

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ВІДКРИТИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної роботи

на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістра
зі спеціальності 184 “Гірництво” ОПП «Відкриті гірничі роботи»

На тему: **«Дослідження параметрів елементів системи розробки нерудних
родовищ корисних копалин із використанням мобільних дробильних
комплексів»**

Виконав ст. групи ГІВ-23-1м _____

/Ільницький В.О./

Керівник _____

/Жуков С.О./

Завідувач кафедри _____

/Жуков С.О./

Кривий Ріг

2024 р.

РЕФЕРАТ

Магістерська робота на тему «Дослідження параметрів елементів системи розробки нерудних родовищ корисних копалин із використанням мобільних дробильних комплексів» викладена на 54 стр., містить 21 рис. і 42 джерела літератури.

Актуальність теми. Сучасні тенденції розвитку гірничодобувної промисловості характеризуються зростаючими вимогами до ефективності видобутку корисних копалин, оптимізації витрат і мінімізації впливу на навколишнє середовище. У цьому контексті особливу увагу привертає використання мобільних дробильних комплексів, які дозволяють значно підвищити продуктивність і гнучкість технологічних процесів розробки нерудних родовищ. Подальше вивчення і впровадження подібних систем сприятиме скороченню транспортних витрат та підвищенню ритмічності виробництва, що пов'язані із перевезенням сировини. Водночас ефективність їхнього застосування значною мірою залежить від оптимізації параметрів елементів системи розробки, таких як довжина фронту робіт, ширина площадки, висота уступу, місцерозташування комплексів тощо.

Дослідження параметрів елементів системи з використанням мобільних дробильних комплексів дозволяє розробити науково обґрунтовані підходи до підвищення ефективності експлуатації нерудних родовищ. Це є особливо актуальним для України, яка володіє значними запасами нерудних корисних копалин, що мають стратегічне значення для економіки країни.

Більш того, тема дослідження також набуває важливості в умовах глобальної тенденції до сталого розвитку, яка передбачає впровадження інноваційних технологій для раціонального використання природних ресурсів. Таким чином, актуальність роботи обумовлена як науково-технічними, так і соціально-економічними факторами.

Мета й завдання роботи. Метою даної магістерської роботи є наукове обґрунтування оптимальних параметрів елементів системи розробки нерудних родовищ будівельної сировини при використанні мобільних дробильних комплексів. Для досягнення поставленої мети в роботі сформовані **основні задачі дослідження:**

1. Виконати аналіз вивченості питання проектування і експлуатації систем з мобільними дробильними комплексами у нерудних кар'єрах.

2. Проаналізувати існуючі технологічні схеми експлуатації мобільних дробильних комплексів на кар'єрах нерудної будівельної сировини.

3. Встановити оптимальні значення параметрів елементів системи розробки нерудних родовищ корисних копалин із використанням мобільних дробильних комплексів.

Об'єкт дослідження – мобільні дробильні комплекси нерудних родовищ корисних копалин.

Предмет дослідження – взаємозв'язки параметрів елементів системи розробки при експлуатації мобільних дробильних комплексів.

Ідея. Підвищити ефективність розробки нерудних родовищ будівельної сировини за рахунок оптимізації параметрів елементів системи розробки з використанням мобільних дробильних комплексів.

Методи дослідження. Аналіз і синтез літературних джерел - для вивчення сучасного стану проектування кар'єрів будівельних матеріалів; метод кореляційно-регресійного аналізу – для оптимізації параметрів системи розробки при використанні мобільних дробильних комплексів.

Наукове значення роботи полягає у аналізі теорії і практики експлуатації мобільних дробильних комплексів, а також оптимізації значень

довжини фронту робіт екскаватору, що працює в комплексі з мобільними дробильними агрегатами.

Практичне значення роботи полягає у розробці математичних моделей для оптимізації параметрів елементів системи розробки і встановленні області їх раціональних значень.

параметри системи розробки, мобільні дробильні комплекси, довжина фронту робіт, конвеєр, нерудні будівельні матеріали.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ВИВЧЕНОСТІ ПРОБЛЕМИ ПРОЄКТУВАННЯ КАР'ЄРІВ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ПЕРЕДБАЧАЮТЬ ВИКОРИСТАННЯ МОБІЛЬНИХ ДРОБАРНИХ КОМПЛЕКСІВ	8
РОЗДІЛ 2. ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ МОБІЛЬНИХ ДРОБИЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ	20
<i>2.1. Дослідження параметрів технологічного обладнання, що використовується при розробці нерудних будівельних матеріалів</i>	20
<i>2.2. Вивчення технологічних схем експлуатації систем з мобільними дробарними комплексами</i>	25
РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ ФРОНТУ ГІРНИЧИХ РОБІТ ПРИ РОЗРОБЦІ РОДОВИЩ НЕРУДНИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	43
ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	50

ВСТУП

Однією з основних галузей української економіки є будівельна галузь. Значні обсяги житлового та промислово-цивільного будівництва, а також зростання державних інвестицій у дорожнє будівництво в періоди до початку військових дій викликали необхідність збільшення видобутку та переробки основних нерудних матеріалів: щебеню, гравію та піску.

Виробничі потужності стаціонарних щебеневих кар'єрів, що існують з радянських часів, не завжди справлялись із запитами ринку, тому для збільшення обсягу виробництва потрібне технічне переоснащення морально застарілого дробарного обладнання.

Поряд із постачанням стаціонарних дробильно-сортувальних комплексів став розвиватися і ринок мобільного дробильного обладнання. Ця обставина дозволила включати у процес розробки невеликі кар'єри, відвали розкривних порід та родовища піщано-гравійних сумішей, на яких будівництво стаціонарних дробильних заводів раніше було нерентабельним. Мобільність таких дробильно-сортувальних комплексів дозволяє швидко змінювати технологічну схему переробки первинного матеріалу та отримувати кінцеві фракції щебеню за кількістю, якістю та розміром, що відповідають запитом замовника.

Поява на ринку мобільного дробильного обладнання дозволила вирішити й одну з проблем щодо утилізації будівельного сміття та залізобетонних конструкцій, яка починає гостро вставати у великих містах України. Можливість отримання якісного, але дешевшого вторинного щебеню призвела до появи на ринку нового напрямку – рециклінгу або ресайклінгу матеріалів.

Вибір технології та конкретних моделей обладнання для виробництва щебеню залежить від виду перероблюваного матеріалу, його абразивності, якості та призначення готового продукту, необхідного відсоткового відношення кубоподібних зерен, передбачуваної продуктивності.

Для підприємств із виробництва щебеню особливістю і те, що якість вихідної гірської породи забої цілком визначає ефективність її переробки робочому майданчику. Виробничі потужності кар'єру та дробильного комплексу повинні бути ув'язані таким чином, щоб потреба комплексу у вихідній сировині повністю задовольнялася з урахуванням втрат та відходів при дробленні. Технологічна ув'язка між технологічними процесами кар'єру та дробильним комплексом полягає у забезпеченні відповідності максимальних розмірів шматків породи та прийомних отворів дробарок, а також у забезпеченні постійного гранулометричного складу вихідної гірської породи, що надходить на переробку.

Залежно від виду сировини, що переробляється, і вимог до готової продукції технологічні схеми виробництва щебеню включають такі основні операції: щокове, конусне і роторне дроблення. В основу даних способів дроблення покладено принципи роздавлювання, удару та стирання. На відміну від стаціонарних комплексів мобільні установки монтуються оперативно протягом кількох годин. Для їх перевезення не потрібні значні трудовитрати, а для експлуатації достатньо мінімуму допоміжного обладнання. Використання мобільних установок передбачає отримання додаткового прибутку (у т. ч. і завдяки використанню знижуючих витрат палива ефективніших двигунів і прямого приводу), працювати безпечніше та ефективніше, ніж на стаціонарних комплексах.

Достатньо підрахувати витрати на виробництво фундаментів, встановлення опорних металоконструкцій, підйомну техніку та робочу силу, щоб оцінити переваги мобільних дробарок.

Одна мобільна установка здатна обслуговувати кілька кар'єрів з обсягом виробництва до 1 млн. т на рік. Крім того, використання мобільних установок дозволяє зменшити кількість операторів, необхідних для експлуатації дробильно-сортувального комплексу.

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ВИВЧЕНОСТІ ПРОБЛЕМИ ПРОЄКТУВАННЯ КАР'ЄРІВ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ПЕРЕДБАЧАЮТЬ ВИКОРИСТАННЯ МОБІЛЬНИХ ДРОБАРНИХ КОМПЛЕКСІВ

Аналіз проблем, виявлених при експлуатації гірничо-технологічного комплексу з виробництва щебеню на кар'єрах західної України (ТОВ «Миропільський гранкар'єр», ТОВ «Райківський гранітний кар'єр», ТОВ «Лезниківський кар'єр», ПАТ «Щорсівський гранітний кар'єр» та інших) показує, що при виборі технічних характеристик обладнання слід особливу увагу приділяти відповідності фізико-механічних властивостей гірських порід родовища, що відпрацьовується, рекомендованим для комплексів типу; забезпечення оптимального розміру шматка підірваної гірничої маси, що надходить на дроблення; виконання конструктивних вимог при виборі місця встановлення та будівництва фундаменту та підпірної стінки; виконання екологічних вимог щодо ГДК на межах СЗЗ (санітарно-захисних зон) при розташуванні населених пунктів у безпосередній близькості до гірничого відводу підприємств.

У роботі [1] розглянуто методи визначення основних параметрів кар'єрів з розробки родовищ будівельних гірських порід, узагальнено досвід роботи підприємств, що видобувають і переробляють гірничі породи для виробництва щебеню.

Істотною перевагою модульного дробильно-сортувального заводу є випуск щебеню великих фракцій, що застосовується в будівельних роботах як баластний шар залізничних колій, і дрібних фракцій у будь-якому співвідношенні, з можливістю випуску гранітного щебеню фракцій 5-8 мм, 5-10 мм, який використовується в високоміцних і тонкостінних бетонах, а також для виготовлення асфальтобетонних сумішей, і на який існує стійкий попит.

Дробильна установка, призначена в першу чергу для використання у складі мобільних асфальтобетонних заводів, дозволить у ряді випадків відмовитись від дорогих в експлуатації роторних дробарок.

Дорожні покриття, виконані з щебенево-мастичного асфальтобетону (ЩМА), більш стійкі до дії шипованих абразивних гум. Рівень шуму при русі за таким покриттям на 2-4 дБ нижче порівняно з традиційними дорожніми одежами. Підвищений вміст в асфальтобетоні щебеню позитивно впливає на стійкість до зсуву і зносостійкість дорожнього покриття, збільшує його водонепроникність, водо- і морозостійкість, покращує безпеку дорожнього руху.

На вітчизняних гірничодобувних підприємствах використовується широка гама обладнання (переважно зарубіжного) для руйнування та переробки гірських порід [1, 2].

Розрізняють три базові типи дробарок, і в основі цих відмінностей лежать три типи впливу робочого органу, що дробить, на оброблюваний матеріал [3]. Щокова дробарка, що з'явилася першою за хронологією, використовує ефект роздавлювання матеріалу між двома поверхнями при порівняно повільному наростанні тиску. Конусна дробарка використовує і роздавлювання, і стирання між двома поверхнями, що рухаються.

Дробарка ударної дії (і в першу чергу роторна) подрібнює матеріал за допомогою ударів: або по шматку матеріалу, що лежить на поверхні, або ударом деталі, що швидко рухається (до 70 м/сек.) по шматку матеріалу, або ударом шматка матеріалу, що рухається з великою швидкістю на нерухому плиту. Основними параметрами, що характеризують щокову дробарку, є максимальні розміри завантажувального та розвантажувального отворів. Шириною завантажувального отвору визначається найбільший розмір шматків матеріалу, що завантажуються. Розмір максимального куска приймається рівним 0,8 – 0,85 ширини завантажувального отвору. Від

рівномірності подачі матеріалу та рівномірності розподілу його за довжиною завантажувального отвору залежить продуктивність дробарки.

Всі існуючі типи шокових дробарок діляться за характером руху рухомої щоки на два великі класи - на дробарки з простим або складним хитанням.

Дробарки зі складним хитанням щоки забезпечують дроблення матеріалу не тільки за рахунок стиснення, але і за рахунок його стирання між обтискаючими поверхнями, так як величина вертикальної складової ходу щоки в цих дробарках істотно вище. Однак ціною підвищення ефективності є зниження терміну служби захисних футеровок за рахунок підвищеного зносу їх матеріалу.

За конструктивними ознаками дробарки ударної дії поділяються на такі типи: молоткові дробарки з шарнірно-підвішеними молотками і дробарки роторні з жорстко закріпленими білами.

Для виробництва товарного щебеню з гірських порід переважно використовуються роторні дробарки, оскільки колосникові решітки молоткових дробарок не дозволяють забезпечити надійну роботу з матеріалом середньої та високої міцності.

Щокові дробарки забезпечують успішну роботу з матеріалом, з межею міцності при стисканні до 300 МПа та можуть бути оснащені електромеханічним приводом для дистанційного регулювання ширини вихідної щілини. Дробарки зарекомендували себе надійними машинами, що забезпечують дроблення гірської породи розміром до 680 мм. Однак за ступенем подрібнення продукту шокові дробарки значно поступаються роторним. Швидкість бив роторних дробарок сягає до 50 м/сек, що дозволяє забезпечити рівень подрібнення до 7-8 одиниць при дробленні міцних вапняків. І хоча така енергетична ефективність веде за собою виробництво значної кількості відсівів (0-5 мм), це компенсується високим виходом

кубоподібних зерен, що забезпечують високі споживчі якості товарного щебеню.

Серед конусних дробарок, призначених для переробки руд, нерудних корисних копалин та інших аналогічних матеріалів, особливу увагу слід приділити дробарці, в конструкції якої застосована гідравлічна опора нерухомого конуса, що дозволяє дистанційно регулювати розмір розвантажувальної щілини і пропускати не дроблені предмети без зупинки дробил.

