

УДК 621.87

№ держреєстрації **0121U113691**

Товариство з обмеженою відповідальністю
«ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
69008, м. Запоріжжя вул. Південне шосе 80

ЗАТВЕРДЖУЮ
проректор з науково-дослідної роботи
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Кухар В.В.

«_29_»__06_____2022 р

М.П.



ЗВІТ

ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ

«Дослідження тенденцій розвитку і взаємозв'язку технологічних схем і параметрів гірничо-видобувного обладнання для видобутку корисних копалин відкритим способом»
(остаточний)

Науковий керівник, канд. техн. наук, доцент

Крупко І.В.

2022

Рукопис закінчено «_28_»__06_____2022 р.

Результати роботи розглянуто Науково-технічною радою
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»,
протокол № 1 від «29» червня 2022 р.

СПИСОК АВТОРІВ ЗВІТУ ПРО НДР

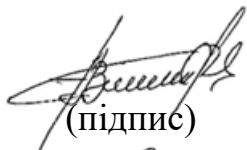
Керівник НДР, посада,
к.т.н., доцент



І.В. Крупко
(вступ, розділ 2)

(підпис)

Відповідальний
виконавець, посада,
к.т.н., доцент



Е.В. Фесенко
(реферат, розділ 1)

(підпис)

Виконавець, посада,
к.т.н., доцент



А.І. Новак
(висновки)

(підпис)

Виконавець, посада,
к.т.н., доцент



Є.Є. Павлов
(розділ 3)

(підпис)

РЕФЕРАТ

ЗВІТ про НДР: 25 с., 9 джерел.

Ключові слова: КОРИСНА КОПАЛИНА, ЕКСКАВАТОР, ПРОДУКТИВНІСТЬ, ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОЧТІ ГРУНТІВ, КОВШ, ЕКСКАВАТОР, КОМПЛЕКСНА МЕХАНІЗАЦІЯ

Об'єкт дослідження — процеси видобутку корисних копалин відкритим способом за різних гірничо-технічних умов.

Мета роботи — прогнозування основних напрямків підвищення ефективності роботи гірничо-видобувного і транспортного обладнання на основі урахування процесів взаємодії його з конкретними гірничо-технічними умовами кар'єрів.

Предмет дослідження: конструктивні параметри гірничо-транспортних машин і обладнання і їх взаємозв'язок в існуючих технологічних схемах.

Результати та їх новизна – новизна роботи захищена патентом України «Крокуючий рушій для потужних технологічних машин». Заявка № u 2022 00437 від 03.02.2022. По матеріалам НДР опублікована стаття: Krupko I., Yermakova S. Main directions of improvement of methods of calculation of loads on carrying and propelling devices of lifting and transport and excavating machines. Sciences of Europe. Praha, Czech Republic. - VOL 1, No 65 (2021). – p. 32 – 38. ISSN 3162-2364. DOI: 10.24412/3162-2364-2021-65-1-32-38.

Основні конструктивні, технологічні й техніко-експлуатаційні характеристики – викладені у звіті

Інформація щодо впровадження – методика планування комплектів технологічного обладнання кар'єрів з урахуванням умов роботи машин, планується впровадити на кар'єрах ТОВ «Метінвестхолдінга».

Взаємозв'язок з іншими роботами: підвищення продуктивності комплектів обладнання на кар'єрах.

Рекомендації щодо використання: планується використовувати при роботах з видобутку, транспортуванні, переробці корисних копалин.

Сфера застосування: кар'єри по видобутку корисних копалин.

Економічна та соціально-економічна ефективність роботи: підвищення ефективності роботи гірничо-видобувного і транспортного обладнання кар'єрів.

Значимість роботи: робота корисна та має практичну цінність.

Висновки, пропозиції щодо розвитку об'єкта дослідження й доцільності продовження досліджень: рекомендувати результати науково-дослідної роботи використовувати при складанні схем комплексної механізації на кар'єрах ТОВ «Метінвестхолдінга».

Умови одержання ЗВІТУ: за договором.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 Аналіз технологічних схем видобутку корисних копалин та обґрунтування їх параметрів в комплекті гірничо-видобувного та транспортного обладнання	6
2 Основні тенденції і напрямки підвищення ефективності схем комплексної механізації	10
3 Обґрунтування основних напрямків підвищення ефективності процесів видобутку корисних копалин за рахунок конструкцій і параметрів гірничо-видобувного і транспортного обладнання	16
ВИСНОВКИ.....	23
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	25

ВСТУП

Процеси видобутку корисних копалин відкритим способом на гірничих підприємствах в значній мірі залежать від обґрунтованого вибору технологічних схем які повинні базуватись на взаємозв'язку гірничо-технічних умов залягання корисних копалин; структурно-міцностних параметрах та фізико-механічних характеристик гірничих порід і схемами комплексної механізації гірничо-розвантажувальних і транспортно-складських робіт.

Удосконалення існуючих схем комплексної механізації можливе за умов більш тісної ув'язки технології виймально-розвантажувальних робіт з конструктивними параметрами машин, що виконують ці роботи, структурно-міцностними параметрами корисних копалин і організаційно-технологічними процесами, які забезпечують ефективну експлуатацію обладнання.

Мета роботи: прогнозування основних напрямків підвищення ефективності роботи гірничо-видобувного і транспортного обладнання на основі урахування процесів взаємодії його з конкретними гірничо-технічними умовами кар'єрів.

