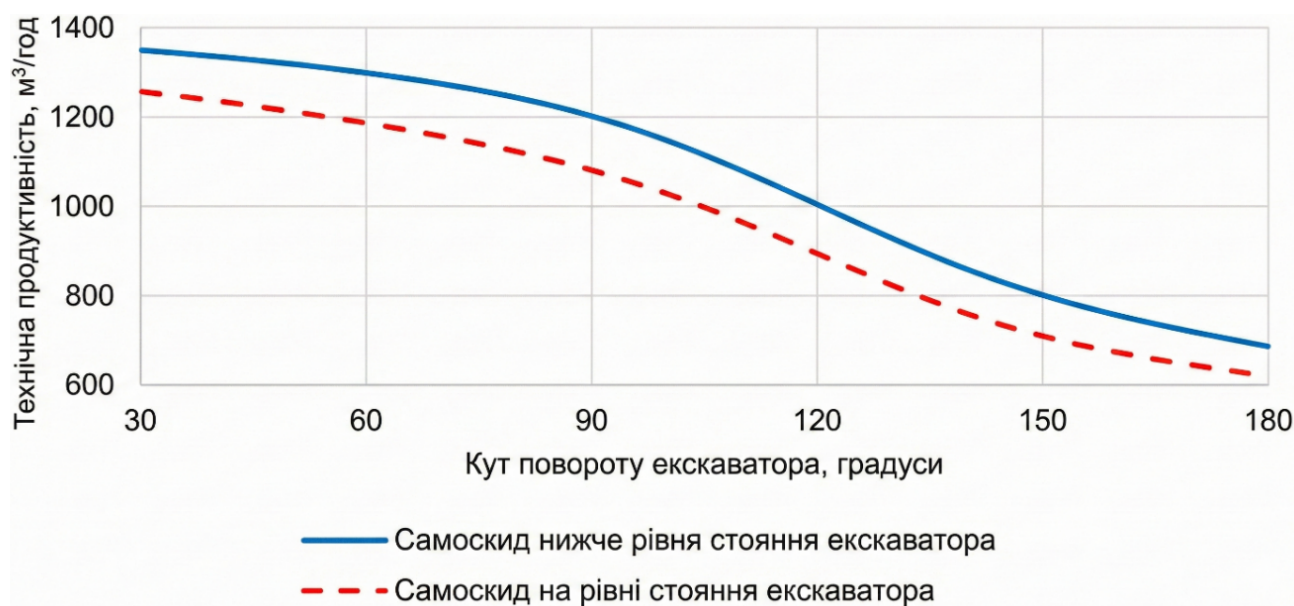


Рис. 7. Графік залежності технічної продуктивності екскаватора від кута повороту платформи при розвантаженні [12]

Водночас ефективність реалізації оптимізованих геометричних параметрів вибою знаходиться у прямій залежності від логістичної організації кар'єрного транспорту. Хронометражний аналіз операцій обміну автосамоскидів виявляє колосальні втрати робочого часу при застосуванні традиційної тупикової схеми подачі, де маневрування заднім ходом займає до 50–60 с [13, 14]. Впровадження наскрізної (петльової) схеми руху дозволяє різко скоротити цей показник до 10–15 с, забезпечуючи умови для безперервного потокового методу навантаження. Однак реалізація інтенсивних схем подачі транспорту часто ускладнюється фактором обмеженої оглядовості, що є специфічною проблемою при реалізації схем із

верхнім навантаженням [16]. Розташування кузова великовантажного самоскида на рівні або вище рівня кабіни екскаватора формує масштабну «мертву зону», яка перекриває машиністу візуальний доступ і ускладнює контроль за позиціонуванням ківша та рівномірністю заповнення кузова. Вирішення цієї проблеми вимагає жорсткої апаратної модернізації машин через інтеграцію додаткових систем відеомоніторингу для запобігання пошкодженню бортів транспортних засобів.