Крім дробарок та агрегатів дроблення на гірничодобувних підприємствах широко використовуються різні види грохотів для сортування щебеню, вугілля, гравійно-піщаної маси та інших матеріалів, а також живильники та конвеєри для швидкого та рівномірного завантаження та транспортування матеріалів.

Шляхом об'єднання декількох мобільних установок формують мобільні дробильні комплекси, передбачені для багатостадійного дроблення гірських порід. Через можливість оперативного переміщення подібних комплексів мобільного виконання вони набувають все більшої популярності серед гірничодобувних компаній. З огляду на невелику виробничу потужність, подібні комплекси вводяться в експлуатації на відносно короткі проміжки часу.

До автодорожного щебеню пред'являються наступні вимоги:

- понад 120 МПа межі міцності на стискання;
- геометрична форма зерен у вигляді кубу (при вмісті лещатих зерен до 15%);
- зважений гранулометричний розподіл [3-6].

Сумарний вихід щебеню більший за 5 мм не перевищує 75 %, до 25 % гірської маси становить відсів, який часто стає відходом.

Багато вітчизняних ДСЗ побудовано понад чверть століття тому, коли першорядною була наявність щебеню, а не його якість. Нині вітчизняні ДСЗ

застосовують не оптимальні технології, їх устаткування не тільки фізично зношене, а й морально застаріло.

Найбільшої продуктивності з виробництва кубовидного щебеню досягають при умові подачі вузької фракції до останньої дробарки, яка за розміром близька до ширини приймальної щілини.

Реконструкція дробильно-сортувальних підприємств пов'язана з рядом економічних і технологічних викликів (заміна дробарок на останній стадії дроблення, збільшення площ гуркотіння, зміна внутрішньої транспортної системи, розширення складів готової продукції тощо). Технологічне обладнання (дробилки, грохотів), застосовуване у таких установках, нині випускається як вітчизняними, і зарубіжними фірмами. При роботі таких установок можна враховувати сезонний попит на щебінь для дорожнього будівництва [7].

Виробництво щебеню вузьких фракцій кубоподібної форми у промислових обсягах було організовано у середині 90-х років минулого століття. Для цього спочатку переважно використовувалося дробильно-сортувальне обладнання зарубіжних фірм "Svedala" (Швеція), "Nordberg" (Фінляндія), "Parker" (Великобританія), оскільки в Україні дробильного обладнання для виробництва щебеню кубоподібної форми не випускалося [8].

Мобільне обладнання на гусеничному ході та комплекс, що складається з мобільних дробильних агрегатів, є найбільш оптимальним рішенням при освоєнні та розробці нових родовищ.

В умовах кар'єру, що будується, і досягнення проектної продуктивності, неналагодженої повною мірою роботи гірничого цеху, представляється доцільним використовувати менш продуктивний (у порівнянні з великим стаціонарним) і більш гнучкий мобільний комплекс. Його застосування дозволяє уникнути витрат, пов'язаних із будівництвом бетонних фундаментів для стаціонарного ДСЗ, підпірної стінки та пандусу, а

також відмовитися від закупівлі важких кар'єрних автосамоскидів для транспортування гірської маси.

Перевагою є повна автономність обладнання та, відповідно, незалежність від зовнішнього електропостачання. Мобільні комплекси можуть використовуватися на неосвоєній території та дозволяють з найменшими витратами створювати інфраструктуру нового кар'єру [8-11].

За останні кілька років завдяки значно збільшеному попиту на дробильно-сортувальне обладнання для виробництва щебеню на українському ринку з'явилася велика кількість компаній, що виробляють мобільні та дробильно-сортувальні установки. Широковідомими в галузі є мобільні установки виробництва Metso Minerals і Sandvik [8].

З аналогів продукції Metso Minerals можна відзначити мобільні установки Fintec. Мобільні установки Fintec комплектують дробильними агрегатами Sandvik, головного конкурента Metso Minerals. Модельний ряд Fintec менш насичений, ніж у Metso Minerals: компанія виробляє три мобільні дробильні установки та три мобільні установки грохочення. Накопичений за багато років досвід поставок на ринок дробильно-сортувального обладнання в різному виконанні дозволяє проаналізувати практику застосування імпортного обладнання в Україні.

Компанія Sandvik, яка є одним із світових лідерів з виробництва обладнання для гірничої та будівельної галузей промисловості, поряд зі стаціонарним пропонує і мобільне обладнання як на гусеничному, так і на колісному шасі.

Аналіз досвіду експлуатації мобільного обладнання на гусеничному шасі, поставленого як компанією Sandvik, так і іншими зарубіжними виробниками, дозволив виявити переваги та недоліки даного обладнання, яке використовується для вітчизняного виробництва щебеню. Переваги мобільних комплексів полягають у наступному:

- відсутність капітальних витрат на зведення пандуса, підпірної

стілки для станції первинного дроблення та фундаментів для дробарок та грохотів;

- відсутність транспортування гірської маси важкими самоскидами;
- найкоротші терміни введення в експлуатацію;
- можливість використання установки первинного дроблення при розробці нового кар'єру для будівництва під'їзних доріг;
- менші транспортні витрати порівняно з витратами на транспортування аналогічного стаціонарного обладнання під час його постачання;
- можливість оперативного переміщення обладнання на значні відстані у разі потреби;
- незалежність від електропостачання.

До недоліків мобільних комплексів слід віднести:

- необхідність виведення обладнання на безпечну відстань та припинення роботи під час проведення вибухових робіт;
- більш жорсткі вимоги до підготовки робочого майданчика уступу після проведення буропідривних робіт з метою організації подачі гірничої маси в первинну установку за допомогою екскаватора та розташування ланцюжка обладнання на рівній горизонтальній поверхні;
- необхідність застосування лише гідравлічних екскаваторів для завантаження первинної установки дроблення;
- більш високі вимоги до кваліфікації оператора екскаватора, що завантажує гірську масу в бункер станції первинного дроблення, оскільки від ефективності роботи залежить продуктивність всього технологічного ланцюга обладнання;
- невеликі обсяги приймальних бункерів та неможливість організації великих проміжних складів;

- неможливість організації постійного рівномірного живлення I та II стадій дроблення;
- невеликі склади готового продукту у зв'язку з незначною протяжністю розвантажувальних конвеєрів;
- нижчі (порівняно з електричними двигунами стаціонарного обладнання) надійність та ресурс дизельних двигунів, що використовуються як силові установки мобільного обладнання, і гідроприводів (привід гусеничного шасі, гідромуфти приводу дробарок, гідромотори конвеєрів, живильників тощо);
- більш жорсткі вимоги до культури обслуговування та кваліфікації персоналу, пов'язані з більш складними приводами та трансмісіями (дизельні двигуни, гідромуфти, гідронасоси, гідромотори, гідравлічні клапани тощо);
- більш низька надійність і ресурс основного обладнання (дробилок, грохотів, живильників), пов'язані з високим рівнем вібрації через неможливість забезпечити достатню жорсткість опорних конструкцій та строго горизонтальну їх установку;
- нижчий (приблизно на 30%) коефіцієнт використання обладнання порівняно з аналогічним основним обладнанням, встановленим стаціонарно, через відсутність великих приймальних бункерів та проміжних складів та необхідність виведення обладнання для проведення вибухових робіт та переміщення його вздовж уступу у міру відпрацювання підірваної гірничої маси.

Вирішення питань, пов'язаних з технологією та комплексною механізацією відкритої розробки родовищ базується на широкій теоретичній базі та широкому колі досліджень таких вітчизняних вчених як М.І. Агошков, Ю.І. Аністратов, А.І. Арсентьєв, Ж.В. Бунін, К.Є. Віницький, С.Є. Гавришев, В.А. Галкін, А.В. Гальянов, Ф.Г. Грачов, П.І. Городецький, С.А.

Ільїн, Ю.Є. Капутін, Ю.Г. Карасьов, В.В. Квітка, В.С. Коваленко, В.Ф. Колесников, С.В. Корнілков, О.М. Косолапов, Н.А. Мацько, Н.В. Мельников, Н.М. Мельников, М.Г. Новожилов, А.А. Пешков, В.В. Ржевський, С.П. Решетняк, О.М. Салманов, П.І. Томаков, К.М. Трубецькій, В.П. Федорко, С.І. Фомін, Г.А. Холодняков, В.С. Хохряков, В.Г. Шитарьов, О.В. Шпанський, М.І. Щадов, Н.М. Чаплігін, Б.П. Юматов, В.Л. Яковлев та ін.

Авторами розроблено низку рекомендацій щодо оптимального використання мобільного дробарно-сортувального обладнання на гусеничному шасі - доцільно використовувати даний тип обладнання при розробці кар'єрів з річною продуктивністю не більше 1 млн. т. [5, 12-14].

Найбільш раціональним є організація роботи за допомогою мобільного обладнання тільки в I стадії, а II та III стадії можуть бути стаціонарними. У цьому випадку річна продуктивність може бути більше 1 млн т. При цьому слід провести порівняльний економічний аналіз роботи стаціонарного та мобільного обладнання в I стадії з урахуванням наведених вище позитивних та негативних факторів.

У ряді випадків доцільно застосовувати мобільне обладнання у дві стадії для великих (20-70, 25-60, 20-40 мм) і дрібних фракцій щебеню при невисоких вимогах до якості останніх.

Організація тристадіального дроблення з отриманням високоякісного щебеню дрібних фракцій на базі мобільного обладнання на гусеничному ході є недоцільною.

Доказом всього вищесказаного є досвід експлуатації даного типу устаткування закордоном. Як правило, подібне обладнання експлуатується в одну зміну п'ять днів на тиждень і не використовується на великих кар'єрах, що виконують великі обсяги дрібних фракцій високої якості.

Питання, пов'язані з технологією ведення гірничих робіт з використанням мобільних дробильних агрегатів, розглядалися вченими О.В.Шпанським та Ю.Д.Буяновим [15].

Автори описали дві основні схеми організації гірничих робіт при розробці скельних порід залежно від типу дробильної установки, що застосовується, і місця її розташування в кар'єрі:

1. З використанням самохідної дробарки, що встановлюється у вибої. Завантаження породи в дробарку здійснюється екскаватором через бункер живильник, який є складовою дробильної установки та змонтований на одній з нею платформі. З дробарок порода потрапляє на конвеєри, які транспортують її безпосередньо до дробарок другої стадії дроблення або до проміжних складів.

Недоліками схеми є часте переміщення забійних конвеєрів та необхідність огороження забійних конвеєрів під час вибухових робіт.

Ці недоліки можуть бути суттєво зменшені при установці між самохідною дробаркою та вибійним конвеєром самохідного конвеєра-перевантажувача. Це дозволяє розміщувати забійні конвеєри на великій відстані від вибою та рідше їх пересувати.

2. З використанням пересувних дробарок, що встановлюються на робочому майданчику. Виймально-навантажувальні роботи та доставка породи до дробарок можуть здійснюватися у цих випадках за допомогою одноковшових колісних навантажувачів, а іноді і канатних скреперів. Дробарка та конвеєр пересуваються значно рідше, ніж при застосуванні попередньої схеми. Крок пересування дробарки визначається доцільною відстанню доставки породи із вибою одноковшовим навантажувачем (або канатним скрепером).

Схема розробки корисної товщі родовища одним уступом при використанні комплексу з самохідним дробильним агрегатом, при бічному розташуванні вибійних та центральному примиканні сполучних конвеєрів так само розглянута в роботі [15].

При застосуванні комплексу з самохідним дробильним агрегатом доцільним є відпрацювання уступів поздовжніми паралельними заходками.

При цьому способі можливе відпрацювання уступів вузькими (на одну екскаваторну заходку) та широкими (до двох-трьох заходок) смугами з одного положення забійного конвеєра. Відстань по підшві від блоку, що вибухає, до конвеєрного ставу повинна бути не менше 50-60 м, і крок пересування дорівнює ширині заходки по цілику (ширині вибухового блоку породи).

При відпрацюванні блоку частинами одна або дві екскаваторні заходки з розвалу підірваної породи відпрацьовуються на колишнє (до пересування) положення забійного конвеєра.

Застосування ЦПТ визначає відповідні вимоги до формування та розвитку робочої зони кар'єру, яка характеризується двома основними параметрами – шириною робочих майданчиків та довжиною фронту гірничих робіт. Зміна цих параметрів протягом періоду експлуатації кар'єру, залежно від його глибини, є об'єктивною закономірністю. У робочій зоні кар'єра швидкість зниження розкривних і видобувних робіт у випадку різна навіть за однакових горизонтальних швидкостей просування уступів. До завершення формування замкнутого контуру кар'єра швидкість зниження розкривних робіт менше, ніж видобувних, а надалі перевищує швидкість зниження видобувних робіт. Відповідно до цього перехід на ЦПТ по розкривних породах найбільш доцільний у період, коли гірничі роботи в кар'єрі виходять на кінцевий контур. З урахуванням більш інтенсивного зростання середньозваженої глибини виїмки розкривних порід у порівнянні зі зростанням глибини видобувних робіт повинна бути збільшена частота перенесення а породних дробарно-перевантажувальних комплексів на нижчі горизонти для збереження раціональної відстані транспортування складальним автотранспортом.

У роботі [16] докладно розглянуто питання застосування поточної та циклічно-поточної технології на кар'єрах з видобутку нерудних матеріалів. Автор приділяє велику увагу розгляду гірничо-геологічних умов родовищ.

Однією з основних особливостей багатьох родовищ нерудних корисних копалин є наявність великоуламкового матеріалу в зв'язкових і піщано-гравійних породах, що перешкоджає застосуванню для розробки екскаваторів безперервної дії.

Основним засобом безперервного транспорту нині й у майбутньому слід вважати стрічкові конвеєри. Однією з головних ланок циклічно-поточної технології, за допомогою яких здійснюють взаємозв'язок між обладнанням циклічної та безперервної дії, є бункери-живильники. Тому від їхньої працездатності залежить ефективна дія всього комплексу гірничотранспортного обладнання.