Для виконання поставленої мети необхідно вирішити наступні науково-технічні завдання:

- дати характеристику технологічних схем, гірничо-технічних умов та основних напрямків розвитку конкретних підприємств по видобутку корисних копалин відкритим способом;

- провести аналіз технологічних схем і дослідити взаємозв'язок між продуктивністю гірничого обладнання, технологічними схемами та параметрами обладнання;

- розробити методика оцінки ефективності комплектів гірничих машин і обладнання з урахуванням гірничо-технічних умов кар'єрів;

- обґрунтувати доцільність застосування різних технологічних схем і гірничо-видобувного обладнання в залежності від гірничо-технічних умов кар'єрів та структурно-міцностних і фізико-механічних характеристик гірничих порід і корисних копалин.

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ВИДОБУТКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЇХ ПАРАМЕТРІВ В КОМПЛЕКТІ ГІРНИЧО-ВИДОБУВНОГО ТА ТРАНСПОРТНОГО ОБЛАДНАННЯ

Основними технічними напрямками вдосконалення технології відкритих гірничих робіт є підвищення ефективності застосовуваних технологічних схем шляхом комплексної механізації гірничих робіт, розробка та впровадження нових раціональних технологічних схем, переважне використання дешевих вибухових речовин (ВВ) найпростішого складу з регульованою об'ємною концентрацією енергії вибуху, застосування техніки безперервної дії на перспективних родовищах корисних копалин та при розробці порід середньої міцності та міцних; всіляке розширення галузі застосування безтранспортної системи розробки та циклічно-потоквої технологій з використанням основного кар'єрного та спеціально створюваного обладнання, застосування комбінованого транспорту з концентраційними горизонтами. Збільшення обсягів розкривних робіт та ускладнення умов розробки експлуатованих та залучених до експлуатації нових родовищ викликають необхідність переважного застосування транспортної системи розробки. Транспортна система, розробки займатиме домінуюче становище у всіх галузях гірничодобувної промисловості. Так, на залізородних та марганцевих кар'єрах України частка транспортної системи розробки становитиме 75, 98 та 50% відповідно.

На глибоких кар'єрах збільшуються обсяги перевезень такими видами комбінованого транспорту, як автомобільно-залізничний та автомобільно-конвеєрний, які забезпечують покращення техніко-економічних показників розробки. В даний час у всіх галузях гірничодобувної промисловості при розробці скельних порід збільшиться частка циклічно-потоквої технології із застосуванням механічних лопат, автомобільно-конвеєрного транспорту та самохідних забійних дробильних агрегатів. Доведено [1,2,3], що екскаваторний

спосіб універсальний, може застосовуватися при розробці будь-яких гірських порід і тому найбільш широко поширений. При екскаваторному способі відкритої розробки в загальному випадку виконуються такі основні технологічні процеси: 1) підготовка гірських порід до виїмки; 2) виймально-навантажувальні роботи; 3) транспортування гірничої маси із вибоїв на поверхню; 4) відвальні роботи для розкривних порід; 5) складські - для видобутих корисних копалини. Підготовка гірських порід до виїмки полягає головним чином в осушенні уступу при сильній обводненості або розпушуванні, якщо породи напівскельні і скельні. Розпушування порід здійснюється в основному вибуховим способом, і значно рідше механічним або гідравлічним способами. Виїмку, навантаження та транспортування гірських порід здійснюють за допомогою екскаваторів, скреперів, бульдозерів, різних транспортних засобів, а взаємозв'язок процесу видобутку корисних копалин з умовами їх залегання, механічними характеристиками представлені на рис.1.1, із якого видно, що при розробці м'яких гірських порід широко застосовують високопродуктивні багатоковшеві екскаватори в скельних породах одноковшеві екскаватори.

При відкритому способі видобутку разом із рудою доводиться добувати велику кількість порожніх порід, що оточують рудне тіло, і переміщати їх на значну відстань. Процес видалення порожніх порід називають розкривними роботами, а вилучення руди — видобутком. При цьому виділяють такі виробничі операції: відбійку, навантаження, транспортування та відвалоутворення. Основний спосіб відбійки гірських порід полягає в розпушенні порід і корисних копалин, що складається з буріння шпур або свердловин, закладання зарядів вибухових речовин та їх підривання. Шпури діаметром 30-75 мм і глибиною до 5 м бурять перфораторами, електросвердлами та обертально-ударними машинами. Свердловини, що відрізняються від шпурів великими розмірами (глибина понад 5 м, діаметр 50-300 мм), бурять верстатами: ударно-канатними, обертально-ударними, пневмоударними, обертальними та вогневого буріння. На відкритих роботах

для буріння свердловин переважно застосовують самохідні шарошечні верстати
 обертального буріння і верстати вогневого буріння.



Рис. 1.1 – Схема взаємозв'язку гірничо-технічних умов кар'єрів з механічними властивостями ґрунтів і номенклатурою гірничо-видобувного і транспортного обладнання

Аналіз сучасних кар'єрів, і процесів по видобутку корисних копалин показує, що виїмку та навантаження гірських порід у кар'єрах здійснюють однокошовими та багатоковшевими екскаваторами, а транспортування їх до міст переробки (наприклад до дробарок), млинів, чи на збагачувальну фабрику, а порожніх порід у відвали здійснюють різними видами транспорту - автомобільним, рейковим, конвеєрним, гідротранспортом. Відвалоутворення

полягає у розміщенні порожніх порід у спеціально відведених для цього місцях. Залежно від способу транспортування порожніх порід у відвал розрізняють такі системи розробки родовищ відкритим способом; без транспортні, транспортно-відвальні, транспортні та комбіновані. При без транспортній системі переміщення порожніх порід здійснюють драглайном або механічною лопатою у вироблений простір. Вона застосовується зазвичай при відносно невеликій кількості порожніх порід і пологому заляганні пласта.

