

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Кафедра підземної розробки родовищ корисних копалин

На правах рукопису

ЯКОВЛЕВА СОФІЯ ВОЛОДИМИРІВНА

УДК 622.272

**Дослідження та удосконалення технології видобутку залізних руд із
застосуванням самохідної гірничої техніки**

Випускна робота
на здобуття наукового ступеню магістра

Спеціальність: 184 «Гірництво»

Освітньо-професійна програма: «Підземна розробка родовищ корисних
копалин»

Науковий керівник:
Калініченко Всеволод Олександрович
проф., д-р техн. наук

Кривий Ріг
2024 р.

ЗМІСТ

	Стор.
РЕФЕРАТ.....	4
ВСТУП.....	6
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИДОБУТКУ ЗАЛІЗНИХ РУД ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ САМОХІДНОЇ ТЕХНІКИ.....	8
1.1. Досвід випуску та транспортування руди при використанні самохідної гірничої техніки на закордонних рудниках.....	8
1.2. Аналіз ключових проблем при впровадженні самохідних НДМ за кордоном.....	13
1.3. Висновки.....	20
2. УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ВИПУСКНОГО ГОРИЗОНТУ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВИПУСКУ ВІДБИТОЇ РУДИ ЗА ДОПОМОГОЮ СУЧАСНИХ НДМ.....	23
2.1. Покращення показників вилучення відбитої руди з блоків, що мають недостатні кути падіння	23
2.2. Удосконалення конструкції днища блоку та процесу випуску і навантаження відбитої руди з використанням самохідних НДМ.....	25
2.3. Дослідження процесу навантаження відбитої руди самохідними НДМ.....	29
2.4. Висновки.....	43
3. РОЗРОБКА ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЇ ВИПУСКУ РУДИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СУЧАСНИХ НДМ.....	45
3.1. Загальні відомості.....	45
3.2. Удосконалення днищ блоків при застосуванні самохідних НДМ.....	47
3.3. Застосування самохідних НДМ при ресурсозберігаючих технологіях з утилізацією відходів гірничодобувного виробництва у виробленому просторі шахт.....	54
3.4. Висновки.....	56

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60

РЕФЕРАТ

Магістерська робота відображена на 64 сторінках друкованого тексту, що містять 14 рис., 2 табл. та 39 літературних джерел.

Представлена робота має на меті розв'язання питання з дослідження та удосконалення технології видобутку залізних руд із застосуванням самохідної техніки в підземних умовах.

В роботі проаналізовано літературу присвячену гірничим процесам в яких безпосередньо задіяна самохідна гірнична техніка. Основною метою є підвищення ефективності гірничих робіт, зменшення втрат руди та зниження витрат на її видобуток у шахтах Криворізького залізорудного басейну.

У роботі здійснено аналіз світового досвіду застосування самохідних навантажувально-доставочних машин (НДМ) у гірничодобувній галузі. Визначено ключові проблеми впровадження самохідної техніки, зокрема геометричні обмеження виробок, висока собівартість обладнання та недостатній досвід задля його ефективного використання. Особливу увагу приділено питанням зниження собівартості видобутку, вдосконаленню схем навантаження та транспортування, а також раціональному використанню ресурсів.

Запропоновано інноваційні рішення, такі як вдосконалення конструкції днища блоку з фронтальним навантаженням ковша, що дозволяють підвищити ефективність навантажувальних робіт при застосуванні самохідних навантажувально-доставочних машин (НДМ).

Наведено приклади ефективного застосування самохідних НДМ при технологіях комбінованої закладки виробленого простору, що поєднує утилізацію пустих порід із формуванням монолітного каркаса твердіючої закладки. Такі технології забезпечують раціональне використання відходів видобутку, забезпечують стабільність та стійкість комбінованого закладного масиву та забезпечують безпечне ведення робіт.

Отримані результати демонструють доцільність впровадження самохідної техніки в підземних умовах, що дозволяє досягти високої

ефективності видобутку зі зниженням підземних гірничих робіт, навіть у складних гірничо-геологічних умовах.

Ключові слова: залізна руда, самохідна техніка, видобуток, шахта, механізація, транспортування, навантаження, втрати руди, підземна розробка, Криворізький залізорудний басейн.

ВСТУП

Видобуток залізних руд у Криворізькому залізорудному басейні є основою металургійної галузі України, яка забезпечує значну частину експортного потенціалу країни. Проте, незважаючи на значний досвід у видобутку залізних руд, вітчизняні шахти стикаються з низкою проблем, таких як застаріла техніка, недостатній рівень механізації та високі витрати на видобуток. Водночас, світовий досвід демонструє успіх застосування самохідних гірничих машин для підземного видобутку, що дозволяє значно підвищити ефективність гірничих робіт, знизити витрати та покращити якість видобутої руди. Використання традиційних технологій із застосуванням скреперної доставки вже не задовольняє вимог до ефективності та безпеки ведення робіт. Це підвищує актуальність теми дослідження, оскільки потреба у впровадженні сучасних технологій на українських шахтах є стратегічно важливим рішенням для забезпечення сталого розвитку галузі.

Світовий досвід демонструє, що застосування навантажувально-доставочних машин дозволяє значно підвищити продуктивність робіт, знизити втрати руди та покращити процес транспортування корисних копалин. Проте адаптація цих технологій до умов шахт Кривбасу вимагає врахування специфічних факторів, таких як невеликий перетин виробок та недостатня міцність і стійкість руди і вміщуючих порід.

Метою дослідження є розробка, оптимізація та впровадження технологічних рішень, спрямованих на вдосконалення процесів видобутку залізних руд у підземних умовах із застосуванням сучасної самохідної техніки. Зокрема, дослідження має забезпечити зниження витрат на видобуток, підвищення рівня механізації та зменшення втрат руди.

Для досягнення поставленої мети в роботі було вирішено наступні завдання:

1. Проведено аналіз існуючих технологій видобутку залізних руд у Кривбасі та за кордоном із застосуванням самохідної навантажувально-доставочної техніки.

2. Визначено основні проблеми та напрями їх вирішення при впровадженні навантажувально-доставочних машин у підземних умовах.

3. Розроблено нові конструкції днища очисного блоку та оптимізовано процес навантаження ковша НДМ з урахуванням геометричних параметрів навантажувальних заходок та кута занурення ковша НДМ в навал відбитої руди.

4. Удосконалено технології очисних та закладних робіт із застосуванням самохідних навантажувально-доставочних машин в підземних умовах.

У роботі запропоновано технологічні рішення, які включають розробку конструкцій днища з використанням фронтального навантаження ковша НДМ та технологію комбінованої закладки камер з одночасною утилізацією відходів гірничодобувного виробництва за допомогою сучасних самохідних навантажувально-доставочних машин.

Використання результатів дослідження дозволить гірничим підприємствам Кривбасу підвищити ефективність підземного видобутку, знизити собівартість робіт і забезпечити раціональне використання природних ресурсів. Запропоновані технології сприятимуть модернізації виробничих процесів, покращенню безпеки праці та конкурентоспроможності гірничої галузі України.

РОЗДІЛ І

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИДОБУТКУ ЗАЛІЗНИХ РУД ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ САМОХІДНОЇ ТЕХНІКИ

1.1. Досвід випуску та транспортування руди при використанні самохідної гірничої техніки на закордонних рудниках

Кожний виробничий процес має бути якомога більш продуктивним, адже це безпосередньо впливає на прибуток. Тож задля підвищення ефективності на закордонних рудниках технологічні процеси з випуску та доставки відбитої руди не могли обійтися без впровадження самохідної техніки [1-3]. Наведені процеси є складовою частиною показників вилучення корисних копалин, які повинні забезпечувати отримання як якісних, так і кількісних показників вилучення руди [4].

На показники вилучення руди значною мірою впливає конструкція днища приймального горизонту, тому при впровадженні у технологічний процес самохідних НДМ з'являється необхідність в удосконаленні конструкції днища блоку [5].

Корисні копали, що вилучаються з випускного отвору, мають обсяг так званого еліпсоїда випуску, його вертикальна вісь прирівнюється до висоти шару h . При перетині цих еліпсоїдів випуску досягається найбільш максимальне вилучення чистої при випуску руди. Відстань між дучками приймається мінімальна, але з урахуванням параметрів стійкості, наприклад, при використанні скреперної доставки відстань дорівнюватиме 4-6 м.

При використанні самохідних навантажувально-доставочних машин (НДМ), екскаваторів або віброустановок відстані між випускними виробками дорівнюватиме 10 - 14 м. Втрати руди в такому випадку будуть прямо пропорційними квадрату відстані між випускними виробками L і обернено для висоти h .

Однією з технологій випуску, що дозволяють підвищити продуктивність при використанні самохідних НДМ є торцевий випуск. Обвалена руда при цьому випускається через торець навантажувальної заходки.

Загалом в світі впровадження самохідних НДМ при видобутку корисних копалин відбулося ще у 50-ті роки минулого сторіччя. Отже, цілком обґрунтованим є використання досвіду закордонних рудників, задля уникнення потенційних помилок при реалізації новітніх технологій в умовах вітчизняних підприємств.

Розглянемо технологію з площинно-торцевим випуском, представлену на рис. 1.1.1. Її впровадження відбувалося на таких закордонних рудниках як Фінч, Нортспаркс, Ель-Тенієнте, Хендерсон та Прем'єр [5]. Корисні копалини вивантажувалися одразу на двох підповерхах шляхом їх почергово випуску через гірничі виробки. Таким чином досягалося збільшення товщини шару корисної копалини та усунення гребенів з верхнього підповерху, що додатково призвело до скорочування втрат руди.

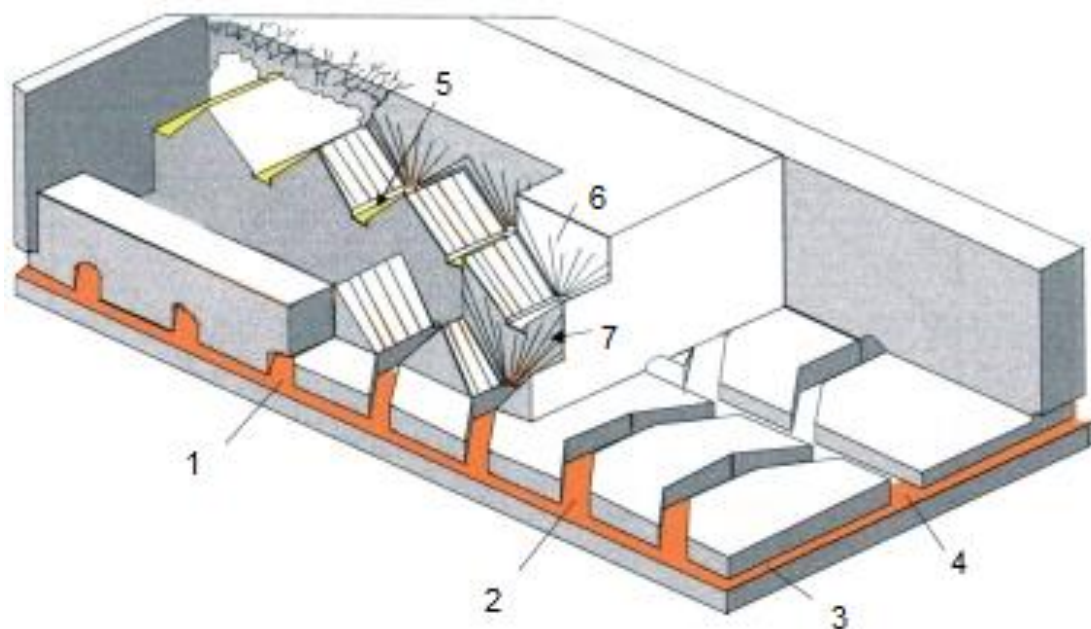


Рис. 1.1.1 – Технологія підповерхового обвалення на руднику Прем'єр: 1 – навантажувальний орт-заїзд; 2 – транспортний штрек; 3 – транспортний орт; 4 – доставочний штрек; 5 – бурова виробка; 6 – формування підсічки; 7 – формування траншеї

Незважаючи на вищенаведене, виникала проблема у різниці між формою гребенів втрат та геометричними формами фігур випуску, що утворювалися. Це призводило до необхідності балансувати між рівнем втрат корисної копалини та ступенем її засмічення, що ускладнювало процес оптимізації технологічних параметрів видобутку. Тобто, технологія вимагала тонкого балансу для та випуску руди. Відбійка відбувалася за допомогою підривання віял глибоких свердловин, з виробок призначених для випуску і транспортування руди. Для порід, що налягають над робочою зоною проводиться примусове обвалення за допомогою підривання віял свердловин з виробок вентиляційного горизонту.

Після примусового обвалення найчастіше відбувається засмічення руди, так як відбувається її змішування з налягаючими породами. Таким чином це призводить до вище згаданих втрат руди, і через вплив різних складових він може дорівнювати 20%. Але виникає можливість зменшення втрат шляхом контролю висоти підповерху в межах 15-17 метрів та товщини відбиваємого шару руди, але це призводить до зменшення продуктивність видобутку.

Однак, якщо під час видобутку приділити увагу зміні гранулометричного складу, то це буде впливати на зміну фігури випуску, а отже і на вилучення відбитої руди [2, 6].

Повертаючись до технології з торцевим випуском, можна трохи зменшити рівень засмічення, у разі якщо розташувати еліпсоїд випуску всередині шару відбитої руди, це усуває асиметрію і кількість потрапляючої пустої породи [3, 7]. Таке відбувається через те що над транспортною виробкою, що проходять з певним відставанням, з'являється так звана стелина-козирок. За таких умов вісь зони випуску розташовується далі від масиву і не контактує з розпушеною породою, що сприяє проникненню обвалених порід у транспортну виробку тільки під час завершального етапу вилучення.

На рудниках Швеції, завдяки ретельним науковим дослідженням та аналізу виробничих процесів, на практиці було встановлено, що застосування навантажувально-доставочних машин типу «Скупмобайль» є більш раціональним з економічної точки зору. Ці машини стали оптимальним вибором

для таких складних умов, крім того, ефективність їх роботи значною мірою залежить від правильної конструкції днища приймального горизонту.

Пропоновані конструктивні варіанти днища є традиційними, однак у більшості випадків вони вимагають додаткового доопрацювання та налаштування відповідно до конкретних умов кожного рудника (рис. 1.1.2).