Підсумовуючи наведені технологічні аспекти, слід зазначити, що головним фактором, який обмежує потенціал гідравлічних комплексів, є ширина робочого майданчика. Забезпечення безпечного під'їзду та організації наскрізних або швидкісних тупикових схем вимагає формування розширеної зони маневру, яка на прикладі розрахунків для Крюківського родовища, становить не менше 13–15 метрів [2]. Ця об'єктивна просторова вимога робить неможливим механічне перенесення старих технологічних параметрів уступів на нову техніку. Застосування великогабаритних гідравлічних машин вимагає перегляду паспортів робочих майданчиків вибоїв, що неминуче тягне за собою перерахунок кутів укосу робочого борту кар'єру та обсягів супутніх розкривних робіт для створення збалансованого і безпечного експлуатаційного середовища.

4. Аналіз сучасних напрямів та підходів до обґрунтування технологічних параметрів вибою

Критичний аналіз існуючих методик свідчить, що сучасні підходи до обґрунтування параметрів вибою для гідравлічних екскаваторів є концептуально недоконалими та розрізненими. Більшість із них спирається на спрощені статично-геометричні або суто економічні моделі, які не здатні повною мірою описати технологічний процес. Зокрема, у проектній практиці поширеною є адаптація класичних нормативів, розроблених для механічних лопат, до характеристик новітньої гідравлічної техніки шляхом встановлення прямої лінійної залежності ширини заходки та висоти уступу від паспортних радіусів черпання машини [2]. Суттєвим недоліком цього підходу є те, що він розглядає робочу зону екскаватора виключно як статичне геометричне середовище, повністю ігноруючи динаміку зміни продуктивності обладнання в різних точках його просторової досяжності. Водночас на гірничих підприємствах часто застосовується проектування «від зворотного», коли вихідною точкою розрахунків виступає планова виробнича потужність та фізичні габарити обраного великотоннажного комплексу [1]. У такому разі геометричні розміри робочих майданчиків розраховуються лише як мінімально необхідні для безпечного розміщення та маневрування техніки. Цей метод беззаперечно гарантує дотримання безпекових відстаней, проте зовсім не оптимізує час циклу навантаження, оскільки кінематичний потенціал екскаватора в процесі черпання залишається поза увагою дослідників.

На противагу статично-геометричним моделям, інший вектор досліджень фокусується виключно на оптимізації макроекономічних показників відпрацювання гірського масиву. У цьому напрямі виділяється концепція переходу до застосування змінної висоти уступу, яка базується на критеріях жорсткої мінімізації поточних витрат на виймання одиниці гірничої маси [3]. Теоретично доведено, що цілеспрямоване збільшення висоти уступу дозволяє підвищити результуючий кут укосу робочого борту кар'єру, що має генерувати колосальний економічний ефект за рахунок

суттєвого скорочення загальних обсягів розкривних порід. Однак недоліком цього підходу є відсутності відповідного математичного апарату, який би об'єктивно пов'язував цю теоретично виведену «економічну» висоту з реальною кінематикою та силовими можливостями робочого органу гідравлічного екскаватора. Економічні моделі розглядають уступ як абстрактний об'єм породи, невраховуючи технологічних складнощів розробки високих вибоїв та неминучі втрат часу на складні маневрові рухи стріли під час відпрацювання верхніх шарів масиву.

Синтезуючи недоліки існуючих методик, слід констатувати наявність системного розриву в теорії проектування виймально-навантажувальних робіт. Головна суперечність зводиться до того, що жоден із наведених підходів не розглядає процес екскавації як комплексну просторову взаємодію. Існуючі моделі не враховують вплив просторового розташування екскаватора відносно укосу уступу та змінного положення автосамоскида як ключового фактора просторово-кінематичної динаміки. Відсутність інтеграції цих геометричних параметрів унеможливорює точне моделювання траєкторії ковша та прогнозування фактичної тривалості циклу екскавації.

Отже, актуальним науковим завданням є розробка комплексної аналітичної методики, яка повинна математично пов'язати базові технологічні параметри вибою (висоту уступу, ширину заходки, конфігурацію робочого майданчика) з динамікою просторової взаємодії гірничо-транспортного комплексу «екскаватор – автосамоскид». Такий синергетичний підхід дозволить керувати кінематикою копання, оптимізувати траєкторії руху робочих органів для мінімізації часу циклу і, як наслідок, забезпечити максимальну продуктивність гірничого обладнання в умовах конкретних просторових обмежень кар'єру.