Таким чином, аналіз підвищення ефективності указаних процесів можливе шляхом удосконалення технологічних схем видобутку, обґрунтованим вибором комплектів гірничо-навантажувального і транспортного обладнання з урахуванням всіх складових процесу видобутку.

2 ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ І НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СХЕМ КОМПЛЕКСНОЇ МЕХАНІЗАЦІЇ

Екскавація гірських порід є однією з головних стадій ланцюжка процесу гірничого виробництва та використовується для виїмки і навантаження гірських порід у транспортні засоби (при перевантаженні руди та розкривних порід на внутрішньокар'єрних перевантажувальних пунктах), а також при залізничному способі відвалоутворення [1,2,3]. В даний час, відповідно до світової практики екскаваторобудування, застосовують такі основні типи екскаваторів:





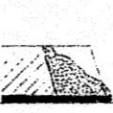






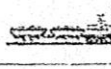





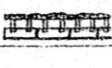

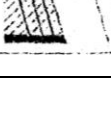




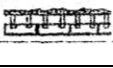

- кар'єрні електричні екскаватори - основний вид виймально-навантажувального обладнання на великих кар'єрах світу;
- гідравлічні - мобільні та автономні машини, що отримали масове поширення у світі на кар'єрах малої та середньої потужності, а також на інших кар'єрах для роботи в специфічних умовах;
- крокуючі (драглайни) - застосовуються в основному для без транспортної технології розробки пухких гірських порід;
- багатоківшеві (роторні, ланцюгові) - екскаватори безперервної дії для розробки потужних пластів пухких гірських порід;
- фронтальні навантажувачі - на основній виїмці використовуються меншою мірою, також застосовуються на складах корисних копалин і допоміжних роботах і можуть поєднувати операції екскавації з транспортуванням на невеликі (до 100 м) відстані.

В залежності від умов залягання корисних копалин, способів їх розпушення, видобутку і транспортування, розроблені схеми комплексної механізації, які включають набір гірничо-видобувного обладнання.

Так з таблиці 2.1 видно, що одноковшеві електромеханічні та гідравлічні екскаватори виконують основний (близько 80 %) обсяг екскаваторних робіт при відкритій розробці родовищ. Основними виробниками та постачальниками кар'єрних електричних екскаваторів для гірничодобувних підприємств світу є Caterpillar (раніше Bucyrus) та P&H Mining Equipment (у складі Joy Global).

Обидві компанії перебувають у США та контролюють світовий ринок. Три інших виробника, Тайюанський завод, розташований в Китаї, ІЗ-КАРТЕКС (раніше відомий як Іжорський завод) і Уралмашзавод (Росія), помітно поступаються за постачанням обладнання лідерам світового ринку і орієнтовані в більшій мірі на внутрішні регіональні гірничодобувні компанії.

Таблиця 2.1 – Види комплексної механізації процесів видобутку корисних копалин

Варіант технологічної схеми	Буріння	Вибух	Екسкавація	Транспортування	Дроблення	Транспортування	Відвалоутворення
I							
II							
III							
IV							
V							

Виїмка м'яких і щільних порід проводиться, як правило, поздовжніми заходками торцевим вибоєм, при якому забезпечуються мінімальний середній кут повороту екскаватора на розвантаження (що часто не перевищує 90 °) і зручні умови для подачі до екскаватора транспортних засобів. Профіль вибою формується відповідно до траєкторії руху ковша і має криволінійну форму з кутом укосу 70-80 °. Екскаватор відпрацьовує забій шляхом послідовного зрізання стружок, товщина яких залежно від властивостей порід та потужності екскаватора змінюється від 0,2 до 1,0 м.

