

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

ЧУМАК ДМИТРО АНАТОЛІЙОВИЧ

**ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРЯМКІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ
ДРАГЛАЙНІВ ПРИ ЕКСКАВАЦІЇ СКЕЛЬНИХ ГІРНИЧИХ ПОРІД**

184 «Гірництво»

ОПП «Відкриті гірничі роботи»

ВИПУСКНА РОБОТА

на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістра

Керівник _____ / Луценко С.О. /

Завідувач кафедри _____ / Жуков С.О. /

Кривий Ріг

2025 р

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	3
ВСТУП.....	5
Розділ 1 Аналіз практики та теорії використання драглайнів при розробці скельних порід	7
1.1. Аналіз практичного застосування драглайнів при екскавації скельних гірських порід.....	7
1.2. Оцінка теоретичних підходів до використання драглайнів при екскавації скельних порід	14
Розділ 2 Аналіз і дослідження технологічних аспектів підвищення продуктивності драглайнів при розробці скельних гірських порід	20
2.1. Дослідження особливостей формування тривалості робочого циклу драглайна.....	20
2.2. Вплив експлуатаційних факторів на робочі характеристики драглайнів при розробці скельних гірських порід	30
2.3. Аналіз ефективності застосування драглайнів у складних гірничо-геологічних умовах крутоспадних родовищ	34
Загальні висновки та рекомендації.....	41
Бібліографія.....	43

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи на тему «Дослідження напрямків підвищення продуктивності драглайнів при екскавації скельних гірничих порід» складається з: 49 с., 12 рис., 4 табл., 62 джерела інформації.

"Випускна робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістра. Кривий Ріг. Криворізький національний університет, 2025. - 49 с."

Актуальність теми. Інтенсифікація розробки глибоких кар'єрів в умовах збільшення їх розмірів і виробничих навантажень супроводжується ускладненням гірничо-технічних процесів. Зростання кількості робочих горизонтів, насиченість технікою і суттєве збільшення обсягів допоміжних робіт призводять до відставання темпів проведення розкривних операцій, що негативно впливає на загальну ефективність відкритої розробки. У таких умовах актуальним є пошук шляхів модернізації технологічних схем і впровадження високопродуктивної техніки для забезпечення стабільного видобутку.

Практика експлуатації відкритих розрізів в Україні та за кордоном доводить доцільність застосування драглайнів під час екскавації скельних гірських порід. Порівняно з традиційними видами екскаваторної техніки, драглайни демонструють переваги за рахунок здатності ефективно працювати при великих висотах уступів і крутих кутах схилів. Зокрема, досвід їх використання на вугільних розрізах у скельних масивах підтверджує високі експлуатаційні характеристики.

Водночас у вітчизняній практиці видобутку корисних копалин із застосуванням глибоких систем розробки, особливо в умовах крутоспадних родовищ, потенціал драглайнів залишається недостатньо реалізованим. Це пов'язано з відсутністю обґрунтованих технологічних рішень щодо їхнього використання в складних умовах скельних масивів, нестачею методичних підходів до визначення раціональних схем розробки та параметрів забою. Крім того, нормативно-проектна база не містить чітких рекомендацій щодо

застосування драглайнів на скельних породах, що гальмує їх ширше впровадження.

Таким чином, наукове обґрунтування напрямів підвищення продуктивності драглайнів при розробці скельних гірських порід є важливим кроком до підвищення ефективності відкритих гірничих робіт та раціонального використання машинного парку.

Мета й завдання роботи. Основною метою магістерської роботи є обґрунтування та визначенні ефективних напрямків підвищення продуктивності драглайнів під час екскавації скельних гірських порід з урахуванням гірничо-геологічних умов, технологічних параметрів забою та особливостей експлуатації машин.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформовані **основні задачі дослідження:**

1. Провести аналіз сучасного стану використання драглайнів у гірничій промисловості, зокрема при роботі в скельних породах.
2. Виявити основні чинники, що впливають на продуктивність драглайнів у процесі екскавації щільних гірських масивів.
3. Сформулювати основні напрямки подальших досліджень.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДРАГЛАЙН, ЕКСКАВАЦІЯ, СКЕЛЬНІ ГІРСЬКІ ПОРОДИ, ПРОДУКТИВНІСТЬ, ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ, ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, ПАРАМЕТРИ ЗАБОЮ, ВІДКРИТІ ГІРНИЧІ РОБОТИ, ЕФЕКТИВНІСТЬ, ГЛИБОКІ КАР'ЄРИ.

ВСТУП.

Збільшення потужності та параметрів сучасних кар'єрів призвело в останні роки до збільшення кількості робочих горизонтів та насичення робочих зон кар'єрів технікою, суттєвого зростання обсягів трудомістких допоміжних процесів та відставання розкривних робіт. Для підвищення ефективності поглиблювальної системи розробки необхідно збільшити її параметри шляхом застосування високопродуктивної техніки.

Досвід ведення відкритих гірничих робіт в Україні і за кордоном показав, що при вийманні та навантаженні скельної гірничої маси у засоби транспорту поряд з мехлопатами можуть ефективно використовуватися драглайни. Їхні робочі параметри забезпечать збільшення: висоти уступу, кута укосу робочого борту, а застосування на скельних породах вугільних розрізів підтвердило високі експлуатаційні та технічні можливості.

Разом з тим, в даний час у гірничодобувній промисловості при поглиблювальній системі розробки крутоспних родовищ технологічні схеми екскавації скельних порід драглайнами не застосовують і при проектуванні не розглядають.

Причинами є недостатня вивченість технології використання драглайнів у цих умовах, відсутність методики визначення раціональних схем екскавації та параметрів вибою драглайнів, рекомендацій щодо застосування драглайнів на скельних породах у "Нормах технологічного проектування" [1]. У зв'язку з цим дослідження технології застосування драглайнів при екскавації скельних порід у залізрудних кар'єрах є актуальним науковим та практичним завданням.

Таким чином наукове обґрунтування напрямів підвищення продуктивності драглайнів при розробці скельних гірських порід є важливим кроком до підвищення ефективності відкритих гірничих робіт та раціонального використання машинного парку.

Мета й завдання роботи. Основною метою магістерської роботи є обґрунтування та визначенні ефективних напрямків підвищення продуктивності драглайнів під час екскавації скельних гірських порід з урахуванням гірничо-геологічних умов, технологічних параметрів забою та особливостей експлуатації машин.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформовані **основні задачі дослідження:**

1. Провести аналіз сучасного стану використання драглайнів у гірничій промисловості, зокрема при роботі в скельних породах.
2. Виявити основні чинники, що впливають на продуктивність драглайнів у процесі екскавації щільних гірських масивів.
3. Сформулювати основні напрямки подальших досліджень.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРАКТИКИ ТА ТЕОРІЇ ВИКОРИСТАННЯ ДРАГЛАЙНІВ ПРИ РОЗРОБЦІ СКЕЛЬНИХ ПОРІД

1.1. Аналіз практичного застосування драглайнів при екскавації скельних гірських порід

У гірничодобувній промисловості масове впровадження екскаваторів-драглайнів для розробки скельних порід відбувалося на початку шістдесятих років на вугільних родовищах комбінатів Дальвостоквугілля, Тулавугілля, Кузбасскар'єрвугілля, Кемеровоугодь, Вольногорського ГГМК, Малишевського розсипного родовища і т.д. Так, на Черемхівському родовищі для перевалки скельних порід, представлених пісковиками міцністю $f=6-10$, використовувався екскаватор ЕШ-20/65. Висота уступу - 14 м, система розробки – безтранспортна [2]. З перших років розвитку розрізу "Красногорський" на видаленні скельного розкриву, представленої міцними пісковиками, аргілітами, алевролітами з коефіцієнтом міцності $f=4-8$, за безтранспортною системою розробки застосовувалися спочатку драглайни ЕШ-4/40, а потім більш потужні ЕШ-6/60 та ЕШ-10/60. В даний час там працюють екскаватори ЕШ-10/70 і ЕШ-15/90 (рис. 1.1). Значний досвід експлуатації драглайнів ЕШ-10/70 та ЕШ-15/90 на скельних породах за безтранспортною системою накопичений на кар'єрах "Сіргала" та "Вівіконд". Міцність порід, що розробляються $f=6-12$, висота уступу - 6 м [2]. Широко відомий досвід роботи драглайнів ЕШ-10/70, ЕШ-15/90 на розрізах "Чорногорський" (п/о Дальвостоквугілля), "Міжріченський", "Томусинський" (п/о "Кемерововугілля") та багатьох інших. В даний час тільки на розрізах об'єднань Дальвостоквугілля та Тулавугілля використання драглайнів на розкривних роботах становить близько 98%.

Відповідно до схем екскавації, що застосовуються на багатьох вугільних розрізах при безтранспортній системі розробки, драглайни розташовані на розкривному підступі або на покрівлі вугільного пласта, працюючи як з нижнім, так і з верхнім черпанням. При цьому продуктивність під час роботи з верхнім черпанням знижується на 10-15% [2-4].



Рис. 1.1. Розробка скельного розкритву драглайнами ЕШ-10/70 (а) та ЕШ-15/90(б)

У процесі експлуатації драглайнів поступово відбувається їхнє конструктивне вдосконалення. Великий внесок у цьому напрямі зробили наукові роботи, виконані під керівництвом Сатовського Б.І., Нубачека В.Р., Вуль Ю.Я., Зуєва Ю.І., Скобелева Л.С., Конакова Б.С. та ін. Були розроблені посилені ковші для драглайнів ЕШ-10/70 та ЕШ-15/90, призначені для розробки міцних скельних порід. Їх використання дозволило значно збільшити продуктивність драглайнів [5-7]. Досліджувалась робота опорних рам крокуючих екскаваторів, тягових і підйомних канатів. Отримано рекомендації щодо їх посилення [8-12]. Зросла потужність драглайнів.

Все це дозволило досягти високої технічної надійності драглайнів, що працюють на скельних породах міцністю $f \leq 12$. Коефіцієнт готовності екскаваторів ЕШ-10/70 та ЕШ-15/90 на багатьох розрізах становить 0,93-0,96. Технічна надійність драглайнів забезпечила їх високу продуктивність [2].

Потрібно відзначити, що вперше, вже в сорокових роках, почали широко використовувати драглайни на підірваній скельній породі за кордоном. Відомі рудники штатів Флорида, Міннесота (США), рудник "Корбі" (Англія), ряд гірничодобувних компаній Канади, де драглайни ємністю ковша 7-100 м³ ("Маріон"-7500, "Маріон"-7900, "Бюсайрус-0000", "Бюсайрус-0000", "Бюсайрус-0000", "Бюсайрус") застосовувались і застосовуються на скельних породах за безтранспортної системи розробки. На вугільному розрізі Максінгам компанії "Огайо-Пауер" (США) працює найбільш потужний у світі драглайн типу 4250-W фірми "Бюсайрус-Ері", якому присвоєно назву БігМаксі. Драглайн 4250-W (ємність ковша 168 м³) було замовлено вугільною компанією для забезпечення розкриття потужністю 50 м. Вага драглайна – 13,1 тис. т, довжина – 143,7 м (від заднього кінця кузова до кінця стріли у висунутому горизонтальному положенні), ширина – 46,1 м, висота – 20,5 м. За останніми даними, драглайн Біг-Максі розробляє розкриття потужністю 23 м; планова продуктивність його – 3-3,4 млн. м³ на місяць.

Добре зарекомендувавши себе при роботі за безтранспортною системою, драглайни знайшли застосування і за транспортної системи розробки. Так, в 1945 році в штаті Флорида при розробці міцного вапняку застосовувався драглайн із ємністю ковша $13,3 \text{ м}^3$ у поєднанні з конвеєром. При розробці родовища "Північний залізний ланцюг" [13] у штаті Міннесота драглайн працював у поєднанні з пересувною дробаркою та конвеєром. На кар'єрі "Саутс-Агню" (США) драглайни з ковшем ємністю 23 м^3 відвантажують скельну гірничу масу, представлену сланцевими і крем'янистими залізистими формаціями, в приймальний бункер, з якого вона надходить на пересувний конвеєр [14].

Успішно працюють драглайни у поєднанні з автотранспортом. Так, при розробці оолітового вапняку в штаті Флорида драглайни на деяких кар'єрах виробляють навантаження гірничої маси в автосамоскиди [14]. У кар'єрах Нортхемптоширського залізрудного басейну залізну руду вантажать в автосамоскиди драглайнами з ковшем ємністю $4,2 \text{ м}^3$ [15]. Успішно використовуються драглайни для розробки підірваної гірничої маси із застосуванням автотранспорту на англійських кар'єрах компанії "Ікстон Парк" (драглайн Рансом-Рапір-W-1400 з ємністю ковша $15,3 \text{ м}^3$) [16].

При великому досвіді експлуатації екскаваторів типу мехлопата і драглайн американські дослідники і фахівці дійшли висновку, що в певних умовах драглайн є більш вигідним механізмом, незважаючи на те, що його робочий цикл більш уповільнений, ніж у мехлопат і зі зростанням ємності ковша виготовлення та експлуатація драглайнів більш економічні, ніж екскаваторів типу мехлопату. Виходячи з цього, проектування та виготовлення механічних лопат з ємністю ковша $57\text{-}152 \text{ м}^3$ в даний час у США припинено [15].

