

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Гірничо-металургійний факультет
Кафедра гірничої справи

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

В'ячеслав КАМЕНЕЦЬ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Новітні технології розробки родовищ корисних копалин»
за спеціальністю 184 Гірництво

на тему: «Оптимізація гранулометричного складу підготовлених до виймання гірських порід з метою підвищення продуктивності збагачувального комплексу в умовах ПРАТ «Інгулецький ГЗК»»

Керівник роботи

Світлана САХНО

Консультант від бази практики

Олександр КИРИЧЕНКО

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач



Віталій СТРЕЛЬЦОВ

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Валерій СЛОБОДЯНЮК

Запоріжжя 2025

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	<u>гірничо-металургійний</u>
Кафедра	<u>гірничої справи</u>
Ступінь вищої освіти	<u>магістр</u>
Спеціальність	<u>184 Гірництво</u>
Освітня програма	<u>Новітні технології розробки родовищ корисних копалин</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

В'ячеслав Каменець

«30» грудня 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Стрельцова Віталія Олегівна

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи (проєкту) Оптимізація гранулометричного складу підготовлених до виймання гірських порід з метою підвищення продуктивності збагачувального комплексу в умовах ПРАТ «Інгулецький ГЗК»

керівник роботи (проєкту) Сахно Світлана Володимирівна, доцент, кандидат технічних наук

затверджена наказом по Університету від 14.10.2024 р.
№238/14.10.2024

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 10.02.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, нормативна документація: Пояснювальна записка до плану розвитку гірничих робіт кар'єру ПрАТ «ІНГЗК»; типові проєкти ведення буро-вибухових робіт в кар'єрі ПрАТ «ІНГЗК»; проєкти на виконанні бурових робіт та паспорти масових вибухів; ведення процесу збагачення магнетитових кварцитів в умовах фабрики безшарового подрібнення, тощо.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Теоретичні питання визначення та контролю якості подрібнення гірничої маси вибухом (1.1. Технологічні умови, що висуваються до якості подрібнення матеріалу вибухом на залізорудних кар'єрах Кривбасу. 1.2. Оцінка сучасних методів визначення гранулометричного складу підірваної гірничої маси, як головного критерію встановлення якості подрібнення матеріалу. 1.3. Вплив гранулометричного складу порід на техніко-економічні показники технологічних процесів гірничозбагачувальних комбінатів).

2. Організація буро-вибухових робіт в кар'єрі ПРАТ «ІНГЗК» з урахуванням особливостей геологічної будови родовища (2.1. Загальні відомості. 2.2. Особливості геологічної будови Індулецького родовища. 2.3. Організація буро-вибухових робіт в кар'єрі ПРАТ «ІНГЗК»).

3. Оптимізація гранулометричного складу підготовлених до виймання гірських порід з метою підвищення продуктивності збагачувального комплексу в умовах ПРАТ «Індулецький ГЗК» (3.1. Аналіз гранулометричного складу підготовлених до виймання гірських порід. 3.2. Оцінка впливу гранулометричного складу підготовлених до виймання гірських порід на ефективність роботи рудозбагачувальної фабрики №2. 3.3. Аналіз результативності показників економічної ефективності заходів з операційного покращення).

4. Охорона праці та екологічна безпека при проведенні буро-вибухових робіт в кар'єрі (4.1. Охорона праці при проведенні буро-вибухових робіт в кар'єрі; 4.2. Зниження впливу екологічного навантаження на довкілля при вибухових роботах з використанням експериментальної сітки свердловин).

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу: Розділ 1. Три рисунка, одна таблиця. Розділ 2. Один рисунок, одна таблиця. Розділ 3. Дев'ять рисунків, дві таблиці. Розділ 4. Результати розрахунків.

6. Консультанти по роботі (проєкту), із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Консультант (прізвище та ініціали, посада)
1	доц. Сахно С.В.
2	доц. Сахно С.В.
3	доц. Сахно С.В.
4	доц. Сахно С.В.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1	02.12.24 – 16.12.24
2	Розділ 2	17.12.24 – 27.12.24
3	Розділ 3	28.12.24 – 17.01.25
4	Розділ 4	18.01.25 – 24.01.25
4	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	25.01.25 – 02.02.25
5	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	03.02.25 – 11.02.25
6	Рецензування завершеної роботи. Захист	12.02.25– 18.02.25

Здобувач

Керівник роботи



(Віталій СТРЕЛЬЦОВ)

(Світлана САХНО)

РЕФЕРАТ

Стрельцов В.О. Оптимізація гранулометричного складу підготовлених до виймання гірських порід з метою підвищення продуктивності збагачувального комплексу в умовах ПРАТ «Інгулецький ГЗК».