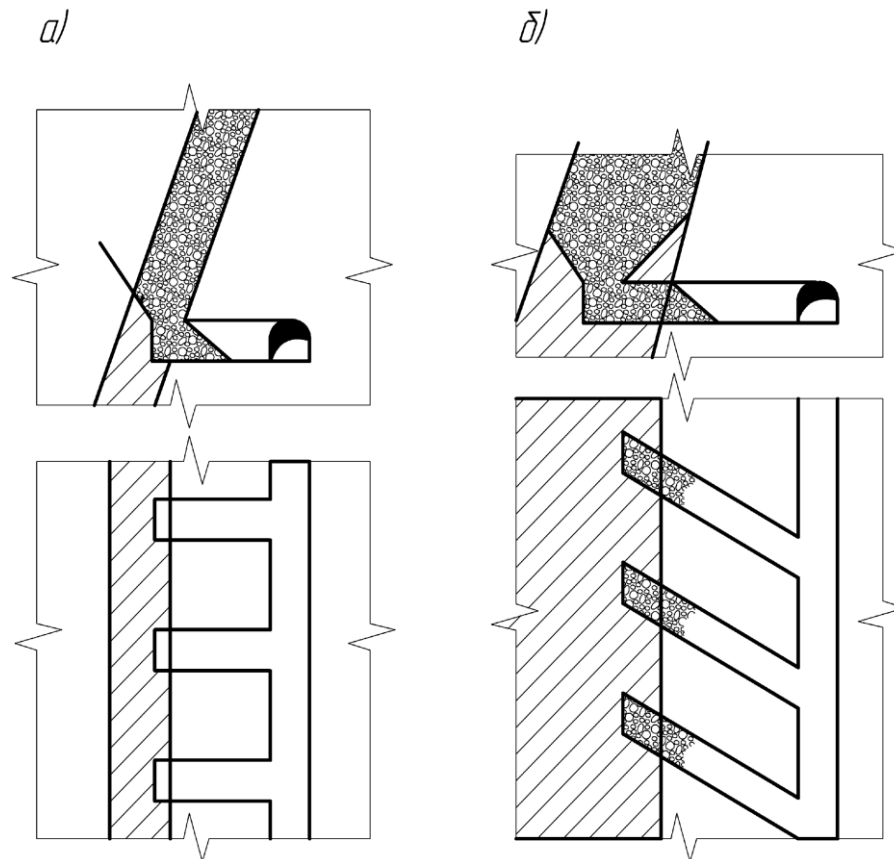


Рис. 1.1.2 – «Традиційні» варіанти конструкції днища прийомного горизонту

Іншим широко відомим і часто використовуваним варіантом конструкції є так зване «плоске» днище, яке можна побачити на рис. 1.1.3. Це рішення є одним із класичних, яке має ряд важливих переваг, зокрема простоту та ефективність з різними видами руди. «Плоске» днище забезпечує стабільний і рівномірний потік матеріалу до транспортуючих систем, знижуючи ризик утворення застою та перешкод у процесі навантаження.

Однак, незважаючи на свою популярність і практичність, цей тип днища також має свої обмеження і потребує певного доопрацювання для оптимізації в

умовах конкретного рудника. У деяких випадках може бути необхідним додаткове налаштування кутів нахилу або зміна конструктивних елементів для забезпечення максимальної ефективності.

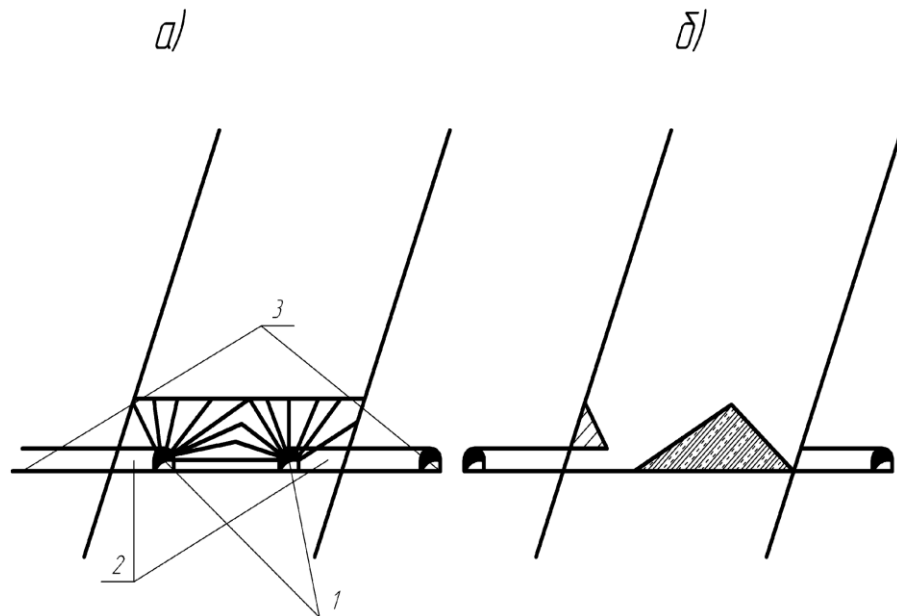


Рис. 1.1.3 – Варіант «плоске» днище: 1 – траншейні штреки; 2 – навантажувальні заходки; 3 – відкотні штреки

Також, все більше країн переходять на камерні системи видобутку із закладкою виробленого простору, адже вважається що вони наразі є найбільш механізованими і продуктивними системами видобутку корисних копалин, при яких обсяг видобутку сягає кількох мільйонів тонн руди на рік [8].

Велика частина шахт в країнах СНД все ще переважає застосування традиційних циклічних навантажувальних машин, проте дедалі частіше їх замінюють прогресивні навантажувально-доставочні машини (НДМ), які вже стали стандартом на передових рудниках розвинених держав.

Використовуючи НДМ для навантаження рудної маси, забезпечується глибоке проникнення ковша в рудний навал, що сприяє динамічному струшуванню рудного стовпа в випускному отворі, завдяки чому усувається будь-яке потенційне зависання породи. Це мінімізує ймовірність утворення «куполів» та залипання крупних шматків руди у випускних воронках, значно покращуючи безпеку і стабільність ведення робіт.

На шахтах з особливими умовами транспортування (наприклад, зони з обмеженим доступом до очисного простору, ризик гірських обвалів або неконтрольовані пориви води, через водонасичені породи), по мірі зростання технологій, все більшого використання набуло дистанційне керування машинами, яке зазначено у дослідженнях [8-14]. Пульти дистанційного керування обладнані системами радіозв'язку і можуть розміщуватись на будь-якій відстані від робочої зони, забезпечуючи оператору повний контроль за процесом завантаження та транспортування навіть в умовах підвищеного ризику. Це істотно полегшує процес видобутку та робить його більш безпечним.

Крім того, сучасні НДМ часто оснащені інтегрованими системами автоматизації та сенсорами, які забезпечують моніторинг роботи у реальному часі, дозволяючи оперативно виявляти та усувати потенційні збої. Інтеграція з системами автоматизованого управління та технологіями завчасної діагностики дозволяє зменшити вплив людського фактору і підвищити загальну ефективність роботи на рудниках.

1.2. Аналіз ключових проблем при впровадженні самохідних НДМ закордоном

Найскладнішими наразі процесами при підземному видобутку корисних копалин залишаються випуск та транспортування руди. Аби досягти високого рівня комплексної механізації таких процесів, спеціалісти [15] вважають за необхідне використовувати машини, які в свою чергу будуть здатні виконувати одразу декілька процесів. Така інтеграція одразу зменшить кількість обладнання та технічного персоналу, додатково забезпечивши високою швидкістю ведення робіт.

Згідно літературних джерел [10], самохідні НДМ можна застосовувати як самостійний засіб одночасно для навантаження та транспортування руди, або використовувати його в якості допоміжного, де він буде виконувати тільки

функцію навантажування руди у інший транспортний засіб. Наразі сучасні самохідні НДМ розподіляються на такі основні типи:

- навантажувальні – класичні екскаватори, навантажувальні машини з загрибаючими лапами та навантажувачі ковшевого типу;
- доставочно-транспортні машини, такі як автосамоскиди і самохідні вагони, призначені для швидкого переміщення значних обсягів руди;
- ковшеві завантажувально-доставочні машини на пневмоколісному ході – обладнання з ковшами достатньо великої місткості (8–10 м³), які забезпечують повний цикл завантаження, транспортування і вивантаження руди;
- ковшево-бункерні машини на пневмоколісному шасі, що мають власні бункери для зберігання руди, завдяки яким її можна транспортувати та розвантажувати безпосередньо в місцях зберігання чи рудоспуски.

При реалізації першої схеми організація обслуговування навантажувально-доставочних машин передбачає роботу лише одного оператора, що працює як на етапі завантаження, так і під час транспортування руди на значні відстані. Ці відстані часто можуть сягати кількох сотень метрів, що в свою чергу дозволяє знизити потребу в додаткових працівниках для виконання окремих операцій. Така система значно спрощує процес управління, що в свою чергу позитивно впливає на зростання продуктивності праці.

При застосуванні другої схеми, зазвичай використовуються машини ковшевого типу на завантаженні інших засобів під час розробки жильних родовищ, особливо в умовах коли блоки мають невелику продуктивність. Вони є ефективним інструментом для виконання цієї операції, забезпечуючи необхідний рівень продуктивності в таких специфічних умовах. Також, подібні комплекси машин знайшли широке застосування при проведенні виробок, де їхня функціональність дозволяє забезпечити безперервний процес роботи. На родовищах значної потужності, знайшли застосування високопродуктивні навантажувачі безперервної дії або спеціалізовані ковшеві, оснащені ковшами великої ємності, що дає змогу транспортувати значні обсяги породи за меншу одиницю часу.

З використанням машинного навантаження зникає необхідність у будівництві спеціальних люків для випуску руди, тобто зменшується кількість підземних виробок. Крім того, це дозволяє забезпечити можливість оперативного маневрування самохідною технікою. Однак серед недоліків можна зазначити, що для процесів навантаження та доставки вже потрібно задіяти двох операторів, що збільшує виробничі витрати.

Питання раціонального використання та вибір типу такого обладнання при підземному видобутку призводив до вирішення значної кількості завдань, адже в результаті від цього залежала продуктивність усього очисного вибою. Спираючись на літературні джерела, автори [16, 17] розглядали умови, які висувалися до самохідних НДМ на прикладі закордонного рудника «Джерсі» у Канаді, а саме:

- обладнання має бути розроблено таким чином, щоб забезпечувати швидке та легке переміщення між різними вибоями без затримок і труднощів. Це важливо для підвищення продуктивності й оперативності робіт, особливо в умовах, коли час витрачений на операції має істотне значення.

- самохідні НДМ повинні мати автономну систему живлення, щоб мати змогу пересуватися без залежності від зовнішніх джерел енергії. Це забезпечує її мобільність і здатність працювати навіть у віддалених місцях, де неможливо підключитися до стаціонарних джерел живлення.

- для досягнення найвищої ефективності та значного зниження витрат, обладнання повинно бути спеціально сконструйоване під конкретний вид робіт та умови. Такий підхід дозволяє не тільки поліпшити якість ведення робіт, але й зробити процес більш економічним за рахунок оптимізації всіх необхідних ресурсів.

- важливо, щоб обладнання було надійним та міцним, здатним витримувати тривалу експлуатацію в різних умовах. Адже надійність обладнання гарантує безперервність робіт і мінімізує ризик поломок, що може значно вплинути на загальний результат та ефективність ведення робіт.

На початкових етапах експлуатації самохідних НДМ на руднику, було зроблено висновок що існує можливість зниження виробничих витрат. Проте, на практиці очікувана економія була знівельована високими витратами на технічне обслуговування та ремонт. Основними джерелами цих витрат стали оплата праці сервісних інженерів, вартість запасних частин, а також значні втрати часу через простої, під час якого обладнання було заборонено експлуатувати.

Після детального аналізу причин високих витрат були виявлені три ключові проблеми:

- недостатній досвід операторів та інженерно-технічного персоналу. Частина операторів, які працювали з самохідною технікою, не мали достатнього практичного досвіду для її ефективної експлуатації. Через це вони не могли використовувати техніку на повну потужність. Інженерно-технічний персонал, у свою чергу, не мав точного уявлення про реальні можливості і продуктивність такого типу машин, що призвело до помилок у плануванні робіт і розподілі ресурсів. Як результат, техніка працювала не на повну силу, а її ресурс витрачався нерационально.

- відсутність ефективної системи технічного обслуговування та ремонту. Системи, яка б забезпечувала своєчасне обслуговування і ремонт саме самохідного обладнання, фактично не існувало. Це значно ускладнювало ситуацію, оскільки не було належно організованого обслуговування, а також не вистачало кваліфікованих спеціалістів для ремонту такого типу техніки. Окрім цього, постійно виникали проблеми з постачанням запасних частин і швидкозношуваних елементів для нових машин, що призводило до затримок у роботі та зупинок виробництва. Систематичне технічне обслуговування є надзвичайно важливим для машин із напрацюванням понад 40 000 годин. При належному, кваліфікованому обслуговуванні коефіцієнт готовності сучасних самохідних НДМ може перевищувати 85%.

- низька надійність нового обладнання. Одна з найсуттєвіших проблем полягала в тому, що значна частина нової техніки не була розрахована на ті навантаження, які виникали під час її експлуатації в реальних умовах.

Обладнання швидко зношувалося і виходило з ладу, навіть при виконанні стандартних операцій. Це призводило до частих поломок, додаткових витрат на ремонт і придбання запасних частин, а також збільшувало час простою.

Аналіз накопиченого досвіду використання навантажувально-доставочних машин дозволив зробити кілька важливих висновків:

- продуктивність машин. Виявилось, що продуктивність самохідних НДМ навіть одного типу може суттєво відрізнятись залежно від умов експлуатації. Наприклад, машини могли мати різну продуктивність на різних відстанях доставки через змінні умови роботи.

- оптимальна відстань транспортування. Було встановлено, що для електричних навантажувально-доставочних машин ефективна відстань транспортування становить близько 50 метрів. Для машин на дизельному приводі ця відстань може досягати 500 метрів, що робить їх більш універсальними в умовах великої протяжності фронту робіт.

- збільшення розмірів виробок. Через значний розмір машин відповідно виникає необхідність в збільшенні площі перетину виробок, по яким вони переміщуються. Це пов'язано не тільки з габаритами самих машин, але й з необхідністю створення відповідних зазорів, проходів, а також устаткування для вентиляції виробок, що є критично важливим в умовах шахти.

- кути нахилу. У ході експлуатації було визначено, що транспортування руди машинами повинно здійснюватися на виробках з нахилом не більше 10-12°. Переміщення самохідної техніки між вибоями можливе на виробках з нахилом максимум до 20°.

Загалом, при виборі самохідного обладнання для рудника важливо враховувати всі вище наведені фактори. Хоча вартість техніки часто розглядається як головний критерій, вона не повинна стати єдиним вирішальним фактором. Ключовими чинниками повинні бути надійність обладнання, його відповідність конкретним умовам роботи та можливість забезпечення належного сервісного обслуговування та ремонту.

В умовах Криворізького залізо-рудного басейну перші два фактори є значними та потребують додаткового дослідження. Зокрема, одним із важливих аспектів є вибір між дизельними та електричними машинами, адже дослідники зазначають [18], що експлуатація дизельних машин є більш економічною – її вартість приблизно в 1,5 рази нижча, ніж у електричних машин зі схожими характеристиками. Це робить дизельні машини привабливим варіантом з точки зору скорочення виробничих витрат.