Значний інтерес представляє досвід використання драглайнів з ковшем ємністю 6 м^3 та 14 м^3 на Сарбайському кар'єрі ССГЗК [17, 18]. У початковий момент навантаження екскаватором ЕШ-6/60 скельної гірничої маси в залізничний транспорт мало лише епізодичний характер. Основна робота

драглайнів полягала у зачистці рудного тіла та скельних порід. Обсяг навантаження на залізничний транспорт не перевищував 25% від обсягу загальних робіт драглайнів. Пізніше на руднику для відпрацювання скельних вибоїв стали застосовувати драглайни ЕШ-14/55 у поєднанні із залізничним транспортом (думпкери ВС-85 та ВС-100). Висота відпрацьованого уступу - 20-28 м при ширині заходки 50-70 м. Продуктивність драглайну ЕШ-14/55 досягла 188 тис. м³ на місяць. В аналогічних умовах продуктивність екскаватора ЕКГ-8 складала 91 тис. м³. Досвід застосування драглайнів на скельних породах в умовах Сарбайського кар'єру дозволив виявити деякі переваги перед мехлопатами:

1. Залізничні колії та екскаватор при нарізці нового горизонту знаходяться на практично осушеному уступі.
2. У 6-8 разів збільшилося знімання породи на 1 пог. м залізничної колії, що призвело до значного скорочення трудомістких шляхоперекладних робіт.
3. Розташування залізничних колій на покрівлі уступу, що відпрацьовується, скорочує дальність транспортування.
4. Збільшуються параметри системи розробки.

Крокуючі екскаватори-драглайни добре зарекомендували себе і на екскавації щільних і м'яких розкривних порід при транспортній системі розробки. Прикладами можуть бути Михайлівський, Стойленський ГЗК, кар'єрів Курської магнітної аномалії [19]. Тут драглайни відвантажують глинисті породи в автомобільний та залізничний транспорт. І хоча породи, що розробляються, характеризуються низькою несучою здатністю і обводненістю, драглайни показали високу експлуатаційну продуктивність. Так, на Михайлівському кар'єрі середньорічна продуктивність драглайнів ЕШ-10/50 у поєднанні з автомобільним та залізничним транспортом становить 1600 тис. м³ (рис. 1.2) [20], хоча деякі екскаватори показали річну продуктивність, що перевищує 2 млн. м³.



Рис. 1.2. Екскавація розкривних порід за допомогою драглайнів

Є деякий досвід застосування драглайнів у поєднанні з автотранспортом в умовах Роздольського сірчаного родовища [21, 22], Камишбурунського залізрудного комбінату [23] та деяких інших підприємств [2, 3]. Ефективно використовуються драглайни та при будівництві глибоких кар'єрів [24].

Таким чином, досвід практики відкритих гірничих робіт свідчить про можливість ефективного використання драглайнів для розробки скельних порід. Найбільш конструктивно підготовленими для цих робіт є драглайни ЕШ-10/70А та ЕШ-15/90. При експлуатації на скельній гірській масі драглайни показали високу технічну надійність, забезпечивши продуктивну роботу. Значення середньорічної продуктивності драглайнів, досягнуті на різних гірничодобувних підприємствах країни, наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Середньорічна продуктивність драглайнів

Гірничодобувне підприємство	Породи, що розробляються		Тип драглайну	Система розробки, транспорт	Висота вибою, м	Середньорічна продуктивність, млн. м ³
	різновид	коеф. міцності				
Красногірський	піщаник, аргіліт, алевроліт	4-8	ЕШ-10/60 ЕШ-15/90	б/т б/т	20 до 37	2,2-2,4 2,9-3,1
Міжріченський	піщаник, аргіліт, алевроліт	до 12	ЕШ-10/70 ЕШ-15/90	б/т б/т	24-27 до 37	2,5-2,7 2,9-3,2
Чорногорський	пісковик	8-10	ЕШ-10/60 ЕШ-15/90	б/т б/т	20 24-27	2,6-2,8 3,7-3,9
Черемхівський	пісковик	6-10	ЕШ-14/75 ЕШ-20/65	б/т б/т	24 30	2,9-3,1 3,7-4,1
Естонсланець	пісковик	6-12	ЕШ-15/90	б/т	6-8	3,1-3,5
Сарбайський кар'єр	залізисті формації	до 16	ЕШ-6/60 ЕШ-14/55	авто залізн.	20 20-28	1,2-1,3 1,9-2,1
Михайлівський кар'єр	щільні глини зі скельними включеннями	до 4	ЕШ-10/50 ЕШ-10/50	залізн. авто	20-28 20-28	1,4-1,7 1,4-1,7

Слід також зазначити, що найбільшу продуктивність забезпечують такі схеми екскавації, які передбачають роботу драглайна з нижнім черпанням.

Однак у практиці ведення гірничих робіт відсутні приклади роботи драглайнів ЕШ-10/70А та ЕШ-15/90 на міцних скельних породах у поєднанні з автомобільним та залізничним транспортом. Приклад Сарбайського ГЗК з експлуатації драглайну ЕШ-14/75 може лише свідчити про ефективність такого варіанту, але не може бути основою для встановлення необхідних закономірностей і залежностей, що визначають техніко-економічні показники роботи драглайнів ЕШ-10/70 і ЕШ-15/9 на міцних скельних породах при транспортній системі розробки. Крім того, досвід також свідчить про те, що зі збільшенням міцності гірничої маси, що розробляється, зміняться показники надійності екскаваторів [25, 26]. Відсутність конкретних прикладів експлуатації драглайнів на міцних скельних породах ускладнює прогнозування значень цих показників та висуває необхідність у проведенні певних досліджень у даному напрямку.

1.2. Оцінка теоретичних підходів до використання драглайнів при екскавації скельних порід

Теоретичним дослідженням застосування драглайнів для екскавації порід приділялося досить багато уваги, проте здебільшого вони порушували питання безтранспортної системи розробки або із застосуванням транспорту на будівельних роботах (драглайни з ковшем $0,5-3 \text{ м}^3$).

Можливість та ефективність застосування драглайнів на міцних скельних породах визначається в першу чергу їх продуктивністю та параметрами системи розробки.

Питання дослідження продуктивності потужних драглайнів ($E_k > 3 \text{ м}^3$), схем екскавації та загальні методологічні положення висвітлені у працях В.В. Ржевського та Н.В. Мельникова, Н.Г. Домбровського, В.І. Ганіцького, Б.А. Сімкіна, М.Г. Новожилова, Н.Я. Рєпіна, Ю.І. Бєлякова, В.С. Хохрякова, Н.М. Мельникова, Ю.І. Дріженка, В.В. Лосицького, В.П. Гущина. У цих роботах

розрізняються два підходи до дослідження продуктивності драглайнів: перший - це встановлення залежностей, що визначають тривалість робочого циклу драглайну, його технічну продуктивність, а потім уже прогнозування значень експлуатаційної продуктивності з урахуванням коефіцієнта використання [2, 3, 9, 27]; другий - встановлення закономірностей, що визначають залежність безпосередньо експлуатаційної продуктивності драглайнів від деяких ознак [28-30].

У першому випадку щодо тривалості робочого циклу встановлювалися залежності, визначальні вплив різних чинників на складові робочий цикл: тривалість черпання, повороту на розвантаження й у забій, розвантаження ковша драглайна. Так, у роботах [2, 5, 9] пропонується тривалість черпання визначити за допомогою величини питомого опору копанню K_f . Дослідженнями [2, 5] встановлено, що на величину K_f впливає структура порід, що розробляються: тріщинуватість, середньозважений розмір шматка d_{cp} , коефіцієнт розпушення K_p , міцнісні властивості порід (питомий опір зсуву τ , величина зчеплення порід у масиві C_m і в шматку C_k), об'ємная вага γ , форма та розміри ковша екскаватора. Пропонується наступна формула для визначення тривалості черпання [5] :

$$t_q = \frac{E_k \cdot K_e \cdot K_p \cdot K_f}{102 \cdot N \cdot \eta}, \quad (1.1)$$

де K_e - коефіцієнт екскавації;

E_k - ємність ковша екскаватора, м³;

N - потужність тягового двигуна, кВт.;

η - к.к.д. двигуна.

Багатофакторність визначення K_F ускладнює розрахунок його величини. Тому в роботах [2, 9, 31] пропонується класифікація гірських порід, подана в таблицях, з наближеною оцінкою значення K_F при розробці їх драглайнами. У зв'язку з тим, що величини K_F , прийняті за таблицею класифікацій, мають діапазон застосування, збільшується помилка при розрахунку значення тривалості черпання t_q . Крім того, вплив багатьох

факторів не дозволяє однозначно встановити величину K_F для певних типів порід. Так, величиною K_F можна керувати, наприклад, зміною коефіцієнта розпушування порід K_p або параметрами ковша екскаватора [9]. За даними проф. Н.Г. Домбровського, зі збільшенням ємності ковша від $0,25 \text{ м}^3$ до 15 м^3 під час роботи у міцних ґрунтах величина питомого опору копанню падає на 15-16%. Саме складністю визначення величини K_F можна пояснити те, що у роботі [2, 5] для добре підірваних скельних порід величини $K_F = 2,2-2,5 \text{ кг/см}$, а в роботі [9] для таких самих порід K_F приймається рівним $7-10 \text{ кг/см}$.

У роботах [2, 32] пропонується при коефіцієнті розпушення скельних порід $K_p \geq 1,3$ тривалість черпання драглайном визначати не через величину K_F , а через діаметр середнього шматка d_{cp} .

Дослідженню впливу шматкової скельної гірничої маси на продуктивність драглайнів присвячено й низку інших робіт [33, 34]. Результати досліджень також представлені емпіричними формулами взаємозв'язку тривалості черпання або всього робочого циклу драглайну та діаметра середнього шматка. Однак, при розрахунку за пропонованими формулами величина t_u приймає різні значення при однаковому діаметрі середнього шматка. Так, значення розраховані за запропонованими формулами для $d_{cp}=0,7 \text{ м}$, відрізняються від значень, розрахованих за формулами, що рекомендуються в роботі [29] вдвічі.

Різниця в результатах розрахунків пояснюється, насамперед тим, що дані емпіричні залежності не враховують вплив висоти вибою на тривалість черпання, тому не є універсальними, і відповідають лише тим умовам експлуатації драглайнів, в яких проводилися дослідження.

У роботах [9, 11] розкрито вплив величини кута повороту на його тривалість при врахуванні деяких механічних характеристик драглайнів. Запропоновано ряд емпіричних і аналітичних залежностей, що описують цей вплив, і характеризуються складністю розрахунку.

У зв'язку з тим, що драглайни при транспортній системі роботи застосовуються в даний час виключно рідко, тривалість розвантаження

ковша драглайна в транспортні судини досліджувалася недостатньо детально. Так, у роботі [3] наведено дані щодо тривалості розвантаження для драглайнів ємністю ковша до 8 м^3 за умови, що ємність транспортної судини $E_{m.c}$ більше ємності ковша E_k у 4-5 разів і більше, тобто $E_{m.c}/E_k = 4 \div 5$. Для драглайнів з ємністю ковша 10 м^3 і більше рекомендації щодо визначення тривалості розвантаження ковша в транспортні судини при екскавації скельної гірничої маси відсутні.

До другого напрямку у дослідженнях продуктивності драглайнів можна віднести роботи В.С. Хохрякова, Н.Я. Рєпіна, М.С. Балаховського, В.І. Авдєєва, А.Є. Ташкінова та ін.

Характерним прикладом є роботи [28, 34], в яких на основі статистичних випробувань отримані емпіричні залежності продуктивності драглайнів (P_E), як функції від діаметра середнього шматка та від відсотка виходу фракцій $+800 \text{ мм}$.

Дослідження проводилися на розрізі "Міжріченський" [34] та "Вівіконд" п/о "Естонсланець" [28]. Аналогічні функціональні залежності $P_E = f(E, d)$ наведені у роботах [2, 3, 33].

Аналіз результатів досліджень, представлених у перерахованих вище роботах, показав, що отримані залежності відповідають лише тим умовам експлуатації драглайнів, в яких проводилися спостереження і збір статистичного матеріалу. Це підтверджується різницею отриманих значень продуктивності за наведеними залежностями більш ніж на 30%.

Драглайни, володіючи великими робочими параметрами, здатні відпрацьовувати і забої з набагато більшими, ніж мехлопати, розмірами. Так, конструктивні можливості драглайну ЕШ-10/70 дозволяють відпрацьовувати забій висотою до 35 м і шириною до 120 м, а драглайна ЕШ-15/90 - відповідно 41 м і 160 м. Але у зв'язку з тим, що драглайни на скельних породах експлуатуються в основному за безтранспортною системою розробки, то більшість досліджень типів вибоїв присвячена цьому напрямку

[28, 31]. Оптимізаційні завдання щодо вибору параметрів вибою стосуються в основному також безтранспортної системи розробки.