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 184 Гірництво. Освітня програма «Новітні технології розробки родовищ корисних копалин» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2025.

Мета роботи – підвищення ефективності збагачувального комплексу на основі оптимізації гранулометричного складу підготовленої до виймання гірничої маси.

Об'єкт дослідження – процес вибухового подрібнення магнетитових кварцитів на ПРАТ «Інгулецький ГЗК»

Предмет дослідження – оптимізація гранулометричного складу магнетитових кварцитів після вибухового подрібнення для підвищення ефективності роботи збагачувального комплексу.

У першому розділі кваліфікаційної роботи «Теоретичні питання визначення та контролю якості подрібнення гірничої маси вибухом» досліджено теоретичні аспекти якості подрібнення гірничої маси вибухом, проаналізовано сучасні методи визначення гранулометричного складу порід та їх вплив на техніко-економічні показники гірничозбагачувальних комбінатів Кривбасу.

В другому розділі «Організація буро-вибухових робіт в кар'єрі ПРАТ «ІнГЗК» з урахуванням особливостей геологічної будови родовища» досліджено організацію буро-вибухових робіт в кар'єрі. Детально охарактеризовано етапи БВР, від проектування до аналізу

результатів вибуху, а також роль різних служб та дільниць у цьому процесі. Розділ підкреслює важливість комплексного підходу до організації БВР, який враховує геологічні умови, технічні можливості та вимоги безпеки.

В третьому розділі «Оптимізація гранулометричного складу підготовлених до виймання гірських порід з метою підвищення продуктивності збагачувального комплексу в умовах ПРАТ «Інгулецький ГЗК» досліджено шляхи оптимізації гранулометричного складу підірваної гірничої маси для підвищення ефективності роботи збагачувального комплексу. Запропоновано та експериментально досліджено зміни параметрів буро-підривних робіт, проаналізовано вплив цих змін на технологічні та економічні показники.

В четвертому розділі «Охорона праці та екологічна безпека при проведенні буро-вибухових робіт в кар'єрі» розглянуті питання безпечного транспортування, зберігання та використання вибухових речовин, порядку допуску персоналу після вибуху та ліквідації відмов свердловинних зарядів. Особливу увагу приділено зменшенню впливу вибухових робіт на довкілля шляхом оптимізації сітки свердловин, що дозволило скоротити використання вибухових матеріалів і зменшити викиди шкідливих газів в атмосферу.

Ключові слова: ГІРСЬКА ПОРОДА, БУРО-ВИБУХОВІ РОБОТИ, СЕРЕДНІЙ РОЗМІР КУСКА, ГРАНУЛОМЕТРИЧНИЙ СКЛАД, ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИЙ КОМБІНАТ.

Список публікацій здобувача

1. *Смірнов О.Я., Стрельцов В.О.* Підвищення продуктивності РЗФ за рахунок оптимізації гранулометричного складу підірваної гірської маси в кар'єрі ПрАТ «ІНГЗК». Міжнародна наукова конференція «MININGMETALTECH 2024 - Гірничо-металургійний сектор: інтеграція