Проте, порівнюючи традиційні технології та із використанням самохідних НДМ, очевидно, що перевага залишається за сучасними технологіями з використанням вискоєфективного сучасного самохідного обладнання.

Як зазначають автори [19], середня місячна виробка на одну бригаду при проходці із застосування самохідних НДМ становить 160–170 метрів, а продуктивність на одного прохідника – 9 метрів. Для порівняння, на шахтах Кривбасу, місячна виробка під час проходки квершлагів становить лише 70 метрів, що є надзвичайно низьким показником навіть при використанні традиційних методів. Такий результат підкреслює необхідність вдосконалення технологій на шахтах, оскільки застосування самохідної техніки дозволяє значно підвищити продуктивність.

Вибір конкретної технологічної схеми для проведення гірничих виробок, а також відповідних гірничопрохідницьких машин визначається багатьма факторами, серед яких важливу роль відіграють гірничо-геологічні умови, обсяги й темпи робіт, продуктивність праці та собівартість процесу. До гірничо-геологічних факторів, які впливають на вибір техніки й технологій, належать:

- міцність та стійкість гірських порід. Чим міцніші породи, тим більш потужну й надійну техніку необхідно застосовувати, щоб забезпечити безпечне й ефективне виконання робіт.

- розміри родовища. По простяганню, падінню та потужності родовища визначаються масштаби робіт і вимоги до техніки. Якщо родовище має великі розміри або складну форму, це потребує гнучкого підходу до вибору технології.

- морфологія родовища. Впливає на тип виробок та вибір необхідної технології для їх проведення.

- гідрогеологічні умови. Наявність води в породах або наявність підземних вод може суттєво ускладнити роботи, що потребує додаткових технічних рішень, таких як осушувальні системи або захисне обладнання.

- інші фактори. До них належать загазованість, вибухонебезпечність, радіоактивність, можливість samozapalennya та інші специфічні умови, які створюють додаткові вимоги до безпеки та техніки.

Таким чином, вибір технологій і обладнання повинен базуватися не лише на економічних показниках, таких як вартість експлуатації, але й на всебічному аналізі гірничо-геологічних умов. Це дозволить забезпечити не тільки високу продуктивність, але й безпеку, довговічність техніки та раціональне використання ресурсів.

Як і раніше, в умовах шахт Кривбасу під час транспортування руди, досі активно використовують скрепери. Також скрепери використовують і під час проходки виробок, так як наразі впровадження самохідної техніки є складним або навіть неможливим процесом. Через недостатню площу перетину виробок та великі кути нахилу, маневрувати громіздкою самохідною технікою в таких умовах просто небезпечно.

Переваги скреперних лебідок полягають у можливості поєднання навантаження та транспортування гірничої маси в одному циклі, що підвищує ефективність процесу. До них також належать відносна простота, стабільна робота навіть у складних гірничо-геологічних умовах, транспортування крупних фрагментів руди, адаптування до великих кутів нахилу виробок, а також зміна довжини транспортування, якщо виникає така необхідність.

Не зважаючи на це, скреперна доставка програє за продуктивністю самохідним НДМ, до того ж швидкий знос канатів та велика енергоємність підвищують загальні витрати на експлуатацію та обслуговування.

Приємним винятком у Кривбасі наразі стали шахти «Криворізька» та «Покровська», в умовах яких декілька блоків відпрацьовують самохідною технікою.

Застосування скреперної доставки на сьогоднішній день є вимушеною мірою, враховуючи високу вартість сучасного самохідного обладнання, яке не можуть дозволити собі деякі шахти.

Крім того, застосування самохідної техніки на підповерхових виробках не завжди можливе з гірничо-геологічної точки зору. Нагадаємо, що самохідна техніка потребує значно більшого перерізу виробок, що в рудах і породах нижче середньої міцності і стійкості іноді неможливе.

Отже, на деяких шахтах, рівень механізації залишається мінімальним, що значно підвищує трудомісткість виробничих процесів і вимагає використання додаткових ресурсів для ефективного ведення робіт.

Процес розвитку механізації у гірничодобувній галузі пройшов етапи, зосереджуючись спочатку на створенні важкої техніки для виконання найбільш складних і енерговитратних робіт, таких як буріння, відбійка, транспортування великих обсягів матеріалу. Згодом механізація поширилася й на допоміжні процеси, які хоч і менш трудомісткі, але значною мірою впливають на загальну ефективність та рентабельність видобутку корисних копалин.

Історично, розвиток механізації при видобутку корисних копалин вимагав конструювання спеціалізованих гірничих машин для найскладніших операцій, а згодом - обладнання для виконання допоміжних, які потребують менших трудових витрат.

1.3. Висновки

Основним недоліком, який стримує впровадження самохідної техніки на в умовах Криворізького залізрудного басейну є висока вартість та відсутність наукових розробок по високоефективному впровадженню самохідної техніки на шахтах.

Тому метою дослідження є розробка, оптимізація та впровадження технологічних рішень, спрямованих на вдосконалення процесів видобутку залізних руд у підземних умовах із застосуванням сучасної самохідної техніки.

Для досягнення поставленої мети в роботі було вирішено наступні завдання:

1. Проведено аналіз існуючих технологій видобутку залізних руд у Кривбасі та за кордоном із застосуванням самохідної навантажувально-доставочної техніки.

2. Визначено основні проблеми та напрями їх вирішення при впровадженні навантажувально-доставочних машин у підземних умовах.

3. Розроблено нові конструкції днища очисного блоку та оптимізовано процес навантаження ковша НДМ з урахуванням геометричних параметрів навантажувальних заходок та кута занурення ковша НДМ в навал відбитої руди.

4. Удосконалено технології очисних та закладних робіт із застосуванням самохідних навантажувально-доставочних машин в підземних умовах.

У розділі було проведено аналіз існуючих технологій видобутку залізних руд із застосуванням самохідної гірничої техніки, як у світовій практиці, так і в умовах Криворізького залізорудного басейну. Встановлено, що використання самохідної техніки є ключовим фактором підвищення продуктивності гірничих робіт, зниження втрат корисних копалин і забезпечення більш ефективного транспортування рудної маси.

Світовий досвід показав, що впровадження самохідних навантажувально-доставочних машин (НДМ) дозволяє оптимізувати процеси навантаження та транспортування руди, знизити витрати на експлуатацію та покращити якість видобутку. Зокрема, були розглянуті успішні приклади впровадження самохідної техніки на закордонних рудниках, таких як рудники Канади, Швеції та Австралії.

Умови українських шахт значно ускладнюють впровадження сучасних технологій через обмежений перетин виробок, невисоку міцність та стійкість руд і вміщуючих порід, високий гірський тиск та складність вентиляції. Однак,

впровадження НДМ навіть в експериментальному режимі на окремих шахтах Кривбасу, зокрема на шахтах «Криворізька» та «Покровська», довело, що це забезпечує суттєве підвищення ефективності робіт.

Аналіз показав основні проблеми, які стримують широке впровадження самохідної техніки:

- висока вартість обладнання та його обслуговування;
- недосконалість традиційних схем організації транспортування руди;
- необхідність адаптації виробок до нових технічних вимог.

На основі проведеного аналізу визначено, що для умов шахт Криворізького залізрудного басейну важливо поєднувати вдосконалення конструкцій гірничих виробок із оптимізацією технологічних процесів. Розробка нових схем фронтального навантаження та ефективна інтеграція НДМ дозволять значно знизити втрати руди, покращити економічні показники видобутку та забезпечити безпечні умови праці.

Отже, результати аналізу є базою для подальшого дослідження і розробки технологічних рішень, спрямованих на адаптацію самохідної техніки до умов шахт Кривбасу та вдосконалення технології видобутку залізних руд.

РОЗДІЛ II

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ВИПУСКНОГО ГОРИЗОНТУ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВИПУСКУ ВІДБИТОЇ РУДИ ЗА ДОПОМОГОЮ СУЧАСНИХ НДМ

2.1. Покращення показників вилучення відбитої руди з блоків, що мають недостатні кути падіння

Беручи до уваги велику кількість досліджень та практичний досвід провідних гірничодобувних підприємств світу, можна стверджувати, що основним завданням ефективного використання ресурсів родовищ є впровадження методів, спрямованих на підвищення ефективності видобутку відбитої руди. Це завдання особливо важливе при видобутку руди з блоків, що характеризуються недостатньо великими кутами падіння, оскільки вони потребують спеціальних підходів для забезпечення високих показників вилучення та зниження втрат корисної копалини.

В умовах залізорудних шахт Кривбасу, є поширеною проблема недостатньо крутих кутів падіння рудних тіл у значній частині родовищ, тож використання удосконалених технологій та сучасного обладнання може допомогти оптимізувати процеси навантаження, транспортування та випуску руди навіть у складних умовах. Тому розвиток і впровадження таких рішень є нагальною задачею, забезпечуючи економічно обґрунтовану рентабельність видобутку.

Стає очевидно, що через існуючу проблему суттєво знижується рівень видобутку, адже збільшується рівень втрат відбитої руди. Згідно аналізу, майже кожна п'ята шахта в регіоні працює без ефективного результату. Так як, втрати відбитої руди в надрах, на деяких підприємствах, сягають 18 – 20%. В такому випадку, рудні запаси, які могли б бути видобуті, залишаються в надрах, що знижує загальні показники видобутку та призводить до нераціонального використання ресурсів. Якщо знизити втрати руди навіть на 10%, можна істотно

покращити обсяг видобутку, не потребуючи при цьому додаткових витрат [20-29].

Таким чином, треба рухатися у напрямку розвитку гірничодобувної галузі регіону, за рахунок вирішення питання з підвищенням показників видобутку відбитої руди з очисного блоку. Адже у сучасному середовищі все дедалі частіше постає питання про нераціональний розподіл природних ресурсів, що все більше вимагає від нас впровадження новітніх технологій, задля запобігання недоцільних витрат. Актуальність цього питання постає не лише для Криворізького залізорудного басейну, адже необхідно забезпечити стабільний розвиток галузі й для інших регіонів України в цілому, в яких корисні копалини видобуваються підземним способом [22, 30-34, 39].

Світові економічні тенденції на глобальному ринку залізорудної сировини (ЗРС) постійно зазнають змін, і наразі стандарти якості тільки зростають. Економіка вимагає покращення якісних характеристик і конкурентоспроможності видобутої сировини в умовах жорсткої конкуренції з високоякісними рудами, що видобуваються в світі.

Ключовим фактором, що визначає необхідність збільшення повноти вилучення залізних руд із очисних блоків, є сучасні економічні тенденції на глобальному ринку залізорудної сировини (ЗРС). На даний момент зростають вимоги до якості залізної руди, обумовлені підвищеними стандартами, що встановлюють основні споживачі ЗРС на світовому ринку

Ці запити зумовлюють необхідність покращення процесів видобутку, щоб досягти максимальної повноти вилучення руди з надр та підвищити її якісні показники. В умовах, коли на ринку домінують якісні аналоги з інших країн, для української гірничої промисловості це стає стратегічним завданням. Вітчизняна гірничо-наука та промисловість повинні зосередити свої зусилля на досягненні цих цілей, орієнтуючись на оптимізацію методів видобутку та забезпечення стабільної якості залізорудної продукції, що відповідає світовим стандартам.

На даний час, у Кривбасі широко застосовуються камерні системи розробки і системи з обваленням руди та вміщуючих порід. Для другого класу

систем особливо характерна проблема з повнотою вилучення руди після її відбійки, адже постає питання мінімізації втрат відбитої руди у так званій «мертвій зоні» у лежачому боці покладу. У цих зонах часто залишаються значні обсяги рудної маси, які через обмежену рухомість не потрапляють у випускні отвори.

Ця проблема стає дедалі гіршою з поглибленням розробки та ускладненням гірничо-геологічних умов, що перешкоджають легкому доступу до рудних тіл і призводять до накопичення невилучених декількох тисяч тон залізної руди [24, 26-28, 31, 34-37].

Щоб визначити обсяг руди, який залишається на лежачому боці покладу до початку процесу розубоження, використовують спеціальну формулу, розроблену академіком Г.М. Малаховим [20]. Ця формула дозволяє оцінити обсяги втрат і краще розуміти фактори, що впливають на повноту вилучення руди, особливо на великих глибинах:

$$\rho_o = \left(\frac{H}{tg\lambda} + d \right) \frac{H}{2} s - Q_{ел} \quad (2.1.1)$$

де H – висота шару відбитої руди, м;

λ – кут падіння рудного покладу, град;

d – діаметр випускного отвору, м;

s – відстань між осями випускних отворів, м;

$Q_{ел}$ – обсяг еліпсоїда випуску, що додатково усічений двома площинами, пройденими навхрест простягання посеред випускних отворів, м³.

2.2. Удосконалення конструкції днища блоку та процесу випуску і навантаження відбитої руди з використанням самохідних НДМ

Дослідження показали, що на прогресивному рівні розвитку технічного устаткування та технологічних рішень найбільш ефективним методом вилучення і транспортування відбитої руди з панелей та очисних блоків є використання навантажувально-доставочних машин (НДМ). Ця технологія забезпечує високу

продуктивність і адаптивність до складних умов, що виникають у процесі підземного видобутку.

Різні гірничо-геологічні умови потребують впровадження удосконалених схем організації процесу випуску руди. Одним із найбільш вигідних напрямів є технології, які базуються на застосуванні випускних траншей, з одностороннім або двостороннім випуском (рис. 2.2.1).

Перший вид траншей, переважно використовується для відпрацювання покладів з невеликою потужністю, в межах 20–25 м. Цей варіант передбачає випуск руди з одного боку траншеї, що дозволяє мінімізувати обсяг робіт та забезпечити стабільність виробничого процесу (рис. 2.2.1, а).

Для покладів значної потужності доцільно використовувати схеми з двостороннім випуском, які забезпечують більш рівномірне вилучення руди і підвищують загальну ефективність процесу за рахунок скорочення втрат та зменшення часу транспортування відбитої руди до рудоспусків, або відкотних судів (рис. 2.2.1, б).

Таким чином, вибір конкретного варіанта технології залежить від потужності покладу, гірничо-геологічних умов та наявного обладнання. Використання випускних траншей у поєднанні з сучасною НДМ дозволяє оптимізувати процес видобутку руди, підвищуючи продуктивність і забезпечуючи раціональне використання природних ресурсів.

В перелічених вище варіантах, з випускної траншеї до доставочних ортів прокладаються завантажувальні заходки, їхній кут примикання зазвичай приймається у межах 60–70°.