У роботах [2, 5, 35-37] наведено схеми екскавації гірничої маси драглайнами. Відзначено, що основний тип вибою драглайна, що забезпечує найбільшу продуктивність, - торцьовий. Рекомендуються формули визначення максимальної ширини заходки драглайна для кута повороту екскаватора в зоні черпання $\varphi=45^\circ$ і загальному куті повороту до місця розвантаження - 90° . Завдання оптимізації схеми екскавації параметрів вибою драглайнів при транспортній системі розробки досі не розглядалися.

У роботах [14, 38, 39] розглядаються технологічні схеми спільної розробки уступу, складеного скельною гірничю масою, екскаваторами механічна лопата та драглайн на один транспортний горизонт у поєднанні з самохідними дробильними агрегатами та конвеєрами [38] або із залізничним транспортом [14]. Параметри вибою пропонується визначати за умови суміщення у часі операцій підйому ковша та повороту у бік розвантаження. Драглайн рекомендується розташовувати на цілику, відпрацьовуючи підірвану частину вибою нижнім черпанням.

Схеми спільної розробки уступів, наведені в даних роботах, розглядаються абстрактно від конкретного родовища, тому питання оптимізації параметрів вибою, технологічних умов застосування даної схеми та її впливу на техніко-економічні показники відкритих робіт авторами не досліджувалися.

Таким чином, аналізуючи досягнення в галузі теоретичних досліджень щодо застосування драглайнів на скельних породах, слід зазначити наступне.

Різними авторами встановлено залежності, що визначають тривалість робочого циклу драглайну або його продуктивність [40-42]. При цьому враховується вплив кусковатості гірничої маси та кутів повороту. Запропоновані залежності показали досить високу східність результатів тим умов, у яких проводилися спостереження. За зміни умов результати розрахунку продуктивності, виконані за запропонованими залежностями мають

розбіжності 30-50%. Так, тривалість черпання драглайну ЕШ-10/70 при кускуватості порід $d_{cp}=0,4$ становить 14 сек, а за формулою запропонованої в роботі [29] - 8 сек. У той же час спостереження показали, що в аналогічних умовах при висоті уступу 20 м тривалість черпання склала в середньому 29 сек., а при висоті уступу 30 м - 43 сек. Це пояснюється неврахованістю в наведених вище залежностях впливу наступних факторів: висоти вибою, виду і типу транспорту, що застосовується, на тривалість робочого циклу, зміни показників надійності драглайнів при екскавації міцних скельних порід, закономірностей формування експлуатаційної продуктивності для різних умов. Відсутня методика прогнозування продуктивності драглайнів при транспортній системі розробки скельних порід. Крім того, не повною мірою досліджено можливі схеми екскавації скельної гірничої маси із застосуванням драглайнів при транспортній системі розробки, не розроблені технологічні умови їх застосування, що ускладнює вирішення задачі визначення оптимальної схеми екскавації та параметрів системи розробки. Недостатня вивченість питання застосування драглайнів на скельних породах при транспортній системі розробки стала причиною того, що в "Нормах технологічного проектування", що є основою для проектних розробок варіантів будівництва та експлуатації кар'єрів, рекомендації з раціонального використання драглайнів відсутні. Саме тому у проектах варіанти ведення відкритих гірничих робіт із застосуванням драглайнів не розглядалися.

РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ І ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ АСПЕКТІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ДРАГЛАЙНІВ ПРИ РОЗРОБЦІ СКЕЛЬНИХ ГІРСЬКИХ ПОРІД

2.1. Дослідження особливостей формування тривалості робочого циклу драглайна

Відомо [2, 3, 33], що продуктивність будь-якого екскаватора встановлюється при обліку форми та параметрів вибою, характеристики розроблюваних порід, впливу транспорту, що застосовується [43-46]. Саме ці обставини визначають умови експлуатації драглайнів і впливають на тривалість робочого циклу. Врахування впливу умов експлуатації дозволить більш точно прогнозувати значення експлуатаційної продуктивності.

Продуктивність драглайнів багато в чому визначається тривалістю робочого циклу. Робочий цикл драглайна включає виконання основних чотирьох операцій: черпання породи (тривалість - t_q); переміщення завантаженого ковша із вибою до місця розвантаження ($t_{n.p.}$); розвантаження ковша (t_p); переміщення порожнього ковша в забій для наступного циклу ($t_{n.з.}$). Тому тривалість робочого циклу визначається за формулою [2, 3]:

$$t_{\text{ц}} = t_q + t_{n.p.} + t_p + t_{n.з.} \quad (2.1)$$

Величини, що входять до рівняння (2.1), є випадковими та незалежними, тому можуть бути досліджені та описані за допомогою методів математичної статистики самостійно.

Відомо, що на тривалість робочого циклу драглайна впливають багато факторів, і цей вплив з достатньою точністю можна описати кореляційними залежностями.

Для встановлення цих залежностей на вугільних розрізах "Томусинський", "Красногорський", "Міжріченський", а також на кар'єрі Михайлівського ГЗК та Малишевського розсипного родовища [47] було проведено статистичні спостереження за робочим циклом екскаваторів типу

ЕШ-10/70 та ЕШ-15/90. З метою забезпечення найбільшої відповідності отриманої при спостереженнях інформації реальним показниками процесу екскавації використовувалися кінозйомки робочого процесу, фотозйомки забою та хронометраж робочого циклу. За допомогою кінозйомки робочого циклу фіксувалося положення ковша щодо поверхні вибою в основні моменти роботи екскаватора: впровадження ковша у вибій, наповнення ковша, відрив ковша від поверхні вибою, розвантаження, початок нового циклу тощо. Одночасно з кінозйомкою проводився хронометраж часу між моментами роботи.

Перед початком операції черпання кожного спостережуваного циклу здійснювалася попередня фотозйомка тієї частини вибою, де впроваджуватиметься ківш, з метою встановлення діаметра середнього шматка гірничої маси. Лінійні параметри вибою та кути повороту для кожного циклу визначалися за допомогою маркшейдерської зйомки.

Кінозйомка процесу екскавації дозволила встановити для кожного циклу: глибину черпання щодо рівня стояння драглайна H_{qi} , довжину черпання ковшем до його наповнення l_q і до відриву від поверхні вибою.

При хронометражі робочого циклу фіксувалися: тривалість черпання t_{qi} , тривалість повороту до місця розвантаження, час розвантаження ковша, час повороту в забій.

Вся отримана в результаті спостережень інформація розміщена в таблиці 2.1.

Провести суцільне обстеження кожного з об'єктів нескінченно великої генеральної сукупності неможливо. Тому вивчалися окремі вибірки статистичних даних про роботу драглайнів. Належність вибіркової сукупності генеральної та її представництво оцінювалися за критерієм згоди Пірсона (χ^2) за рівня значимості 0,95.

Кореляційний аналіз результатів спостережень дозволив виділити фактори, що впливають на величину досліджуваних змінних, отримати ряд емпіричних залежностей і зробити наступні висновки.

Таблиця 2.1

Результати хронометражних досліджень робочого циклу драглайну

№ з/п циклу	Глибина черпання	Діаметр середнього куска, м	Тривалість черпання, сек	Вантажопідйомність автосамоскиду	Вантажопідйомність думпкара	Тривалість розвантаження	Кут повороту, град	Тривалість повороту, сек
на розвантаження								
1	6	0,12	5,5	27	-	10	60	9
2	6	0,15	8	27	-	11	60	10
3	7	0,12	6	27	-	11	60	10
4	7	0,12	8	27	-	12	60	12
5	7	0,38	14	27	-	12	60	15
6	7	0,44	19	27	-	14	60	17
7	7	0,12	6	27	-	13	60	14
8	8	0,1	5	27	-	14	90	15
9	8	0,15	8	40	-	9	90	15
10	8	0,38	17	40	-	9	90	16
11	8	0,1	5	40	-	11	90	13
12	9	0,1	6,5	40	-	10	90	12
13	9	0,12	8	40	-	9	135	17
14	10	0,12	60	40	-	10	135	16
15	10	0,44	21	40	-	11	135	19
16	12	0,1	6,5	40	-	11	135	17
у вибій								
17	12	0,18	12	40	-	12	60	9
18	12	0,4	21	75	-	6	60	9
19	14	0,52	29	75	-	7	60	8
20	15	0,12	8	75	-	7	60	10
21	16	0,38	27	75	-	8	60	12
22	16	0,22	15	75	-	8	60	13
23	16	0,25	18	75	-	7	90	12
24	17	0,15	13	120	-	5	90	15
25	19	0,22	20	120	-	4	90	15
26	19	0,29	26	120	-	4	90	12
27	20	0,31	27	-	105	12	90	14
28	24	0,15	19	-	105	11	90	15
29	24	0,46	42	-	105	11	135	16
30	25	0,38	41	-	105	11	135	17
31	27	0,18	25	-	105	8	135	17
32	27	0,7	51	-	180	7	135	19
33	29	0,12	21	-	180	8	135	20
34	29	0,31	39	-	180	8	135	20
35	29	0,49	52	-	180	7	180	21

1. Тривалість черпання t_{ri} скельних порід драглайнами в i -му циклі залежить від кускуватості гірничої маси та глибини черпання щодо рівня стояння екскаватора.

Дослідженнями встановлено, що довжина зони черпання l_{ri} до моменту наповнення ковша становить 7-15 м і залежить від кускуватості гірничої маси. Кореляційний аналіз показав, що цей вплив з високою тісністю зв'язку описується наступними емпіричними залежностями

- для драглайнів ЕШ-10/70

$$l_r = 9,9 d_{cp} + 5,5, \quad (2.2)$$

- для драглайнів ЕШ-15/90

$$l_r = 8,1 d_{cp} + 4,1. \quad (2.3)$$

Таким чином, наповнення ковша драглайнів відбувається на ділянці вибою заввишки 5-8 м, що дозволяє зробити висновок про те, що уступ заввишки 8 м і більше забезпечить наповнення ковшів цих екскаваторів за одне черпання.

Зі збільшенням висоти уступу ($H > 8$ м) її вплив на тривалість черпання носить дещо інший характер і зумовлено конструктивними особливостями драглайнів. Так, при черпанні в нижній частині високого вибою відрив і підйом ковша відразу після його наповнення утруднений через можливість перекиду у зв'язку з порушенням умов рівноваги сил, що утримують наповнений ківш у горизонтальному положенні. Тому машиніст драглайна продовжує підтягувати вже наповнений ківш вище рівня можливого відриву його без перекидання. Розташування точки можливого відриву ковша багато в чому залежить від розташування центру ваги навантаженого ковша та параметрів його підвіски. Дослідження щодо визначення параметрів підвіски ковша та умов його рівноваги, проведені Конаковим Б.С, Івановим А.В. та іншими дослідниками [11, 48, 49] показали, що відрив ковша від поверхні вибою без перекидання його можливий при глибині 10-13 м і менше.

Для умов $H_{max} \geq H_i \geq 10\text{м}$ і $0,75\text{м} \leq d_{cp} \leq 0,15$ встановлені рівняння множинної регресії, що описують вплив кускуватості гірничої маси та глибини черпання на тривалість черпання.

Для драглайну ЕШ-10/70 це рівняння має вигляд:

$$t_{ri} = 0,025H_{ri}^2 - 0,008H_{ri} - 9d_{cp}^2 + 75d_{cp} - 6,16, \text{ сек.} \quad (2.4)$$

Для рівняння (2.4) коефіцієнт множинної кореляції $r = 0,89$. Коефіцієнти парної кореляції r_{12} - між корелюваними ознаками t_{ri} , H_{ri} і r_{13} - між t_{ri} і d_{cp} , рівні відповідно 0,662 і 0,815, стандартна помилка рівняння дорівнює 2,65с.

Для драглайнів ЕШ-15/90 рівняння множинної регресії має вигляд:

$$t_{ri} = 0,011H_{ri}^2 - 0,101H_{ri} - 16d_{cp}^2 + 83,2d_{cp} - 12,65, \text{ сек.} \quad (2.5)$$

Коефіцієнт множинної кореляції цього рівняння $r = 0,909$, парної кореляції $r_{12} = 0,61$, $r_{13} = 0,757$. Стандартна помилка рівняння 3,42с.

Значення коефіцієнтів кореляції свідчать про високу тісноту зв'язку між ознаками, що корелюються. Надійність коефіцієнтів кореляції встановлювалася за F - критерію при довірчій ймовірності 0,95. Для рівняння (2.4) табличне значення критерію $F_{табл}=3,92$, розрахункове значення $F_{розн.}=1,8$. Для рівняння (2.5) $F_{табл}=3,71$, $F_{розн.}=2,64$.

На відміну від раніше відомих робіт цими дослідженнями встановлено вплив не тільки кускуватості порід на тривалість черпання, а й глибини H_{ri} , що добре ілюструється графіком на рис. 2.1.

Аналіз залежностей показав, що завдяки своїм конструктивним особливостям драглайн ЕШ-15/90 в однакових умовах з екскаватором ЕШ-10/70 витрачає менше часу на операцію черпання.

2. Як показав кореляційний аналіз результатів спостережень, тривалість повороту на розвантаження t_{np} залежить від величини середнього кута повороту ω (рис. 2.2).