бізнесу, технологій та освіти»: матеріали конференції (28-29 листопада 2024 р., м. Рига, Латвійська Республіка). Рига, Латвія: «Baltija Publishing», 2024, С. 296-299, DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-98>.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1. ТЕОРЕТИЧНІ ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОДРІБНЕННЯ ГІРНИЧОЇ МАСИ ВИБУХОМ	13
1.1. Технологічні умови, що висуваються до якості подрібнення матеріалу вибухом на залізорудних кар'єрах Кривбасу	13
1.2. Оцінка сучасних методів визначення гранулометричного складу підірваної гірничої маси, як головного критерію встановлення якості подрібнення матеріалу	16
1.3. Вплив гранулометричного складу порід на техніко-економічні показники технологічних процесів гірничозбагачувальних комбінатів	21
2. ОРГАНІЗАЦІЯ БУРО-ВИБУХОВИХ РОБІТ В КАР'ЄРІ ПРАТ «ІНГЗК» З УРАХУВАННЯМ ОСОБЛИВОСТЕЙ ГЕОЛОГІЧНОЇ БУДОВИ РОДОВИЩА	27
2.1. Загальні відомості	27
2.2. Особливості геологічної будови Інгулецького родовища	30
2.3. Організація буро-вибухових робіт в кар'єрі ПрАТ «ІНГЗК»	35
3. ОПТИМІЗАЦІЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ПІДГОТОВЛЕНИХ ДО ВИЙМАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ В УМОВАХ ПРАТ «ІНГУЛЕЦЬКИЙ ГЗК»	39
3.1. Аналіз гранулометричного складу підготовлених до виймання гірських порід	39
3.2. Оцінка впливу гранулометричного складу підготовлених до виймання гірських порід на ефективність роботи рудозбагачувальної фабрики №2	47

3.3. Аналіз результативності показників економічної ефективності заходів з операційного покращення	53
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ПРИ ПРОВЕДЕННІ БУРО-ВИБУХОВИХ РОБІТ В КАР'ЄРІ	57
4.1. Охорона праці при проведенні буро-вибухових робіт в кар'єрі	57
4.2. Зниження впливу екологічного навантаження на довкілля при вибухових роботах з використанням експериментальної сітки свердловин	68
ВИСНОВКИ	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	75

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасних умовах, коли зростають вимоги до якості, обсягів видобутку корисних копалин, їхньої переробки та збагачення, перед гірничо-збагачувальними підприємствами постає завдання вдосконалення всіх ланцюгів технологічних процесів. Зокрема, це включає етапи підготовки, видобутку, переробки та збагачення з мінімізацією економічних витрат і зусиль. Одним із ключових напрямків підвищення операційної ефективності є оптимізація гранулометричного складу гірських порід на етапі їх підготовки до видобутку. Саме цей аспект значною мірою визначає якість подальших етапів виробничого процесу та економічну ефективність підприємства в цілому.

Особливо актуальною ця проблема є для ПрАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат» (ПрАТ «Інгулецький ГЗК»), одного з провідних підприємств гірничо-металургійного комплексу України. На рудо-збагачувальній фабриці №2 цього підприємства застосовується технологія самоподрібнення, яка вимагає стабільної подачі рудного матеріалу оптимального гранулометричного складу. Згідно з технологічними вимогами, вміст частинок крупністю понад 75 мм у рудному матеріалі після вибухового подрібнення має становити не менше 40,7 мас.%. Однак навіть такий рівень не дозволяє забезпечити максимальну ефективність роботи збагачувального комплексу. У зв'язку з цим виникла необхідність підвищення частки рудного матеріалу зазначеного розміру до 45,0 мас.%, що сприятиме стабільній роботі обладнання та підвищенню продуктивності всього збагачувального процесу.

Оптимізація гранулометричного складу передбачає впровадження сучасних підходів і технологій. Зокрема, використання математичного

моделювання вибухових робіт, автоматизованих систем контролю гранулометрії, а також аналізу параметрів подрібнення сприяє досягненню потрібного результату.

Актуальність теми зумовлена не лише необхідністю зниження виробничих витрат і підвищення економічної ефективності, але й важливістю забезпечення конкурентоспроможності підприємства на ринку металургійної сировини. Удосконалення технологічних процесів та впровадження інновацій дозволяє забезпечити вищу якість рудного матеріалу, що позитивно впливає на кінцеві результати роботи підприємства.

Мета роботи – підвищення ефективності збагачувального комплексу на основі оптимізації гранулометричного складу підготовленої до виймання гірничої маси.

Завдання роботи:

- аналіз літературних джерел з питань впливу різноманітних факторів на якість вибухового подрібнення та методів визначення гранулометричного складу порід;

- проаналізувати та оцінити особливості гранулометричного складу магнетитових кварцитів після вибухового подрібнення в кар'єрі ПрАТ «Інгулецький ГЗК»;

- проаналізувати вплив гранулометричного складу рудного матеріалу на продуктивність і ефективність роботи збагачувального комплексу;

- розробити рекомендації, щодо вдосконалення параметрів вибухових робіт для досягнення оптимального гранулометричного складу рудної маси;

- оцінити ефективність запропонованих рішень на основі аналізу показників роботи збагачувального комплексу.