Комплексна механізація розкривних та видобувних робіт при розробці горизонтальних та пологих покладів найбільш повно розглянута акад. Ржевським В.В. [17]. Їм доведено, що при розробці такого типу родовищ визначальне значення має розкривний технологічний комплекс. Найбільш ефективними є безтранспортні технологічні схеми з використанням виймально-відвальних (ВО) та екскаваторно-відвальних (ЕО) комплексів розкривного обладнання.

РОЗДІЛ 2. ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ МОБІЛЬНИХ ДРОБИЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ

2.1. Дослідження параметрів технологічного обладнання, що використовується при розробці нерудних будівельних матеріалів

Ефективність застосування схем з мобільними дробильними комплексами, рівень використання обладнання, продуктивність системи залежать від комплектності всіх машин і механізмів, що беруть участь у технологічному процесі.

Зіткнувшись із проблемою оптимізації параметрів технологічних схем експлуатації мобільних дробильних комплексів, було помічено, що в переважна більшість вітчизняної наукової літератури містить тільки загальні підходи розробки родовищ при їх експлуатації. При проектуванні та застосуванні мобільних дробильних агрегатівна відкритих гірничих роботах часто постає виклик щодо раціональності, ефективності використання певних технологічних схем у пропонованих гірничо-геологічних та гірничотехнічних умовах.

Підбір і придбання дорогого дробильного обладнання пов'язаний з урахуванням безлічі фахівців, не тільки вартісних і технологічних, але і з можливим прогнозуванням якості матеріалу, що отримується, зміни до його вимог, а також екологічних наслідків експлуатації дробильних машин у кар'єрах.

У цих умовах, коли помилки у прийнятті рішень щодо капіталовкладення часом призводять до погіршення техніко-економічних показників розробки, наявність наукового обґрунтування і упорядкування існуючих схем відпрацювання родовищ з використанням є вельми актуальним.

Дослідження щодо вдосконалення технології виробництва щебеню

ведуться у таких напрямках [18-22]:

- 1) розвиток теорії руйнування гірських порід як полікристалічних матеріалів;
- 2) створення нового дробильного обладнання, що забезпечує отримання високоякісного щебеню за мінімальних енергетичних витрат;
- 3) наукове обґрунтування та розробка технологій видобутку щебеню, що враховують гірничо-геологічні та гірничотехнічні особливості родовищ НБМ, що відпрацьовуються кар'єрами.

Технологія дроблення гірських порід під час виробництва щебеню повинна забезпечувати отримання максимального виходу необхідних фракцій при мінімальному виході відсіву 0-5 мм. Саме ці показники характеризують ефективність технологічної схеми дроблення.

При виборі оптимальної технологічної схеми відпрацювання родовищ будівельних матеріалів, що відпрацьовуються з використанням мобільних дробильних комплексів, необхідно визначити:

1. Кількість стадій дроблення (тип дробилок).
2. Тип навантажувального обладнання (спосіб навантаження в бункер дробарки, наявність перевантажувачів).
3. Вид транспорту.
4. Способи встановлення дробарок у кар'єрі та кількість пересувань комплексу.

Розрізняють три базові типи дробарок, і в основі цих відмінностей лежать три типи впливу робочого органу на перероблювану гірську масу.

Основними параметрами, що характеризують щокону дробарку, є максимальні розміри завантажувального та розвантажувального отворів. Шириною завантажувального отвору визначається максимально можливий розмір шматків гірської породи, що завантажуються. Розмір максимального шматка приймається рівним 0,8-0,85 ширини завантажувального отвору. Від рівномірності подачі матеріалу та рівномірності розподілу його за довжиною

завантажувального отвору залежить продуктивність дробарки.

Щокова дробарка призводить до отримання переважно лещадного продукту, у зв'язку з чим ніколи не використовується для середнього та дрібного дроблення. Велике руйнівне (стискаюче) зусилля, а також переважний вихід лещадного продукту, що забезпечує більш ефективну роботу дробарок останньої стадії дроблення, зумовлює високу ефективність використання таких дробарок в першій стадії дроблення.

Ступінь подрібнення матеріалу вони не висока. Графік гранулометричного складу готового матеріалу після дроблення в щоковій дробарці та в роторній дробарці, представлений на рис. 2.1 та 2.2, відповідно.

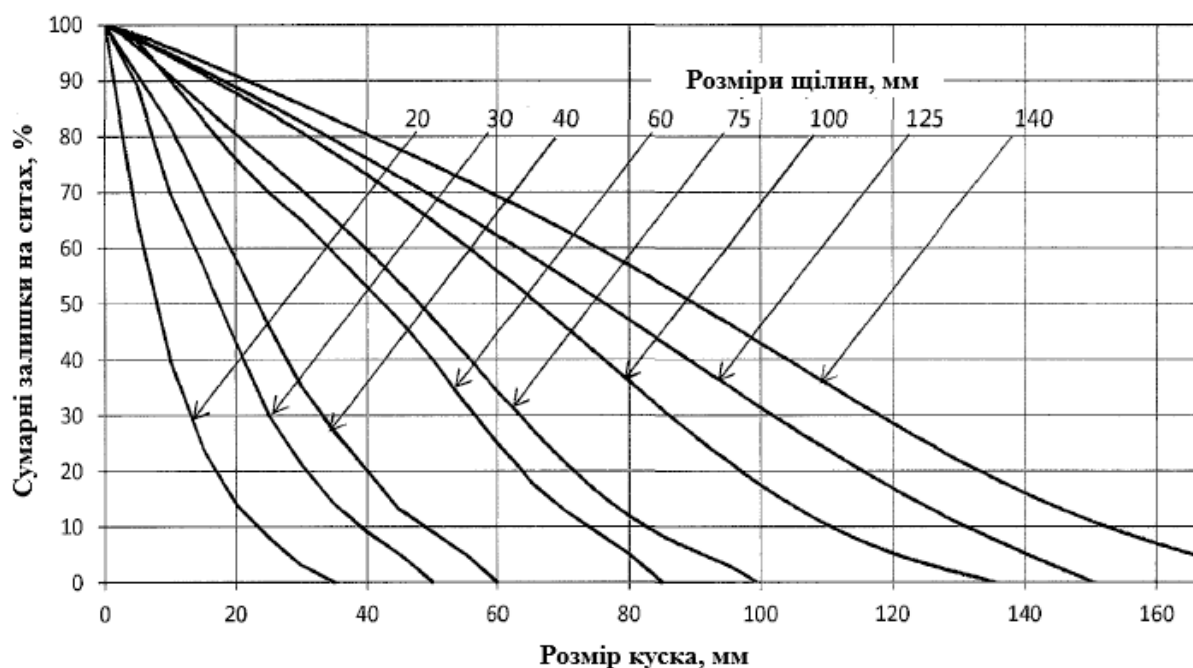


Рис. 2.1 – Графік гранулометричного складу готового матеріалу після дроблення в щоковій дробарці

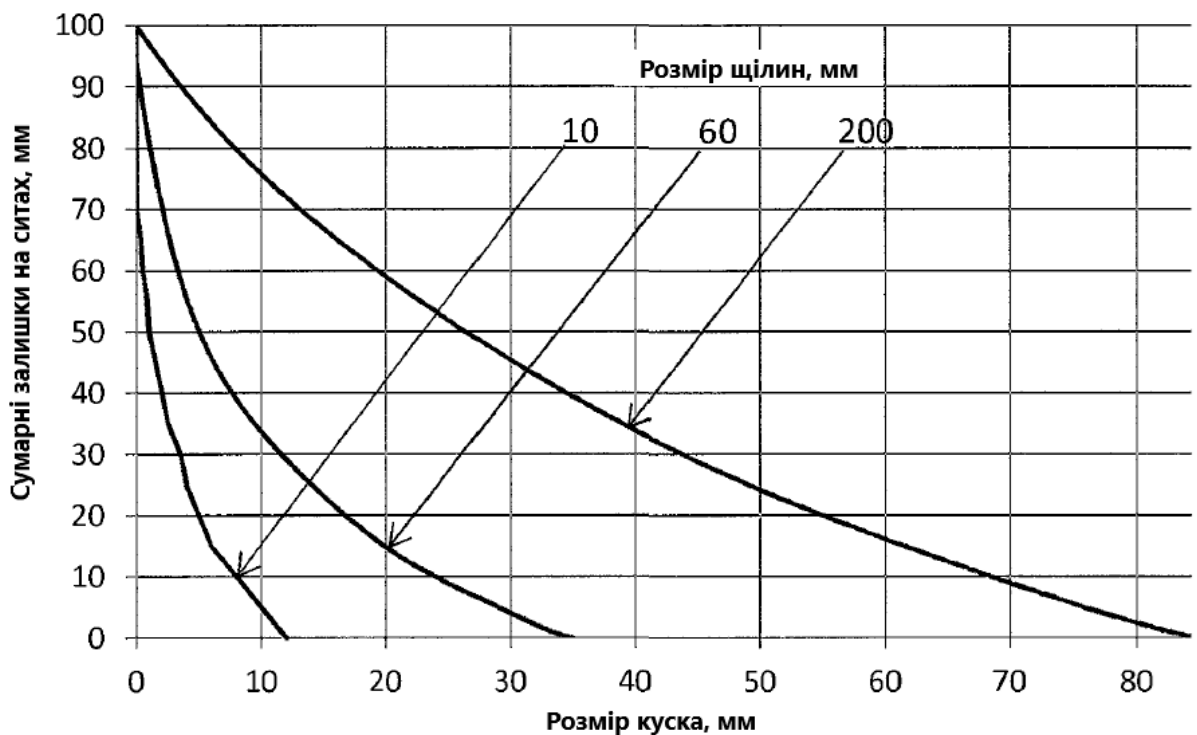


Рис. 2.2 – Графік гранулометричного складу готового матеріалу після дроблення в роторній дробарці

Наочна перевага роторних інших обилек за ступенем подрібнення виявляється при порівнянні графіків, представлених на рис. 2.1 та 2.2 [23-24]. Швидкість біла до 41,5 м/с дозволяє забезпечити ступінь подрібнення до 7-8 одиниць при дробленні міцних вапняків. Така енергетична ефективність має і свій зворотний бік – виробництво надмірної кількості відсівів (0-5 мм). Однак це компенсується високим виходом кубоподібних зерен, що забезпечують високі споживчі якості товарного щебеню. Дробарки ударної дії (роторні, відцентрово ударні), застосовуються для дрібного дроблення та кубізації, їх раціонально застосовувати у другій або наступних стадіях дроблення.

Для завантаження гірських порід у мобільні дробильні комплекси можуть використовуватися: екскаватор, колісний навантажувач та різного роду конвеєрні перевантажувачі.

При відпрацюванні родовищ нерудних будівельних матеріалів з

використанням мобільних дробильних комплексів за циклічною або циклічно-поточною схемою, основним механізмом для завантаження порід у приймальний бункер мобільної дробильної установки є гідравлічний екскаватор типу зворотна лопата [4]. Це зумовлюється сукупністю факторів необхідних для забезпечення раціональності та безпеки вантажних робіт. Геометрична форма ковша екскаватора відповідає формі приймального бункера, що дозволяє робити точне навантаження гірських порід, виключаючи її потрапляння поза контуром отвору.

Ємність ковша навантажувального механізму підбирається з умов забезпечення необхідного заповнення бункера живильника, що в свою чергу забезпечує необхідну продуктивність мобільного дробильного комплексу і виключення простоїв. Виходячи з необхідності забезпечення незалежності роботи дробильних установок та завантажувальних механізмів, місткість бункера повинна бути не менше 2-3-кратного обсягу завантажувального механізму [25-29].

Виходячи з умов достатньої видимості екскаваторником приймального бункера, гідравлічний екскаватор може здійснювати навантаження гірських порід у приймальний бункер з проміжного уступу, при цьому відпрацьовуючи уступ як верхнім, так і нижнім черпанням [29].

Використання в якості виймально-навантажувального обладнання пневмоколісного навантажувача дозволяє скоротити кількість пересувань мобільного комплексу, за рахунок можливості навантажувача швидко доставляти гірську масу з вибою в приймальний бункер дробарки, а також при невеликій продуктивності підприємства вести паралельну роботу в декількох вибоях, на суміжних уступах, при організації ковзного з'їзду на горизонт, що лежить нижче. Однак, невеликі розміри колісних навантажувачів накладають деякі обмеження на висоту уступу [29-31].

При використанні циклічно-поточних схем відпрацювання можливе використання самохідних конвеєрних перевантажувачів для завантаження

порід у бункер приймальної мобільної дробарки. Використання в технологічних схемах самохідних конвеєрних перевантажувачів дозволяє забезпечувати велику ширину робочого майданчика при відпрацюванні високих уступів, а також скоротити кількість конвеєрних ліній на уступах шляхом перевантаження роздробленої породи на конвеєрну лінію, що знаходиться на суміжному (верхньому, нижньому).

Транспортування готової продукції, або продукту проміжної стадії дроблення може проводитись навантажувачами, автосамоскидами, конвеєрами [32-36].

2.2. Вивчення технологічних схем експлуатації систем з мобільними дробарними комплексами

Сьогодні у всьому світі мобільні установки успішно замінюють стаціонарні дробильні комплекси [37-40]. Щодо виробництва щебеню це справедливо лише для підприємств із малою та середньою продуктивністю переробки гірничої маси. На великих підприємствах традиційно використовують більш потужні стаціонарні або напівстаціонарні комплекси з високою одиничною потужністю гірничотранспортного і дробильно-сортувального обладнання. Технологічний процес видобутку щебеню відкритим способом може бути організований із залученням мобільних дробильно-сортувальних установок, функціональність яких варіюється залежно від етапів дроблення. Такі установки можуть виконувати лише первинне дроблення, або поєднувати першу й другу стадії, а також охоплювати весь цикл, включаючи третю стадію подрібнення.