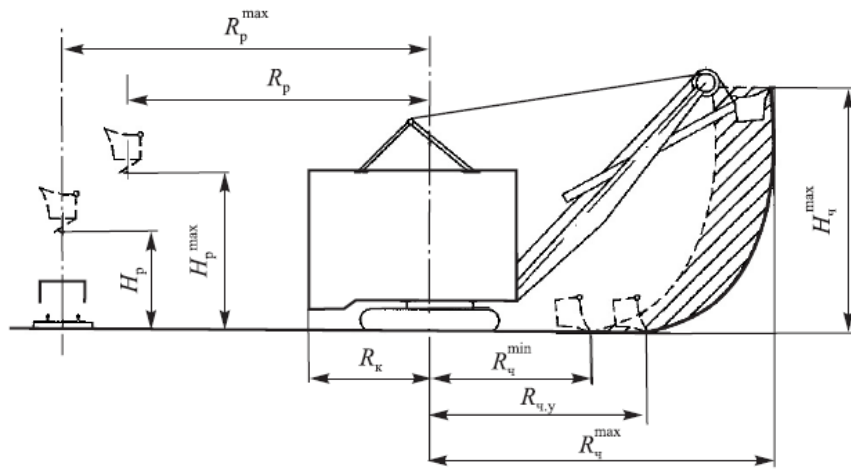


Рис. 2.1 – Робочі параметри екскаватора типу ЕКГ

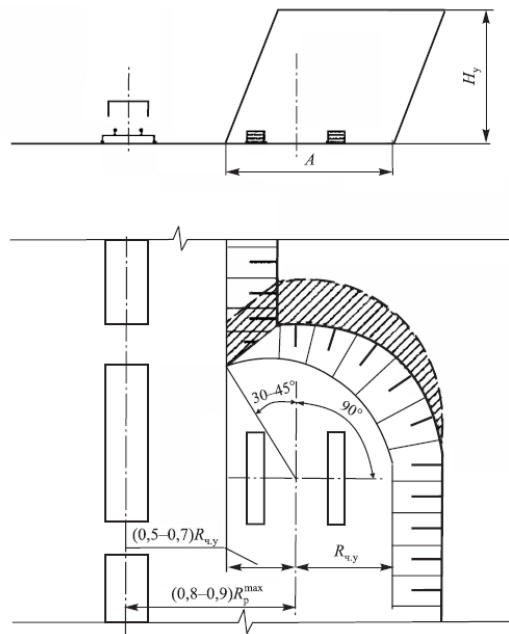


Рис. 2.2 - Схема виїмки м'яких порід із масиву екскаватором типу ЕКГ

З однієї точки стояння екскаватор відпрацьовує забій у глибину на 1-2 стружки, після чого переїжджає на відповідну відстань ближче до вибою. Максимальний обсяг породи, який екскаватор може відвантажити з однієї точки стояння, визначається різницею між радіусом черпання на горизонті установки ($R_{ч,y}$) та мінімальним радіусом черпання (на рис. 2.2 ця зона позначена штрихуванням). Висота уступу та ширина заходки (вибою) - в м'яких породах визначаються, виходячи з робочих параметрів екскаватора.

При завантаженні породи автомобільний транспорт використовують різні схеми подачі автосамоскидів до екскаватора. Автосамоскиди встановлюються зазвичай збоку або за екскаватором з таким розрахунком, щоб забезпечити найменший середній кут повороту екскаватора на розвантаження і скоротити тривалість циклу. За будь-якої схеми має дотримуватися неодмінна умова безпеки: ківш екскаватора при повороті на розвантаження не повинен проходити над кабіною водія автосамоскида. Ширина заходження при автомобільному транспорті може бути нормальною, широкою або вузькою, що забезпечує мінімальний кут повороту на розвантаження екскаватора.

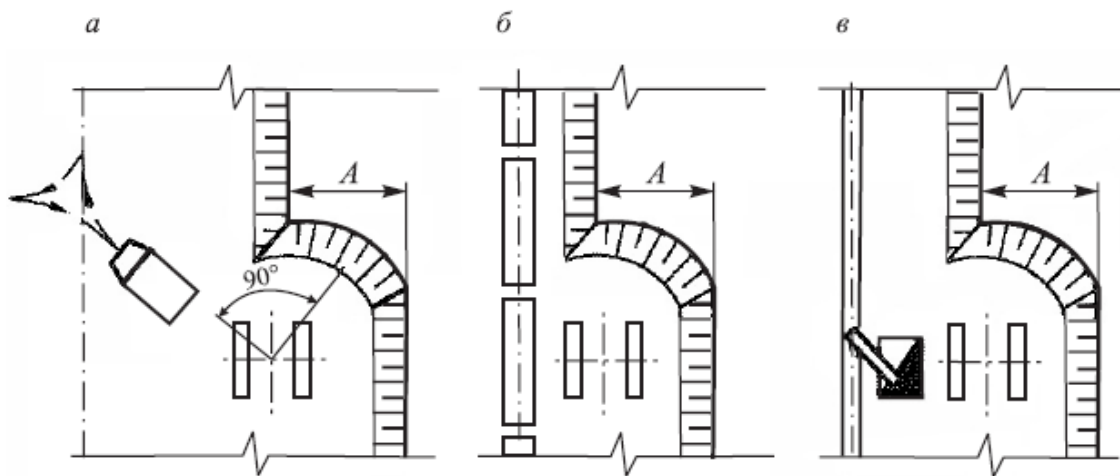


Рис. 2.3 - Схема виїмки м'яких порід із масиву екскаватором ЕКГ з завантаженням в автомобільний транспорт а), залізничний б), конвеєрний в)

При залізничному транспорті залізнична колія укладається вздовж заходки (вздовж укосу уступу) так, щоб відстань між віссю шляху і віссю ходу екскаватора не перевищувала $(0,8—0,9)R_p \max$, що дозволяє уникнути поломки рукояті екскаватора при розвантаження ковша. У цьому виді транспорту екскаватори працюють зазвичай заходками нормальної ширини. Після завершення виїмки заходки залізнична колія переноситься на нову трасу. Крок перенесення шляху дорівнює ширині заходки. А це означає, що чим більша ширина заходки, тим більша кількість породи відвантажується на одне положення шляху і тим меншим буде обсяг шляхоперекладних робіт, що припадають на одиницю об'єму відвантаженої породи.

При конвеєрному транспорті навантаження породи на конвеєр відбувається через бункер-живильник, місткість якого повинна в 1,5-2 і більше разів перевищувати місткість екскаватора ковша. Під час відпрацювання заходки бункер переміщається вздовж фронту гірських робіт за екскаватором.