Об'єкт дослідження – процес вибухового подрібнення магнетитових кварцитів на ПрАТ «Інгулецький ГЗК».

Предмет дослідження – оптимізація гранулометричного складу магнетитових кварцитів після вибухового подрібнення для підвищення ефективності роботи збагачувального комплексу.

Методи дослідження. Для розв'язання завдань, поставлених у роботі, застосовано комплекс теоретичних і експериментальних методів, зокрема: аналіз і узагальнення сучасних уявлень щодо впливу різноманітних факторів на якість вибухового подрібнення гірничої маси, аналітичне обґрунтування оптимальних параметрів буро-підривних робіт з метою отримання бажаного гранулометричного складу рудного матеріалу. Проведено теоретичні узагальнення та промислові експерименти, а також зіставлення результатів розрахунків із експериментальними даними. Оцінку ефективності запропонованих рішень здійснено за допомогою техніко-економічного аналізу. Для вирішення окремих завдань використовувалися методи статистичного аналізу із застосуванням сучасного програмного забезпечення.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розробці та обґрунтуванні комплексу взаємопов'язаних заходів, спрямованих на оптимізацію гранулометричного складу гірничої маси з метою підвищення ефективності збагачувального комплексу, зменшення негативного впливу на довкілля та досягнення значного економічного ефекту:

- обґрунтовано та експериментально підтверджено ефективність розширення сітки свердловин для конкретних мінералого-технологічних різновидів руд Інгuleцького родовища з метою збільшення вмісту крупних фракцій (понад 75 мм) у підірваній гірничій масі;

- доведено, що оптимізація гранулометричного складу сприяє підвищенню продуктивності секцій фабрики на 0,827 т/год та зниженню енергоспоживання на 0,53 кВт/т, що є важливим внеском у підвищення ефективності збагачувального процесу;

- встановлено економічну та екологічну доцільність впровадження експериментальної сітки свердловин, що підтверджує практичну цінність отриманих результатів.

Структура і об'єм роботи. Кваліфікаційна робота складається з реферату, вступу, 4 розділів, які включають 13 рисунків і 4 таблиці, висновків, списку використаних джерел з 36 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 79 сторінок.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОДРІБНЕННЯ ГІРНИЧОЇ МАСИ ВИБУХОМ

1.1. Технологічні умови, що висуваються до якості подрібнення матеріалу вибухом на залізорудних кар'єрах Кривбасу

В процесі розробки залізорудних кар'єрів Кривбасу ефективність подрібнення гірничої маси вибухом є ключовим фактором, що визначає продуктивність наступних технологічних операцій, таких як навантаження, транспортування, подрібнення та збагачення. Якість вибухового подрібнення впливає не лише на економічні показники роботи підприємства, але й на тривалість технологічного циклу.

Під час підготовки гірських порід до виймання з використанням енергії вибуху необхідно забезпечити наступне [1, 3, 8-10, 12-14, 17, 19, 26-31, 32-35]:

- достатній ступінь і рівномірність дроблення гірських порід;
- нормальне опрацювання підшви уступу без залишення порогів, що ускладнюють роботу виїмково-навантажувального обладнання і потребують значних витрат коштів і часу на їх ліквідацію;
- утворення розвалу підірваної гірничої маси необхідної форми і розмірів; мінімальна сейсмічна дія вибуху на навколишні будівлі та споруди;
- достатній для безперебійної роботи екскаваторів обсяг підірваних порід; високу економічність і безпеку робіт.

Забезпечення необхідної гранулометрії матеріалу є важливим завданням, яке залежить від геологічних умов, параметрів буровибухових робіт і технічних характеристик задіяного обладнання.

Допустимі розміри шматків підірваної гірничої маси визначають залежно від робочих параметрів гірничого, транспортного і дробильного обладнання [1, 26, 31]. Однак, при розрахунку максимально можливого розміру шматка гірничої маси використовують отримані значення, які задовольняють вимогам для всього технологічного обладнання.