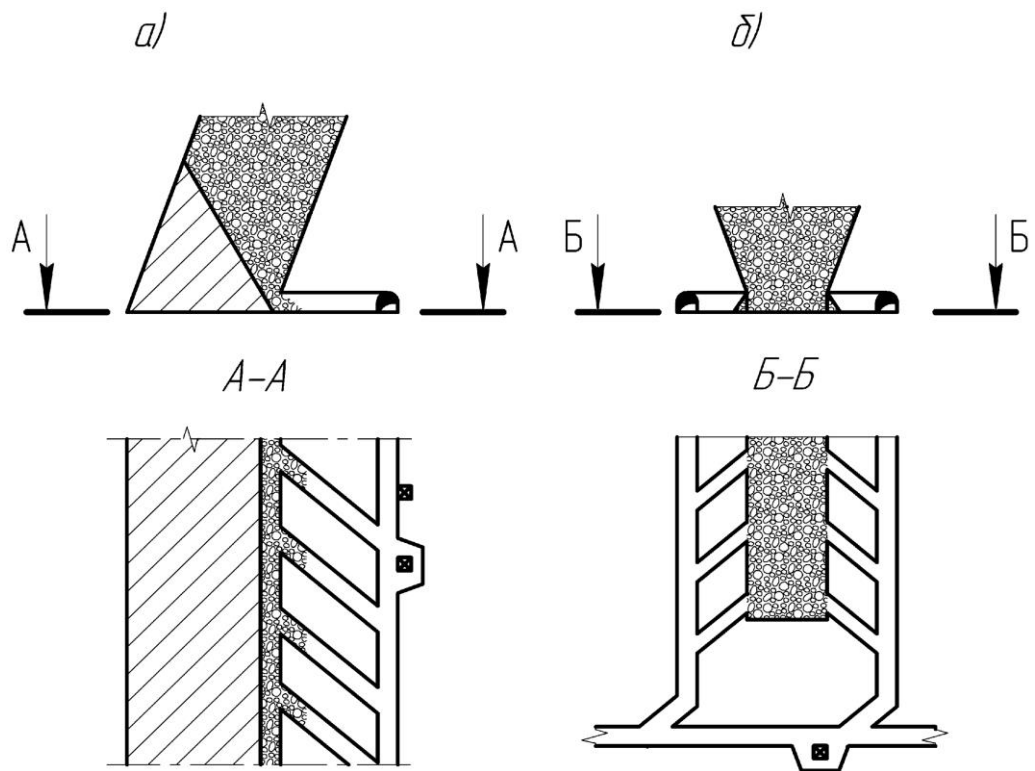


Рис. 2.2.1 – Види випускних траншей: а – з одностороннім випуском відбитої руди; б – з двостороннім випуском відбитої руди

При навантаженні відбитої руди за даними схемами, виникає проблема нерівномірного навантаження на боки машини, що спричиняє додаткове напруження в конструктивних елементах машини і в подальшому може знижувати строк служби обладнання. Це відбувається за рахунок неповного заповнення ковша, при зануренні його під кутом в обсяг відбитої руди.

Шляхом досліджень, для усунення цього недоліку було розроблено модернізовану конструкцію днища блока, при якому відбувається фронтальне навантаження руди.

Згідно запропонованій схемі ковш НДМ занурюється під прямим кутом (90°) до навалу відбитої руди, що дозволяє забезпечити рівномірне завантаження ковша, зменшити асиметричне навантаження на машину та підвищити ефективність транспортування. Запропонована конструкція представлена на рис. 2.2.2.

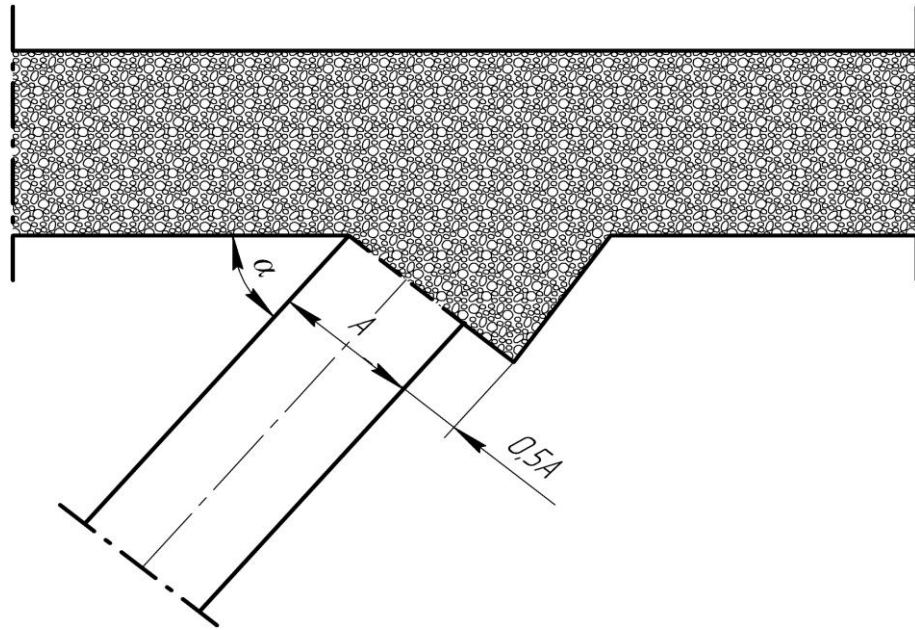


Рис. 2.2.2 – Сполучення навантажувальної заходки із забоєм, що забезпечує формування укосу, площина якого перпендикулярна осі навантажувальної заходки

Запропонована конструкція навантажувальної заходки передбачає формування навантажувального забою таким чином, щоб ковш машини міг занурюватися перпендикулярно відносно до рудного навалу.

Навантажувальна ніша, що за формою схожа з прямокутною призмою, розташовується фронтально до осі навантажувальної заходки, а ширина цієї основи дорівнює 1,5 ширині заходки. Цей підхід значно покращує якість процесу навантаження руди, як це продемонстровано на рисунку 3.10.

Після того, як навантажувальна ніша сформована і процес відбійки масиву з очисного блоку завершено, руда заповнює цю нішу, що дозволяє ефективно завантажити ковш самохідної навантажувально-доставочної машини. Це забезпечує підвищення ефективності завантаження та дозволяє зменшити втрати корисних копалин.

В цьому випадку об'єм навантажувальної ніші визначається за допомогою формули:

$$V_{н.н} = \left(1,5A \cdot \frac{\operatorname{tg}(90^\circ - \alpha)}{2} \right) \cdot H \cdot L, \text{ м}^3 \quad (2.2.1)$$

де $V_{н.н}$ – обсяг навантажувальної ніші, m^3 ;

A – ширина навантажувальної заходки, м;

α – кут прилягання навантажувальної заходки, град.;

H – висота навантажувальної заходки, м;

L – довжина навантажувальної заходки, м.

Завдяки вищенаведеному, можна виділити такі головні переваги рекомендованої технології:

- наведені технології зменшують обсяг робіт при проходці підготовчих виробок, що сприяє зниженню витрат;

- збільшення коефіцієнту наповнення ковша навантажувально-доставочної техніки, що дозволяє зменшити кількість циклів завантаження та підвищити загальну продуктивність роботи. Завдяки цьому, машини працюють з більшою ефективністю, виконуючи більший обсяг роботи за одиницю часу;

- отримання найбільшої ефективності маневрування технікою, що забезпечує скорочення циклу з навантаження і транспортування. Це дозволяє самохідним НДМ працювати швидше і виконувати меншу кількість операцій, що також підвищує ефективність і зменшує витрати пального;

- значне зменшення часу, який витрачається на відпрацювання блоку, що призводить до зменшення негативного впливу гірського тиску.

- усувається нерівномірне навантаження на обладнання, що зазвичай виникає при зануренні ковша під кутом до рудного навалу. Це знижує ймовірність виникнення деформацій і зношування конструкції навантажувально-доставочних машин, що значно продовжує термін експлуатації техніки.

2.3. Дослідження процесу навантаження відбитої руди самохідними НДМ

Аналіз показав, що одним із ключових недоліків існуючих методів є недостатнє заповнення ковша НДМ при зануренні під кутом до обсягу відбитої руди. Це призводить до зниження загальної ефективності транспортування та

використання техніки. Крім того, занурення ковша під кутом створює додаткове асиметричне навантаження на одну зі сторін машини, що викликає підвищений знос конструктивних елементів і може знижувати надійність техніки.

Для вирішення вказаних проблем була представлена нова конструкція днища блоку. Вона включає навантажувальні заходки з фронтальним завантаженням руди, що забезпечує занурення ковша навантажувально-доставочної машини під прямим кутом (90°) до масиву руди. Такий підхід дозволяє досягти максимального заповнення ковша за один робочий цикл, що підвищує ефективність навантажувальних операцій і зменшує час на виконання процесу.

Запропоновані технологічні рішення дозволили суттєво збільшити обсяг рудної маси, що завантажується, за кожен цикл роботи НДМ. Підвищення рівня завантаження безпосередньо вплинуло на продуктивність техніки, що, у свою чергу, дало змогу зменшити час відпрацювання блоку. Таке зниження тривалості процесу дозволяє зменшити вплив гірського тиску на виробки днища блоку, зберігаючи їхню стабільність.

Дослідження показали, що на прогресивному рівні розвитку технічного устаткування та технологічних рішень найбільш ефективним методом вилучення і транспортування відбитої руди з панелей та очисних блоків є впровадження сучасних навантажувально-доставочних машин. Різні гірничо-геологічні умови потребують вдосконалення схем організації виробничих процесів, тож одними з найбільш вигідних напрямів є технології, що поєднують використання НДМ разом з випускними траншеями.

Однак, при навантаженні відбитої руди з використанням траншей, виникає проблема нерівномірного навантаження на боки машини, що спричиняє додаткове напруження в її конструктивних елементах і в подальшому негативно впливає на строк служби обладнання. Це відбувається за рахунок неповного заповнення ковша, при зануренні його під кутом в обсяг відбитої руди.

Для усунення цих недоліків дослідниками було розроблено та запропоновано вдосконалену конструкцію днища блоку, яка передбачає

наявність випускних траншей з організацією фронтального навантаження руди. Основною особливістю цієї конструкції є забезпечення перпендикулярного занурення ковша (під кутом у 90°) до рудного навалу. Такий підхід дозволяє досягти максимальної ефективності завантаження ковша протягом кожного циклу роботи обладнання, мінімізуючи втрати та покращуючи стабільність роботи техніки [26, 30].

Під час виконання роботи були проведені експериментальні дослідження, спрямовані на оптимізацію процесу випуску відбитої руди при використанні самохідних НДМ та створенням фронтальних навантажувальних заходок. Дослідження здійснювалися із застосуванням самохідної навантажувально-доставочної техніки та фронтальних навантажувальних заходок, конструкція яких була спеціально запропонована в межах експерименту.

В якості робочого простору, для виконання експериментальної частини роботи, дослідження проводилися в межах лабораторії випуску руди, на базі Кафедри підземної розробки родовищ Криворізького національного університету. Для забезпечення точності та надійності результатів використовувалися існуючі моделі обладнання, що дозволило наближено відтворити процес випуску відбитої руди в певних гірничо-геологічних умовах.

Проведені лабораторні експерименти підтвердили необхідність впровадження наведеної технології, аби посприяти значному збільшенню обсягу завантаження ковша НДМ. Важливим досягненням є те, що при фронтальному завантаженні руди під прямим кутом, значно знижується небажане навантаження на бік машини. Адже, такий негативний вплив характерний при використанні традиційних технологій та викликає небажані механічні деформації у конструкції обладнання.

Наведена технологія не тільки дозволяє полегшити процес маневрування машиною, але й пришвидшує навантаження і доставку відбитої руди, що прямо пропорційно впливає на тривалість циклу. Це, в свою чергу, дозволяє скоротити обсяг робіт з проходки підготовчих виробок, що оптимізує використання ресурсів обладнання і підвищує продуктивність видобутку. Завдяки швидшому

завантаженню ковша можна значно скоротити час відпрацювання блоку, що в подальшому мінімізує вплив гірського тиску на виробки [24, 27, 31].

Однак, одним із ключових викликів підземного видобутку залишається проблема утворення великих площ відпрацьованих територій, що виникають внаслідок ведення гірничих робіт [22, 28, 29, 32]. На додачу, поблизу родовищ утворюються відвали, що вміщують мільйони тонн пустих порід і відходів гірничозбагачувального виробництва, які зазвичай так і не підлягають подальшій утилізації [35].

Зважаючи на це, впливає питання у раціональному використанні природних ресурсів, тобто необхідності розробці технологій, при якому буде відбуватися збереження денної поверхні. Такий підхід передбачає утилізацію відходів гірничого виробництва, шляхом закладання ними виробленого простору нині функціонуючих шахт.

Виконані дослідження спрямовані на мінімізацію негативного впливу підземного видобутку та вирішення задачі з подальшої утилізації відходів гірничо-металургійної промисловості, задля підтримання необхідної стійкості масиву і денної поверхні. В роботі наведено вискоєфективні рішення, спрямовані на стабілізацію геодинамічних процесів у масиві гірських порід, які ґрунтуються на комбінованій закладці виробленого простору пустими породами із використанням самохідних НДМ. Таке рішення сприяє збереженню денної поверхні, запобігаючи виникненню обвалів та інших непередбачуваних деформацій. [23, 36-38].

Крім того, розробка ефективних технологічних рішень, спрямованих на запобігання формування штучних провалів на поверхні землі, є критично важливою. У поєднанні з утилізацією відходів гірничого виробництва через їх закладку у вироблений простір шахт, ці заходи забезпечують раціональне використання ресурсів та стабільність денної поверхні.

Враховуючи вищезазначене, вдосконалення конструкцій днища блоку, що включають випускні траншеї із фронтальною схемою завантаження руди, є важливим етапом оптимізації технологій видобутку. Ця конструкція дозволяє

мінімізувати негативний вплив гірського тиску на виробки днища блоку шляхом скорочення тривалості процесу його відпрацювання. Таким чином, перед нами постає актуальне завдання, що несе в собі як науково-технічне так і практичне значення, у контексті розвитку гірничодобувної галузі та забезпечення її екологічної безпеки.

Для найкращого усвідомлення поставленого завдання, важливо було приділити увагу комплексному підходу, що включає кілька методів аналізу. По-перше, було проведено детальний аналіз та узагальнення наукової літератури з актуальних питань створення технологій, що задовольняють потребу у екологічному і безпечному веденні робіт, а також забезпечуючих одночасну утилізацію пустих порід в межах шахти. По-друге, використовувалася теорія планування експериментів, що дозволяє структуровано підійти до організації досліджень та максимізувати точність результатів. Крім того, було виконано фізичне моделювання процесу випуску відбитої руди із застосуванням моделей, виготовлених з еквівалентних матеріалів, що дозволяє більш точно відтворити гірничо-геологічні умови та забезпечити наочність отриманих даних [33, 34, 39].

Для підвищення ефективності та продуктивності процесу випуску руди необхідне впровадження інноваційних технологічних рішень, які замінять загальноприйняті підходи. З цією метою у межах лабораторних досліджень, присвячених аналізу процесу випуску відбитої руди з очисного блоку при застосуванні самохідних навантажувально-доставочних машин (НДМ), було проведено порівняльну оцінку традиційної технології та нових методів із використанням НДМ.