Висновки. На основі проведеного аналітичного дослідження сучасного стану використання гідравлічних екскаваторів можна зробити наступні висновки:

1. Встановлено, що перехід на гідрооб'ємний привід є фундаментальним технологічним рішенням, яке не лише знижує загальну металомісткість майже вдвічі та зменшує енергоспоживання на 37 %, але й дозволяє здійснювати високоточне селективне виймання та ефективно долати пікові навантаження завдяки індивідуальному захисту механізмів.

2. Проведений аналіз практики застосування гідравлічних екскаваторів на вітчизняних підприємствах довів високу ефективність їх використання. Це повністю підтверджує світовий тренд, де гідравлічні екскаватори зайняли 11 % гірничої техніки для видобутку корисних копалин.

3. Доведено, що місце розташування екскаватора у вибої має критичний вплив на тривалість робочого циклу. Збільшення кута розвантаження до 180° знижує технічну продуктивність екскаватора удвічі, а забезпечення наскрізної логістичної схеми під'їзду автосамоскидів потребує розширення робочого майданчика мінімум до 13–15 метрів.

4. Виявлено значний недолік в існуючих методиках проектування параметрів вибою – ігнорування просторового розташування екскаватора відносно уступу та самоскида як змінного динамічного фактора.

Актуальною задачею подальших досліджень є розробка синергетичної математичної моделі, яка дозволить мінімізувати час циклу та максимізувати продуктивність гірничо-транспортного комплексу в конкретних просторових обмеженнях кар'єру.

Перелік посилань

1. Hekmat, A., Anani, A., Medina, J., & Shademan, M. (2024). Bench height effects on economical parameters at open pit mine. *MassMin 2024: Proceedings of the International Conference & Exhibition on Mass Mining*, 1444–1460. https://doi.org/10.36487/acg_repo/2435_p-02
2. Mnzool, M., Almujiabah, H., Bakri, M., Gaafar, A., Elhassan, A. A. M., & Gomaa, E. (2024). Optimization of cycle time for loading and hauling trucks in open-pit mining. *Mining of Mineral Deposits*, 18(1), 18–26. <https://doi.org/10.33271/mining18.01.018>.
3. Житков, Д., Луценко, С. О., & Григор'єв, Ю. І. (2021). Аналіз сучасних методів обґрунтування висоти уступу в умовах відкритої розробки родовищ корисних копалин. У *Тези VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів»* (с. 31–33). Житомирська політехніка.
4. Antoshchenko, M., et al. (2024). Establishing the influence of the excavator standard sizes on the kaolin pit mining system parameters. *E3S Web of Conferences*, 526, Article 01019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452601019>.
5. Tereshko, D., Temchenko, O., Siedniev, P., & Bahashova, N. (2025). Peculiarities of application of lifting and loading equipment in changing conditions of mining production. *Economics and Technical Engineering. Economics and Technical Engineering*, 3(1), 106–119. <https://doi.org/10.62911/ete.2025.03.01.10>
6. Пристайло, М., Марчук, К. (2019). Інноваційні шляхи вдосконалення будівельної техніки з огляду на потреби сучасної будівельної індустрії. *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини*, (94). <https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.94.0301>
7. Світлий, Ю. Г., & Білецький, В. С. (2009). *Гідравлічний транспорт [Монографія]*. Східний видавничий дім; Донецьке відділення НТШ; Редакція гірничої енциклопедії.
8. Бондаренко, А. О. (2017). *Гірничі машини для відкритих гірничих робіт*. Національний гірничий університет.
9. Tytiuk, V., Khandakji, K., Sivyakova, G., Karabut, N., Chorny, O., & Busher, V. (2021). Determining the parameters of the trajectory of the bucket of mining quarries excavators. *E3S Web of Conferences*, 280, Article 05013. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128005013>
10. Шлапак, В. О., Криворучко, А. О., Куницька, М. С., & Шишко, С. М. (2025). Сучасні підходи до оптимізації взаємодії екскаваторів і кар'єрних самоскидів на сучасних щебеневих кар'єрах. *Технічна інженерія*, 2(96), 358–366. [https://doi.org/10.26642/ten-2025-2\(96\)-358-366](https://doi.org/10.26642/ten-2025-2(96)-358-366)
11. Кравець, В. Г., Шукюров, А., Вахрушев, К. Ю., Панасюк, А. В., & Барановський, А. Ю. (2017). Оцінка ефективності руйнування гідромолотом негабаритів природного каменю. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*, 2(80), 166–172. [https://doi.org/10.26642/tn-2017-2\(80\)-166-172](https://doi.org/10.26642/tn-2017-2(80)-166-172)
12. Фролов, О.О., & Бельтек, М.І. (2021). Вплив місця розміщення гідравлічного екскаватора зі зворотною лопатою у вибої на ефективність виймання гірничої маси. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*, 3(128), 70–75. <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2021.3.70-75>
13. Bettens, S. P., Siegrist, P., & McAree, P. (2022). How do operators and environment conditions influence the productivity of a large mining excavator. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*, 13(1), 18–35. <https://doi.org/10.1504/IJMME.2022.124143>
14. Slobodyanyuk, V. K., & Turchin, Y. Y. (2017). Rational use of hydraulic excavators in iron ore pits. *Journal of Mining and Geological Sciences*, 60(II), 21–26.