Так, для місткості ковша екскаватора, максимальний розмір куска гірничої маси розраховується за формулою:

$$d_{екс.} \leq 0,8 \cdot \sqrt[3]{E_{екс.}}, \quad (1.1)$$

де $d_{екс.}$ – максимальний розмір куска гірничої маси, м; E – місткість ковша екскаватора.

Максимальний розмір куска гірничої маси відносно місткості кузова автосамоскида розраховується за формулою:

$$d_{авт.} \leq 0,5 \cdot \sqrt[3]{E_{авт.}}, \quad (1.2)$$

де $d_{авт.}$ – максимальний розмір куска гірничої маси, м; E – місткість кузова автосамоскида.

Для приймального отвору дробарки максимальний розмір шматків можна розрахувати за наступною формулою:

$$d_{др.} = 0,8 \cdot III_{др.} \quad (1.3)$$

де $d_{др.}$ – максимальний розмір куска гірничої маси, м; $III_{др.}$ – розмір приймального отвору дробарки.

Шматки гірничої маси, що перевищують максимально допустимі значення розміру для технологічного обладнання відносять до

негабариту. Такі шматки потребують повторного вибухового або механічного подрібнення.

До недавнього часу ступінь та якість вибухового подрібнення характеризували виходом негабариту [1, 8-11, 23, 26, 31]. Він розраховувався як відсотковий вміст в підірваному блоці шматків гірничої маси, максимальні розміри яких більші за допустимі для технологічного обладнання. Однак, з розвитком буро-вибухових робіт в кар'єрах Криворізького залізрудного басейну цей показник суттєво знижувався при проектному значенні в 2-3 % зараз він становить 0,6-0,9 % (табл. 1.1).

Таблиця 1.1. Гранулометричний склад підірваних магнетитових кварцитів родовищ Криворізького басейну

Родовища	Основний тип рудного матеріалу	Коефіцієнт міцності, f	Вихід фракції (%), крупності (мм)			
			Менше 400	400-800	800-1200	Більше 1200 (негабаритна фракція)
Скелюватське (АТ «ПівдГЗК»)	Магнетитові кварцити (четвертого залізного горизонту)	18-20	81,0	14,9	3,5	0,6
Інгулецьке (ПрАТ «ІнгЗК»)	Силікат-магнетитові кварцити (другого, третього, четвертого та п'ятого залізистих горизонтів)	18-20	80,5	15,6	3,1	0,8
Петрівське, Артемівське, Глеюватське (ПрАТ «ЦГЗК»)	Силікат-магнетитові кварцити (другого залізного горизонту)	12-18	86,9	8,9	3,3	0,9
Ганнівське, Первомайське (ПрАТ «ПівнГЗК»)	Магнетитові, егірін-рибекіт-магнетитові кварцити (п'ятого та шостого залізистих горизонтів)	14-20	82,4	12,7	4,2	0,7

Для більш ефективної оцінки якості подрібнення гірничої маси в даний час використовують показник гранулометричного складу (кускуватості) порід, який визначається як відсоткове співвідношення

кусків різного розміру у підірваному масиві. Гранулометричний склад підірваної гірничої маси має значний вплив на продуктивність роботи виїмково-навантажувального, транспортувального та дробарно-збагачувального комплексу.

1.2. Оцінка сучасних методів визначення гранулометричного складу підірваної гірничої маси, як головного критерію встановлення якості подрібнення матеріалу

Аналіз літературних джерел [8, 12, 26-30] дозволили автору роботи виділити два основних метода визначення гранулометричного складу порід, як основного показника за яким визначають ефективність дроблення гірничої маси вибухом – прямі та непрямі. До прямих методів визначення відносяться такі способи вимірів які проводяться в натурі (ситовий аналіз, кількісний облік негабаритної фракції, фотопланіметричний). Непрямі методи використовуються для оцінки гранулометричного складу гірничої маси без необхідності безпосереднього вимірювання кожного фрагмента. Вони базуються на математичному моделюванні та статистичної залежності.