Особлива увага в дослідженні приділялася пошуку способів оптимізації процесу завантаження ковша. Проведений аналіз дозволив дійти висновку, що ключовими чинниками, які впливають на ефективність роботи самохідних навантажувально-доставочних машин (НДМ) і ступінь заповнення їх ковша відбитою рудою, є кут занурення ковша в рудний навал. Саме цей параметр визначає рівномірність розподілу навантаження на конструктивні елементи НДМ.

Експериментальна частина дослідження була спрямована на виявлення закономірності процесів випуску та взаємозалежності між ефективністю самохідних навантажувально-доставочних машин і кутом занурення ковша в навал рудної маси. Для визначення доцільного кута завантаження ковша рудою, перш за все, слід звернути увагу на кут примикання між навантажувальною заходкою та очисним забоєм. Цей кут безпосередньо впливає на можливість фронтального завантаження, рівномірність розподілу рудної маси в ковші та стабільність роботи НДМ у складних умовах підземного видобутку. Аналіз і оптимізація цього параметра є важливим етапом у вдосконаленні технологій завантаження й транспортування руди.

Отже, у межах проведеного дослідження було організовано й виконано чотири послідовні серії експериментальних випробувань.

У першій серії експериментів розглядалася класична схема, при якій випуск та завантаження руди відбувався за допомогою НДМ з навантажувальних заходок, які прокладалися під кутом 40° відповідно до очисного забою. Метою якого було наявно продемонструвати різницю між типовою схемою аби оцінити продуктивність при стандартному положенні заходок.

Під час другої серії експериментів навантажувальну заходку проходили вже під кутом у 55° . Випуск і завантаження руди також здійснювався з використанням НДМ. Зміна кута дозволила оцінити, як підвищення кута примикання до забою впливає на ефективність завантаження.

Третя серія була спрямована на дослідження випуску з заходок, які були прокладені вже під кутом 70° . Ця серія дала змогу виявити вплив ще більшого кута примикання на обсяг заповнення ковша, а також вивчити зміну механічного навантаження на машину в умовах більш крутого кута заходки.

Четверта, заключна серія експериментів, відбулася вже з використанням фронтальних заходок, з запропонованою раніше вдосконаленою формою. Ці заходки були розташовані таким чином, щоб забезпечувати захват руди під прямим кутом 90° , відповідно до навалу руди. Така конфігурація мала забезпечити максимально рівномірне завантаження ковша, що, як

передбачалося, покращує продуктивність техніки та дозволяє знизити знос елементів конструкції.

Під час кожної серії досліджень ківш занурювався під тим самим кутом, під яким була прокладена навантажувальна заходка відповідно до очисного забою. Тож, кути занурення ковша НДМ становили 40° , 55° , 70° та 90° , що забезпечувало всебічне порівняння впливу кожного з положень на ефективність завантаження.

Експерименти проводилися у спеціально обладнаній лабораторії Кафедри підземної розробки Криворізького національного університету, що займаються дослідженням випуску відбитої руди в умовах, наближених до певних гірничих. Лабораторні випробування дали можливість отримати дані, які дозволяють оцінити переваги різних технологічних рішень і виявити залежності між кутом примикання заходок, кутом занурення ковша та продуктивністю НДМ.

Нижче представлено загальний вигляд лабораторної моделі (рис. 2.3.1), що імітує процес випуску відбитої руди із застосуванням сучасних самохідних НДМ моделі Scooptram ST14, виробництва компанії Epiroc. Ця модель дозволила відтворити умови роботи техніки наближені до реальних та оцінити ефективність запропонованих інженерних рішень.



Рис. 2.3.1 – Загальний вигляд лабораторної моделі, під час випуску і навантаження відбитої рудної маси самохідною НДМ Scooptram ST14

В межах експерименту, у лабораторії випуску навантажувальні заходки були збудовані таким чином, аби відповідати розміру прийнятої моделі самохідної НДМ Scooptram ST14, в прийнятому для дослідів масштабуванні.

Наведений нижче рис. 2.3.2 відображає наповнення ковша, що відбувається на перших стадіях навантаження руди. Кут наповнення ковша відповідає першим трьом проведеним серіям експерименту, згідно навантажувальних заходок, пройдених відповідно до очисного забою під кутами 40° , 55° та 70° .

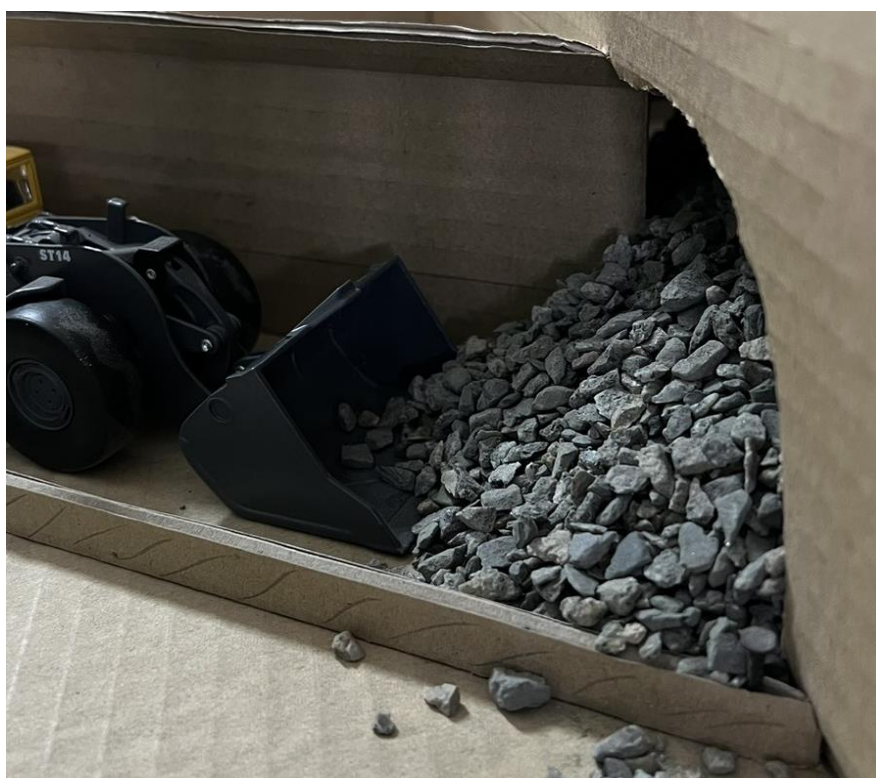


Рис. 2.3.2 – Загальний вигляд початкової стадії наповнення ковша НДМ під кутом до обсягу відбитої руди, що характерний для перших трьох серій експерименту

На рис. 2.3.2 зображено завантаження ковша, під час його занурення за приведеними кутами у обсяг відбитої руди. В такому випадку, частина ковша що не наближена до навалу руди залишається пустою, що повній мірі відображає наявну проблему нерівномірного розподілу навантажень на ковш.

Під час дослідження, приймаємо обсяг руди при повному заповненні ковша у процентному відношенні за 100%. При розгляданні варіанту зображеного на рис. 2.3.2, на початковому етапі наповнення ковша складає всього 25-30%.

Наступна, вже завершальна стадія, зображена на рис. 2.3.3, занурення ковша відбувається також при заходках пройдених під наведеними градусами, що використовувалися у трьох перших серіях експериментів.

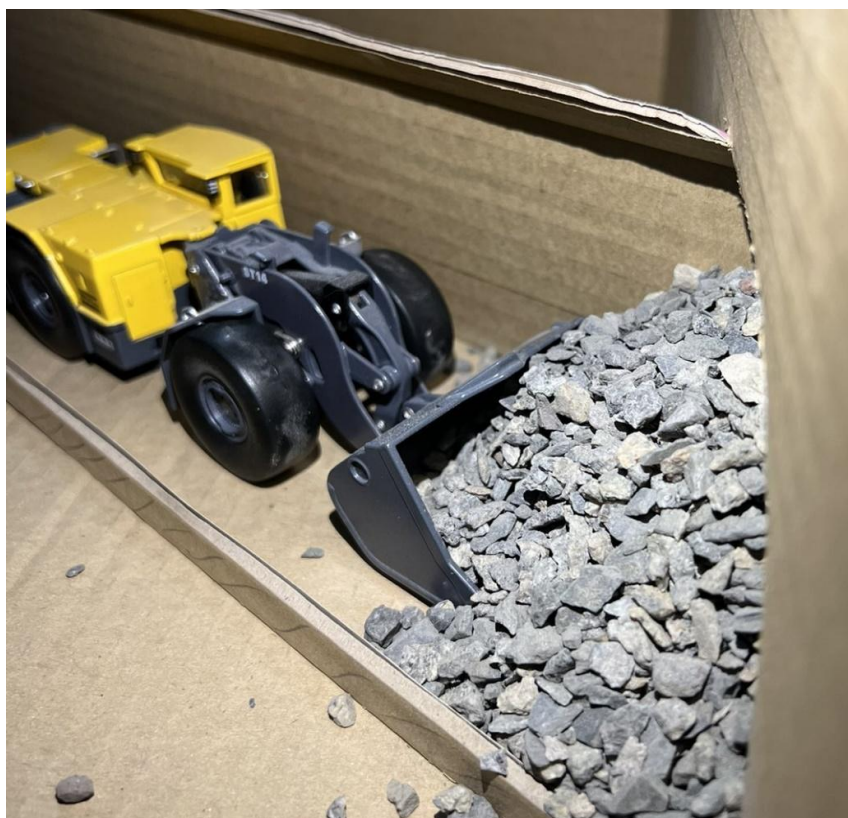


Рис. 2.3.3 – Загальний вигляд завершальної стадії наповнення ковша НДМ під кутом до навалу відбитої руди, що характерний для перших трьох серій експерименту

Рис. 2.3.3 повною мірою відображає, що при використанні традиційної навантажувальної заходки, що пройдена до навалу відбитої руди під кутом у 40° - 70° , максимально отримуємо об'єм наповнення ковша рудою в межах 75-90%.

Дослідження показує, що збільшення кута занурення ковша НДМ у навал відбитої руди, прямо пропорційно впливає на ефективність його заповнення, що

свідчить про пряму залежність об'єму наповнення ковша від величини кута нахилу під час виконання навантажувальних операцій.

На основі виявлених під час дослідження недоліків було представлено оптимізовану конструкцію днища блоку, яка передбачає використання випускних траншей при фронтальному навантаженні руди. Тобто, конструкція обумовлює занурення ковша навантажувально-доставочної машини (НДМ) під прямим кутом у 90° до навалу відбитої руди, що забезпечує підвищення ефективності процесу.

Переходимо до останньої четвертої серії експериментів, що представляє собою рекомендовану форму очисного забою, при перпендикулярному завантаженні ковша відповідно до обсягу відбитої руди.

Завдяки представленій технології, днище блоку формується за рахунок прокладання навантажувальної заходки, орієнтованих під кутом до основної осі доставочної виробки. Такий підхід дозволяє оптимізувати розташування заходок для ефективного переміщення матеріалу.

Ключовою особливістю є використання форми навантажувального забою, що забезпечує з'єднання навантажувальної заходки і укусу об'єму відбитої руди, таким чином, що утворюється площина, перпендикулярна до осі заходки.

Ключовою перевагою рекомендованої технології, порівняно з традиційною, є досягнення максимального наповнення ковша самохідної (НДМ) та суттєве зменшення часу, необхідного для виконання завантажувальних операцій. Такий результат забезпечується застосуванням фронтального способу завантаження руди, коли ковш НДМ входить у навал руди під прямим кутом 90° . Це не лише сприяє ефективнішому використанню робочого об'єму ковша, але й мінімізує втрати матеріалу та знижує енергетичні витрати під час виконання технологічного процесу.

Початковий етап фронтального навантаження ковша відбитою рудою представлено на рис. 2.3.4. Цей процес здійснюється самохідною

навантажувально-доставочною машиною Scooptram ST14 в рамках відтворення рекомендованої конфігурації навантажувального забою.



Рис. 2.3.4 – Загальний вигляд початкової стадії випуску і навантаження відбитої руди ковшем самохідної НДМ із фронтальним навантаженням при рекомендованій конфігурації навантажувального забою

На рис. 2.3.4 зображено завантаження ковша самохідної навантажувально-доставочної машини, що розташований під прямим кутом до обсягу відбитої руди в межах очисного забою.

Таким чином, фронтальне занурення ковша НДМ у обсяг рудної маси забезпечує пропорційне заповнення робочого об'єму ковша. Ключовим аспектом є те, що в цьому положенні не виникають деформаційні навантаження на конструкцію машини, які раніше спостерігалися при зануренні ковша під час проведення перших трьох досліджень. Відсутність таких навантажень вказує на значне зменшення механічного впливу на елементи машини, що, в свою чергу, підвищує її надійність. Це також свідчить про покращену стабільність роботи машини, що експлуатується за новою схемою, і знижує ризики пошкоджень конструкції, що можуть виникати в результаті непередбачуваних деформацій.

Тому нова схема навантаження забезпечує більш ефективну та безпечну експлуатацію техніки в умовах підземного видобутку.

Далі відображено завершальний етап дослідження з підвищення ефективності процесу випуску та завантаження руди (рис. 2.3.5) із застосуванням фронтального способу навантаження та самохідних НДМ.



Рис. 2.3.5 – Загальний вигляд завершальної стадії випуску і навантаження відбитої руди ковшем самохідної НДМ із фронтальним навантаженням при рекомендованій конфігурації навантажувального забою

Наведений вище завершальний етап дослідження (рис. 2.3.5), з використанням фронтального навантаження, дозволяє стверджувати що обсяг завантаження ковша складає вже приблизно 95-100%, тобто наблизений до максимального рівня в порівнянні з попередніми трьома серіями експериментів.

Для забезпечення високої достовірності та точності отриманих результатів кожна серія експериментальних досліджень, що стосувалась визначення рівня заповнення ковша відбитою рудою, включала в себе п'ять окремих тестів. Кожен із цих тестів проводився за однаковою методикою для

усунення можливих похибок і виключення повтору результатів. Середнє значення рівня заповнення ковша для кожної з серій було підраховане та занесене в таблицю 1, що дозволило здійснити подальший аналіз і порівняння отриманих даних. Такий підхід гарантує надійність результатів та можливість їх застосування для подальшого вдосконалення технологічного процесу навантаження відбитої руди.

Експериментальне дослідження I–III серій охоплюють класичні методи навантаження, які реалізуються при кутах нахилу від 40° до 70° відповідно до забою. На цих етапах дослідження навантаження руди ковшем самохідної НДМ проводилось відповідно до заданих кутів до обсягу відбитої руди. Ці методи являються стандартними в практиці підземного видобутку.

Експериментальне дослідження IV серії фокусується на використанні нової форми навантажувального забою, де процес навантаження відбитої руди у самохідні НДМ здійснюється фронтально, що дозволяє забезпечити більш ефективно завантаження з мінімальними втратами руди і оптимальним використанням робочого об'єму ковша.