Отримано рівняння зв'язку між t_{np} і ω . Для драглайнів ЕШ-10/70 воно має вигляд:

$$t_{np} = 1,67\sqrt{\omega} \quad (2.6)$$

при коефіцієнті кореляції $r=0,85$ та значення критеріїв $F_{табл}=3,05$, $F_{розн}=2,9$, стандартна помилка $\xi=1,2$.

Для драглайнів ЕШ-15/90 рівняння зв'язку має вигляд:

$$t_{np} = 2,01\sqrt{\omega} \quad (2.7)$$

при $r=0,81$, $F_{табл}=3,71$, $F_{розн}=2,63$, стандартна помилка $\xi=1,7$ с.

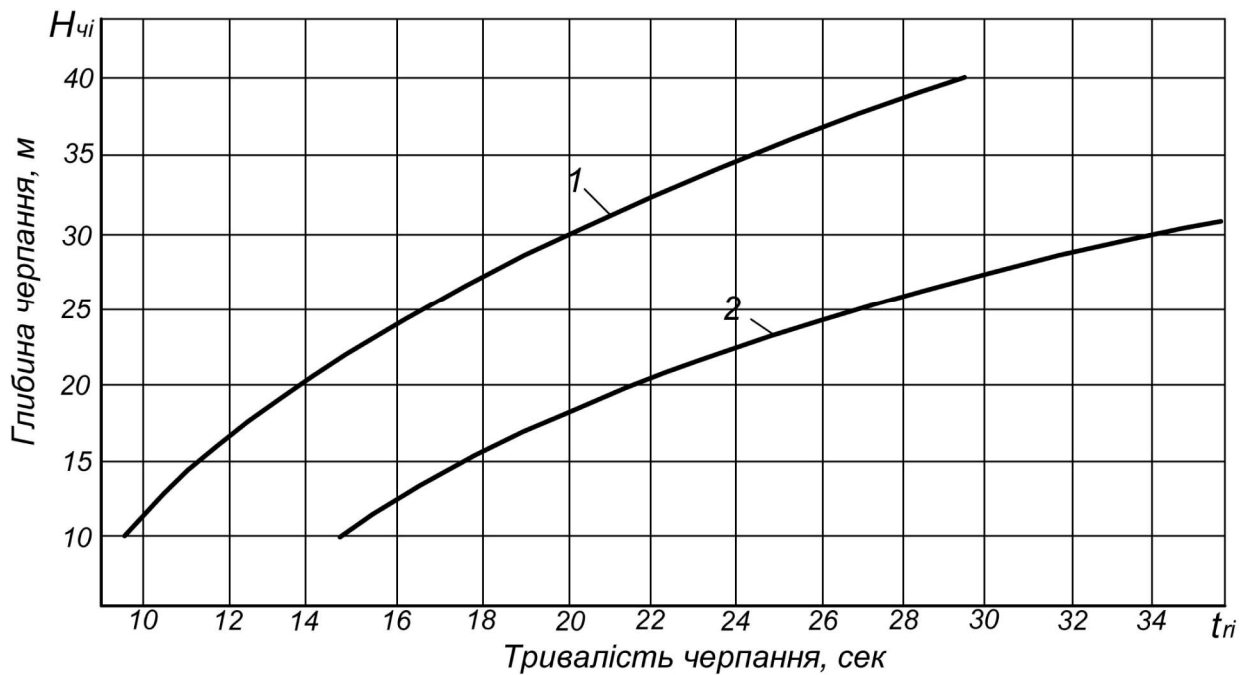


Рис. 2.1. Графік залежності тривалості черпання скельної гірничої маси від глибини черпання при діаметрі середнього шматка:

1 – для драглайнів ЕШ-15/90; 2 – для драглайнів ЕШ-10/70

Результати розрахунку значень t_{np} за формулами (2.6, 2.7) відповідають результатам розрахунків, виконаних за формулами, наведеними в роботах [2, 9]. Однак пропоновані залежності мають простіший вигляд і зручні для ручного рахунку.

Величина середнього кута повороту визначається параметрами вибою екскаватора, місцезнаходженням точки розвантаження ковша і розташуванням драглайна на уступі. Вимірюється цей кут щодо осі обертання драглайна між центром тяжкості забою та точкою розвантаження [2, 3].

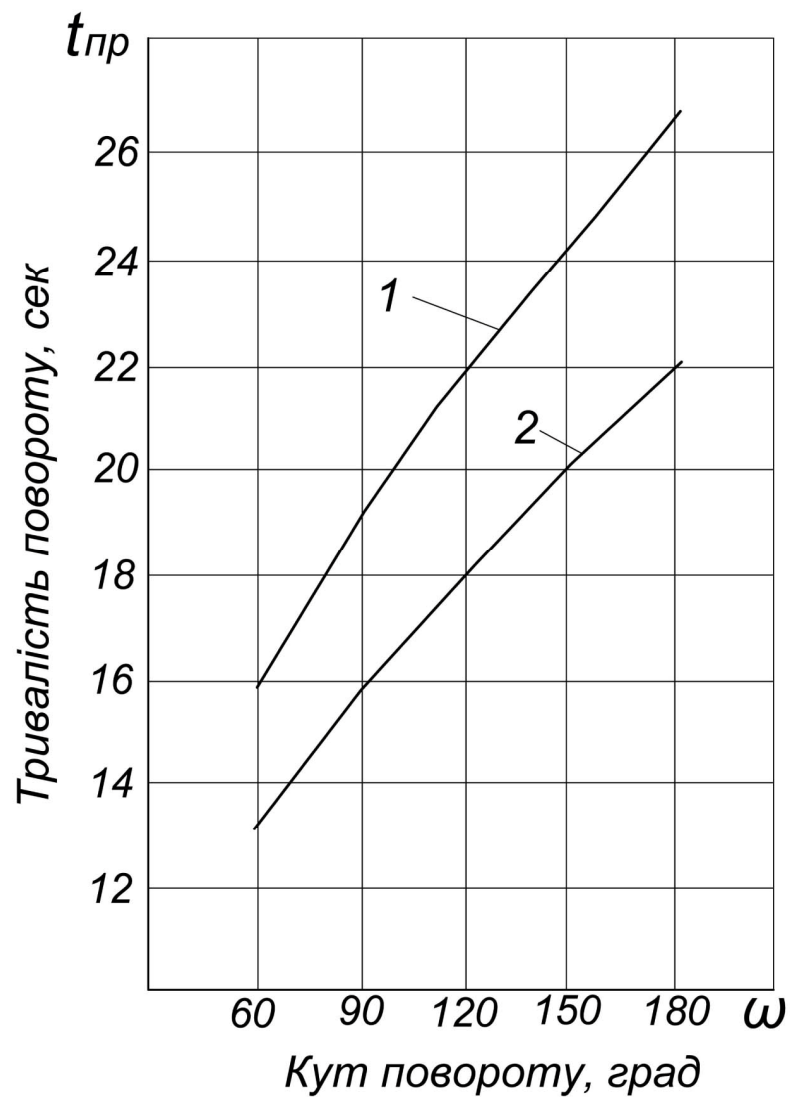


Рис. 2.2. Графік залежності тривалості повороту на розвантаження від величини кута повороту

1 - для драглайнів ЕШ-15/90

2 - для драглайнів ЕШ-10/70

Максимальний кут повороту ω_m можна розкласти на три складових кута ω_1 , ω_2 і ω_3 (рис. 2.3). Кути ω_1 і ω_2 визначаються параметрами вибою, кут ω_3 визначається місцем встановлення транспортної судини під навантаження.

Згідно рис. 2.3

$$\omega_1 = \arcsin \frac{H \operatorname{tg} \beta + C_1}{R_q}, \text{ град} \quad (2.8)$$

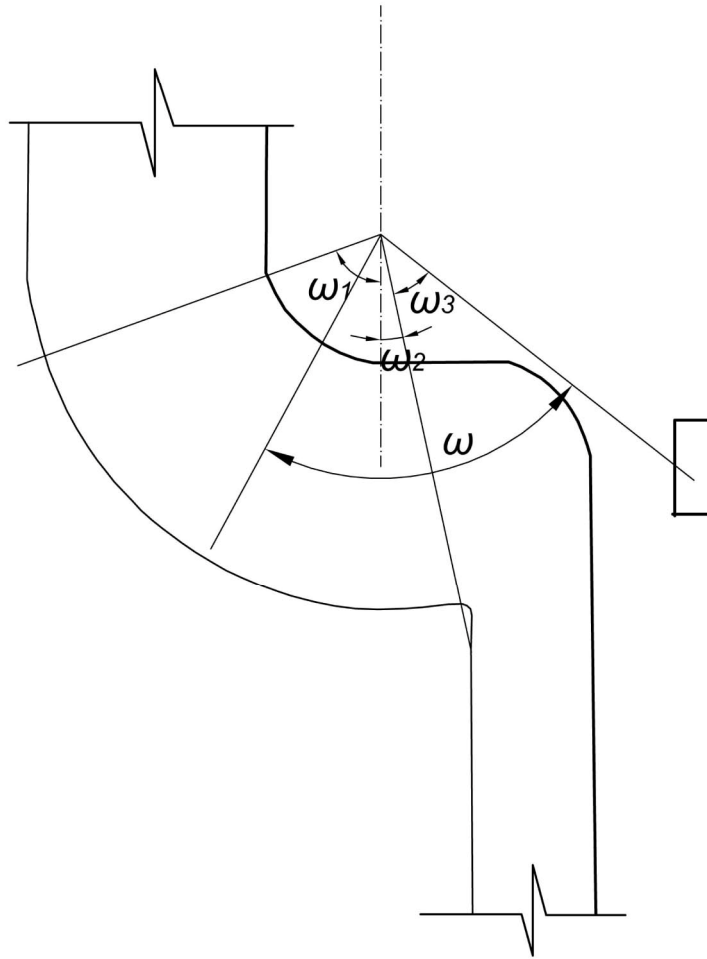
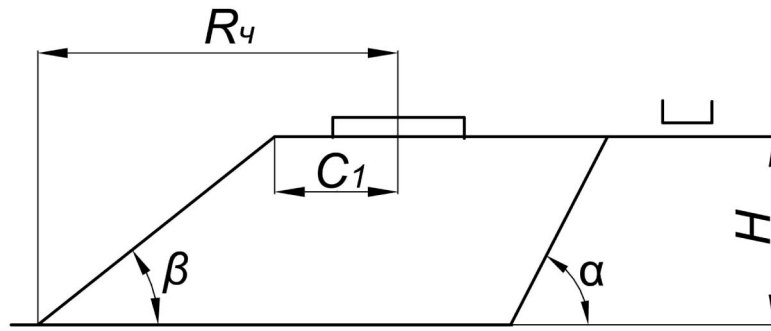


Рис. 2.3. Схема забоя драглайна

$$\omega_2 = \arcsin \frac{A - C_1 - H \cdot \operatorname{tg} \alpha}{R_q}, \text{ град} \quad (2.9)$$

Тоді середній кут повороту можна визначити за формулою

$$\omega = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} + \omega_3, \text{ град} \quad (2.10)$$

3. Тривалість розвантаження ковша драглайнів досліджувалися як при розробці скельних порід у відвал, так і при розвантаженні м'яких розкривних порід у транспортні засоби. Спостереження на вугільних розрізах по скельних породах показали, що середня тривалість розвантаження ковша драглайна у відвал із зупинкою становить для ЕШ-10/70 - 3,7 сек, для ЕШ-15/90 - 4,6 сек.

Обробка статистичних даних за часом розвантаження ковша драглайнів у транспортні судини ємністю $E_{m.c}$ дозволила встановити наступні кореляційні залежності:

- для драглайнів ЕШ-10/70

а) у залізничні думпкари

$$t_p = \frac{3228.86}{E_{m.c}} + 2,78c \quad (2.11)$$

при $r=0,71$, $\sigma = 2,3c$, $F_{табл} = 3,31$, $F_{розр} = 1,97$, $E_{m.c} \geq 38 \text{ м}^3$.

б) в автосамоскиди

$$t_p = \frac{136,7}{E_{m.c}} + 3,2c \quad (2.12)$$

при $E_{m.c} \geq 15 \text{ м}^3$, $r=0,74$, $\sigma = 2,12c$, $F_{табл} = 2,9$, $F_{розр} = 2,7$.

- для драглайнів ЕШ-15/90

а) у залізничні думпкари

$$t_p = \frac{340,2}{E_{m.c}} + 3,7c \quad (2.13)$$

при $E_{m.c} \geq 38 \text{ м}^3$, $r=0,79$, $\sigma = 1,8c$, $F_{табл} = 2,92$, $F_{розр} = 2,14$.

б) в автосамоскиди

$$t_p = \frac{157,3}{E_{m.c}} + 5,2c \quad (2.14)$$

при $E_{m.c} \geq 15 \text{ м}^3$, $r=0,69$, $\sigma = 1,12c$, $F_{табл} = 3,35$, $F_{розр} = 2,61$.