Після завершення відпрацювання заходки конвеєрна лінія разом з бункером-живильником переміщається на нову трасу на відстань, що дорівнює ширині заходки (аналогічно до залізничної колії). Під час проведення траншей використовують такі схеми роботи механічних лопат. Дані технологічні схеми можна застосовувати при проведенні траншей по наносам, і по корінним породам. Основними параметрами траншейного вибою є: ширина траншеї по низу, її глибина та кути укосу, а також місце розташування екскаватора в траншеї, а основним гірничим обладнанням, що забезпечує процес видобутку корисних копалин при наведених технологічних схемах є комплекти машин, що включають бурові станки, екскаватори, конвеєрний та автомобільний транспорт.

Таким чином, для досить конкретних умов виконання гірничих робіт та існуючих схемах комплексної механізації існує оптимальна комбінація комплексів машин, які забезпечують виконання необхідного об'єма гірничих робіт при мінімальних приведених затратах. Про гірничо експлуатаційні фактори, які підлягають управлінню і залежать від умов гірничого виробництва в тому числі і удосконалення сучасних технологій в залізорудній галузі [3].

Основні питання, які необхідно вирішити для удосконалення видобутку корисних копалин при відкритій технології, слідуючи: оптимізація екскаваторного парку; переносу концентраційного горизонту при застосуванні циклічно-потоквої технології; застосування дробарно-конвеєрних комплексів з крутопохилими конвеєрами (до 45°) або скіпами при доопрацюванні кар'єрів з перевантаженням гірничої маси з автосамоскидів на конвеєрний підйомник через бункер з живильником в основі напівтраншеї – похилої запобіжної берми та пересувного дробарно –перевантажувального устаткування (ПДПУ); застосування у нижній частині на глибинах 400-600 м кар'єрних

автосамоскидів, у тому числі гусеничних, з вантажопідйомністю в декілька разів меншій ніж у верхній частині з метою отримання можливості формування більш похилих укосів з'їздів до 23^0 з урахуванням зменшення ширини робочих площадок, зменшення у два рази ширини берми автомобільного з'їзду та максимального суміщення вузьких транспортних берм з похилими запобіжними бермами без додаткового розносу бортів кар'єру.

Це дозволить збільшити проектну глибину кар'єру або при незмінній проектній глибині, зменшити обсяг виймання розкритих порід і отримати економічний ефект вже при його будівництві за рахунок зменшення кінцевих розмірів кар'єра по поверхні та зниження витрат на транспортування гірничої маси, а відповідно, і на розробку родовища корисних копалин в цілому.

Після завершення відпрацювання заходки конвеєрна лінія разом з бункером-живильником переміщається на нову трасу на відстань, що дорівнює ширині заходки (аналогічно до залізничної колії). Під час проведення траншей використовують такі схеми роботи механічних лопат. Дані технологічні схеми можна застосовувати при проведенні траншей по наносам, і по корінним породам. Основними параметрами траншейного вибою є: ширина траншеї по низу, її глибина та кути укосу, а також місце розташування екскаватора в траншеї.

3 ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ НАПРЯМКІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ ВИДОБУТКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН ЗА РАХУНОК КОНСТРУКЦІЙ І ПАРАМЕТРІВ ГІРНИЧО-ВИДОБУВНОГО І ТРАНСПОРТНОГО ОБЛАДНАННЯ

Ріст обсягів землерийних робіт вимагає створення високопродуктивної мобільної швидкісної землерийної техніки: машин, устаткування, виконавчих механізмів, інструментів, робочих органів. Тому пошук нових фізичних ефектів процесу руйнування ґрунтів, ефективних способів впливу на робітничі середовища та розробка способів інтенсифікації робочих процесів землерийних машин – актуальне завдання для вчених і інженерів.

Одним із основних напрямків підвищення ефективності процесів руйнування ґрунтів, може бути удосконалення конструкцій робочих органів (наприклад форми ковшей) і приводів виконавчих механізмів екскаваторів з метою зниження енергоємності процесів копання, транспортування корисних копалин. Один із напрямків такого удосконалення може бути зміна робочої швидкості буде сприяти прискоренню руйнування ядра ґрунту, а забезпечення руху зі змінною швидкістю дозволить в широкому діапазоні регулювати навантаження і збільшити коефіцієнт наповнення ковша. Це дозволить зменшити енергетичні витрати за рахунок періодичного руйнування «ядра» ґрунту, що знаходиться перед ріжучою кромкою робочого органу, що видно з табл. 3.1.

Використання нових технічних рішень є надзвичайно важливим напрямом підвищення ефективності будь-яких об'єктів техніки, в тому числі і землерийних машин. При використанні нових конструкцій важливо на етапі експлуатації оцінити ефективність можливих конструкційних рішень. Одним з важливих умов отримання такого рішення є розробка і використання для оцінки отриманих варіантів конструкційних рішень теоретично і експериментально

обґрунтованої цільової оптимізації, в якості якої використовують показники, що визначають ефективність роботи проектного об'єкта техніки.

Наведені в табл. 3.1 методи визначення статичного опору ґрунтів руйнуванню формально описують процеси при робочих швидкостях машин, близьких до нуля. Таке припущення справедливе і для швидкостей машин в тих випадках, коли сила опору ґрунту залежно від швидкості входження робочого органу не змінюється або змінюється незначно в даному діапазоні швидкості.