В табл. 2.3.1 представлено результати виконаних лабораторних досліджень з визначенням середньої величини максимального заповнення об'єму ковша відбитою рудою згідно з приведеною вище методикою експериментальних серій

Проведені дослідження відображають взаємозв'язок між ступенем наповнення ковша навантажувально-доставочної машини рудною масою та кутом його занурення у обсяг відбитої руди.

На основі виконаних експериментів отримуємо формулу, що відображає характер впливу геометричних параметрів процесу на продуктивність завантажувальних операцій, враховуючи специфіку роботи НДМ у підземних умовах:

$$Q_k = 27,694 \ln(\alpha_3) - 25,705 \quad (2.3.1)$$

де Q_k – максимальна величина заповнення ковша рудою, %;

α_3 – кут, відповідно до якого ковш НДМ занурюється в обсяг відбитої руди, град.

Таблиця 2.3.1 – Результати досліджень з визначенням середньої величини максимального заповнення об'єму ковша відбитою рудою згідно експериментальних серій

Серія експерименту	№ експерименту	Величина наповнення ковша, Q_k , %	Середня величина наповнення ковша, Q_c , %
I	1	77,9	77,1
	2	74,4	
	3	81,1	
	4	72,1	
	5	70,2	
II	1	85,6	84,6
	2	85,1	
	3	82,9	
	4	80,9	
	5	88,4	
III	1	88,7	91,2
	2	88,6	
	3	93,5	
	4	91,0	
	5	94,1	
IV	1	99,9	99,7
	2	104,3	
	3	98,3	
	4	96,2	
	5	99,7	

Рівень заповнення ковша самохідної навантажувально-доставочної машини рудною масою демонструє високий ступінь залежності від кута сполучення навантажувальних заходок із очисним забоєм. Ця залежність підкреслює важливість оптимізації геометрії заходок для забезпечення

ефективного завантаження ковша, що безпосередньо впливає на продуктивність роботи НДМ у підземних гірничих умовах.

На рис. 2.3.6 наведено графік, що відображає взаємозв'язок між ступенем заповнення ковша самохідної навантажувально-доставочної машини рудною масою та кутом його занурення у обсяг відбитої руди.

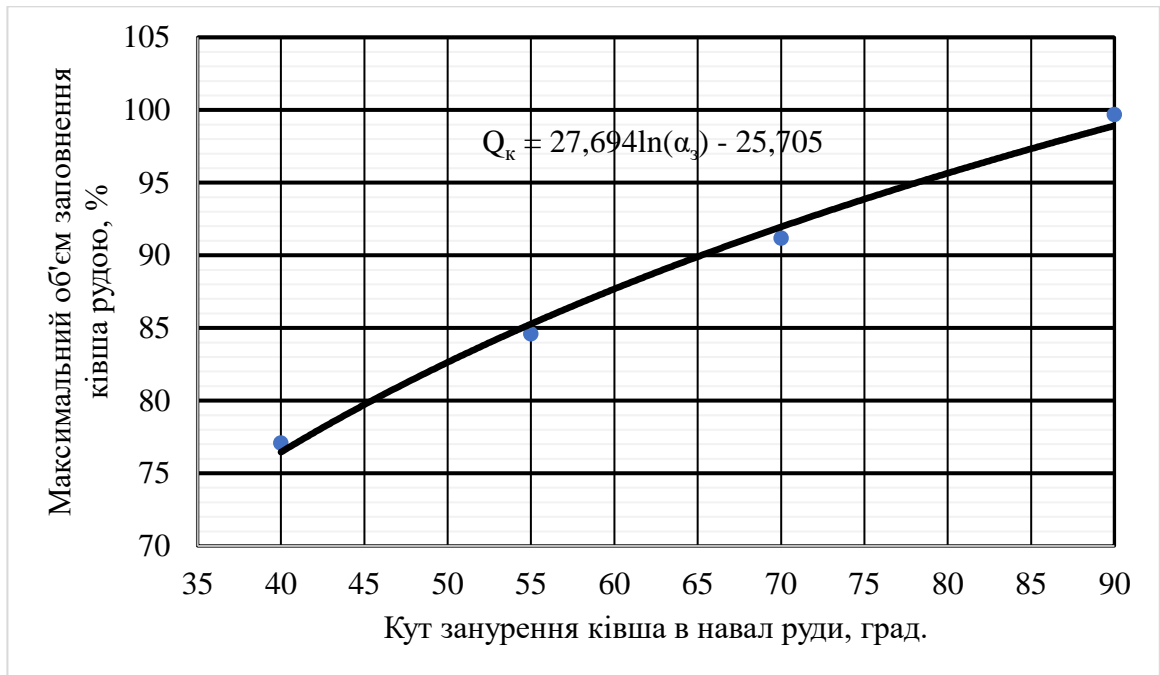


Рис. 2.3.6 – Графік залежності об'єму заповнення ковша навантажувально-доставочної машини рудною масою від кута занурення ковша в укос відбитої руди

На основі проведених досліджень було розроблено рекомендації щодо використання вдосконаленої конструкції навантажувальної заходки. Це рішення спрямоване на підвищення продуктивності процесу випуску, навантаження і доставки відбитої руди із очисного блоку, зменшення втрат корисних копалин в надрах та покращення безпеки гірничих робіт.

2.4. Висновки

Розділ було присвячено дослідженню процесів випуску відбитої руди з очисних блоків із застосуванням самохідних навантажувально-доставочних машин (НДМ).

Встановлено, що одним із ключових чинників, який впливає на ефективність роботи НДМ, є кут занурення ковша в рудний навал.

Проведені експериментальні дослідження підтвердили, що збільшення кута занурення до оптимального значення сприяє підвищенню рівня заповнення ковша рудою, що, у свою чергу, позитивно впливає на загальну продуктивність обладнання.

Експериментально встановлено, що максимальна ефективність завантаження ковша досягається при його перпендикулярному зануренні до навалу (кут 90°). Такий підхід сприяє максимальному заповненню ковша НДМ відбитою рудою під час навантаження, усуває нерівномірний розподіл навантаження на конструкцію машини та сприяє оптимальному використанню її робочого об'єму.

Крім того, було виявлено, що класичні підходи до проектування навантажувальних заходок створюють низку труднощів, зокрема нерівномірне навантаження на конструкцію НДМ, що призводить до додаткового зношування техніки.

Для усунення цих недоліків було запропоновано модернізовану конструкцію днища блока з фронтальним розташуванням навантажувального забою, що дозволяє створити сприятливі умови для ефективного випуску та транспортування рудної маси.

Доведено, що запропонована конструкція навантажувальної заходки дозволяє забезпечити повне завантаження ковша відбитою рудою за один цикл, знижуючи втрати рудної маси та забезпечуючи стабільність роботи НДМ.

Таким чином, результати другого розділу демонструють важливість впровадження високоефективних технологічних рішень, які враховують особливості геометрії очисних блоків і забезпечують максимальну ефективність роботи навантажувально-доставочної техніки в складних умовах підземного видобутку.

РОЗДІЛ III

РОЗРОБКА ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИПУСКУ РУДИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СУЧАСНИХ НДМ

3.1. Загальні відомості

Наразі, використання самохідної навантажувально-доставочної техніки при транспортуванні відбитої руди в умовах шахт Кривбасу, відбувається лише в межах декількох очисних блоків. Через це виникає можливість використання самохідних НДМ, що були залучені на прохідницьких роботах. Такий підхід дозволяє максимально ефективно використати доступні ресурси та оптимізувати процес транспортування відбитої руди.

Для виконання поставленого завдання продуктивним варіантом є використання НДМ класу Scooptram ST1030 від компанії Epiroc – це потужна машина, призначена для транспортування руди по гірничим виробкам. Завдяки своїй компактній конструкції та високій маневреності, ST1030 ідеально підходить для роботи в обмежених просторах, завдяки чому вона набула широкого застосування як закордоном, так і в гірничо-видобувних регіонах України. Машина оснащена потужним двигуном та надійною гідравлічною системою, що дозволяє ефективно переміщати великі обсяги руди на коротких та середніх відстанях. Вона має низький рівень викидів та високу продуктивність, що робить її екологічно чистим і економічно вигідним рішенням для сучасних шахт. Завдяки високій стійкості та надійності, Scooptram ST1030 гарантує безпеку та ефективність при важких умовах експлуатації.

Крім того, існує ціла лінійка НДМ класу Scooptram компанії Epiroc, що спроектовані з урахуванням вимог безпеки, ергономічності та автоматизації. Лінійка пропонує як акумуляторні навантажувачі, так і навантажувачі, що працюють від мережі, залежно від робочих умов. Характеристика таких машин представлена в табл. 3.1.1.

Таблиця 3.1.1 – Технічна характеристика навантажувально-доставочних машин компанії Epiroc

Найменування моделі	Вантажо-підйомність, т	Місткість ковша, м ³	Висота розвантаження, м	Потужність привода, кВт	Радіус повороту, м	Довжина, м	Ширина, м	Висота, м	Маса, т
Scooptram ST2D	3,6	2	2,544	63	4,791	6,88	1,515	2,086	11,54
Scooptram *EST2D	3,6	2	2,544	56	4,797	6,88	1,515	2,086	11,382
Scooptram ST3,5	6	2,7	3,878	74,5	5,328	8,739	2,263	2,126	18,050
Scooptram *EST3,5	6	2,7	3,996	74,6	5,480	8,849	1,905	2,118	17,900
Scooptram ST1030	10	5,6	4,925	186	6,135	9,699	3,371	2,352	27,200
Scooptram *EST1030	10	5,0	4,923	132	6,586	10,509	3,494	2,352	27,450
Scooptram ST14	14	7,8	5,230	250	6,581	10,853	3,922	2,605	39,100
Scooptram ST18	18	9,7	6,240	336	7,109	11,227	4,185	2,854	51,500

* «E» - маркування для навантажувально-доставочних машин з електричним приводом.

Процес розвантаження відбитої руди може відбуватися в рудоспуски, або у вагонетки електровозів, в залежності від умов шахти та організації роботи. Використання різних варіантів розвантаження дозволяє зберегти гнучкість у виборі найбільш оптимальних рішень для ефективного транспортування руди на всіх етапах ведення робіт.

Такий підхід дозволяє суттєво підвищити продуктивність роботи НДМ, мінімізувати втрати руди, а також збільшити термін служби техніки за рахунок зниження механічних навантажень на її основні елементи.

3.2. Удосконалення днищ блоків при застосуванні самохідних НДМ

Виконані нами дослідження та отримані результати дозволили нам оптимізувати конструкцію та форму навантажувальних заходок при використанні сучасних НДМ та удосконалити процес випуску і навантаження відбитої руди в очисних блоках.

Рекомендована технологія передбачає формування навантажувальної заходки в зоні випуску та завантаження рудної маси завдяки чому, навіть при її розташуванні під кутом до поздовжньої осі днища, укіс відбитої руди формується перпендикулярно відповідно до осі заходки. Таке конструктивне рішення дозволяє оптимізувати геометрію очисного простору, покращуючи умови для занурення ковша НДМ у навал.

Вищенаведені технології спрямовані на оптимізацію процесу формування днища у очисному блоці, шляхом створення навантажувальних заходок, за регламентовано визначеними параметрами. Заходки проходять під певним кутом відповідно від осі доставочної виробки та формують навантажувальний забій запропонованої форми. За рахунок такої конструкції, створюється укос, який перпендикулярний до осі цієї заходки.

Впровадження даної технології дозволить зменшити обсяг робіт по проходці підготовчих виробок, що сприяє скороченню часу на їх виконання. Крім того, це забезпечує оптимальні умови для маневрування навантажувально-

доставочною технікою під час завантаження та транспортування рудної маси. Завдяки раціональному розташуванню заходок досягається максимальне заповнення ковша навантажувальної машини, що зменшує тривалість циклу завантаження і підвищує загальну продуктивність робіт.

У випадку, коли відпрацьовується крутоспадний поклад із потужністю, що не перевищує 25–30 м, очисну камеру доцільно розташовувати уздовж напрямку простягання рудного тіла. Така конфігурація використовується у поєднанні з випускною траншеєю та технологією фронтального завантаження руди, що виконується самохідними навантажувально-доставочними машинами (НДМ) (рис. 3.2.1).

Для таких камер підсічка виконується траншейним методом. Траншея простягається на ширину очисної камери за простягання покладу. Її висота визначається залежно від кутів укосу бортів та потужності самого покладу. Важливим є забезпечення такого кута нахилу бортів траншеї, який сприяє природному скочуванню кусків відбитої руди з бічних поверхонь до центру траншеї.

Таким чином, запропоновані технологічні рішення дозволяють не лише підвищити продуктивність видобутку, а й мінімізувати втрати корисних копалин, забезпечуючи ефективне використання техніки в складних гірничо-геологічних умовах.

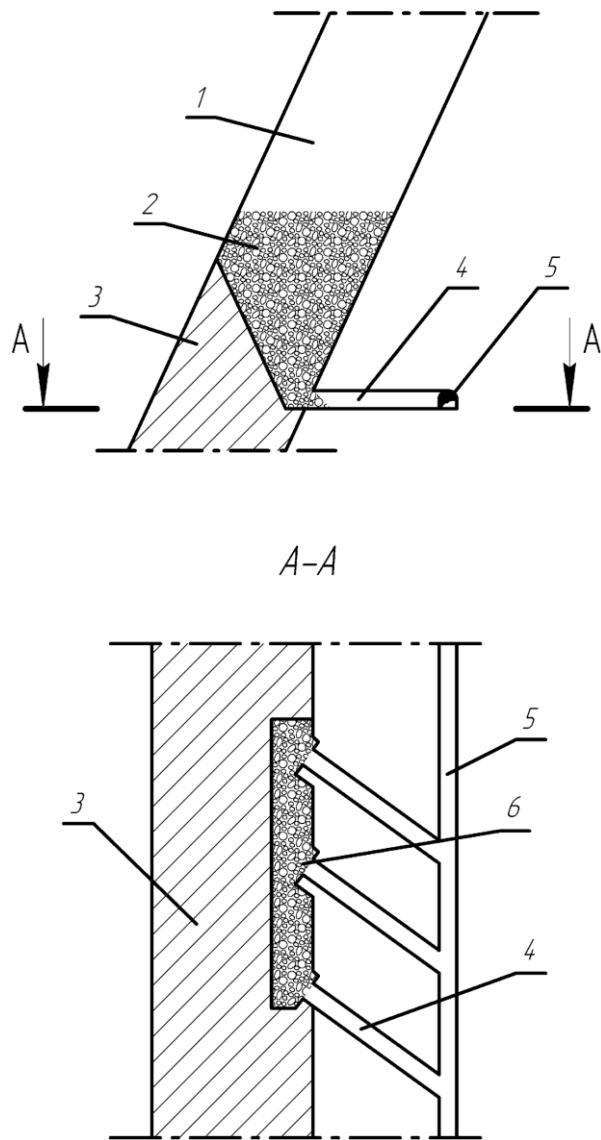


Рис. 3.2.1 – Варіант конструкції днища блока з використанням випускної траншеї та фронтальним навантаженням руди самохідними НДМ для покладів із потужністю, що не перевищують 25–30 м: 1 – очисна камера; 2 – траншейна підсічка; 3 – рудний поклад; 4 – навантажувальна заходка; 5 – доставочний штрек; 6 – фронтальний навантажувальний забій

У зоні лежачого боку блоку прокладають блоковий доставочний штрек, від якого під певним кутом до поздовжньої осі очисного блоку здійснюється проходка навантажувальних заходок. Їхнє розташування забезпечує оптимальний зв'язок з очисним простором, сприяючи ефективному вилученню руди.