До складу цього обладнання часто входять гуркоти, які забезпечують сортування матеріалу за фракціями відповідно до вимог кінцевого продукту. Такий підхід дозволяє ефективно управляти процесом переробки, адаптуючи його до особливостей видобутого матеріалу та необхідних характеристик

готової продукції. [39-42]. У технологічних схемах пересувні дробильно-сортувальні установки розташовуються в безпосередній близькості від виїмкового вибою таким чином, щоб виїмково-навантажувальне обладнання здійснювало завантаження позіхання агрегату без додаткових переміщень. Роботи із завантаження дробарок розпушеної гірничої маси найчастіше виконують одноковшовим екскаватором чи колісним навантажувачем (рис. 2.3 та рис. 2.4) до бункера-живильника дробарки.

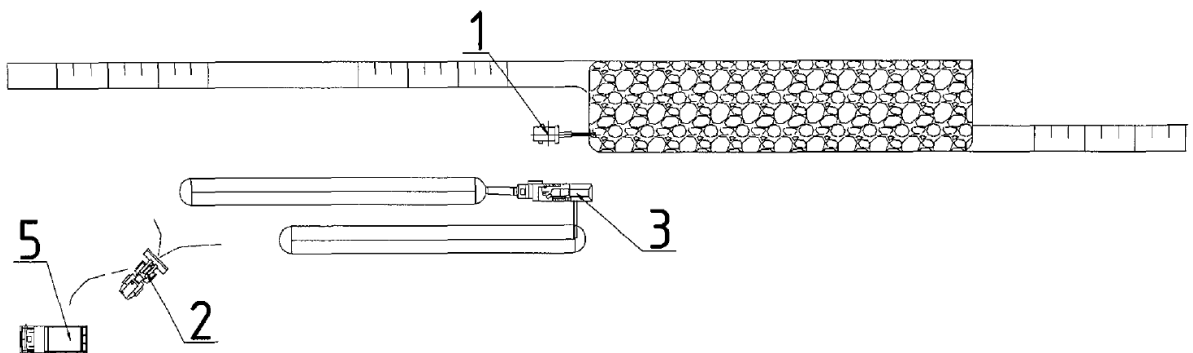


Рис. 2.3 – Схема розробки гірських порід з торцевим розташуванням (МДК) при застосуванні як виїмально-навантажувального обладнання одноковшового екскаватора: 1 – екскаватор; 2 - навантажувач; 3 – мобільний дробильний агрегат (комплекс); 5 - автосамоскид

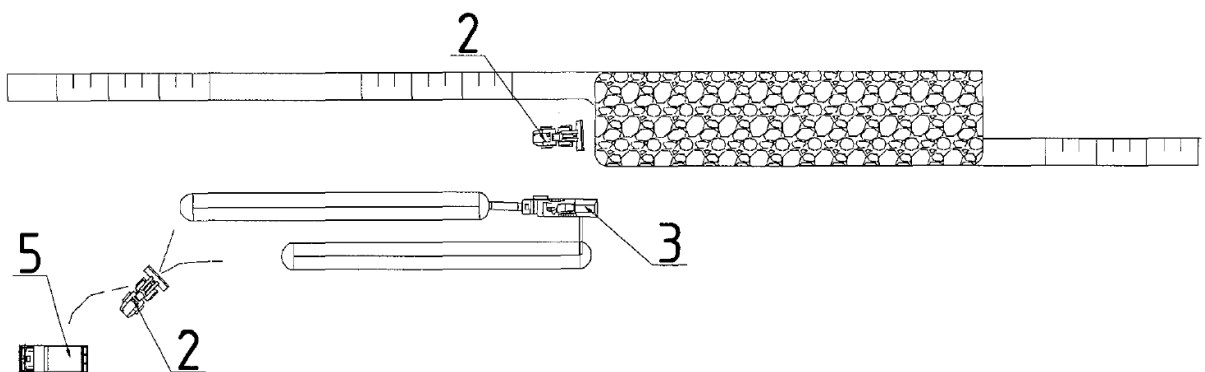


Рис. 2.4 – Схема розробки гірських порід з торцевим розташуванням (МДК) при застосуванні як виїмково-навантажувального обладнання фронтального навантажувача: 2 - навантажувач; 3 – мобільний дробильний

агрегат (комплекс); 5 - автосамоскид

Транспортування роздробленої гірничої маси на склад або на стаціонарний або напівстаціонарний дробильно-сортувальний завод здійснюється за допомогою автосамоскидів. Ця схема може забезпечувати продуктивність підприємства понад 1 млн.т. на рік. При використанні як навантажувального механізму гідравлічного екскаватора (рис. 2.3), кількість пересувань мобільного комплексу дроблення збільшується, на відміну від схеми з використанням колісного навантажувача, але точність і рівномірність завантаження в такому випадку вище. При використанні як навантажувального механізму колісного навантажувача (рис. 2.4). Крок пересування дробильного агрегату визначається доцільною відстанню доставки породи із вибою.

Для можливості відпрацьовувати уступи більшої висоти, а також для забезпечення машиністу екскаватора видимості отвору приймального бункера дробильного агрегату екскаватор може встановлюватися на покрівлі підступу за умови дотримання необхідних заходів безпеки ведення навантажувальних робіт у вибої. Висота підступу вибирається виходячи з кінематичної схеми роботи екскаватора в вибої та габаритних параметрів приймального бункера самохідного агрегату та вантажного механізму (рис. 2.5).

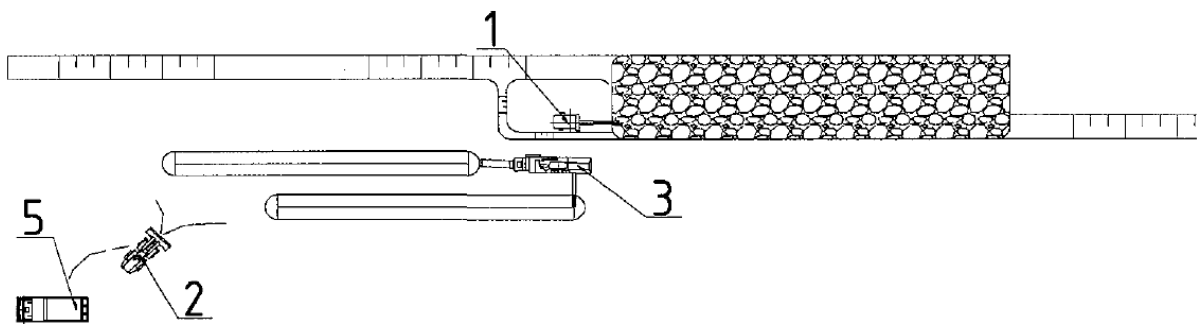


Рис. 2.5 – Схема розробки гірських порід з торцевим розташуванням

(МДК) під час завантаження дробильного агрегату з покрівлі підступу гідралічним екскаватором: 1- екскаватор; 2 - навантажувач; 3- мобільний дробильний агрегат (комплекс); 5 – автосамоскид

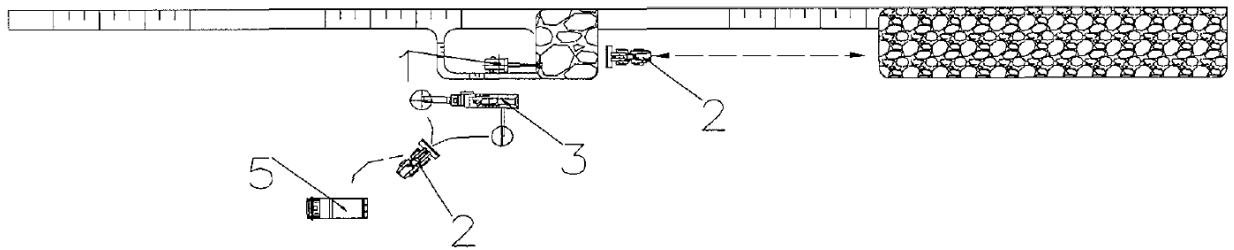


Рис. 2.6 – Схема розробки гірських порід з торцевим розташуванням (МДК) при використанні екскаватора як навантажувального механізму і навантажувача як видобувної машини: 1 – екскаватор; 2 - навантажувач; 3 – Мобільний дробильний агрегат (комплекс); 5 - автосамоскид.

Для скорочення кількості пересувань мобільного дробильно - сортувального комплексу та скорочення пов'язаних з цим витрат, можна використовувати як видобувний та навантажувальний механізм (завантаження проміжного продукту в автотранспорт), колісний навантажувач, який здійснюватиме виїмку гірничої маси з розпушеного масиву (рис. 2.6), а також проводити завантаження транспортних судин гірською породою, яка вже була відсортована (рис. 2.7).

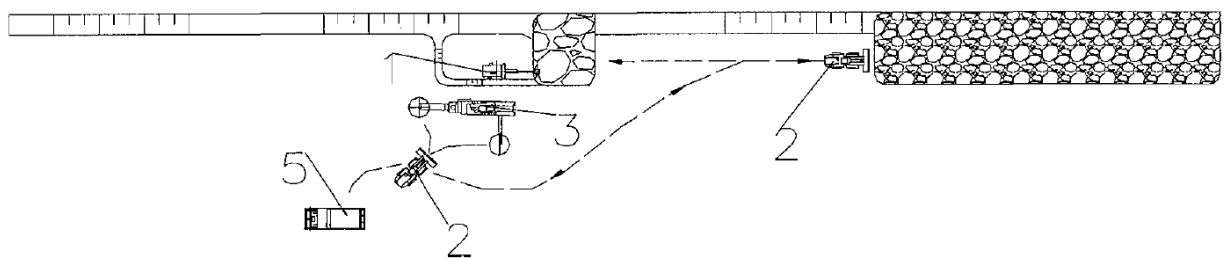


Рис. 2.7 – Схема розробки гірських порід з торцевим розташуванням (МДК) при використанні екскаватора як навантажувального механізму та

навантажувача як видобувного механізму та навантаження готової продукції: 1 - екскаватор; 2 - навантажувач; 3 – Мобільний дробильний агрегат (комплекс); 5 - автосамоскид.

Для забезпечення безперебійної роботи мобільного дробильно-сортувального комплексу та уникнення простоїв транспортних засобів критично важливо, щоб продуктивність навантажувача відповідала потребам виробничого процесу. У разі, якщо можливості одного навантажувача виявляються недостатніми для підтримки необхідного темпу роботи, до технологічної схеми додають додатковий навантажувач. Його завданням є завантаження проміжного продукту в автосамоскиди, що дозволяє зберігати стабільність транспортування матеріалу та забезпечувати безперервність функціонування всього комплексу. Такий підхід не лише мінімізує час простою обладнання, але й підвищує загальну ефективність виробничого циклу (рис. 2.6). За такої побудови технологічної схеми навантажувач може одночасно обслуговувати кілька горизонтів при пропорційній ув'язці обладнання, зайнятого в кар'єрі. У схемі експлуатації, де колісний навантажувач виконує функцію транспортування гірничої маси, розпушеної вибухом, безпосередньо до забою екскаватора, забезпечується раціоналізація відпрацювання блоку. Такий підхід знижує кількість переміщень комплексу «екскаватор – мобільний дробильно-сортувальний агрегат», що сприяє підвищенню загальної ефективності видобутку.

Однак ключовим обмежувальним фактором у цій схемі є довжина фронту видобутку, яка визначається максимально допустимою відстанню транспортування підірваної гірничої маси навантажувачем до екскаватора. Цей параметр повинен бути оптимізований з урахуванням продуктивності навантажувача, витрат часу на транспортування та особливостей гірничо-геологічних умов. Збалансоване планування довжини фронту видобутку є критичним для забезпечення ефективної роботи всього комплексу, оскільки надмірно великі відстані транспортування можуть призвести до зниження

продуктивності та збільшення операційних витрат, а недостатня довжина — до нераціонального використання обладнання. Для значного збільшення довжини видобувного фронту і скорочення кількості переміщень комплексу екскаватор - мобільний дробильно-сортувальний агрегат екскаватор починає відпрацьовувати підірваний блок з його середини, а за допомогою навантажувачів з обох боків блоку, що відпрацьовується, доставляється підірвана гірська маса в забій екскаватора (рис. 2.6). Також для забезпечення буферного складування проміжного продукту та відсіву дроблення можна використовувати різноманітні телескопічні конвеєри та стакери (рис. 2.7, 2.8).

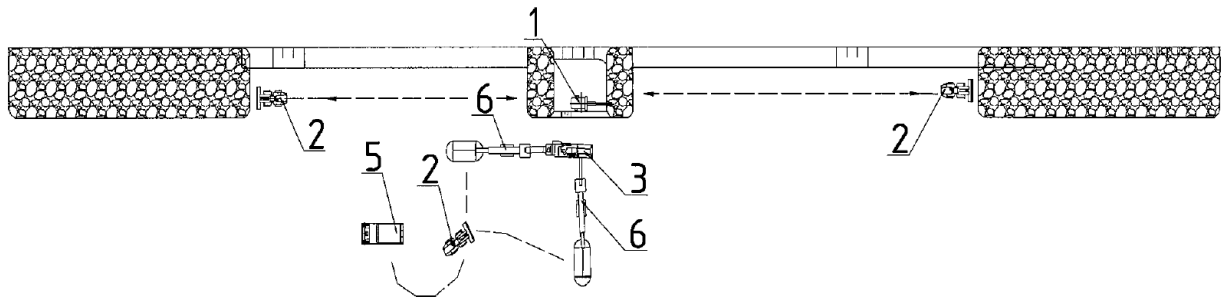


Рис. 2.7 – Схема розробки скельних порід, з центральним розташуванням комплексу екскаватор - мобільний дробильно-сортувальний агрегат: 1 – екскаватор; 2 – навантажувач; 3 – мобільний дробильний агрегат (комплекс); 5 - автосамоскид; 6 - телескопічний конвеєр (стакер)

Збільшення довжини видобувного фронту і скорочення кількості пересувань комплексу можна досягти, використовуючи як виймально-навантажувальний механізм фронтальний навантажувач, який, як і в схемі, наведеної на рис. 2.7 буде проводити відпрацювання блоку від центру до флангів і проводити завантаження гірської маси в приймальний бункер мобільного дробильного агрегату (рис.2.8).