Ситовий аналіз – метод визначення гранулометричного складу шляхом просіювання матеріалу на фракції за допомогою спеціального набору сит з різним розміром комірок. Кожну з отриманих фракцій зважують і перераховують у відсотковому співвідношенню до загальної маси всього матеріалу. Перевагою цього методу є висока точність отриманих даних, а головним недоліком є трудомісткість, так як для великих об'ємів гірничої маси даний метод вимагає значних зусиль та часу. Тому у залізородних кар'єрах Кривбасу цей метод визначення гранулометричного складу майже не використовується (лише в лабораторних умовах).

Кількісний облік негабаритної фракції – метод визначення відсотку виходу негабаритної фракції в підірваному блоці шляхом підрахунку кількості шматків (n) розмір яких більший від максимально допустимого значення для технологічного обладнання і знаходяться на аналізованій площі (S). Всі встановленні шматки таких порід заміряються по трьом взаємно перпендикулярним напрямкам. Кількість негабаритних шматків на 1 м^3 гірничої маси визначають за формулою:

$$N = \left(\frac{n}{S}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (1.4)$$

Вихід негабариту розраховують в такому випадку з використанням наступної формули:

$$V_n = NV_{cp} \quad (1.5)$$

де V_{cp} – середній об'єм підірваної гірської маси, м^3 .

Фотопланіметричний метод – найбільш поширений метод визначення гранулометричного складу підірваної гірничої маси. Методика полягає у визначенні в розвалі та по екскаваторним заходкам гранулометричного складу підірваної маси використовуючи метод так званої косокутної фотопланометрії [1, 31]. Для цього перед зйомкою на рівні підосви уступу і на верхній кромці розвалу паралельно укладалися дві масштабні рейки, довжиною 2000 мм і з поділками по 200 мм. Після чого проводили фотографування підірваної маси.

Фотопланограми друкували розміром 13x18 і 18x24 мм. На фотопланограмах по висоті вибою наносилися горизонтальні лінії, які визначали масштабні коефіцієнти, що враховують зміну лінійних розмірів на фотографії залежно від відстані фотографування і кута укосу

розвалу. Величину масштабних коефіцієнтів розраховували за формулою:

$$\Psi_i = \frac{l_o}{l_i} \quad (1.6)$$

де l_o – довжина масштабної рейки в натурі, мм; l_i – довжина тієї ж рейки по фотографії, мм.

По кожній горизонтальній лінії на фотографії робили заміри максимальних розмірів шматків. З урахуванням масштабних коефіцієнтів фактичний розмір шматка дорівнює:

$$K = \Psi_i K_i \quad (1.7)$$

Кількість фракцій крупності при визначенні кускуватості в умовах кар'єрів криворізького залізорудного басейну в дослідницьких роботах було встановлено п'ять класів:

I клас – розмір частинок матеріалу менший 250 мм;

II клас – від 250 до 400 мм;

III клас – від 400 до 700 мм;

IV клас – від 700 до 1200 мм;

V клас – більше 1200 мм.

Відсоткове співвідношення кожного класу крупності матеріалу визначається по формулі:

$$\gamma_i = \frac{100 \sum_{l_{i-1}}^{l_i} K_l}{L} \quad (1.8)$$

де K_l – довжина куска, мм; l_{i-1} – l_i – значення лінійних розмірів шматків даного класу, м; L – довжина лінії виміру, мм.

Мінімально необхідна кількість фотопланогам встановлюється статистичним методом за величиною характерного для даних гірничотехнічних умов коефіцієнта варіації і визначається за формулою:

$$n_n = \frac{t^2 K_b^2}{K_q^2} \quad (1.9)$$

де K_b – коефіцієнт варіації; K_q – допустима похибка; t – нормоване відхилення.

Нормоване відхилення залежить від заданої надійності і для завдань, пов'язаних із вимірюванням кускаватості, у дослідницьких цілях приймали $t = 1,65$; $K_q = 5-10\%$.

Коефіцієнт варіації та середнє значення ознаки визначали розрахунковим шляхом за контрольними вимірами для кожного дослідного вибуху за формулами:

$$K_b = \frac{\delta}{X_{\text{сер}}} \quad (1.10)$$

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2}{n}} \quad (1.11)$$

$$X_{\text{сер}} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1.12)$$

де δ – стандартні відхилення досліджуваної величини; $X_{\text{сер}}$ – середнє значення ознаки; X_i – значення ознаки в даному досліді; n – число дослідів.