Формування фронтального навантажувального забою передбачає створення умов, при яких занурення ковша, в обсяг відбитої руди, відбувається перпендикулярно, що сприяє максимальному заповненню ковша та підвищенню продуктивності техніки.

Розташування вантажної заходки виконується під визначеним кутом відповідно осі очисного блоку. Кут примикання обирається з урахуванням технічної особливості машини, наприклад, таких як радіус маневрування, вантажопідйомність і габарити машини.

Завдяки примиканню торцевої частини заходки до випускної зони блоку, створюється навантажувальна ніша. Вона має форму призми прямокутного перетину, основа якої орієнтована фронтально, перпендикулярно до осі заходки. Її ширина дорівнює подвійному розміру ширини навантажувальної заходки, що дозволяє збільшити об'єм навантажуваної руди.

У цьому випадку об'єм навантажувальної ніші $V_{нн}$ розраховується за допомогою формули:

$$V_{н.н} = \left(2,0A \cdot \frac{tg(90^\circ - \alpha)}{2} \right) \cdot H \cdot L, \text{ м}^3 \quad (3.2.1)$$

де A – ширина навантажувальної заходки, м;

α – кут прилягання навантажувальної заходки, град.;

H – висота навантажувальної заходки, м;

L – довжина навантажувальної заходки, м.

Під час розробки крутоспадних покладів із потужністю, що перевищує 25-30 м, передбачено використання випускних траншей та фронтальне завантаження руди самохідними НДМ, очисну камеру розташовують перпендикулярно до напрямку простягання рудного тіла (рис. 3.2.2). Така конфігурація сприяє більш ефективному вилученню руди з масиву та оптимізації транспортування.

Блокові доставочні орти розташовуються вздовж меж блоку, створюючи основні транспортні шляхи. Від них під певним кутом відносно до площини очисного простора здійснюється проходка навантажувальних заходок.

Ця організація навантажувально-доставочної системи дозволяє забезпечити оптимальний рух руди до випускних отворів і створює умови для стабільної роботи техніки.

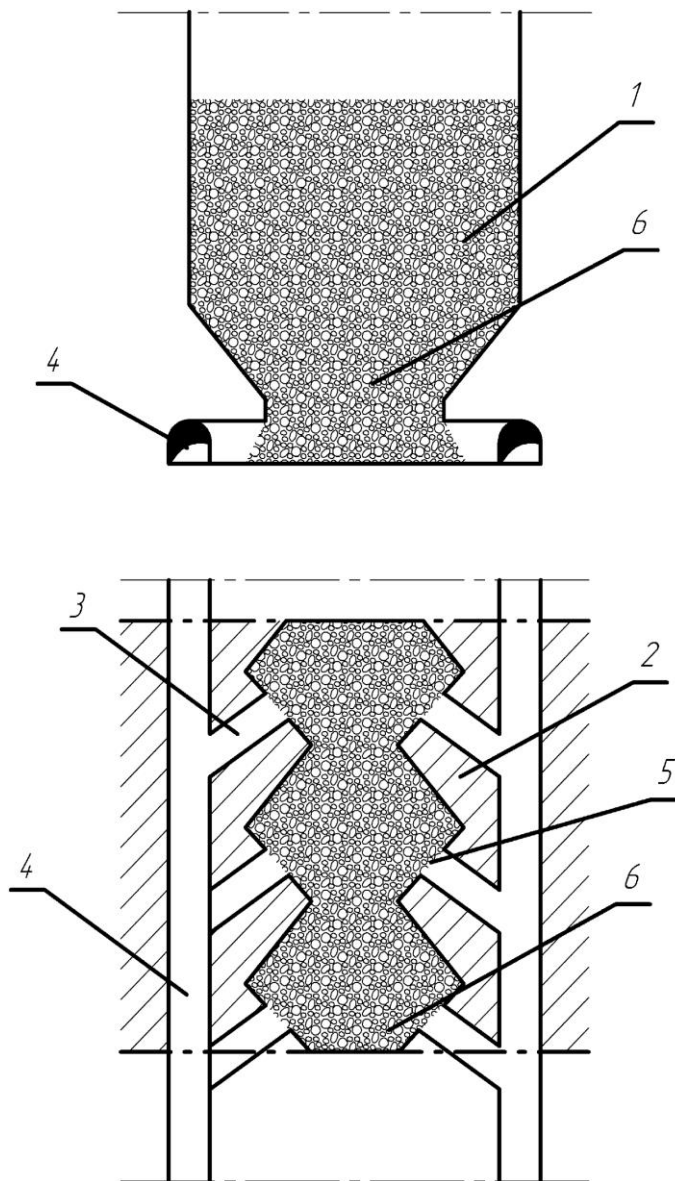


Рис. 3.2.2 – Варіант конструкції днища блока з використанням випускної траншеї та фронтальним навантаженням руди самохідними НДМ для покладів із потужністю, що перевищують 25–30 м: 1 – очисна камера; 2 – рудний поклад; 3 – навантажувальна заходка; 4 – доставочний орт; 5 – фронтальний навантажувальний забій; 6 – траншейна підсічка

Підсічка блоку здійснюється методом формування траншеї, яка розташовується на горизонті доставки і орієнтована перпендикулярно за

напрямок простягання покладу. Важливим моментом є те, що ширина цієї траншеї повинна бути достатньою для забезпечення рівномірного завантаження відбитої руди з двох протилежних навантажувальних заходок.

Практика показує, що головною проблемою класичних схем навантаження є те, що при навантаженні через заходки, які проходять під кутом відповідно до навантажувального забою, занурення ковша самохідної НДМ відбувається також під відповідним кутом в рудний навал. Це прямо пропорційно впливає на зниження коефіцієнта заповнення ковша, через нерівномірний розподіл навантаження, що в свою чергу прискорює зношування елементів машини.

Для усунення цього недоліку була представлена нова технологія, яка передбачає формування навантажувального забою таким чином, щоб ковш машини міг занурюватися перпендикулярно відносно до рудного навалу. Це дозволяє не лише збільшити коефіцієнт заповнення ковша, а й значно зменшити зношування його конструкції, забезпечуючи стабільну роботу техніки.

Як зазначалося раніше, в деяких випадках в торцевій частини заходки, що примикає до випускної зони блоку, створюється невелика навантажувальна ніша, що за формою схожа з прямокутною призмою. Її основа розташовується фронтально до осі навантажувальної заходки, а ширина цієї основи дорівнює 1,5 ширині заходки. Цей підхід значно покращує якість процесу навантаження руди, як це продемонстровано на рисунку 3.2.2.

В цьому випадку об'єм навантажувальної ніші визначається за допомогою формули:

$$V_{\text{н.н}} = \left(1,5A \cdot \frac{\text{tg}(90^\circ - \alpha)}{2} \right) \cdot H \cdot L, \text{ м}^3 \quad (3.2.2)$$

де A – ширина навантажувальної заходки, м;

α – кут прилягання навантажувальної заходки, град.;

H – висота навантажувальної заходки, м;

L – довжина навантажувальної заходки, м.

Після того, як навантажувальна ніша сформована і процес відбійки масиву з очисного блоку завершено, руда заповнює цю нішу, що дозволяє ефективно завантажити ковш самохідної навантажувально-доставочної машини. Це забезпечує підвищення ефективності завантаження та дозволяє зменшити втрати корисних копалин.

Завдяки вищенаведеному, можна виділити такі головні переваги рекомендованої технології:

- наведені технології зменшують обсяг робіт при проходці підготовчих виробок, що сприяє зниженню витрат;

- збільшення коефіцієнту наповнення ковша навантажувально-доставочної техніки, що дозволяє зменшити кількість циклів завантаження та підвищити загальну продуктивність роботи. Завдяки цьому, машини працюють з більшою ефективністю, виконуючи більший обсяг роботи за одиницю часу;

- отримання найбільшої ефективності маневрування технікою, що забезпечує скорочення циклу з навантаження і транспортування. Це дозволяє самохідним НДМ працювати швидше і виконувати меншу кількість операцій, що також підвищує ефективність і зменшує витрати пального;

- значне зменшення часу, який витрачається на відпрацювання блоку, що призводить до зменшення негативного впливу гірського тиску.

- усувається нерівномірне навантаження на обладнання, що зазвичай виникає при зануренні ковша під кутом до рудного навалу. Це знижує ймовірність виникнення деформацій і зношування конструкції навантажувально-доставочних машин, що значно продовжує термін експлуатації техніки;

- завдяки використанню таких технологій підвищується перспектива для ефективного впровадження самохідних НДМ з великою вантажопідйомністю, що є критично важливим для забезпечення стабільної та продуктивної роботи в умовах великих шахт.

3.3. Застосування самохідних НДМ при ресурсозберігаючих технологіях з утилізацією відходів гірничодобувного виробництва у виробленому просторі шахт

В межах магістерської роботи було проведено комплексне дослідження процесів випуску та транспортування відбитої руди з очисних блоків за допомогою самохідної навантажувально-доставочної техніки, а також подальшої утилізації пустих порід у вироблених просторах шахт. Ці процеси здійснювалися із застосуванням самохідних навантажувально-доставочних машин (НДМ) у поєднанні з використанням спеціалізованих навантажувальних траншей.

У роботі також запропоновані ресурсозберігаючі технології, що сприяють оптимізації підземного видобутку багатих руд. Тобто, одночасно з видобутком забезпечується й утилізація пустих порід, що залишилися після прохідницьких робіт, шляхом їхнього закладення у вироблений простор діючої шахти із застосуванням самохідних НДМ.

Дослідження також охопили питання впливу впроваджених технологій підземної розробки та утилізації відходів гірничо-металургійного виробництва на структурну стабільність гірського масиву і збереження цілісності денної поверхні.

Для закладки камер доцільно задіяти пусті породи, які залишаються після прохідницьких робіт, так і з утворених на поверхні відвалів породи. Породи, що розташовуються на денній поверхні транспортують до горизонту закладки через спеціальний закладочний підняттявий. На цьому горизонті вони завантажуються у ковші самохідних навантажувально-доставочних машин за представленою у роботі технологією, і доставляються по закладними виробками безпосередньо до місця закладання.

Запропонована технологія дозволяє не тільки ефективно утилізувати пусті породи, але й сприяє зниженню екологічного навантаження на денну поверхню, завдяки зменшенню обсягів відвалів.

Нижче наведено технологічну схему, яка демонструє процес утилізації порід у виробленому просторі шахти (рис. 3.3.1). Це рішення оптимізує процес переміщення порід, покращує продуктивність гірничих робіт та забезпечує раціональне використання простору підземних камер.

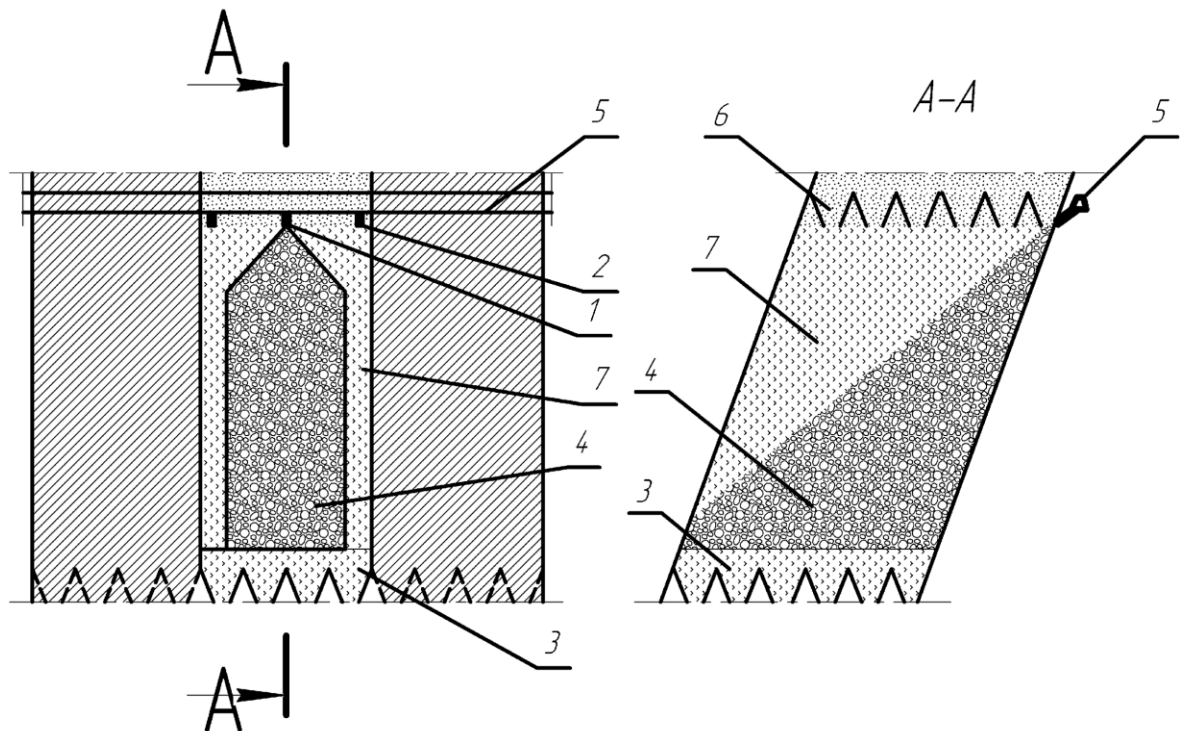


Рис. 3.3.1 – Технологічна схема комбінованої «каркасно-модульної» закладки камер з утилізацією порід у підземній шахті: 1 – закладний підняттявий; 2 – закладні свердловини; 3 – твердіюча закладка днища блоку; 4 – «модуль» закладки з порід; 5 – закладна виробка; 6 – твердіюча закладка вище розташованого горизонту; 7 – твердіюча закладка

Однією з ключових переваг застосування представленої технології закладки камер є суттєве зниження собівартості проведення закладних робіт. Це досягається завдяки оптимізації складування матеріалів, що передбачає формування всередині монолітного каркаса твердіючої закладки спеціального «модуля», заповненого пустими породами. Такий підхід дозволяє певною мірою замінити дорогі компоненти більш доступними та економічно вигідними відпрацьованими породами, що не тільки зменшує витрати, але й забезпечує

ефективне використання наявних ресурсів під час закладання виробленого простору шахт.

3.4. Висновки

Третій розділ роботи був присвячений розробці ефективних новітніх технологій випуску та транспортування рудної маси із застосуванням сучасних НДМ. Виявлено, що використання фронтального завантаження ковша під прямим кутом до навалу забезпечує максимально ефективно завантаження руди, мінімізує асиметричне навантаження на техніку та суттєво підвищує продуктивність роботи.