Аналіз встановлених емпіричних залежностей (2.11-2.14) показав, що час розвантаження ковша драглайна в автотранспорт менший, ніж у залізничні думпкари тієї ж ємності. Це пояснюється тим, що в момент

розвантаження ківш драглайна розташований паралельно поздовжній осі кузова автосамоскида, що сприяє більш швидкісному розвантаженню. При розвантаженні в думпкар залізничний ківш розташований перпендикулярно (або під деяким кутом) до довгої сторони думпкара. Виникає велика ймовірність появи просипів, що зумовлює більш обережні дії машиніста екскаватора і як наслідок - великі витрати часу на розвантаження.

4. Поворот драглайна до забою здійснюється після розвантаження ковша. Так як висота розвантаження ковша в транспортні судини невелика (порівняно з розвантаженням у відвал), то при здійсненні повороту до вибою на кут ω_3 відбувається поєднання в часі операцій повороту і опускання ковша до верхньої брівки вибою. Потім виконується поворот і опускання ковша на поверхню вибою в місці подальшого черпання. У роботах [2, 3, 5, 10, 13] час $t_{n.з}$ повороту драглайна до забою та опускання ковша приймається ідентичним (або рівним) часу повороту на розвантаження, тобто залежить від величини середнього кута повороту ω . Однак спостереження за роботою драглайнів показали, що при малих кутах ($\omega_1 + \omega_2 \leq 90^\circ$) час повороту ковша до забою та опускання його на глибину $H_{qi} > 10$ м не відповідає тривалості повороту на розвантаження. У цьому випадку тривалість повороту до вибою та опускання ковша розглядається як складова витрат часу для повороту на кут ω_3 та час опускання ковша на глибину H_{qi} . В результаті кореляційного аналізу даних спостереження за тривалістю повороту отримані рівняння зв'язку для визначення величини $t_{nз i}$ - при кутах $\omega_1 + \omega_2 \leq 90^\circ$ і висоті уступу $H > 10$ м.

Для драглайнів ЕШ-10/70 рівняння має вигляд:

$$t_{nз i} = 1.52\sqrt{\omega} + 0.0051H_{i+1}^2 + 0.05H_{i+1} + 8.93 \quad (2.15)$$

при $r=0,83$, $\xi = 1,9с$, $F_{табл}=3,08$, $F_{розр}=2,5$.

Для драглайнів ЕШ-15/90

$$t_{nз i} = 1.88\sqrt{\omega_3} + 0.013H_i^2 + 0.44H_i + 15.38 \quad (2.16)$$

при $r=0,89$, $\xi = 2,1с$, $F_{табл}=3,6$, $F_{розр}=3,3$.

Для всіх інших випадків тривалість $t_{n.з}$ є функцією від величини середнього кута повороту ω і визначається рівняннями:

- для ЕШ-10/70

$$t_{n.з} = 1.5\sqrt{\omega}, \text{ сек} \quad (2.17)$$

при $r=0,86$, $\zeta = 1,7\text{с}$, $F_{табл}=2,93$, $F_{розр}=2,6$.

- для ЕШ-15/90

$$t_{n.з} = 1.9\sqrt{\omega}, \text{ сек} \quad (2.18)$$

при $r=0,79$, $\zeta = 1,53\text{с}$, $F_{табл}=3,7$, $F_{розр}=3,1$.

Як показали результати досліджень, при завантаженні драглайнами в транспортні судини тривалості повороту на розвантаження і після розвантаження в вибої не однозначні, як це приймалося раніше [2, 9, 11], а є статичними функціями від величини середнього кута повороту при різних коефіцієнтах.

2.2. Вплив експлуатаційних факторів на робочі характеристики драглайнів при розробці скельних гірських порід

Розроблений та представлений у роботі [50] алгоритм дає можливість імітувати конкретні умови експлуатації драглайнів; параметри екскаваторного вибою, кусковатість порід, вид і ємність транспортної судини, схему встановлення його під навантаження, і для кожного з варіантів, що розглядаються, визначити значення технічної продуктивності екскаватора з надійністю 0,95 (згідно прийнятого рівня значимості F - критерію) і з точністю до 94,5%. Крім цього, застосування імітаційної моделі процесу розробки вибою драглайном дозволяє оцінити різні стратегії, що забезпечують ефективне функціонування даної системи та описати її поведінку без дорогих експериментів на реальному об'єкті [51].

У табл. 2.2 наведено результати розрахунку Q_T для деяких параметрів екскаваторного вибою та шматкової гірничої маси при роботі драглайнів у відвал (кут $\omega = 90^\circ$).

Таблиця 2.2

Результати розрахунків технічної продуктивності драглайнів Q_T , м³/год

Діаметр середнього куска, мм	Висота уступу, м								
	10			20			30		
	Ширина західки, м								
	30	50	70	30	50	70	30	50	70
Екскаватор ЕШ-10/70									
150	751	728	700	685	668	645	605	594	578
250	637	620	599	588	575	558	527	519	506
350	544	532	516	508	497	484	460	454	444
450	463	455	443	437	429	419	404	395	387

Діаметр середнього куска, мм	Висота уступу, м											
	10			20			30			40		
	Ширина західки, м											
	40	60	80	40	60	80	40	60	80	40	60	80
Екскаватор ЕШ-15/90												
150	970	945	918	954	930	905	924	905	882	851	837	819
250	941	916	892	872	853	831	809	794	777	752	741	727
350	814	796	776	761	746	729	712	700	686	667	657	646
450	706	692	676	664	653	639	626	616	605	589	581	573

При роботі драглайнів із розвантаженням у транспортні судини значення продуктивності Q_m знижується [52, 53]. Дослідження дозволили визначити значення коефіцієнта зниження продуктивності K_{cm} , що враховує вплив ємності транспортної судини $E_{m.c}$. На рис. 2.4 наведено графіки залежності значень коефіцієнта K_{cm} від величини $E_{m.c}$ для автомобільного та залізничного транспорту. Аналіз графіків показав:

а) із збільшенням ємності транспортної судини продуктивність драглайнів збільшується. Проте вже за значень $E_{m.c} \geq 55$ м³ для автомобільного транспорту та при $E_{m.c} > 80$ м³ для залізничного транспорту значення продуктивності практично не змінюється ($K_{cm} \approx 1$);

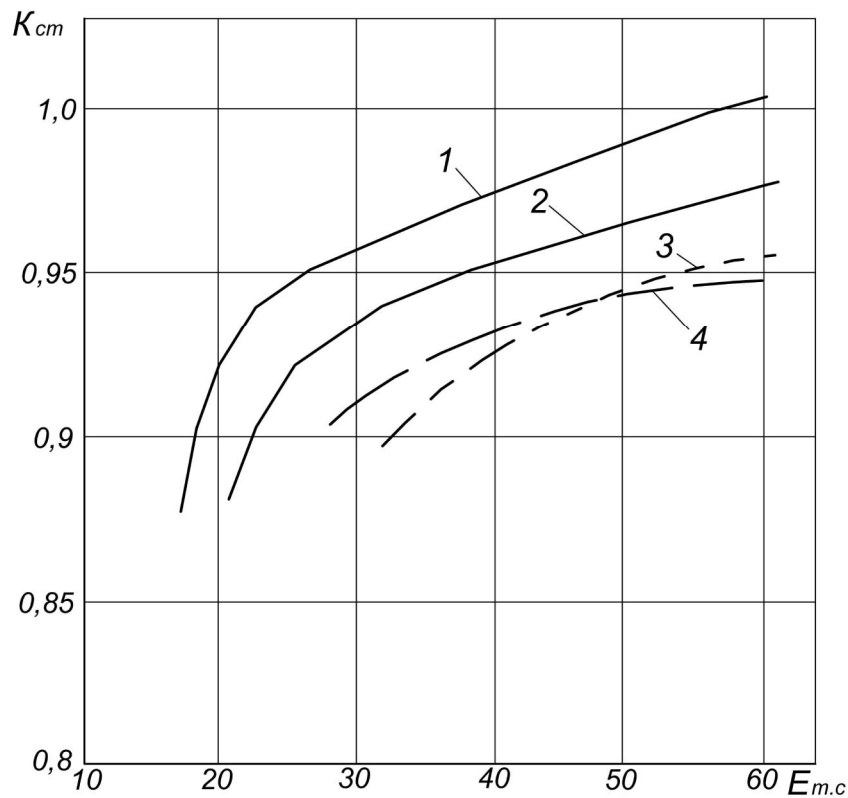


Рис. 2.4. Графіки залежності значень коефіцієнта K_{cm} від величини $E_{m.c}$ для автомобільного та залізничного транспорту

б) застосування автомобільного транспорту сприяє досягненню вищого значення технічної продуктивності драглайну, ніж при залізничному транспорті тієї ж ємності судини [54, 55].

Зміна схеми екскавації, а також місця встановлення транспортної судини під навантаження призводить до зміни величини кута ω . Експерименти на імітаційній моделі дозволили визначити деякі розрахункові значення коефіцієнта K_{ω} , який враховує зміну значення Q_m при зміні величини кута ω (табл. 2.3).

Таким чином, значення технічної продуктивності драглайна, що працює по скельних породах з навантаженням у транспортну посудину, можна визначити, використовуючи відповідне табличне значення Q_T , перемноживши на обрані відповідно до прийнятого транспорту та схеми встановлення його під навантаження значення коефіцієнтів K_{cm} і K_{ω} . Для інших варіантів, не наведених у табл. 2.2, значення O_m можна визначити за

допомогою наведеної імітаційної моделі або шляхом інтерполяції табличних даних.

Таблиця 2.3

Значення коефіцієнта K_ω , враховує вплив величини кута повороту ω_3 на продуктивність драглайну

Кут повороту, ω_3	Діаметр середнього куска, мм	ЕШ-10/60 ЕШ-10/70			ЕШ-15/90			
		Висота уступу, м						
		10	20	30	10	20	30	40
15 ⁰	150	1,34	1,28	1,22	1,4	1,4	1,38	1,35
	250	1,28	1,24	1,19	1,37	1,37	1,35	1,31
	350	1,24	1,21	1,17	1,32	1,32	1,31	1,28
	450	1,22	1,19	1,16	1,29	1,28	1,27	1,25
135 ⁰		0,92	0,93	0,94	0,9	0,91	0,92	0,93

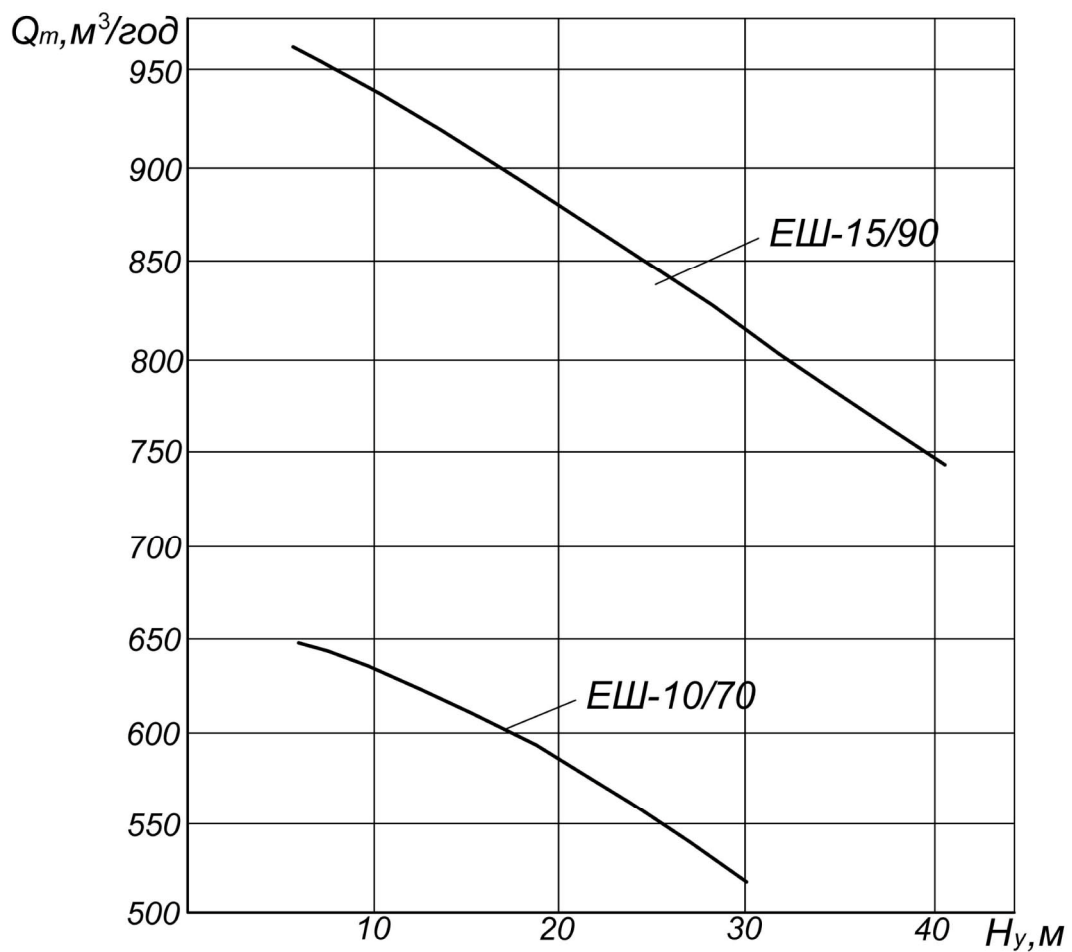


Рис. 2.5. Графік залежності технічної продуктивності драглайнів від висоти вибою при $d_{cp}=0,25$ і $A_3=30$ м

2.3. Аналіз ефективності застосування драглайнів у складних гірничо-геологічних умовах крутоспадних родовищ

При експлуатації крутоспадних родовищ великий вплив на економічні показники надають параметри системи розробки [2, 56]. Дослідження показали здатність драглайнів відпрацьовувати вибої з різною висотою та шириною заходки [57]. Так, для драглайну ЕШ-10/70 висота вибою може змінюватися від 5-6 до 32-33м, ширина заходки до 90-100 м. Ще ширші можливості у драглайнів ЕШ-15/90. Зміна параметрів вибою впливає на продуктивність устаткування та на параметри всього кар'єру. З точки зору економіки в цьому є свої переваги та недоліки [56], оцінити які можна за допомогою економічних критеріїв.