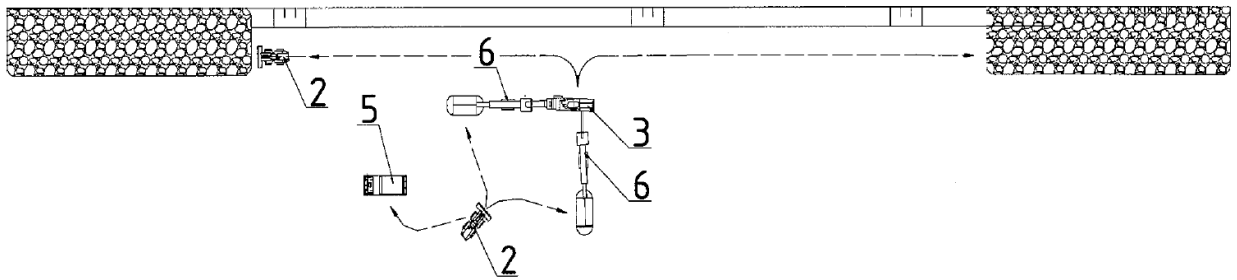


Рис. 2.8 – Схема розробки скельних порід, з центральним розташуванням комплексу екскаватор - мобільний дробильно-сортувальний агрегат: 1- екскаватор; 2 - навантажувач; 3 – мобільний дробильний агрегат (комплекс); 5 - автосамоскид; 6 - телескопічний конвеєр (стакер)

Застосування як видобувного і навантажувального обладнання колісного навантажувача накладає деякі обмеження по висоті уступів, що відпрацьовуються. У разі перевищення допустимої висоти розвалу підірваної гірської маси рекомендується використовувати технологічну схему зі зниженням висоти розвалу за допомогою бульдозера (рис. 2.9).

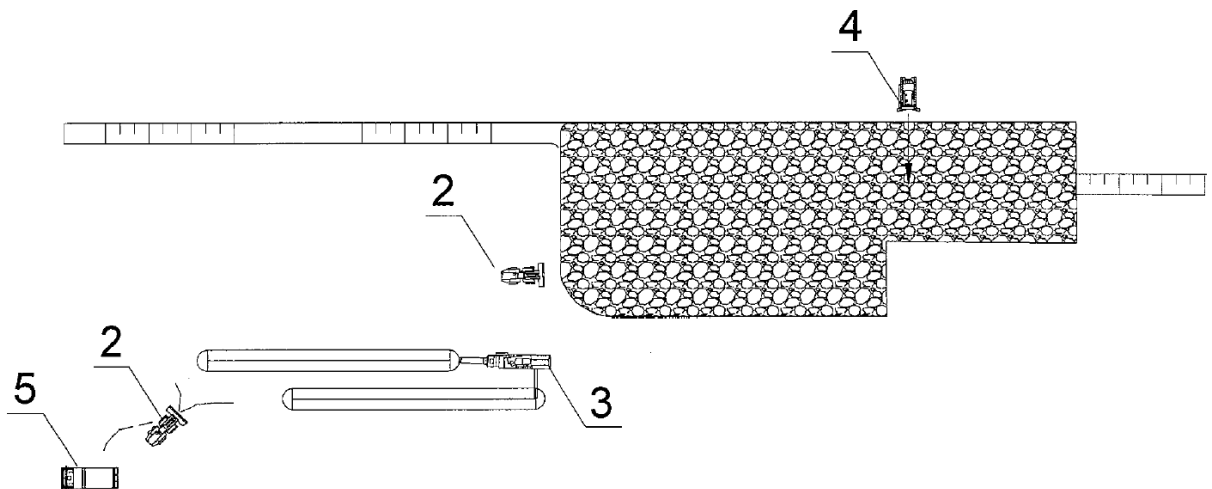


Рис. 2.9 - Схема розробки гірських порід з торцевим розташуванням (МДК) при використанні навантажувача як навантажувального механізму і зниження висоти розвалу за допомогою бульдозера: 2 - навантажувач; 3 – мобільний дробильний агрегат (комплекс); 4 – бульдозер; 5 - автосамоскид

Розташовуючись на покрівлі уступу, що відпрацьовується, бульдозер розширює заходку шляхом зіштовхування гірської маси з верхньої частини уступу або розвалу у бік виробленого простору.

При висоті уступу до 5 м, для збільшення продуктивності і скорочення числа пересувань дробильного комплексу, доцільно використовувати схему відпрацювання суміжних уступів одним колісним навантажувачем, при цьому на верхньому уступі відпрацювання слід вести від центру блоку, що відпрацьовується, а на нижньому вести одностороннє відпрацювання блоку, показано на рис. 2.10.

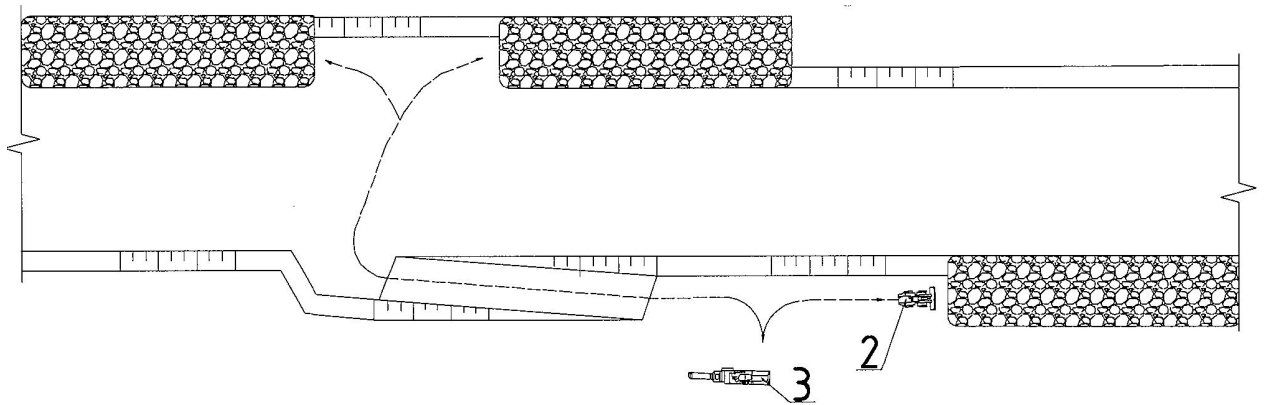


Рис. 2.10 – Схема розробки скельних порід з паралельним відпрацюванням вибоїв на суміжних уступах одним навантажувачем: 2 - навантажувач; 3 - мобільний дробильний агрегат (комплекс)

Для виробництва якісного кубоподібного щебеню існує необхідність у постійному рівномірному завантаженні та розподілі роздроблених гірських порід після першої стадії дроблення в живильному бункері мобільного дробильного агрегату другої та третьої стадії дроблення. Використання більш продуктивного МДА другої або другої та третьої стадії дроблення, що знаходяться на нижньому горизонті, з можливістю довантаження його за допомогою міжуступного та стрічкового мобільних конвеєрів, роздроблена гірська маса, в які надходить з вищележачого уступу після дробильного

агрегату першої або другої стадії, при одночасному відпрацюванні 2-х суміжних горизонтів дозволяє отримати більш високий вихід щебеню дрібних фракцій зі збільшенням ступеня кубовидності (рис. 2.11).

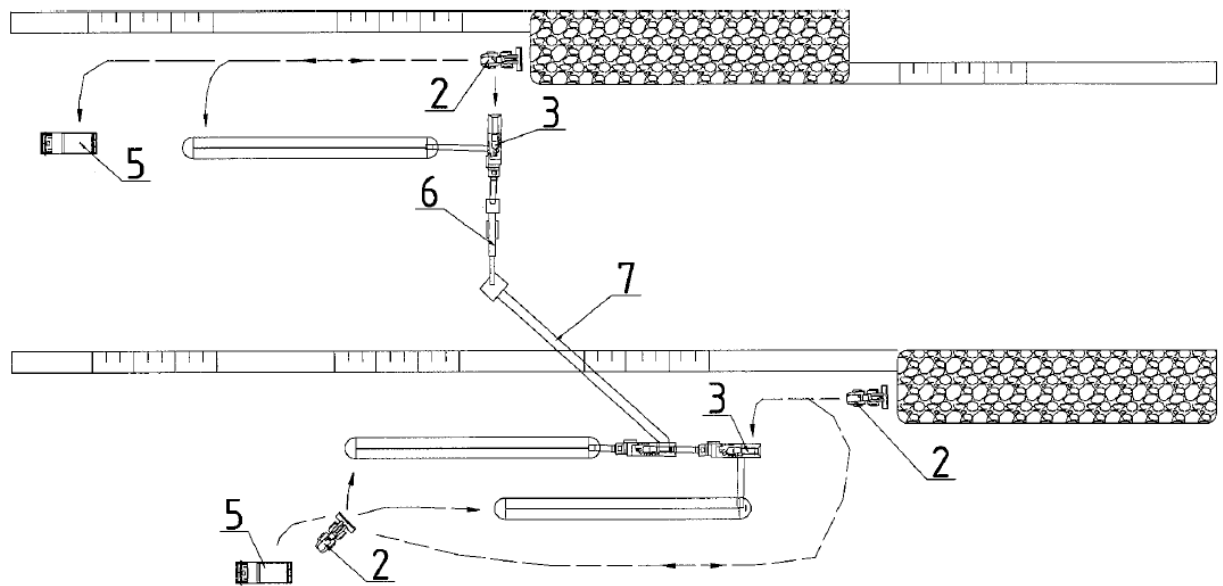


Рис. 2.11 – Схема розробки гірських порід з торцевим розміщенням МДК при використанні навантажувача в якості виймально-навантажувального обладнання і довантаженням дробарки на нижньому уступі: 2 - навантажувач; 3 – мобільний дробильний комплекс; 5 - автосамоскид; 6 – мобільний телескопічний ковчег; 7 - конвеєр пересувний стрічковий.

Продуктивність гірничодобувних підприємств, що використовують при видобутку корисних копалин мобільні дробильно-сортувальні агрегати, безпосередньо залежить від їхньої змінної продуктивності, яка в свою чергу залежить від кількості пересувань комплексу. Змінну продуктивність мобільного дробильно-сортувального агрегату можна визначити за формулою (2.1):

$$Q_{\text{см}} = Q_3 T_{\text{см}} \left(1 - \frac{t_{\text{пер.}} Q_3}{A_{\text{зах.}} h_y L_6} \right), \quad (2.1)$$

де Q_e - експлуатаційна продуктивність мобільного дробильно сортувального агрегату, м³/год;

$T_{\text{см}}$ – тривалість робочої зміни, годин;

$t_{\text{пер}}$ - час, що витрачається на одну перестановку комплексу;

$A_{\text{зах}}$ - ширина заходки, що відпрацьовується, м;

h_y - висота уступу, що відпрацьовується, м;

L_6 - довжина екскаваторного блоку, що відпрацьовується за одну установку комплексу, м.

Зменшення кількості пересувань мобільної дробильно-сортувальної установки можна досягти завдяки збільшенню ширини заходження екскаватора і збільшення висоти уступу, що відпрацьовується, для чого його розбивають по висоті на підступи і здійснюють виїмку гірських порід одночасно верхнім і нижнім черпанням. Збільшення ширини виїмкової заходки можливо здійснити шляхом розміщення мобільного дробильно - сортувального агрегату в центрі заходки, навколо якого екскаватор або навантажувач здійснює виїмку гірської породи з масиву або розвалу з подальшим завантаженням приймального пристрою агрегату.

При побудові технологічних схем відпрацювання родовищ НБМ з використанням мобільних дробильних комплексів за циклічно-поточною технологією при завантаженні в бункер мобільної дробарки використовується колісний навантажувач або екскаватор типу пряма або зворотна лопата, а транспортування подрібненої гірської маси відбувається за допомогою вибійного конвеєра вздовж конвеєра на поверхню до ДСЗ або похилого стаціонарного конвеєра для транспортування гірської маси на поверхню (рис. 2.12, рис. 2.13).

Технологічні схеми відпрацювання в циклічно-поточному виконанні

забезпечують ефективне розкриття видобувних горизонтів за рахунок використання похилих конвеєрів, а з технологічного ланцюжка виключається автомобільний транспорт і перевантажувальні пункти.

При застосуванні комплексу з мобільним дробильним агрегатом найбільш доцільним є відпрацювання уступів поздовжніми заходками. При цьому способі можливе відпрацювання уступів вузькими (на одну екскаваторну заходку) та широкими (до двох-трьох заходок) смугами з одного положення забійного конвеєра. Відстань по підосві від вибухового блоку до конвеєрного ставу повинна бути не менше 50-60 м, і крок пересування дорівнює ширині заходки по цілику (ширині вибухового блоку породи).