Таблиця 3.1 - Приклади логіко-математичних моделей аналогій і опис у вигляді формул, запропонованих для визначення опорів різанню і копанню ґрунтів

Номер моделі і автор	Вид опору	Форма запису моделі (без опору пересуванню)	Відносна похибка, %	Галузь застосування та обмеження
Домбровський М. Г.	Різання	$P_p = k_p b h$	17-70	Приблизний розрахунок. Наявність досліджених коефіцієнтів
	Копання	$P_k = k_k b h$		
Зеленін А. М.	Різання	$P_p = C \delta h^{1,35} (1 + 2,6b) \cdot (1 + 0,0075\alpha)(1 + 0,03t) \beta \mu$	17-25	Уточнений розрахунок для традиційних робочих органів. Наявність досліджених коефіцієнтів, невідомих для робочих органів нового типу; $v \leq 1,5$ м/с
	Наповнення ковша	$P_{\text{НАП}} = R_{\text{СЖ}} F + 2bH\lambda\gamma_P t g\rho$	17-25	
	Призма волочіння	$P_{\text{ПР}} = V_{\text{ПР}} \gamma_P t g\rho$	17-25	
Ветров Ю. О.	Різання	$P_p = \varphi m_{ca} b h + 2m\delta h^3 + 2m\delta_{cp} h$	6-20	Уточнений розрахунок для традиційних робочих органів. Наявність досліджених коефіцієнтів; $v \leq 1,5$ м/с
	Наповнення ковша	$P_{\text{НАП}} = (1 + ctg\alpha \cdot tg\delta) A_1 b h \cdot \left[\frac{T_p \cdot \sin\rho \cdot \cos^2\rho \cdot H^2}{(1 + \sin\rho + \cos\rho \cdot \cos\alpha) \cdot h} + \gamma_P \cdot H \right]$		
	Призма волочіння	$P_{\text{ПР}} = \gamma_P \cdot b \cdot A_1 \cdot \frac{H_{\text{ПР}}^2}{2} \cdot (\sin\alpha_3 + tg\delta \cdot \cos\alpha_3)$		

Баловнєв В. І.	Різання	$P_p = (1 + ctg\alpha \cdot tg\delta) A_1 \cdot bh \left[\frac{\gamma h}{2} + c_w \cdot ctg\rho \left(1 - \frac{1}{A_1} \right) \right]$	4-25	Оцінка відносної ефективності робочих органів різного типу; при $\rho > \delta$, $v \leq 1,5$ м/с
	Наповнення ковша	$P_{НАП} = (1 + ctg\alpha \cdot tg\delta) A_1 \cdot bh \cdot (\gamma_P \cdot H + \frac{k_{ТР}}{k_{\psi}} \cdot \gamma_P \cdot \cos^2\rho \cdot tg\rho \frac{H^2}{h})$		
	Призма волочіння	$P_{ПР} \cong \gamma_P \cdot \cos^2\rho \cdot \frac{b \cdot H_{ПР}^2}{2}$		

Для слабких ґрунтів ці швидкості не перевищують 1,5 м/с, для міцних - 1 м/с. Нехтування впливом швидкості навантаження, часом протікання процесу і енергією руйнування значно спрощує методику визначення сил опору ґрунтів руйнуванню і може служити досить надійно при дуже малих робочих швидкостях. В дійсності поле деформації в ґрунтовому масиві попереду робочого органу виникає вже при швидкостях менших 1 м/с [4].

Дослідні дані, що показують виникнення поля деформації попереду ріжучої кромки, показані на рис. 3.1, де криві показують значення напружень в ґрунті.

Збільшення робочих швидкостей викликає необхідність враховувати дію (ударну, віброударну, вібраційну) робочих органів на характеристики ґрунтів. До них відносяться динамічний модуль пружності E_δ і динамічний модуль зсуву G_δ , динамічний коефіцієнт Пуассона μ_δ , швидкості поширення поздовжніх $v_{позд}$ і поперечних $v_{поп}$ хвиль деформацій, характеристики опору ґрунтів динамічним навантаженням (динамічні діаграми "напруження - деформація"):

$$\sigma_\delta = f(E_\delta).$$

Як видно з рис. 3.1, вигляд динамічної функції $\sigma_\delta(E_\delta)$ відрізняється від статичної $\sigma_{ст}(E_{ст})$ і залежить від швидкості навантаження.

Швидкість поширення хвиль деформації є одною з основних характеристик середовища, що визначає опір її динамічному руйнуванню. Знаючи швидкість хвиль, можна визначити динамічний модуль пружності і динамічний модуль зсуву:

$$E_d = v_{\text{позд}}^2 \rho (1 + \mu_d)(1 - 2\mu_d)/(1 - \mu_d);$$

$$G_d = v_{\text{позд}}^2 \rho,$$

де ρ - щільність міцного ґрунту, кг/м³; $\mu_d = (0,5 - R_1^2)/(1 - R_1^2)$ – динамічний коефіцієнт Пуассона (R – відношення швидкості поперечної хвилі до швидкості поздовжньої хвилі).

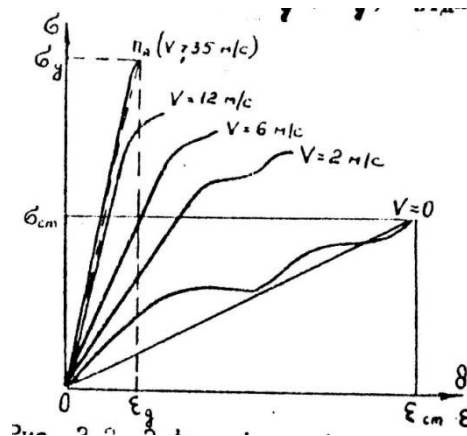


Рис. 3.1 - Зміна міцності ґрунту при збільшенні швидкості навантаження

За швидкістю проходження хвиль деформацій розроблені класифікації ґрунтів за складністю їх розробки землерийними машинами.