При визначенні раціональних параметрів системи розробки необхідною умовою є облік усіх факторів, які істотно впливають на результати розв'язання задачі [58]. Зміна висоти забою та ширини заходки екскаватора спричинить низку змін у техніко-економічних показниках основних технологічних процесів [59, 60].

Об'єм порід, що екскавуються, визначається продуктивністю драглайну.

Розрахунки експлуатаційних витрат здійснювалися за відомою методикою [33].

Дослідженнями встановлено вплив параметрів вибою драглайну і кусковатості гірничої маси, що екскавується, на величину річної продуктивності Q_e . Тоді й питомі витрати на екскавацію C'_e також залежать від цих факторів.

Графік залежності питомих витрат на екскавацію скельних порід драглайном ЕШ-10/70 із застосуванням автотранспорту від параметрів A_{op} , H_y і d_{cp} представлений на рис. 2.6. Аналіз залежностей показав, що для драглайна збільшення висоти уступу H_y більше 25 м значно впливає на величину питомих витрат.

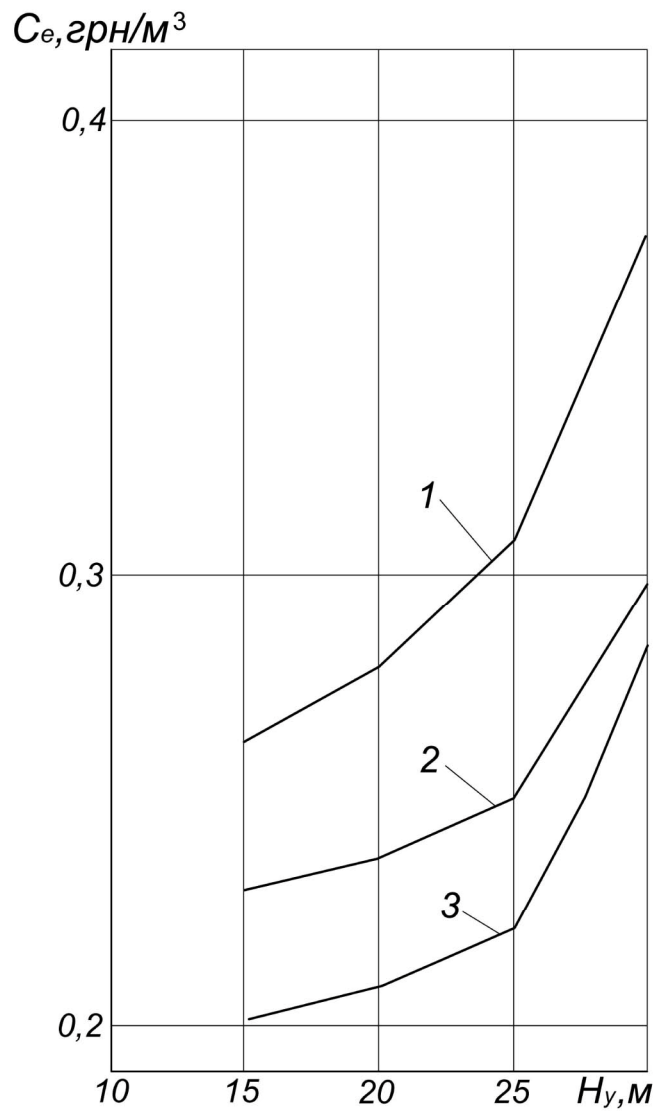


Рис. 2.6. Графік залежності собівартості екскавації скельних порід драглайном при автотранспорті від висоти уступу H_y , ширини заходки A_z та кусковаті d_{cp} :

1 – $A_z=30\text{м}, d_{cp}=0,45\text{ м}$;

2 – $A_z=50\text{м}, d_{cp}=0,25\text{ м}$;

3 – $A_z=30\text{м}, d_{cp}=0,25\text{ м}$;

При розробці родовища відкритим способом крім основних технологічних процесів виконується ряд допоміжних робіт: будівництво та утримання транспортних комунікацій, бульдозерні роботи на зачистці екскаваторних майданчиків, планування трас, будівництво та пересування контактних мереж при електрифікованому залізничному транспорті.

Зростання обсягів основного виробництва неминуче призводить до зростання обсягу допоміжних робіт, що негативно позначається на темпах зростання продуктивності праці.

Допоміжні роботи, а особливо дорожні, характеризуються великою трудомісткістю виконання. Крім того, виконання багатьох робіт пов'язане з використанням допоміжної техніки (путеперекладачі, бульдозери і т.д.). Аварійні простої допоміжної техніки призводять до невиконання обсягів допоміжних робіт, а отже, і до простоїв основного обладнання. Так, на Південному ГЗК простої екскаваторів, викликані несвоєчасним укладанням залізничної колії, досягають 8-10% календарного часу. Питома вага вартості колійних робіт у собівартості видобуткових робіт становить 5-6%, а у собівартості розкривних - 11-13%.

Великі витрати на колійні роботи та значні простої потужного дорогого обладнання зумовлюють актуальність заходів та інженерних рішень, спрямованих на зниження обсягу колійних робіт. Застосування крокуючих драглайнів для розробки скельних порід у залізрудних кар'єрах сприяє збільшенню параметрів вибою, а отже, дозволить знизити питомий обсяг дорожніх робіт за рахунок збільшення обсягу гірничої маси, що припадає на 1 п.м. шляху.

Одним із показників, що характеризують ступінь використання залізничної колії екскаватора, є обсяг гірничої маси, що припадає на 1 п.м. забійного шляху [3, 61]. Тому, для кожного з екскаваторів були визначені висота розроблюваного уступу і ширина заходки.

На рис. 2.7 представлений графік залежності питомих витрат на дорожні роботи від параметрів екскаваторного вибою.

Результати досліджень, представлені на графіку, дозволяють зробити висновок, що зі збільшенням параметрів екскаваторного вибою питомі витрати на дорожні роботи знижуються.

Характер закономірності збережеться і у разі застосування автотранспорту. Це зумовлено збільшенням виходу гірничої маси на 1 п.м.

автодороги зі збільшенням параметрів екскаваторного вибою - як і для колійних робіт при залізничному транспорті [62].

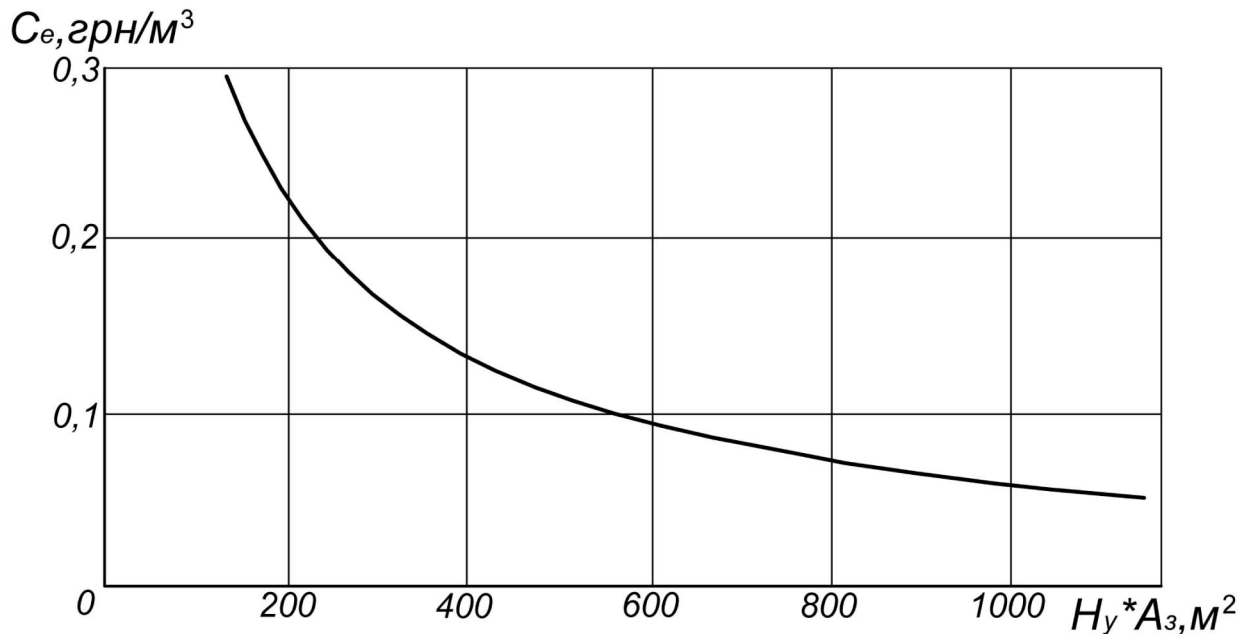


Рис. 2.7. Залежність питомих витрат на дорожні роботи ($C_{n,p}$) від параметрів екскаваторного вибою

При збільшенні параметрів екскаваторної заходки очікується також зниження бульдозерних робіт із зачистки майданчиків, оскільки зменшується швидкість просування вибою екскаватора. Однак застосування драглайнів на скельних породах збільшить обсяг бульдозерних робіт з проходження траси екскаватора. Можна припустити, що застосування драглайнів сприятиме зменшенню бульдозерних робіт, але трохи. При вирішенні питання ефективності застосування драглайнів при розробці скельних порід у залізничних кар'єрах зміна витрат на бульдозерні роботи не можуть надати вирішальної ролі, тому витрати на бульдозерні роботи можливо прийняти однозначними для всіх варіантів при однакових обсягах гірничих робіт.

Зміна питомих витрат на будівництво та пересування контактних мереж C_{kc} від параметрів вибою визначається аналогічно витратам на дорожні роботи, оскільки вони ведуться паралельно.

Графік залежності питомих витрат на автодороги та контактну мережу наведено на рис. 2.8.

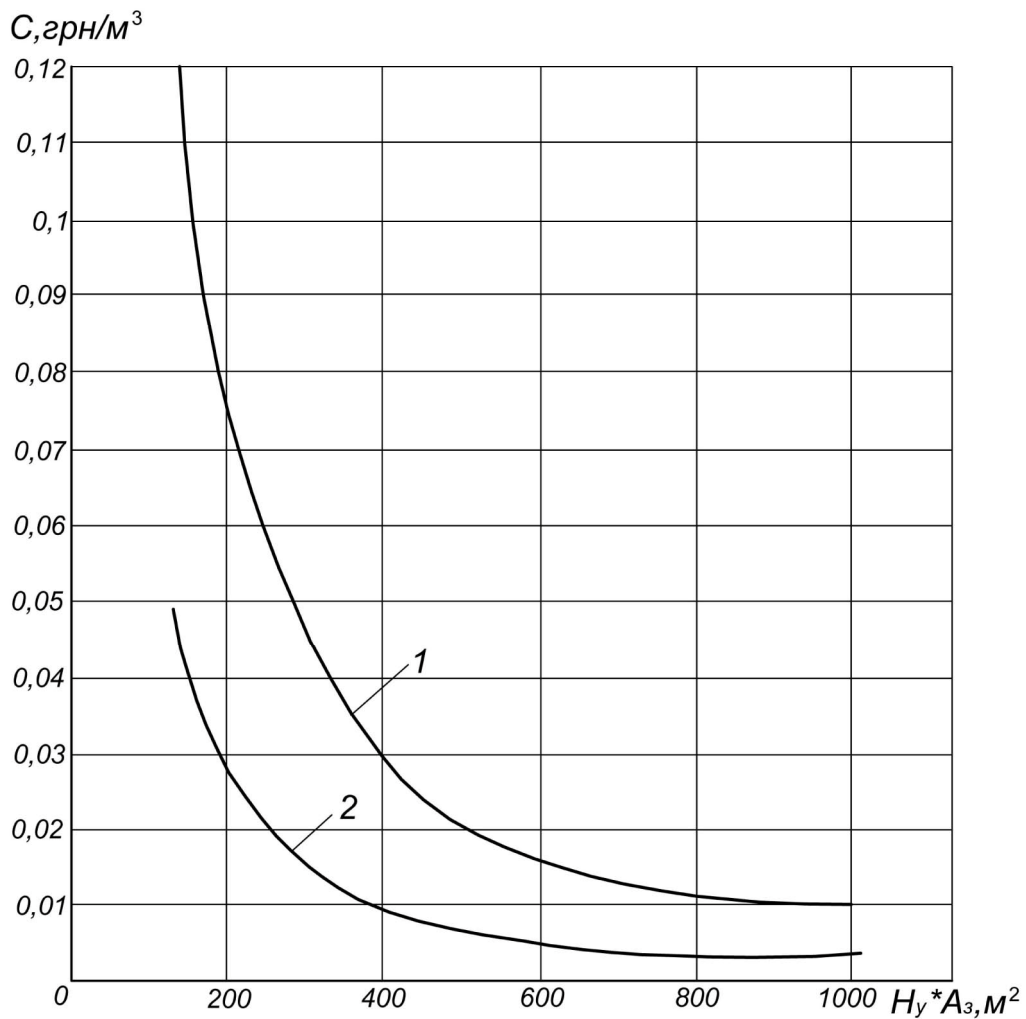


Рис. 2.8. Залежність питомих витрат на допоміжні роботи від параметрів вибою драглайна:

- 1 - на будівництво та утримання автошляхів;
- 2 - на будівництво та пересування контактних мереж

При використанні драглайнів для розробки скельних порід у залізрудних кар'єрах скорочується довжина транспортування гірничої маси із вибою. Це пояснюється тим, що в порівнянні з прямою лопатою в принципі роботи драглайна закладені функції не тільки виймально-навантажувальної, а й транспортної машини, тому що в процесі черпання драглайн як би транспортує гірничу масу з нижнього уступу на горизонт свого стояння.