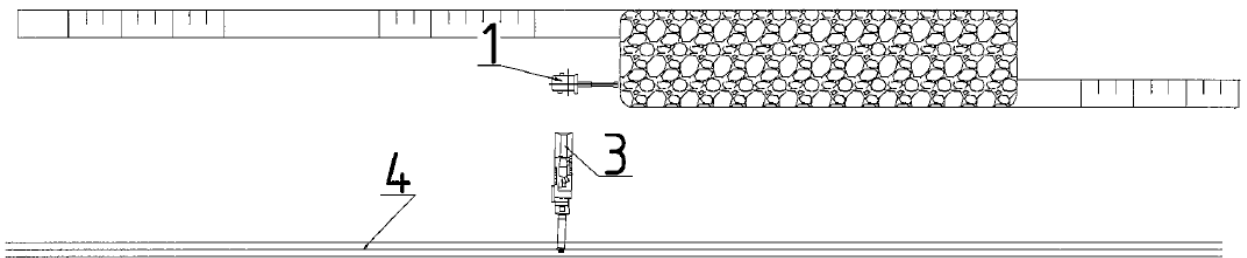


Рис. 2.12 – Схема розробки гірських порід з торцевим розташуванням МДК при застосуванні як виймально-навантажувального обладнання одноковшового екскаватора при конвеєрному транспорті: 1 - екскаватор; 3 – мобільний дробильний агрегат (комплекс); 4 - конвеєр стрічковий передавальний

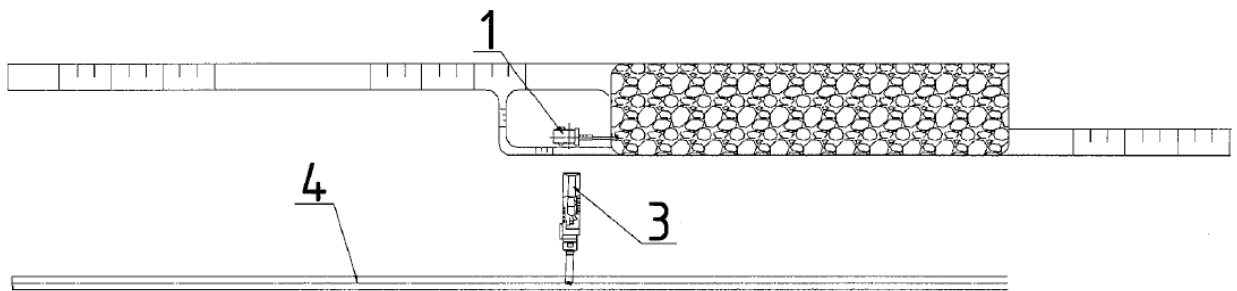


Рис. 2.13 – Схема розробки гірських порід з торцевим розташуванням МДК при застосуванні як виймально-навантажувального обладнання одноковшевого екскаватора, встановленого на підступі при конвеєрному транспорті: 1 – екскаватор; 3 – мобільний дробильний агрегат (комплекс); 4 - конвеєр стрічковий передавальний.

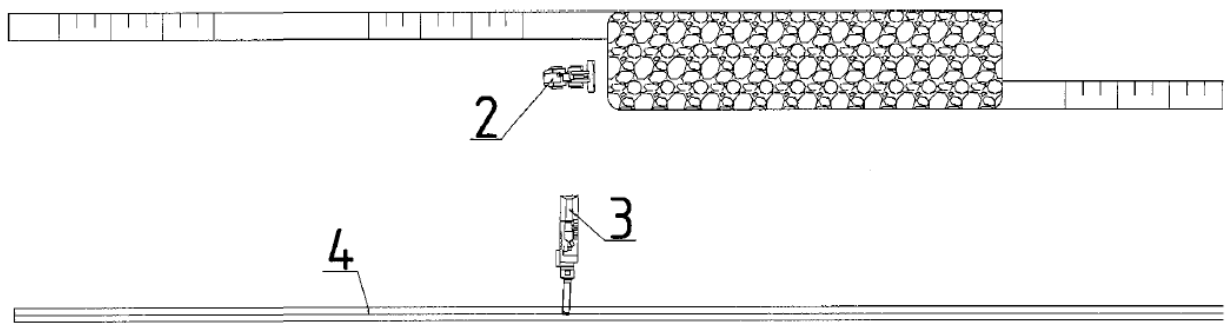


Рис. 2.14 – Схема розробки гірських порід з торцевим розташуванням (МДК) при застосуванні як виймально-навантажувального обладнання фронтального навантажувача при конвеєрному транспорті: 2 - навантажувач; 3 – мобільний дробильний агрегат (комплекс); 4 - конвеєр стрічковий передавальний

Однак, при веденні вибухових робіт у місцях розташування забійних конвеєрів, виникає необхідність їх перенесення на нижні горизонти при нарізанні нових уступів.

Застосування як виймально-навантажувального механізму колісного

навантажувача накладає деяке обмеження на параметри уступів, висота яких в середньому не повинна перевищувати 6 м. В цьому випадку необхідно застосування схем зі зниженням розвалу підірваних порід бульдозером. З іншого боку, застосовуючи колісний навантажувач, можна скоротити кількість пересувань мобільного дробильного комплексу. Крок пересування дробильного агрегату визначається доцільною відстанню доставки гірської породи із вибою одноковшовим навантажувачем.

Для скорочення числа пересувань вибійного конвеєра в технологічну схему додаються телескопічні мобільні конвеєри або мобільні стрічкові та міжступні конвеєри, при достатній довжині яких можна віднести місце встановлення передавального конвеєра на безпечну відстань під час вибухового розпушування гірської маси. Забезпечення безпечної відстані встановлення мобільних конвеєрів дозволить скоротити витрати на перестановку конвеєрного ставу (рис. 2.15).

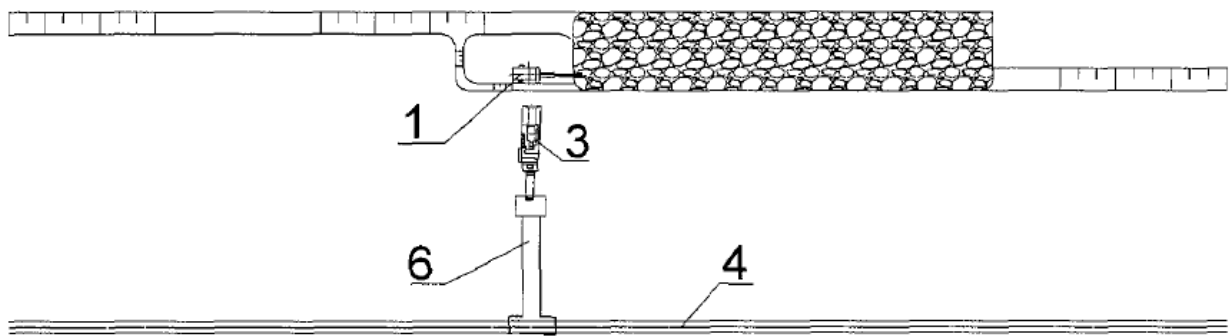


Рис. 2.15 – Схема розробки гірських порід з торцевим розташуванням (МДК) та збільшеною шириною робочого майданчика при конвеєрному транспорті: 1 – екскаватор (або навантажувач); 3 – мобільний дробильний агрегат (комплекс); 4 - конвеєр стрічковий передавальний; 6 - конвеєр пересувний стрічковий (або мобільний телескопічний)

Реалізація цієї схеми залежить від можливості застосування робочих майданчиків великої ширини. Технологічна схема відпрацювання родовища НБМ за циклічно-поточною технологією з використанням мобільних дробильних агрегатів, міжступного та одного забійного конвеєра з одночасним веденням видобувних робіт на 2-х горизонтах представлена на рис. 2.16, 2.17.

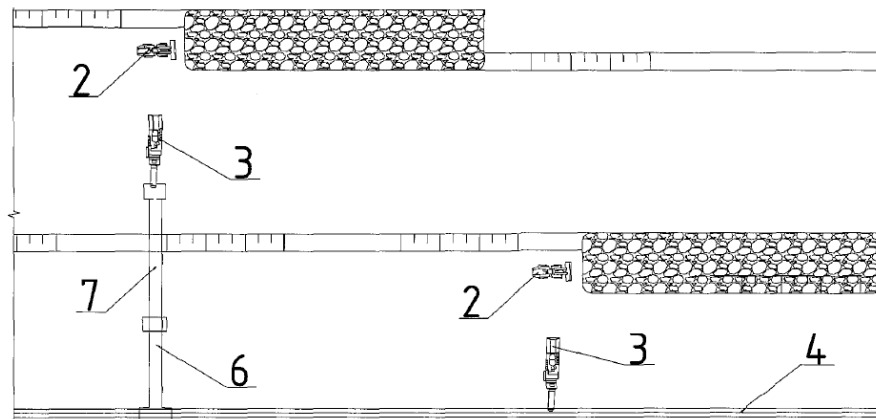


Рис. 2.16 – Схема відпрацювання уступу поздовжніми заходками комплексом МДА при бічному розташуванні вибійного конвеєра та наявності самохідного міжступного конвеєра-перевантажувача з одночасним веденням видобувних робіт на 2-х горизонтах: 2 - навантажувач; 3 – мобільний дробильний агрегат (комплекс); 4 - конвеєр стрічковий передавальний; 6 - конвеєр пересувний стрічковий (або мобільний телескопічний); 7 - конвеєр пересувний стрічковий міжступний.

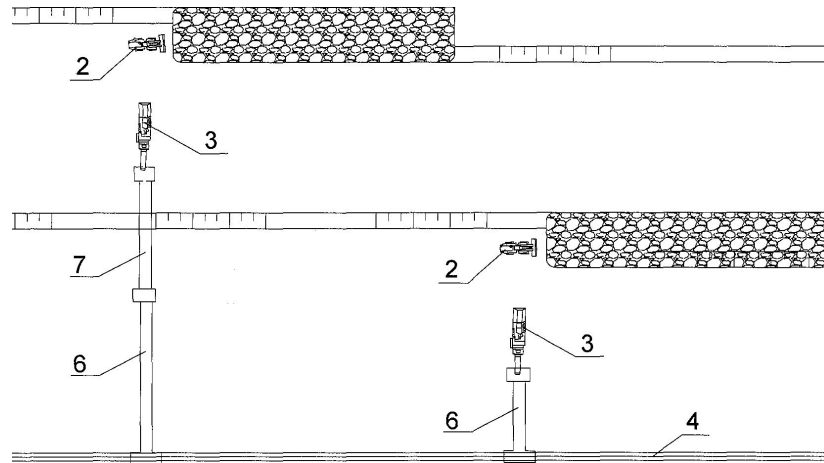


Рис. 2.17 - Схема відпрацювання уступу поздовжніми заходками комплексом МДА при бічному розташуванні забійного конвеєра та наявності самохідного міжступного та пересувних стрічкових конвеєрів з одночасним веденням видобувних робіт на 2-х горизонтах: 2 - навантажувач; 3 – мобільний дробильний агрегат (комплекс); 4 - конвеєр стрічковий передавальний; 6 - конвеєр пересувний стрічковий (або мобільний телескопічний); 7 - конвеєр пересувний стрічковий міжступний.

У цій схемі як виймально-навантажувальне обладнання може використовуватися як навантажувач, так і екскаватор. Проміжні телескопічні мобільні конвеєри або мобільні стрічкові та міжступні конвеєри можуть використовуватися для зменшення кількості пересувань забійного конвеєра, як на верхньому, так і на нижньому уступі. Так само у технологічних схемах можуть брати участь як МДА лише першої стадії дроблення, так і МДК для дроблення в декілька стадій.

При необхідності збільшення продуктивності можна використовувати схему з використанням мобільних дробильних агрегатів, міжступних та одного забійного конвеєра з одночасним веденням видобувних робіт на 3-х горизонтах, що представлена на рис. 2.18.

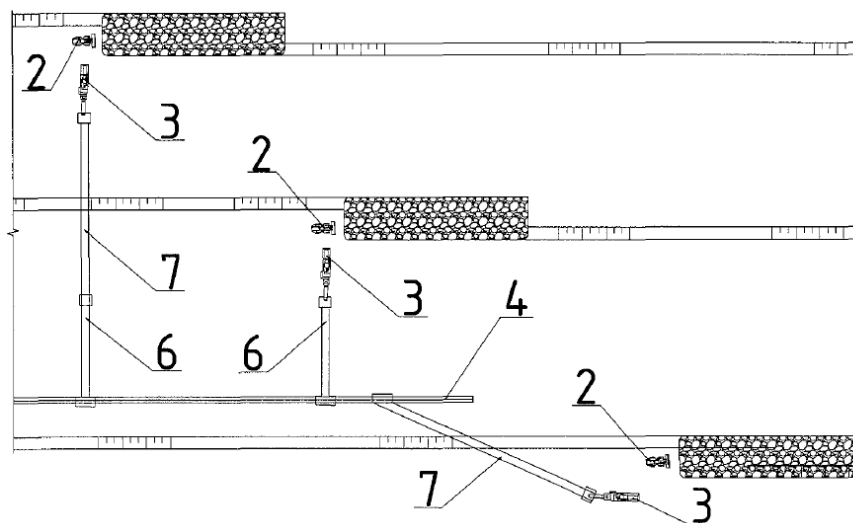


Рис. 2.18 - Схема відпрацювання уступу поздовжніми заходками, комплексом навантажувач-МДК при бічному розташуванні забійного конвеєра та наявності мобільних міжступних конвеєрів та телескопічних мобільних конвеєрів з одночасним веденням видобувних робіт на 3-х горизонтах: 2 - навантажувач; 3 – мобільний дробильний агрегат; 4 - конвеєр стрічковий передавальний; 6 - конвеєр пересувний стрічковий (або мобільний телескопічний); 7 - конвеєр пересувний стрічковий міжступний.

Схема, представлена на рисунку 2.18, є складною структурною і збільшує кількість переміщень забійного конвеєра, забезпечує високу продуктивність кар'єру при використанні тільки однієї потужної конвеєрної лінії для відвантаження проміжного продукту на поверхню.

Для виробництва якісного кубоподібного щебеню існує необхідність у постійному рівномірному завантаженні та розподілі роздроблених порід після першої стадії дроблення в бункері-живильнику мобільного дробильного агрегату другої та третьої стадії дроблення. Використання більш продуктивного МДА другої або другої та третьої стадії дроблення, що знаходяться на нижньому горизонті, з можливістю довантаження його за допомогою міжступного перевантажувача, роздроблена гірська маса в який надходить з вищележачого уступу після дробильного агрегату першої стадії,

при одночасному відпрацюванні 2-х горизонтів, дозволяє отримати вищий вихід щебеню дрібних фракцій зі збільшенням ступеня кубовидності (рис. 2.19).