Підставляючи отримані значення коефіцієнта варіації у формулу (1.9), за заданої допустимої помилки вимірювання 10 % визначали необхідну кількість фотопланогам. Так, наприклад, за коефіцієнта варіації 22 % необхідна кількість знімків становитиме 13 штук. Кількість фотопланогам обирали за тим класом крупності, для якого коефіцієнт варіації був найбільшим.

Оцінку відмінності якості гранулометричного складу експериментальної та контрольної ділянок проводили за наближеним критерієм, заснованим на розподілі Стюдента.

З розвитком геоінформаційних систем дана процедура розрахунку набагато спростилась, адже тепер достатньо завантажити фотографію підірваної гірничої маси в спеціалізоване програмне забезпечення і розрахунок виконається за декілька хвилин. Таким програмним забезпеченням є, наприклад, K-Mine. Також існують ручні портативні прилади за допомогою яких визначається гранулометричний склад порід. Одним із таких приладів є PortaMetrics.

До другої групи (непрямі методи) належать різноманітні обчислення гранулометричного складу підірваних порід. Ці методи базуються на припущенні, що кумулятивну криву гранулометричного складу порід можна достатньо точно описати за допомогою одного з математичних законів. Найчастіше для цього застосовують рівняння Розіна-Раммлера, яке має вигляд [1, 31]:

$$\gamma_{>x} = 100e^{-\left(\frac{x}{d_{\text{сер.}}}\right)^n} \quad (1.13)$$

де $\gamma_{>x}$ – вміст у розвалі кусків, розмір яких перевищує x , %; e – основа натурального логарифму; $d_{\text{сер.}}$ – середній розмір куска порід у розвалі; n – показник рівномірності подрібнення для конкретної ситуації виконання робіт.

Величину $d_{\text{сер.}}$ визначають за формулами, одержаними на підставі законів подрібнення Риттингера, Бонда або Кирпичова-Кіра [1, 31], які описують залежність між середнім розміром блоків у масиві порід. Питомою витратою енергії вибухової речовини і середнім розміром кусків у розвалі після вибуху:

$$E = K_1 \left(\frac{1}{d_{cep}} - \frac{1}{D_{cep}} \right) \quad (1.14)$$

$$E = K_2 \left(\frac{1}{\sqrt{d_{cep}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{cep}}} \right) \quad (1.15)$$

$$E = K_3 \ln \left(\frac{D_{cep}}{d_{cep}} \right) \quad (1.16)$$

де E – питома енергії, що передається одиниці об'єму роздробленого тіла для приросту енергії нової відтвореної поверхні, Н·м; K_1 , K_2 , K_3 – коефіцієнти пропорційності, які характеризують подрібненість порід, Дж·м; D_{cep} – середній розмір блока в масиві порід, відокремленого природною тріщинуватістю, м; d_{cep} – середній розмір куска в розвалі після вибуху, м.

Непрямий метод визначення менш трудомісткий та дозволяє швидко прогнозувати кускуватість гірничої маси залежно від витрат енергії вибухової речовини, що робить його зручним для попередніх розрахунків. Однак, через спрощення моделей і врахування обмеженого числа факторів, інколи трапляються значні похибки в обчисленнях, які впливають на точність кінцевих результатів. Тому для детального розрахунку гранулометричного складу порід доцільніше використовувати прямі методи обчислення, адже вони враховують реальні фізичні характеристики гірничої маси, забезпечують більшу точність аналізу і мають суттєво меншу похибку в отриманих результатах.

1.3. Вплив гранулометричного складу порід на техніко-економічні показники технологічних процесів гірничозбагачувальних комбінатів

Головними технологічними процесами гірничозбагачувальних комбінатів Кривбасу є: буріння, підготовка свердловин до вибуху

(зарядка їх вибухівкою, підрив), екскавація гірничої маси, транспортування, повторне дроблення негабаритної маси, крупне та середнє дроблення гірничої маси на дробильно-збагачувальному комплексі (рис. 1.1) [1, 8, 17, 19, 28, 31].