Графік залежності величини зниження витрат на транспортування скельної гірничої маси автомобільним та залізничним транспортом від величини H_y , що характеризує висоту вибою драглайна, наведено на рис. 2.9.

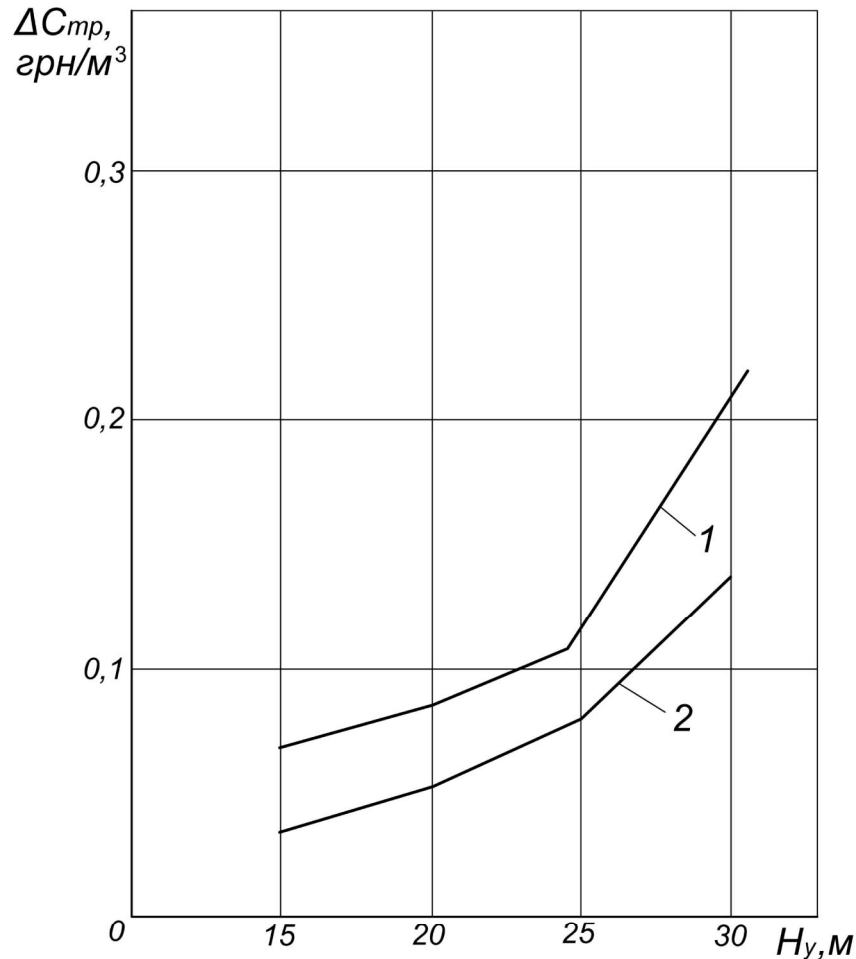


Рис. 2.9. Графік залежності величини зниження витрат на транспортування скельної гірничої маси ($C_{тр}$) від величини вибою драглайну при нижньому черпанні:

1 – при автотранспорті; 2 – при залізничному транспорті

Нижче наведено результати досліджень економічних показників для різних схем використання драглайнів при розробці скельних порід у кар'єрі.

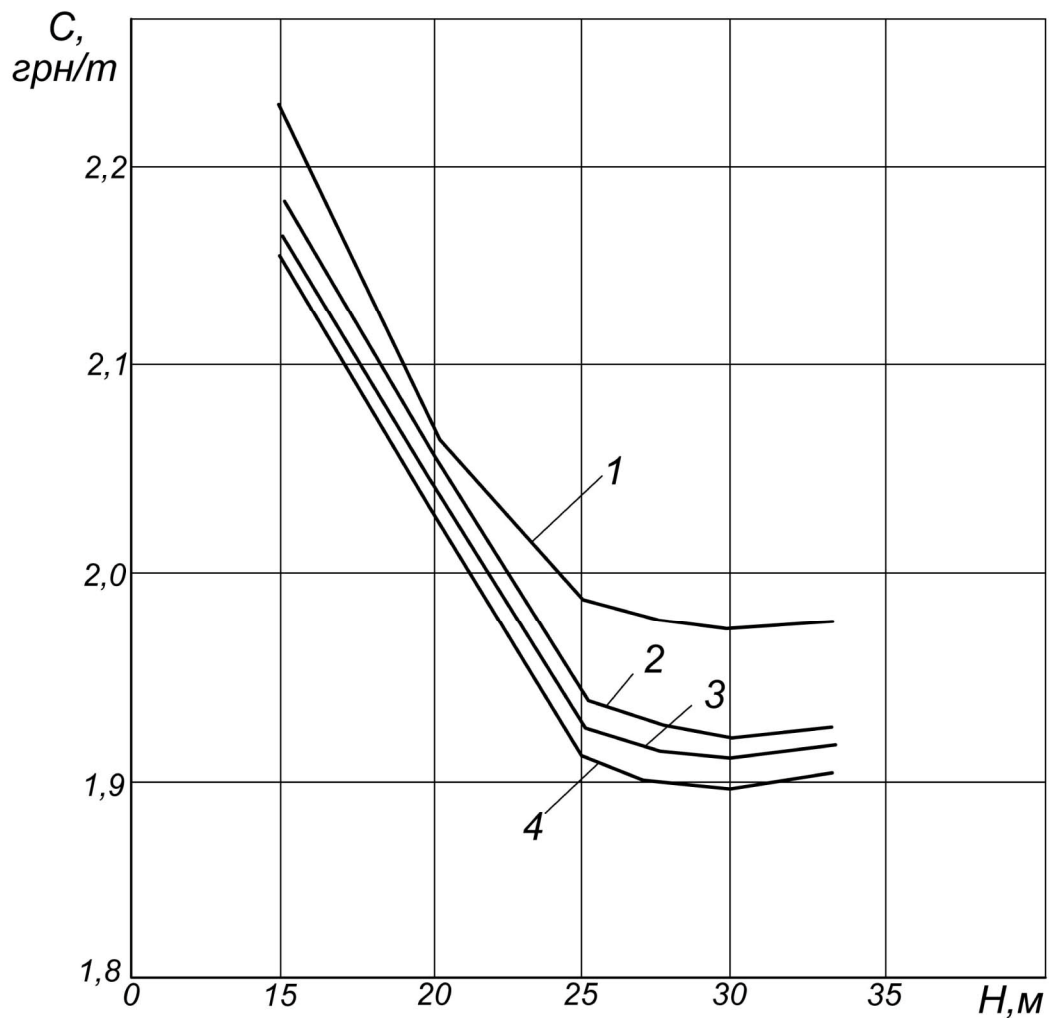


Рис. 2.10. Вплив висоти уступу, ширини заходки та кускуватості гірничої маси на собівартість 1 т руди при екскавації скельної гірничої маси драглайнами в автотранспорт:

1 – $A_3=50\text{м}$, $d_{cp}=250\text{ мм}$

2 – $A_3=30\text{м}$, $d_{cp}=150\text{ мм}$

3 – $A_3=30\text{м}$, $d_{cp}=350\text{ мм}$

4 – $A_3=30\text{м}$, $d_{cp}=250\text{ мм}$

Таким чином, порівняльний аналіз економічних показників гірничих робіт на скельних породах дозволяє визначити найбільш раціональні параметри вибою для кожної схеми, що розглядається, по мінімуму собівартості продукції.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.

Аналіз досвіду світової практики свідчить про можливість ефективного застосування драглайнів на скельних породах при транспортній системі розробки.

Нині найбільш широко використовуються на скельних породах драглайни ЕШ-10/70. Посилення робочого обладнання дозволило драглайнам цього типу при екскавації скельних порід (пісковиків, аргілітів, алевролітів тощо) з коефіцієнтом міцності $f=8-12$ досягти високих експлуатаційних показників.

Аналіз літературних джерел та досліджень дозволив зробити висновок про те, що в даний час:

- рекомендовані залежності, які використовуються для прогнозування значення експлуатаційної продуктивності, не враховують істотного впливу деяких факторів, що призводить до різних результатів розрахунку;
- маловивченими залишилися питання про вплив ємності транспортної судини та висоти уступу на продуктивність драглайну, про закономірності формування коефіцієнта використання календарного фонду часу драглайнів на скельних породах;
- відсутня методика прогнозування продуктивності драглайнів на різні періоди експлуатації при транспортній системі розробки;
- недостатньо досліджено схеми екскавації скельної гірничої маси та взаємозв'язку параметрів вибою та робочого обладнання драглайнів при транспортній системі;
- не досліджено можливість і доцільність розробки крутоспадних родовищ із застосуванням драглайнів на скельних породах;
- у "Нормах технологічного проектування гірничодобувних підприємств" відсутні рекомендації, пов'язані із застосуванням драглайнів для екскавації скельної гірничої маси при транспортній системі розробки.

Це спричинило те, що використання драглайнів на скельних породах при розробці проектних варіантів не розглядається.

Висота розроблюваного вибою надає значний вплив на тривалість виконання драглайних операцій черпання, і зрештою, на технічну продуктивність драглайну. При збільшенні висоти вибою від 10 м до максимально можливого значення Q_T зменшується на 15-20%.

Тривалості поворотів драглайнів на розвантаження і у забій після розвантаження не є однозначними величинами. Поворот у забій здійснюється швидше на 10-15%.

При визначенні середнього часу робочого циклу драглайну необхідно врахувати нерівнозначність тривалостей відпрацьовування нижньої та верхньої частин вибою шляхом визначення середньозваженого значення тривалості робочого циклу за допомогою імітації відпрацьовування забою. Це дозволяє визначити значення Q_T з точністю до 5,5% при ймовірності 0,95.

Застосування автомобільного транспорту в порівнянні з залізничним забезпечує збільшення значення технічної продуктивності драглайнів на 4-6%.

Діапазон зміни технічної продуктивності та залежність її від параметрів вибою драглайну, кусковатості гірничої маси, виду та типу застосовуваного транспорту, місця встановлення його під навантаження визначають необхідність обліку цих факторів при прогнозуванні експлуатаційної продуктивності драглайнів та оцінки ефективності їх застосування на скельних породах.

На основі висновків можна сформулювати наступні рекомендації відносно подальшого розвитку питання підвищення продуктивності драглайнів:

1. Розробити підходи до визначення раціональних параметрів забою та організації роботи драглайнів при розробці скельних гірських порід.

2. Обґрунтувати технологічні рішення, спрямовані на підвищення ефективності роботи драглайнів.

Бібліографія.

1. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. Частина 2. Відкриті гірничі роботи. СОУ - Н МПП 73.020-078-2: 2008.
2. Ржевский В.В. Процессы открытых горных работ / В.В. Ржевский. – Недра, 1974.
3. Ржевский В.В. Технология, механизация и автоматизация процессов на карьерах / В.В. Ржевский. – Недра, 1966.
4. Головач Н.А., Воловик В.П. Обоснование параметров горных работ на карьерах Иршанского ГОКА с учётом экологических тренировок / Н.А. Головач, В.П. Воловик // Форум горняков. – Днепропетровск: РИК НГУ, 2008. – С. 158-163.
5. Кривошеев Г.В. Пути совершенствования ковшей мощных драглайнов / Г.В. Кривошеев // Известия вузов. Горный журнал. – 1973. – № 11.
6. Беляков Ю.И., Владимиров В.М. Совершенствование экскаваторных работ в карьерах / Ю.И. Беляков, В.М. Владимиров. – Недра, 1974.
7. Скобелев М.С. Исследование и разработка ковшей мощных драглайнов для работы во взорванных скальных грунтах / М.С. Скобелев Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Свердловск, 1974.
8. Головин В.С., Скобелев Л.С. Испытание ковшей мощных драглайнов при работе во взорванных скальных породах / В.С. Головин, Л.С. Скобелев // Известия вузов. Горный журнал. – 1973. – №12.
9. Кубачек В.Р., Рутковская И.И. Исследование работы и нагружения опорных рам шагающих экскаваторов при использовании их на скальном грунте / В.Р. Кубачек, И.И. Рутковская. – Свердловский горный институт, 1969.
10. Домбровский Н.Г. Экскаваторы / Н.Г. Домбровский. – Машиностроение, 1969.