Враховуючи високий ступінь впливу підвищення виходу готової продукції на прибуток та відсутність необхідності встановлення дробарки 2-ї або 3-ї стадії дроблення на верхньому уступі, застосування мобільних міжступних конвеєрних перевантажувачів та телескопічних мобільних конвеєрів для рівномірного завантаження дробарки 2ої або 3ої стадії можна вважати доцільним.

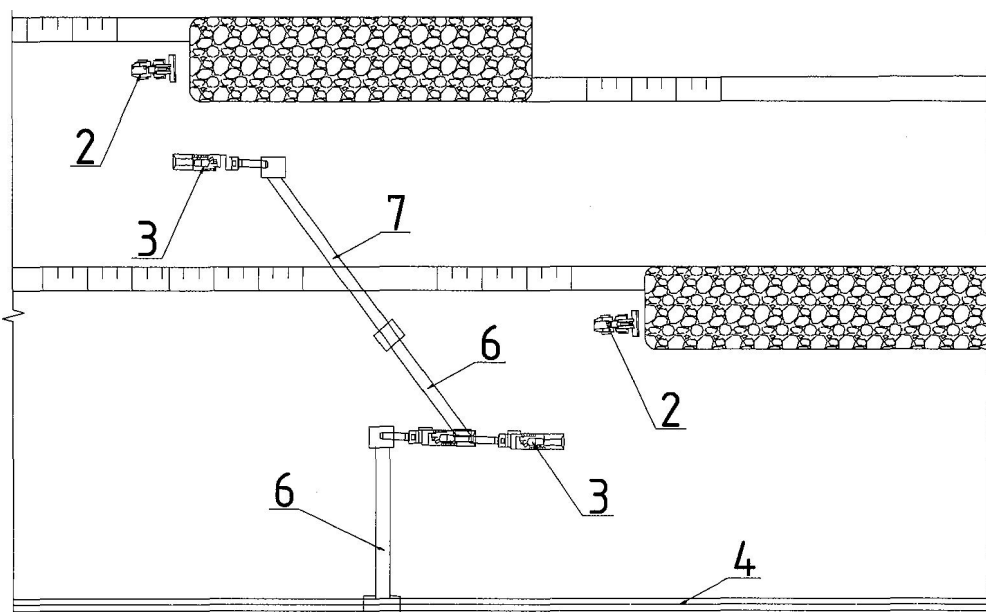


Рис. 2.19 – Схема відпрацювання уступу поздовжніми заходками комплексом МДА при бічному розташуванні вибійного конвеєра та наявності самохідного міжступного конвеєра-перевантажувача з одночасним веденням видобувних робіт на 2-х горизонтах та довантаженням дробарки на суміжному уступі: 2 - навантажувач; 3 – мобільний дробильний агрегат (комплекс); 4 - конвеєр стрічковий передавальний; 6 - конвеєр пересувний стрічковий (або мобільний телескопічний); 7 - конвеєр пересувний стрічковий міжступний.

Таким чином, вибір виду механізації для кар'єрів НБМ з виробництва щебеню визначається міцністю порід, що розробляються, системою розробки, продуктивністю кар'єру та ступенем відповідності виду механізації потоковості виробництва, суміщення та незалежності технологічних процесів.

При відпрацюванні родовищ нерудних будівельних матеріалів з використанням мобільних дробильних комплексів, для досягнення продуктивності понад 2 млн. т/рік та глибини кар'єру понад 70 м доцільно використовувати технологічні схеми засновані на циклічно-поточній технології.

Продуктивність кар'єру менше 2 млн. т/рік при невеликій глибині кар'єру (менше 50-70 м), можуть забезпечити технологічні схеми відпрацювання родовищ нерудних будівельних матеріалів з використанням мобільних дробильних комплексів, що базуються на циклічній технології.

Підвищення ефективності відпрацювання родовищ нерудних будівельних матеріалів з використанням мобільних дробильних комплексів забезпечують технологічні схеми, що базуються на циклічній технології, із застосуванням фронтальних колісних навантажувачів та міжступних, мобільних телескопічних конвеєрів для рівномірного завантаження вторинних та наступних стадій дроблення на суміжному уступі.

При відпрацюванні родовищ нерудних будівельних матеріалів продуктивність кар'єру та експлуатаційні витрати під час використання мобільних дробильних агрегатів залежать від частоти пересувань мобільного дробильного комплексу.

РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ ФРОНТУ ГІРНИЧИХ РОБІТ ПРИ РОЗРОБЦІ РОДОВИЩ НЕРУДНИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Ефективність роботи гірничо-технічної системи екскаватор-МДА значно залежить від довжини фронту робіт, що змінюється при розвитку гірничих робіт. Продуктивність гірничо-транспортного обладнання кар'єру та експлуатаційні витрати залежать від довжини блоку.

Оптимальна довжина фронту робіт, що припадає на систему екскаватор-МДА, повинна забезпечувати встановлену продуктивність системи, мінімальну собівартість видобутку [29].

Річна продуктивність системи екскаватор-МДА може бути розрахована за формулою (3.1):

$$Q_c = U_\phi L_b h, \text{м}^3/\text{рік} \quad (3.1)$$

де U_ϕ – річне посування фронту робіт, м;

L_b – довжина блока, м

h – висота уступу, м.

Загальні питомі витрати на транспортування гірничої маси за умови використання ковеєрного транспорту становитимуть:

$$\sum C_z = C_{\text{кап}} + C_{\text{тор}} + C_{\text{се}} + C_{\text{утр}} + C_{\text{пер}} + C_{\text{ком}} + C_{\text{перк}} + C_{\text{пс}} \quad (3.2)$$

де $C_{\text{кап}}$ – питомі капітальні витрати, грн/м³;

$C_{\text{тор}}$ – збільшення питомих витрат, рахунок зниження продуктивності системи при відпрацюванні торців заходки, грн/м³;

$C_{\text{се}}$ – питомі енергетичні витрати, грн/м³;

$C_{\text{угр}}$ – питомі витрати на утримання конвеєра, грн/м³;

$C_{\text{пер}}$ – питомі витрати на переміщення забійного конвеєра, грн/м³;

$C_{\text{ком}}$ – питомі витрати на підтримку комунікацій, грн/м³;

$C_{\text{перк}}$ – питомі витрати на переміщення комунікацій, грн/м³;

$C_{\text{пс}}$ – питомі витрати на перегін системи на нову заходку, грн/м³;

Довжина забійного конвеєра визначиться відповідно до розрахункової схеми, наведеної на рис. 3.1:

$$L_{\text{к}} = L_{\text{б}} - 2(A + b), \text{ м}$$

$$L_{\text{к}} = L_{\text{б}} - 2((1,5 \div 1,7)R_{\text{чy}} + b), \text{ м} \quad (3.3)$$

де A – ширина заходки екскаватора, м;

$R_{\text{чy}}$ – радіус черпання на рівні установки, м;

b – відстань від нижньої брівки уступу до забійного конвеєра, м.

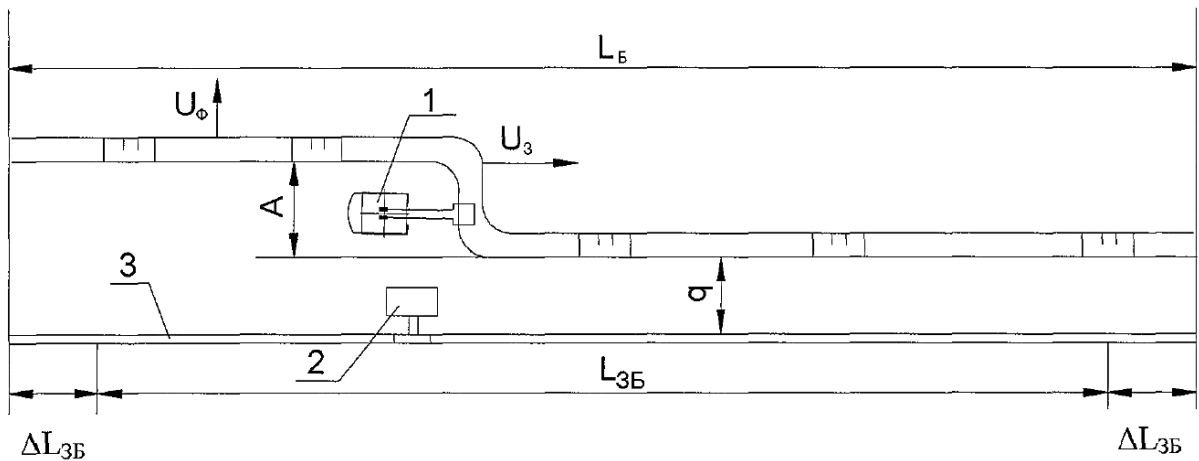


Рис. 3.1 – Схема до визначення довжини блока системи екскаватор-МДА при конвеєрному транспорті: 1 – екскаватор; 2 – МДА; 3 – забійний конвеєр.

Тоді формула (3.1) з урахуванням (3.3) набуде вигляду:

$$Q_c = U_{\Phi} h(L_k + 2((1,5 \div 1,7)R_{\text{чy}} + b)), \text{ м}^3/\text{рік} \quad (3.4)$$

Питомі капітальні витрати становитимуть:

$$C_{\text{кап}} = \frac{(U_{\Phi} + L_{\text{б}} - 2(1,5R_{\text{чy}} + b))(Ц_c d_c + Ц_T d_T + Ц_k d_k)}{Q_c}, \text{ грн/м}^3 \quad (3.5)$$

де $Ц_k$ – вартість 1 м комунікацій, грн;

$Ц_T$ – капітальні витрати на будівництва 1 м конвеєрного става, грн;

$Ц_c$ – вартість 1 м конвеєрної стрічки, грн;

d_k – норма амортизації капітальних витрат на будівництво комунікацій, долі од.;

d_T – норма амортизації капітальних витрат на будівництво конвеєрного става, долі од.;

d_c – норма амортизації капітальних витрат на конвеєрну стрічку, долі од.;

Збільшення питомих витрат за рахунок зниження продуктивності системи в торцях заходки:

$$C_{\text{тор}} = \frac{C_{\text{сис}} \Delta t_T}{Q_c}, \text{ грн/м}^3 \quad (3.6)$$

$C_{\text{сис}}$ – вартість машиногодина роботи системи екскаватор-МДА, грн;

Δt_T – збільшення часу на відпрацювання торців заходки через зниження продуктивності системи екскаватор-МДА, год.

Питомі енергетичні витрати становитимуть:

$$C_{\text{еє}} = \frac{B_e(U_{\Phi} + L_{\text{б}} - 2(1,5R_{\text{чy}} + b))}{2Q_c}, \text{ грн/м}^3 \quad (3.7)$$

де V_e – витрати на електроенергію, що припадають на 1 м конвеєрного ставу, грн.

Питомі витрати на переміщення забійного конвеєра:

$$C_{\text{пер}} = \frac{V_{\text{пер}}(U_{\Phi} + L_{\delta} - 2(1,5R_{\text{ч}} + b))}{AQ_C}, \text{ грн/м}^3 \quad (3.8)$$

де $V_{\text{пер}}$ – витрати на переміщення 1 м конвеєрного ставу, грн.

Питомі витрати на підтримання комунікацій становитимуть:

$$C_{\text{ком}} = \frac{V_{\text{ком}}(U_{\Phi} + L_{\delta} - 2(1,5R_{\text{ч}} + b))}{2Q_C}, \text{ грн/м}^3 \quad (3.9)$$

де $V_{\text{ком}}$ – витрати на підтримання 1 м комунікацій, грн.

$$C_{\text{перк}} = \frac{V_{\text{перк}}(U_{\Phi} + L_{\delta} - 2(1,5R_{\text{ч}} + b))}{AQ_C}, \text{ грн/м}^3 \quad (3.10)$$

де $V_{\text{перк}}$ – витрати на переміщення 1 м комунікацій, грн.

Питомі витрати на перегін системи на нову заходку:

$$C_{\text{пс}} = \frac{C_{\text{сист}} t_{\text{п}} U_{\Phi}}{AQ_C}, \text{ грн/м}^3 \quad (3.10)$$

де $t_{\text{п}}$ – час переходу системи на нову заходку, год.

Для визначення оптимального значення довжини блоку виділимо його із сумарного виразу витрат і прийемо за цільову функцію, що має прямувати до мінімуму.

$$L_{\delta} = \sqrt{\frac{Q_C(2A(U_C d_C + U_T d_T + U_R d_R)) + A(V_e + V_{\text{пер}} + V_{\text{ком}}) + 4(1,5R_{\text{ч}} + b)(AhC_{\text{сист}} - 1) + (V_{\text{пер}} + V_{\text{перк}}) + 2C_{\text{сист}} t_{\text{п}}}{Ah(2(U_C d_C + U_T d_T + U_R d_R)) + (V_e + V_{\text{пер}} + V_{\text{ком}})}} \quad (3.11)$$

На рис. 3.2 наведений графік залежності загальних питомих витрат від довжини фронту робіт при використанні конвеєрного транспорту.