Таким чином, вимагається більш точний підхід до описаного процесу руйнування, виходячи з реальних умов роботи машин, тобто з врахуванням швидкості руху машин та їх робочих органів, часу протікання процесу руйнування та енергії, що передається в масив від робочого органу, змін властивостей ґрунтів в процесі навантаження.

З іншого боку в основі пошуку нових та активізації існуючих робочих процесів землерийних машин покладено принципи зростання робочих

швидкостей, створення контактних й безконтактних методів впливу на ґрунти, виявлення нових методів передачі енергії на середовища, що руйнуються.

Збільшення робочих швидкостей машин традиційної дії та створення машин з динамічними робочими органами потребує знання процесів динамічного руйнування ґрунтів, визначення їх фізико-механічних властивостей при різних динамічних впливах, вивчення методик визначення опору середовищ таким впливам з метою оволодіння сучасними методами розрахунку, конструювання й експлуатації високопродуктивних землерийних машин. Збільшення робочих швидкостей призводить до створення умов динамічного руйнування.

В результаті теоретичних і експериментальних досліджень можна зробити наступні важливі практичні висновки:

1) максимальні значення величини K_F спостерігаються не на рівні напірного вала мехлопати, як вважав раніше Н. Г. Домбровський і рекомендував приймати її в якості розрахункової величини [5], а в середній і нижній частинах забою;

2) зіставляти між собою величини K_F необхідно не тільки при однакових параметрах зрізу, але й при положеннях ковша в забої.

3) Проведені дослідження процесу екскавації підірваних порід з різними властивостями, а також класифікація гірських порід дозволили виявити область застосування ківшів збільшеної ємності на підірваних породах. Практика використання екскаваторів ЕКГ-8 з ковшем ємністю 10 м³ на ряді кар'єрів і екскаваторів ЕКГ-12,5 з ковшем ємністю 16 м³ на відвалі показує доцільність такої заміни ковша. Застосування ківшів збільшеної ємності дозволить підвищити продуктивність екскаваторів на 35-40% на підірваних породах I-II категорій ($K_P < 1,2$ кгс/см²) і на 20-25% на породах III-IV категорій ($K_P = 1,2 - 2,8$ кгс/см²).

При роботі екскаватора можна виділити наступні зони руйнування:

I - зона пружних деформацій, що виникають внаслідок утворення ківшем підвищеної напруги в масиві;

II - зона тріщиноутворення, коли виникають мікро- і макротріщини і отримують свій подальший розвиток у вигляді розкривних тріщин по найбільш ослабленим поверхням масиву (фаза малих пластичних деформацій);

III - зона утворення тіл виколу і великих шматків в результаті активного прояву деформацій стиснення, зсуву і відриву в зоні перед ківшем (зона великих пластичних деформацій).

Кожній із зон руйнування відповідають свої площі поширення в масиві, що екскавується.

В однорідному середовищі зона поширення напруг з пружними деформаціями може бути визначена методами теорії пружності [6] і механіки ґрунтів [7] з рішенням завдання прикладання зосередженої сили або смугової навантаження на пружний півпростір.

Використовуючи проведені дослідження Д. Р. Рейхмуса і М. М. Фрохта, може бути побудована картина розподілу нормальних і дотичних напружень в масиві, що екскавується при різних напрямках сили P по відношенню до відкосу вибою α , та й підрозділом кіл напруг на дійсну і уявну (поза уступом) частини. Так, дійсна площа розподілу деякої напруги стиснення σ в масиві в вертикальній площині S_o (при зусиллі P_e заштрихована площа на рис. 3.1, а) визначається як різниця між всією площею кола (або еліпса) S_n і уявною його частиною $S_{уяв}$ розташованою поза середовищем, що розробляється (уступу):

$$S_o = S_n - S_{уяв}.$$

Аналогічне положення відбувається і в горизонтальній площині, коли позначається вплив додаткової оголеної поверхні уступу з боку виробленого простору (на рис. 3.2, в площа $S_{уяв}$ для напруги σ_x в площині xz).

Для з'ясування картини напружень стиску, що виникають в масиві, слід брати до уваги зусилля P , що є геометрично сумарною силою дотичної P_{01} і нормальної P_{02} складових зусилля копання.

Величина зусилля P_{01} для кар'єрних екскаватора необхідно визначати за результатами експериментальних досліджень, за різних умов роботи.

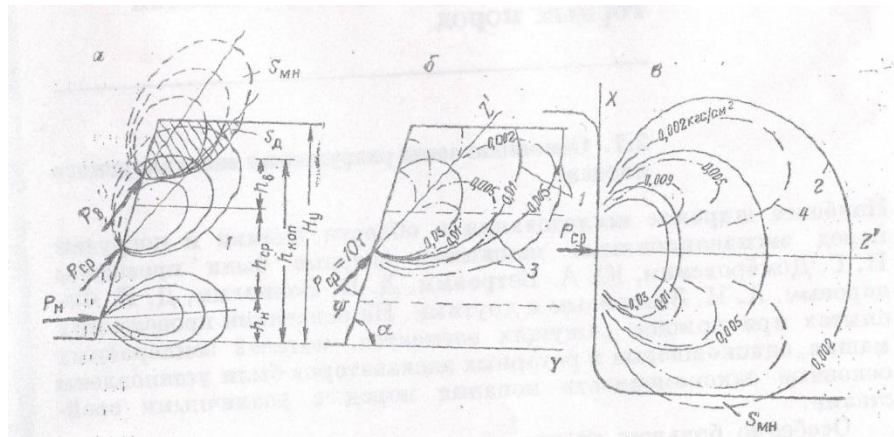


Рис. 3.2 – Поле напруг, що виникають в суцільній породі при докладанні зусилля P в різних (а) та середніх (б,в) частинах зони копання мехлопата:

Лінія рівних напруг: 1 – σ_z , 2 – σ_x , 3 – τ_{xy} , 4 – τ_{xz} ; пунктирними лініями дані контури уявної зони $S_{уяв}$

Таким чином, зміна робочої швидкості буде сприяти прискоренню руйнування ядра ґрунту, а забезпечення руху зі змінною швидкістю дозволить в широкому діапазоні регулювати навантаження, це можливо за допомогою хвильової ланцюгової передачі. Напрямок даних досліджень буде розробка приводів механізмів, які здатні забезпечити динамічне руйнування ґрунтів, а зміна навантаження на ківш екскаватора також попереджає налипанню ґрунту попереду робочого органу, який може мати вигляд сферичної чи еліпсоїдної форми, в залежності від механічних властивостей породи.

ВИСНОВКИ

Проведений аналіз сучасних технологічних схем і схем комплексної механізації на гірничих підприємствах по видобутку корисних копалин показує, що виїмку та перевантаження гірських порід у кар'єрах здійснюють екскаваторами, а транспортування їх до міст переробки, здійснюють різними видами транспорту - автомобільним, рейковим, конвеєрним, гідротранспортом.

Підвищення ефективності указаних процесів можливе шляхом удосконалення технологічних схем видобутку, обґрунтованим вибором комплектів гірничо-навантажувального і транспортного обладнання з урахуванням всіх складових процесу видобутку, а особливо структурно-міцностних характеристик гірничих порід та вплив їх на конструктивні параметри обладнання.

В результаті проведених досліджень встановлено, що основними шляхами підвищення продуктивності окремих машин і комплектів полягає в наступному:

1. Удосконалення конструкцій робочих органів екскаваторів (наприклад форми ковшей) і приводів виконавчих механізмів екскаваторів з метою зниження енергоємності процесів копання, транспортування корисних копалин. Один із напрямків такого удосконалення може бути зміна робочої швидкості буде сприяти прискоренню руйнування ядра ґрунту, а забезпечення руху зі змінною швидкістю дозволить в широкому діапазоні регулювати навантаження і збільшити коефіцієнт наповнення ковша. Напрямком даних досліджень буде розробка приводів механізмів, які здатні забезпечити динамічне руйнування ґрунтів, а зміна навантаження на ківш екскаватора також попереджає налипанню ґрунту попереду робочого органу, який може мати вигляд шарової чи еліпсоїдної форми, в залежності від механічних властивостей породи.

2. Організаційне забезпечення оптимальних умов експлуатації і режимів вантажно-розвантажувальних і транспортних комплектів, що забезпечить зменшення непродуктивних простоїв техніки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гуменик І.Л., Корсунський Г.Я., Ложніков О.В. Технологія відкритої розробки пологих родовищ корисних копалин: навч. посіб. Дніпро, Нац. Гірн. Ун-т. НГУ. 2003. 310 с.
2. Бакка, М.Т. Екологія гірничого виробництва : [Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. освіти III-IV рівнів акредитації] / М.Т.Бакка, І.Л.Гуменик, В.С. Редчиць; Житомир. держ. технол. ун-т. Житомир, 2004. 306 с..
3. Дриженко А.Ю. Відкриті гірничі роботи: підручник / А.Ю. Дриженко; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т Д.: НГУ, 2014. 590 с.
4. Технологія відкритої розробки родовищ корисних копалин ; навч. посіб.: Ч.1. Розкриття родовища / Б.Ю.Собко, Г.Д. Пчолкін, Г.Я. Корсунський, О.В. Ложніков ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. - Д. : НГУ, 2017. - 166 с.
5. Машини для земляних робіт [Текст] : підручник / ред.: Л. А. Хмара, С. В. Кравець. - Харків : ХНАДУ, 2014. 548 с.
6. Баладінський, В.Л. Техніка руйнування і транспортування робочих середовищ / В.Л. Баладінський. - К.: МП «Лєся», 2001. – 230с.
7. Собко Б.Ю., Гриценко Л.С., Крячек В.П. Огрунтування застосування мобільних дробильно-сортувальних комплексів на кар'єрах із видобутку твердих нерудних корисних копалин. Збірник наукових праць НГУ, 2023. № 72. С. 1-7.
8. Шустов, О. О., & Адамчук, А. А. (2022). Обгрунтування параметрів перевантажувальних робіт глибокого кар'єру при експлуатації комбінованого конвеєрно-залізничного транспорту. Збірник Наукових Праць НГУ, 68, 103–114. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/68.103>
9. Azarian, V., Lutsenko, S., Zhukov, S., Skachkov, A., Zaiarskyi, R., & Titov, D. (2020). Applied scientific and systemic problems of the related ore-dressing plants interaction in the event of decommissioning the massif that separates their quarries. *Mining of Mineral Deposits*, 14(1), 1-10. <https://doi.org/10.33271/mining14.01.001>