11. Иванов А.В. Определение динамических нагрузок при отрыве ковша драглайна / А.В. Иванов // Известия вузов. Горный журнал. – 1978. – № 2.

12. Дриженко А.Ю., Лазников А.М. Технологические решения разработки месторождений титановых руд с мощными породами вскрыши / А.Ю. Дриженко, А.М. Лазников // Форум гірників. Дніпропетровськ: НГУ, 2012. – С. 62-67.

13. Вуль Ю.Я. Одноковшовые экскаваторы / Ю.Я. Вуль. – НКЗМ. – Недра, 1978.

14. Pflieder E.R. Surface mining aimer / E.R. Pflieder. 1968. – 134 с.

15. Дриженко А.Ю., Куценко В.И. К вопросу эффективного применения драглайнов при отработке высоких уступов / А.Ю. Дриженко, В.И. Куценко. – Днепропетровск, ДГИ. – 1974.

16. Белл Д.Е., Даниэле Дк.Х. Два примера изучения работы железорудных карьеров / Д.Е. Белл, Дк.Х. Даниэле // Открытые горные работы. Сб. докладов на горном конгрессе. – 1967.

17. Ropkamp M., Oester W. Skinruchver nalthisse in den USA / M. Ropkamp W. Oester // Naturstein and. – 1973. – №1,2. – С. 35-42.

18. Калашников А.Т., Кулинич В.Б. Погрузка скальных пород экскаваторами ЭШ-14/55 / Калашников А.Т., Кулинич В.Б. // Горный журнал. – 1974. – №4.

19. Лосицкий В.В. Применение мощных драглайнов на строительстве и эксплуатации глубоких карьеров Курской магнитной аномалии / В.В. Лосицкий // Глубокие карьеры. – Киев: Наукова думка, 1973. – С. 112-115.

20. Шакиров А.Ш. Разработка скальных пород драглайнами при погрузке на железнодорожный транспорт / А.Ш. Шакиров // Труды ЙГД АН КазССР. – 1973. – №53. – С. 29-33.

21. Потапов А.И., Вайман С.З. Совершенствование технологии вскрышных работ на породах с низкой несущей способностью / А.И. Потапов, С.З. Вайман // Горный журнал. – 1977. – №3. – С. 27-29.

22.Иванников И.А. Мощные драглайны на экскавации мягких и скальных пород / И.А. Иванников //Уголь Украины. – 1966. – № 3. – С. 27-28.

23.Ткачев А.Ф. Разработка технологической схемы с использованием драглайнов ЭШ-10/60 и автоеамосвалов БелАЗ-540 и выдача рекомендаций для составления технорабочего проекта при доработке запасов карьеров "Комсомольский" и "Объединенный" / А.Ф. Ткачев. – Свердловск. – 1978.

24.Кудинов В.В. Совершенствование буровзрывных работ на карьере "Западный" Камышбурунского железорудного комбината с целью получения горной массы, повышающей эффективность работы фабрик и снижения сейсмоопасности транспортно-отвального моста / В.В. Кудинов. – Кривой Рог. – НИГРИ. – 1977.

25.Мустафина А.М. Строительство глубоких карьеров / А.М. Мустафина. – Алма-Ата, 1977.

26.Топчиев А.В. Надежность горных машин и комплексов / А.В. Топчиев. – Недра, 1968.

27.Кох П.И. Надежность одноковшовых экскаваторов / П.И. Кох. – Машиностроение, 1966.

28.Конаков Б.С. Уточненная методика определения продолжительности цикла экскаваторов / Б.С. Конаков // Известия вузов. Горный журнал. – 1973. – №5.

29.Репин Н.Я. Производительность драглайнов при разработке скальных пород / Н.Я. Репин // Известия вузов. Горный журнал. – 1974. – №8.

30.Балаховский М.С., Готонин Н.Е. Влияние подготовки взорванного забоя на производительность шагающего драглайна ЭШ-15/90 / М.С. Балаховский, Н.Е. Готонин // Сб. научных трудов МИСИ. – 1974. – №120.

31.Астафьев, Ю.П., Куксов, М.Д. (1982). Прогнозирование технической производительности драглайнов при разработке скальных пород / Ю.П. Астафьев, М.Д. Куксов // Разработка рудных месторождений. – Киев: Техника. – С. 21-23.

32.Щадов Н.И., Бурлицкий Б.А. Определение оптимальной кусковатости горной массы для драглайнов ЭШ-15/90 / Н.И. Щадов, Б.А. Бурлицкий // Уголь. – 1976. – №9.

33.Мельников Н.В. Теория и практика открытых работ / Н.В. Мельников. – Недра. – 1973.

34.Гущин В.П. Рациональное дробление горных пород при разработке их драглайнами / В.П. Гущин. – ЦНИЭИуголь. – 1974.

35.Лазников, А.М., Собко, Б.Е., Хена, У. Исследование эффективных вариантов вскрытия и развития карьера Мотроновско-Анновского участка Малышевского месторождения / А.М. Лазников, Б.Е. Собко, У. Хена // Збірник наукових праць НГУ. – 2012. – 38. – С. 104-111.

36.Собко Б.Ю. Обґрунтування параметрів раціональних технологічних схем відкритої розробки для умов розсипних родовищ Іршанського ГЗК / Б.Ю. Собко // Збірник наукових праць НГУ. – 2009. – 32. – С. 26-31.

37.Хохряков В.С. Применение драглайнов для разработки скальных пород в условиях вытянутых крупных карьеров / В.С. Хохряков // Известия вузов. Горный журнал. – 1978. – №7.

38.Мельников Н.Н. Метод выбора параметров драглайнов и технология их нового применения на открытых разработках / Н.Н. Мельников // Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Свердловск. – 1974.

39.Собко Б.Е. Совершенствование технологии открытой разработки россыпных титано-циркониевых руд / Собко Б.Е. // Монографія. – Днепропетровск: РИК НГУ, 2008. – 167 с.

40.Садыков Г.Х., Аддамжаров А.І., Жаманкулов Ж.К. О производительности драглайна по системе "экскаватор-карьер" в условиях Лисаковского месторождения / Г.Х. Садыков, А.І. Аддамжаров, Ж.К. Жаманкулов // Открытая разработка недр Казахстана. – Алма-Ата, 1997. – 50. – С. 59-64.

41.Максимчук А.Г., Куксов М.Д., Бугаева Е.Г. Об эффективности использования драглайнов ЭШ-10/70 при транспортной системе разработки скальных пород / А.Г. Максимчук, М.Д. Куксов, Е.Г. Бугаева // Разработка рудных месторождений. – Киев: Техника, 1985. – С. 53-56.

42.Собко Б.Ю., Лотоус В.В., Маєвський А.М., Драбаха А.В. Визначення продуктивності екскаваторів-драглайнів, що працюють у комплексі із великовантажними автосамоскидами / Б.Ю. Собко, В.В. Лотоус, А.М. Маєвський, А.В. Драбаха // Науковий вісник НГУ. – 2011. – 5. – С. 31-36.

43.Маєвський А.М., Драбаха А.В. Оптимізація параметрів забою екскаваторів-драглайнів, що працюють у комплексі з автосамоскидами / А.М. Маєвський, А.В. Драбаха // Збірник статей «110-річчя Кременчуцького державного політехнічного університету». – Кременчук: КДПУ, 2010. – С. 72-81.

44.Собко Б.Ю., Ложников О.В. Встановлення ефективної ширини заходки драглайну при відпрацюванні надрудного уступу з водопонижуючими свердловинами / Б.Ю. Собко, О.В. Ложников // Геотехнічна механіка ІГТМ, 2018. – 139. – С. 145 – 156.

45.Собко Б.Е., Маевский А.М., Несветайло Н.В., Чебанов М.А. Определение оптимальной ширины заходки экскаватора драглайна при работе его в комплексе с автосамосвалами / Б.Е. Собко, А.М. Маевский, Н.В. Несветайло, М.А. Чебанов // Збірник наукових праць НГУ. – 2018. – 43. – С. 178-184.

46.Собко Б.Ю., Маєвський А.М., Чебанов М.О. Встановлення залежності кута повороту від ширини заходки та висоти уступу, при розвантажуванні драглайну у автосамоскид / Б.Ю. Собко, А.М. Маєвський, М.О. Чебанов // Збірник наукових праць НГУ. – 2015. – 49. – С. 81-86.

47.Собко Б.Е. Выбор рационального комплекса горнотранспортного оборудования для разработки Мотроновско-Анновского участка

Малышевского россыпного месторождения / Б.Е. Собко // Збірник наукових праць НГУ. – 2013. – 43. – С. 184-192.

48.Конаков В.С. Математическое описание процесса разгона груженого ковша драглайна / В.С. Конаков // Известия вузов. Горный журнал. – 1973. – №7.

49.Ткаченко В.Я. Определение границы зоны раскачивания ковша драглайна / В.Я. Ткаченко // Известия вузов. Горный журнал. – 1978. – №9.

50.Собко Б.Ю., Чебанов М.О. Безпечні параметри вибою екскаватора драглайна при навантаженні автосамоскидів / Б.Ю. Собко, М.О. Чебанов // Збірник наукових праць НГУ. – 2017. – 52. – С. 8-16.

51.Глушков А.Н., Сокотнюк А.А., Куксо Н.Д. Имитационная модель формирования эксплуатационной производительности драглайнов при выемке и погрузке скальных пород / А.Н. Глушков, А.А. Сокотнюк, Н.Д. Куксо // САПР горнодобывающих предприятий: Тезисы докладов Республиканской научно-технической конференции. – Ташкент, 1984. – С. 176-178.

52.Эскин В.С., Емец Н.А., Леляков И.И. Рабочее оборудование драглайна для эффективной погрузки горной массы в транспортные средства / В.С. Эскин, Н.А. Емец, И.И. Леляков // Марганец. Добыча, обогащение и переработка. – 1967. – 4. – С. 38-41.

53.Чебанов М.О., Собко Б.Ю., Маєвський А.М., Несвітайло М.В. Обґрунтування параметрів технологічної схеми роботи комплексів обладнання «ЭШ +автосамоскид» при розробці Мотронівсько-Аннівського кар'єру Вільногірського ГМК / М.О. Чебанов, Б.Ю. Собко, А.М. Маєвський, М.В. Несвітайло // Форум гірників. – Дніпропетровськ: РВК НГУ, 2015. – С. 128-136.

54.Чебанов М.О., Собко Б.Ю. Перспективы применения экскаватора драглайна в комплексе с автосамосвалами для разработки месторождений со сложными гидрогеологическими условиями / М.О. Чебанов, Б.Ю. Собко // Инновационные технологии – ключ к успешному решению

фундаментальных и прикладных задач в рудном и нефтегазовом секторах экономики РК: труды Сатпаевских чтений. Алматы: КазННТУ имени Сатпаева, 2019. – С. 709-713.

55.Чебанов М.О. Обґрунтування раціонального місця установки екскаватора драглайна у вибої при його роботі з автосамоскидами / М.О. Чебанов // Збірник наукових праць НГУ, 2020. – №60. – С. 143–149.

56.Рыжов П.А. Математическая статистика в горном деле / П.А. Рыжов. – Київ, 1973.

57.Собко Б.Ю., Чебанов М.О. Вплив фізико-механічних властивостей гірських порід на ширину заходки екскаватора драглайна при навантаженні автосамоскидів / Б.Ю. Собко, М.О. Чебанов // Збірник наукових праць НГУ, 2018. – 55. – С. 112–119.

58.Гуменик И.Л., Полищук С.З., Шурыгин В.Д., Емец Н.А. К вопросу повышения эффективности производства вскрышных работ на карьере №7 Вольногорского ГГМК / И.Л. Гуменик, С.З. Полищук, В.Д. Шурыгин, Н.А. Емец // Науковий вісник Національної гірничої академії України. – 1999. – 6. – С. 32-35.

59.Арсентьев А.И. Определение производительности и границ карьеров / А.И. Арсентьев. – Недра, 1970.

60.Бевз Н.Д., Советов Г.А. Изыскание оптимальной ширины рабочих площадок для карьеров СевГОКа / Н.Д. Бевз, Г.А. Советов // Отчет по НИР. – Кривой Рог. – КГРИ, 1972.

61.Ганицкий В.И. Организация производства на карьерах / В.И. Ганицкий. – Недра, 1983.

62.Шакиров А.Ш. Разработка скальных пород драглайном при погрузке на железнодорожный транспорт / А.Ш. Шакиров // Открытые разработки недр Казахстана. – 1973. – 53. – С. 29-33.