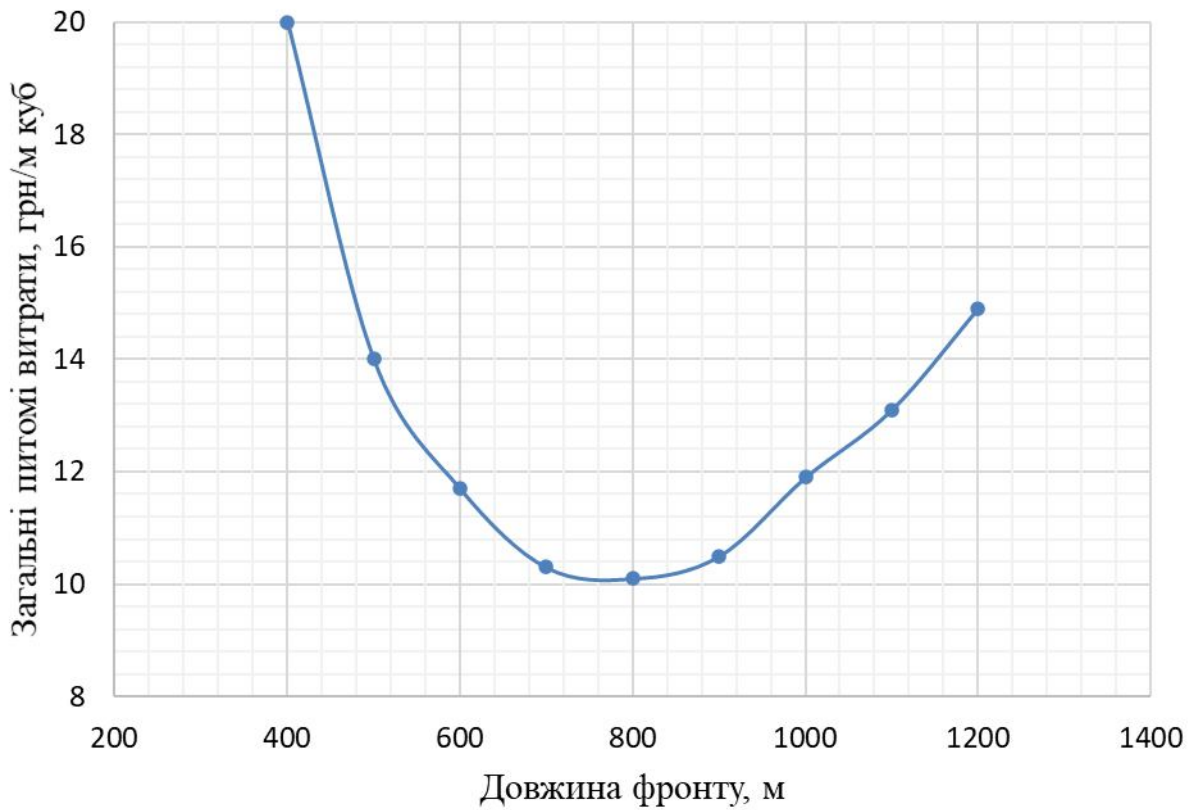


Рис. 3.2 – Графік залежності загальних питомих витрат від довжини фронту робіт при конвеєрному транспорті

Аналіз графіка, наведеного на рисунку 3.2, дозволяє зробити висновок, що оптимальним значенням довжини фронту робіт системи екскаватор-МДА при конвеєрному транспорті становитиме 750-850 м.

ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

Перший розділ магістерського дослідження присвячений аналізу сучасного стану вивченості проблеми проектування кар'єрів нерудних будівельних матеріалів в контексті використання мобільних дробарних комплексів. Також було досліджено область використання і джерела видобутку будівельної сировини, зокрема, кубовидного щебеню. Встановлено, що вирішенням питань, пов'язаних з технологією та комплексною механізацією відкритої розробки родовищ базується на широкій теоретичній базі та широкому колі досліджень таких вітчизняних вчених як М.І. Агошков, Ю.І. Аністратов, А.І. Арсент'єв, Ж.В. Бунін, К.Є. Вінницький, С.Є. Гавришев, В.А. Галкін, А.В. Гальянов, Ф.Г. Грачов, П.І. Городецький, С.А. Ільїн, Ю.Є. Капутін, Ю.Г. Карасьов, В.В. Квітка, В.С. Коваленко, В.Ф. Колесников, С.В. Корнілков, О.М. Косолапов, Н.А. Мацько, Н.В. Мельников, Н.М. Мельников, М.Г. Новожилов, А.А. Пешков, В.В. Ржевський, С.П. Решетняк, О.М. Салманов, П.І. Томаков, К.М. Трубецькій, В.П. Федорко, С.І. Фомін, Г.А. Холодняков, В.С. Хохряков, В.Г. Шитар'єв, О.В. Шпанський, М.І. Щадов, Н.М. Чаплігін, Б.П. Юматов, В.Л. Яковлев та ін.

В другому розділі було проаналізовано існуючі технологічні схеми використання мобільних дробильних комплексів при розробці горизонтальних і пологоспадних нерудних родовищ. Встановлено, що вибір виду механізації для кар'єрів НБМ з виробництва щебеню визначається міцністю порід, що розробляються, системою розробки, продуктивністю кар'єру та ступенем відповідності виду механізації потоковості виробництва, суміщення та незалежності технологічних процесів.

При відпрацюванні родовищ нерудних будівельних матеріалів з використанням мобільних дробильних комплексів, для досягнення продуктивності понад 2 млн. т/рік та глибини кар'єру понад 70 м доцільно використовувати технологічні схеми, засновані на циклічно-поточній

технології. Продуктивність кар'єру менше 2 млн. т/рік при невеликій глибині кар'єру (менше 50-70 м), можуть забезпечити технологічні схеми відпрацювання родовищ нерудних будівельних матеріалів з використанням мобільних дробильних комплексів, що базуються на циклічній технології.

Підвищення ефективності відпрацювання родовищ нерудних будівельних матеріалів з використанням мобільних дробильних комплексів забезпечують технологічні схеми, що базуються на циклічній технології, із застосуванням фронтальних колісних навантажувачів та міжступних, мобільних телескопічних конвеєрів для рівномірного завантаження вторинних та наступних стадій дроблення на суміжному уступі. При відпрацюванні родовищ нерудних будівельних матеріалів продуктивність кар'єру та експлуатаційні витрати під час використання мобільних дробильних агрегатів залежать від частоти пересувань мобільного дробильного комплексу.

В заключному розділі було досліджено взаємозв'язки параметрів елементів системи розробки нерудних родовищ корисних копалин із використанням мобільних дробильних комплексів. Проведені дослідження дозволили визначити оптимальне значення довжини фронту робіт для екскаватора з мобільним дробарним агрегатом на конвеєрний транспорт, що становить 750-850 м.

В подальших наукових дослідження даний методичний принцип може бути розширений і для інших технологічних схем, що дозволить визначати раціональні параметри елементів системи розробки нерудних родовищ будівельної сировини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Бакка М. Т. Видобування та переробка будівельних гірських порід / М. Т. Бакка, В. Й. Сивко. – Житомир: РВВ ЖДТУ, 2003. – 249 с.
2. Sassos M. P. In-pit crushing and conveying systems // Engineering and Mining Journal. 1984. Vol. 185. №4. P. 46-59.
3. Бизов В.Ф. Основи технології гірничого виробництва. – Т. V “Технологічні засоби”: Підручник для студентів вищих навчальних закладів за напрямком “Гірництво”. - Кривий Ріг: Мінерал, 2000. – 270 с. з іл.
4. Блізнюков В.Г., Луценко С.О., Пижик А.М. Гірнича справа: Навчальний посібник. Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О. 2014, 412 с.
5. Відкриті гірничі роботи: Ч. I. Процеси відкритих гірничих робіт: навч. посіб. для студ. спеціальності 184 «Гірництво»/ О.О.Фролов, Т.В.Косенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 151 с.
6. Відкриті гірничі роботи: підручник / А.Ю. Дриженко; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т – Д.: НГУ, 2014. – 590 с.
7. Evolutionary and Revolutionary Technologies for Mining / Committee on Technologies for the Mining Industries et al. National Academies Press, 2002.
8. Crushing and sorting. Metso Minerals / Finland: Print. Kirja- paino Hermes, 2007. - 246 p.
9. Крячек В.П., Собко Б.Ю. Застосування мобільних дробильно-сортувальних установок при освоєнні родовищ твердих нерудних корисних копалин // Матеріали конференції "Геотехнології гірництва та промислова екологія". – Житомир: Державний університет "Житомирська політехніка", 2024. – С. 149-150.
10. Бондар В.В., Криворучко А.О. Обґрунтування вибору технологічних схем видобутку щебеню відкритим способом з використанням

пересувних дробильно-сортувальних комплексів // Матеріали конференції "Геотехнології гірництва та промислова екологія". – Житомир: Державний університет "Житомирська політехніка", 2021. – С. 152-154.

11. Saik, P., Cherniaiev, O., Anisimov, O., Dychkovskiy, R., & Adamchuk, A. Mining of non-metallic mineral deposits in the context of Ukraine's reconstruction in the war and post-war periods. *Mining of Mineral Deposits*, 2023, 17(4), 91-102.

12. Vasilyeva, N., Golyshevskaya, U., & Sniatkova, A. Modeling and improving the efficiency of crushing equipment. *Symmetry*, 2023, 15(7), 1343.

13. Svedensten, P., & Evertsson, C. M. Crushing plant optimization: Optimization using Total Cost of Ownership. *Minerals Engineering*, 2005, 18(9), 945-949.

14. Lindqvist, M., & Evertsson, C. M. Influence of particle size distribution on wear in cone crushers. *Minerals Engineering*, 2006, 19(9), 907-914.

15. Шпанский О.В., Лугоцкий Д.Н., Николаев В.В. Влияние схемы вскрытия на границы и эксплуатацию карьера. Сб. Научн. трудов «Проблемы теории проектирования карьеров». Л., 1990. с. 38-42

16. Собко Б.Ю. Організація і планування відкритих гірничих робіт/ Б.Ю. Собко, В.В. Панченко, В.В. Лотоус, Д.В. Вінівітін. – Д: НТУ «ДП», ТОВ «Компанія «Бульвар». – 2020, - 188 с.

17. Ржевский В. В. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. Учебник, изд. 3, перераб. и доп. М., Недра, 1980. 631 с.

18. Bearman, R. A., & Briggs, C. A. The active use of crushers to control product requirements. *Minerals Engineering*, 1998, 11(9), 849-859.

19. Tromans, D. Mineral comminution: Energy efficiency considerations. *Minerals Engineering*, 2008, 21(8), 613-620.

20. Napier-Munn, T. J. The influence of liner condition on cone crusher performance. *Minerals Engineering*, 1996, 9(3), 261-268.

21. Evertsson, C. M. Cone crusher performance. Chalmers University of Technology, 2000.
22. King, R. P. Modeling and simulation of mineral processing systems. Butterworth-Heinemann, 2001
23. Ndlhahla, B. Modelling, Simulation and Optimisation of a Crushing Plant. Dissertation, University of South Africa, 2017.
24. Hulthén, E. Crushing Plant Performance Optimization. Doctoral Thesis, Chalmers University of Technology, 2010.
25. Майоров С.А., Лагунова Ю.А. Переваги та недоліки мобільних дробарок // Гірниче обладнання та електромеханіка. – 2019. – №3. – С. 18-26.
26. Airikka, P. "Event-Based Predictive PI Control for Mobile Crushing Plants." IFAC Proceedings Volumes, 2012.
27. Bhadani, K., Asbjörnsson, G., Hulthén, E., & Evertsson, M. "Optimization Capabilities for Crushing Plants." Chalmers University of Technology, 2024.
28. Kumar, A., & Singh, R. K. "Determination of Semi-Mobile In-Pit Crushing and Conveying (SMIPCC) System Utilisation in Open-Pit Mining Operations." Arabian Journal of Geosciences, 2021.
29. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. Частина 1. Гірничі роботи, ліквідація гірничодобувних підприємств. Техніко-економічна оцінка та показники. Київ, «Міністерство промислової політики України», 2007.
30. White L. Large loading equipment: what the users think // Engineering and Mining Journal, 1996, №2, vol.197, pp.32-34,36,38.
31. Surface Mining, 2 edition, Littleton, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 1990, 1194p.
32. Paricheh M., Osanloo M., Rahmanpour M. A heuristic approach for in-pit crusher and conveyor system's time and location problem in large open-pit

mining // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. 2018. Vol. 32. №1. P. 35–55. DOI: <https://doi.org/10.1080/17480930.2016.1247206>.

33. Paricheh M., Osanloo M., Rahmanpour M. In-pit crusher location as a dynamic location problem // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2017. Vol. 117. P. 599.

34. Matamoros M. E. V., Dimitrakopoulos R. Stochastic short-term mine production schedule accounting for fleet allocation, operational considerations and blending restrictions // European Journal of Operational Research. 2016. Vol. 255. №3. P. 911–921. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.05.050>.

35. Tutton D., Streck W. The application of mobile in-pit crushing and conveying in large, hard rock open pit mines // Mining Magazine Congress. Canada, 2009.

36. Сапаков Е.А., Кулнияз С.С. Сравнение вариантов циклично-поточной технологии для разработки месторождения Актогай. Известия высших учебных заведений. Горный журнал, 2009, №2. С. 21-27.

37. Симоненко В.И., Мостыка А.В. Технологические параметры горных работ при применении мобильных дробильно-сортировочных установок на нерудных карьерах // Материалы международной конференции «Форум горняков -2009». - Днепрпетровск. НГУ, 2009. - С.66-71.

38. Шарин В.В. О ценах и эффективности применения нового горнотранспортного оборудования с учетом трудоемкости. Горный журнал, № 6, 1982, с. 28 - 30.

39. Ritter, R. Contribution to the Capacity Determination of Semi-Mobile in-Pit Crushing and Conveying Systems. Ph.D. Thesis, Technische Universität Bergakademie Freiberg, Freiberg, Germany, 2016.

40. Konak, G.; Onur, A.; Karakus, D. Selection of the optimum in-pit crusher location for an aggregate producer. *J. South. Afr. Inst. Min. Metall.* 2007, 107, 161–166.

41. Tutton D., Streck W. The application of mobile in-pit crushing and conveying in large, hard rock open pit mines // *Mining Magazine Congress*. Canada, 2009.

42. Raaz V., Mentges U. In-pit crushing and conveying with fully mobile crushing plants in regards to energy efficiency and CO₂ reduction // *Belo Horizonte, IPCC*, 2011.