Запропоновані технологічні рішення включають удосконалені випускні траншеї та навантажувальні заходки, спроектовані для раціонального використання ресурсу техніки. Завдяки оптимізації геометрії траншей забезпечується значне скорочення часу на навантажувальні операції, підвищення ефективності транспортування та зниження загальних втрат корисної копалини.

Окремо варто зазначити, що розробка нових конструкцій дозволяє зменшити навантаження на механічні елементи машин, що сприяє збільшенню терміну служби обладнання та зниженню витрат на ремонт і технічне обслуговування.

Також, запропоновано рішення, що базуються на впровадженні ефективних технологій закладки виробленого простору, які не тільки стабілізують геодинамічні процеси в гірському масиві, але й дозволяють раціонально утилізувати пусті породи та інші відходи, що утворюються під час видобутку. Такі технології закладки забезпечують рівномірний розподіл навантажень, сприяючи зменшенню ризиків утворення порожнин і обвалів.

Крім того, застосування цих технологій дає змогу суттєво зменшити обсяг відкритих породних відвалів на поверхні, що дозволяє одночасно знижувати витрати на рекультивацію земель, а також покращувати екологічну ситуацію в регіоні.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Представлена магістерська робота представляє собою завершене наукове дослідження, яке має на меті вирішення важливого науково-практичного питання з вдосконалення технології видобутку залізних руд із застосуванням самохідної гірничої техніки.

У результаті виконаної роботи були вирішені ключові наукові та практичні завдання, пов'язані з підвищенням ефективності технологій підземного видобутку корисних копалин у складних гірничо-геологічних умовах. Проведені дослідження охоплюють аналіз сучасних технологій випуску руди, розробку нових технічних рішень для оптимізації роботи самохідних навантажувально-доставочних машин (НДМ) і впровадження ефективних методів утилізації гірничо-металургійних відходів у виробленому просторі шахт.

Виявлено, що одним із найбільш актуальних завдань сучасної гірничої промисловості є зниження втрат корисних копалин під час підземного видобутку, особливо в умовах недостатньо крутих кутів падіння рудних покладів. Потреба в удосконаленні технологій видобутку обумовлена високими вимогами до якості залізорудної сировини на глобальному ринку, а також значними втратами руди, які досягають 20% на деяких шахтах Криворізького басейну.

Досліджено, розроблено та протестовано нові конструктивні рішення для покращення процесів випуску і транспортування відбитої руди. Експериментально встановлено, що продуктивність НДМ залежить від кута занурення ковша в навал відбитої руди. Оптимальним визнано перпендикулярне занурення ковша, що забезпечує максимальне його наповнення, рівномірний розподіл навантаження на машину та зниження кількості робочих циклів. Запропоновані технології включають фронтальне розташування навантажувальних заходок, що дозволяє знизити втрати рудної маси, прискорити процеси транспортування та підвищити довговічність техніки.

Проведено дослідження впливу технологій підземного видобутку на стійкість гірського масиву та денну поверхню. Розроблено ефективні методи стабілізації геодинамічних процесів, які включають утилізацію відходів гірничо-металургійного виробництва в шахтному просторі. Запропоновані комбіновані рішення дозволяють не тільки зменшити негативний вплив гірського тиску, але й сприяють раціональному використанню природних ресурсів, знижуючи обсяги породних відвалів на поверхні.

Результати роботи підтвердили, що впровадження сучасних технологій, які поєднують ефективне використання самохідних НДМ і оптимізовані геометричні параметри виробок, дозволяють знизити втрати корисних копалин, підвищити продуктивність і зменшити витрати на видобуток.

Виконаними дослідженнями встановлено, що збільшення коефіцієнту наповнення ковша навантажувально-доставочної машини дозволяє зменшити кількість циклів завантаження та підвищити загальну продуктивність роботи. Завдяки цьому, машини працюють з більшою ефективністю, виконуючи більший обсяг роботи за одиницю часу.

Доведено, що підвищена ефективність застосування самохідної техніки забезпечує скорочення циклу з навантаження і транспортування. Це дозволяє самохідним НДМ працювати швидше і виконувати меншу кількість операцій, що підвищує ефективність зменшує витрати пального.

Встановлено, що швидке високоефективне заповнення ковша відбитою рудою сприяє значному скороченню часу, який витрачається на відпрацювання блоку, що призводить до зменшення негативного впливу гірського тиску.

Доведено, що застосування фронтального навантажувального забою усуває нерівномірне навантаження на обладнання, що зазвичай виникає при зануренні ковша під кутом до рудного навалу. Це знижує ймовірність виникнення деформацій і зношування конструкції навантажувально-доставочних машин, що значно продовжує термін експлуатації техніки.

Робота охоплює широкий спектр питань, що мають як наукову, так і практичну значимість. Запропоновані технологічні рішення дозволяють досягти

оптимального поєднання ефективності видобутку, зниження витрат і забезпечення екологічної безпеки. Розроблені підходи є перспективними для застосування в умовах Криворізького басейну, а також інших регіонів з підземним способом видобутку корисних копалин, сприяючи підвищенню конкурентоспроможності вітчизняної гірничодобувної промисловості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дослідження та удосконалення технології відпрацювання покладів із застосуванням самохідної доставочної техніки / В.О. Калініченко, Н.Ю. Швагер, С.М. Чухарев, О.В. Калініченко, Т.С. Грищенко, М.А. Грищенко, ПАТ «ЄВРАЗ СУХА БАЛКА» // Вісник Криворізького національного університету, вип. 40, 2015.
2. Калініченко В.О., Колосов В.О., Ступнік М.І. Основи підземної розробки родовищ: навчальний посібник.-Кривий Ріг: Видавничий центр ДВНЗ «КНУ», 2015.-323 с.
3. Системы разработки для подземных рудников Криворожского бассейна (типовые паспорта)/ Черненко А.Р., Григорьев А.П., Дядечкин Н.И. и др. – Кривой Рог: Ротапринт НИГРИ, 1986. – 133 с.
4. Дослідження та удосконалення технології відпрацювання покладів із застосуванням самохідної доставочної техніки / Калініченко В. О., Швагер Н. Ю., Чухарев С. М. [та ін.] // Вісник КНУ. – 2015. – Вип. 40 – С. 3-7.
5. Уникальный метод заполнения ковша в действии / От экспертов подземных разработок. – Tampere, Finland: Sandvik Mining and Construction Finland Corp. – 12 с.
6. Борисенко С.Г. Технология подземной разработки рудных месторождений. – Київ: Вища школа, 1987.-262 с.
7. Kalinichenko V. A. Prospects for the use of load-haul-dump in the process of ore drawing and delivery of ore in difficult geomechanical conditions of ore deposits / V. A. Kalinichenko, A. V. Kosenko //«Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі»: Міжнародна науково-технічна Інтернет-конференція. – Кривий Ріг. – 2016. – С. 108.
8. Олейников И. А. Технология и механизация подземной добычи руд цветных металлов за рубежом/ Олейников И. А. – М. – 1969. – 288 с.
9. Д.К. Зенько Обоснование параметров технологии торцевого выпуска при регулировании granulometric composition of ore: Дис. канд. техн. Наук

25.00.22 / Д.К. Зенько // М., 2002.

10. А.П. Григорьев Исследование и выбор параметров системы подэтажного обрушения с торцевым выпуском руды парными слоями. – Автореферат диссертации, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук. / А.П. Григорьев // Кривой Рог, 1972. 26 с.

11. Жигалов М. Л. Процессы очистной выемки на подземных рудниках / Жигалов М. Л.. – Москва. – 1979. – 64 с.

12. Кальницкий Я. Б. Самоходное погрузочное и доставочное оборудование на подземных рудниках / Я. Б. Калицкий, А. Т. Филимонов // Москва: Недра. – 1974. – С. 3–5, 123–140.

13. Байконуров О. А. Комплексная механизация подземной разработки руд (2-е изд.)/ О. А. Байконуров, А. Т. Филимонов, С. Г. Капошин // М.: Недра. – 1981. – 264 с.

14. Жигалов М. Л. Процессы очистной выемки на подземных рудниках / Жигалов М. Л. – Москва. – 1979. – 64 с.

15. Мартинов В.К., Федько М.Б. Розрахунки основних виробничих операцій, процесів та систем розробки рудних родовищ: [навчальний посібник]. – Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2010. – 274 с.

16. Агошков М. И. Подземная разработка рудных месторождений/ М. И. Агошков, Г. М. Малахов. – Москва: «Недра», 1966. – 661 с.

17. Ан М. Ч. Механизация вспомогательных работ на подземных рудниках/ М. Ч. Ан, В. С. Ионов. – Алма-Ата: «Наука», 1981. – 96 с.

18. Красников Ю. Д. Повышение надежности горных выемочных машин/ Красников Ю. Д., Солод С. В., Хазанов Х. И. – Москва: «Недра», 1989. – 212 с.

19. Быков В. Новые технологии горных работ на предприятиях Австралии// Горный журнал/ Владимир Быков. – №4. 2001. – с. 79-84,

20. Малахов Г.М., Безух В.Р., Петренко П.Д. Теория и практика выпуска руды. – М.: Недра, 1968. – 311с.

21. Підвищення ефективності технологічного процесу випуску і доставки руди на базі використання самохідної навантажувально-доставочної техніки / М.

І. Ступнік, В. О. Калініченко, В. М. Тарасютін [та ін.] // Вісник КНУ. Зб.наук.праць. – Кривий Ріг: КНУ. – 2016. – Вип.41. – С. 141-146.

22. Шепель О.Л. Щодо питання визначення оптимальних умов випуску руди при системах підповерхового обвалення руди / О.Л. Шепель // «Розвиток промисловості та суспільства–2020»: міжн. наук.-техн. конф. (17–20 лист. 2020 р.). – Кривий Ріг: «КНУ», 2020. – С. 19.

23. Калініченко В.О., Ступнік М.І., Федько М. Б. Визначення параметрів підземної розробки рудних родовищ: [підручник]. – Кривий Ріг: Видавничий центр ДВНЗ «КНУ», 2017. – 278 с.

24. Ступнік М.І., Хівренко О.Я., Калініченко В.О., Калініченко О.В., Почтарьов О.В. Підвищення якості відбійки руди в умовах шахт ПрАТ «ЗЗРК» / Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. Кривий Ріг, 2021. Вип. 52. С. 3 – 10.

<http://ds.knu.edu.ua/jspui/handle/123456789/4105>.

25. Малахов Г.М., Федоренко П.И., Кузмич С.Н. Влияние размеров выпускных отверстий на истечение руды и показатели извлечения при системах с обрушением // Цветная металлургия. – 1967. - №22.

26. Калиниченко В.А., Калиниченко Е.В. Повышение эффективности извлечения руды при системах с обрушением // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог: Изд-во КТУ. - 2001. - Вып.74. – С. 65-68.

27. M.I. Stupnik, V.O. Kalinichenko, O.V. Kalinichenko, A. Pochtarev. Technological measures to enhance efficiency of mining ore from stopes applying self-propelled equipment / E3S Web Conf. Volume 280, 2021 Second International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF 2021). 30 June 2021. P. 1–8.

<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128008010>. (Scopus).

28. Stupnik M. Improvenemt of ore drawing technology and mined iron ore grade in underground mining / M. Stupnik, V. Kalinichenko, A. Pochtarev // Innovative development of resource-saving yechnologies and sustainable use of natural resources : proceeding of the 4rd International scientific and technical conference. – Petroșani,

Romania : UNIVERSITAS Publishing, 2021. – Edition 4. – P. 137–139.
<http://ds.knu.edu.ua/jspui/handle/123456789/4138>. (Scopus).

29. . Шепель О.Л. Технологія вибухового зміщення руди з лежачого боку покладу в активну зону випуску за допомогою вертикальних концентрованих зарядів / О.Л. Шепель // «Сталий розвиток промисловості та суспільства–2014»: міжн. наук.-техн. конф. (27–30 трав. 2014 р.). – Кривий Ріг: «КНУ», 2014. – С. 9.

30. Калініченко О.В. Методика та порядок виконання експериментальних досліджень на моделях з еквівалентних матеріалів / Вісник НУВГП. Технічні науки: зб. наук. праць. Рівне, 2018. Вип. 3(83). С.155-161.

31. Корж В.А. Технологія видобування без втрат руди в „мертвій” зоні лежачого боку. // Відомості Академії гірничих наук України. – Кривий Ріг: Мінерал. – 1999. - №1. – С.36-39.

32. Mykola Stupnik, Vsevolod Kalinichenko, Olena Kalinichenk and Alexey Pochtarev. Improvement of extracted iron ore grade in underground mining / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 970, III International Conference "Essays of Mining Science and Practice" 06/10/2021 - 08/10/2021 Dnipro. P. 1–8. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/970/1/012048>. (Scopus).

33. А.А. Азарян. Пути снижения потерь и засорения железной руды подземной добычи в Кривбассе / А.А. Азарян, А.С. Батареев 2, Ф.И. Караманиц 3, В.А. Колосов 4, В.С. Моркун // Nauka innov. 2018, Выпуск14(4). С. 18-26.

34. Азарян А.А. Инструкция по нормированию, прогнозированию и учету показателей извлечения руды из недр при подземной разработке железорудных месторождений / Азарян А.А., Колосов В.А., Моркун А.В., Попов С.О., Ступник Н.И. // Кривой Рог: Минерал, 2012. С. 167

35. Коробійчук В.В., Підвисоцький В.Т., Шамрай В.І., Качуровський М.В., Соколовський В.О. Вплив технології відпрацювання розвалу гірської породи на розміри та форму розвалу негабариту. Технічна інженерія. 2022. Вип. 2(90). С. 147-152.

36. Ступнік М.І., Калініченко В.О., Калініченко О.В., Грищенко М.А. Випуск руди з малорухомої зони на лежачому боці покладу похилим очисним

вибоєм. Гірничий вісник: Науково-технічний збірник. – Кривий Ріг. – 2018. – Вип. 104. – С. 3–8.

37. Мартынов В.К., Кудрявцев М.С. О среднем угле движения руды при выпуске// Разраб. рудн. местржд. – К.: Техніка, 1968. – Вып. 6. – С. 22-27.

38. Калініченко В.О., Колосов В.О., Ступнік М.І. Основи підземної розробки рудних родовищ. – Кривий Ріг: Видавничий центр ДВНЗ «КНУ», 2015. – 323 с.

39. Азарян А.А. Комплекс ресурсо- і енергозберігаючих геотехнологій видобутку та переробки мінеральної сировини, технічних засобів їх моніторингу із системою керування та оптимізації гірничорудних виробництв / Вілкул Ю.Г., Капленко Ю.П., Караманиць Ф.І., Колосов В.О., Моркун В.С., Пілов П.І., Сидоренко В.Д., Темченко А.Г., Федоренко П.Й. // Кривий Ріг, Мінерал, 2006. С. 261.