15. Собко, Б. Ю., & Чебанов, М. О. (2023). *Комплекси гірничого обладнання «драглайн-авто-самоскид» [Монографія].* Журфонд.
16. Дриженко, А. Ю. (2011). *Кар'єрні технологічні гірничотранспортні системи [Монографія].* НГУ.
17. Кононович, О. С., & Косенко, Т. В. (2020). Технологічні схеми відробки уступів м'яких порід на кар'єрах. У *Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики: Матеріали III міжнародної науково-технічної конференції* (Вип. 3, с. 50–54). КПІ ім. Ігоря Сікорського.
18. Pan, W. (2025). A simulation study on strength and fatigue analysis of hydraulic excavator buckets. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 11, 1591320. <https://doi.org/10.3389/fmech.2025.1591320>

ABSTRACT

Purpose. To comprehensively investigate the current state of hydraulic excavator application in surface mining and analyze existing digging schemes to identify systemic flaws in modern methods of substantiating rational technological parameters of the working face.

Methodology. To achieve the goal, a comprehensive methodological approach was applied, combining methods of scientific synthesis and generalization of advanced industrial experience from mining enterprises, a comparative analysis of kinematic characteristics and spatial positioning of extraction equipment, and the study of spatial-kinematic schemes of working zones.

Findings. It has been established that the mass transition from traditional rope shovels to hydraulic machines has become a global, irreversible trend: today, the share of hydraulic excavators in the global fleet has reached 11%, while that of rope shovels has dropped to 1.5%. It was determined that excavator efficiency depends on the technological scheme of operation: top loading maximizes the bench height to 8.5–10 m, while bottom loading reduces mineral losses to 8–12%. Increasing the excavator's swing angle to 180° causes a twofold drop in productivity, and the implementation of dead-end logistics schemes requires expanding the working bench width to 13–15 meters.

Originality. For the first time, flaws in modern methodologies for designing the working face parameters of hydraulic excavators are systematized. It has been proven that existing static-geometric models and economic approaches ignore the dynamics of digging and dumping processes. A new scientific problem is formulated, consisting in substantiating the variable spatial positioning of a hydraulic excavator relative to the bench and haul truck as a critical factor influencing the total cycle time and excavator productivity.

Practical significance. The research results and identified limitations of existing design approaches form the necessary scientific foundation for developing a comprehensive methodology for substantiating the working face parameters of hydraulic excavators, which will optimize operations and increase the productivity of the mining and transport complex.

Keywords: *hydraulic excavator, working face parameters, digging kinematics, working bench width, bench height.*

дата першого надходження статті до видання	10.04.2026
дата прийняття до друку статті після рецензування	20.05.2026
дата публікації (оприлюднення)	30.06.2026