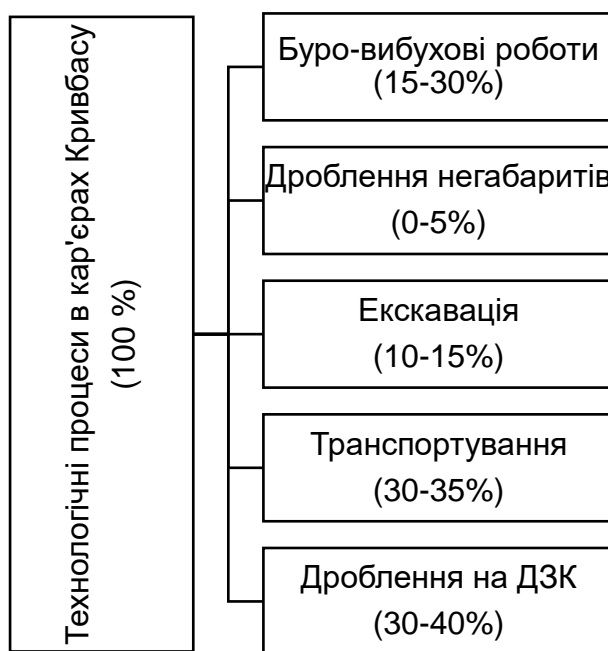


Рисунок 1.1. Узагальнена структура технологічних процесів на гірничо-збагачувальному комбінаті [8].

Буріння. Цей процес не залежить від якості подрібнення. Ефективність буріння залежить від фізико-механічних властивостей гірських порід, від геологічних особливостей гірського масиву (тріщинуватість, обводненість), а також від способу буріння. Але інтенсивність подрібнення порід зумовлюється параметрами буро-вибухових робіт (сітка свердловин, висота уступу). У зв'язку з цим відбувається зміна виходу гірничої маси з 1 погонного метру свердловини, питомі витрати буріння на 1 т підірваної маси і відповідно

затрати на оббурювання. Отже, підвищення інтенсивності дроблення порід призводить до збільшення витрат на буріння [1, 8, 17, 19, 28, 31].

Підривання. Якість дроблення порід вибухом в значній мірі залежить від питомих витрат вибухової речовини. Так для гірських порід з різною міцністю за шкалою проф. М.М. Протодьяконова питомі витрати вибухової речовини відрізняються: зі зростанням міцності порід зростають і питомі витрати. З цього випливає, що збільшення витрат вибухової речовини призводить до підвищення питомих витрат на підривання 1 т порід [1, 8, 17, 19, 28, 31].

Екскавація. Як зазначено вище, продуктивність екскаваторного парку напряму залежить від якості вибуху. Так, наприклад, при суттєвому збільшенні середнього розміру підірваної гірничої маси з 145 до 220 мм відбувається зростання питомих витрат на екскавацію з 2,1 до 2,46 грн/м³, що в загальному вигляді складає 15%. Також відбувається зростання тривалості робочого циклу, від чого зменшується їх кількість за одиницю часу, зменшується також коефіцієнт екскавації та підвищується знос робочого обладнання. Таким чином, при низькій якості подрібненні питомі витрати на навантаження 1 т порід збільшуються [1, 8, 17, 19, 28, 31].

Транспортування. Продуктивність транспортного комплексу залежить від багатьох факторів: вантажопідйомності машин, стану автодоріг, дальності перевезення. Також продуктивність транспортного комплексу напряму залежить від якості гранулометричного складу порід. Досягається ця продуктивність шляхом скорочення часу простою під навантаженням і збільшенням кількості рейсів за одиницю часу. Таким чином, покращення якості подрібнення сприяє скороченню питомих витрат на транспортування 1 т гірничої маси [1, 8, 17, 19, 28, 31].

Дроблення негабариту. Неякісне підривання масиву сприяє до збільшення виходу негабаритної фракції, яку необхідно руйнувати

повторним вибухом або механічним способом. Об'єм вторинного вибуху та механічного руйнування збільшується в залежності від якості первинного подрібнення (чим гірше якість, тим більший об'єм додаткових робіт). Тому, при збільшенні якості первинного подрібнення порід вибухом затрати на дроблення негабариту будуть зменшуватись [1, 8, 17, 19, 28, 31].

Дроблення. Збільшення якості подрібнення гірничої маси сприяє підвищенню продуктивності дробарно-збагачувального комплексу, відбувається скорочення витрат на обслуговування та ремонт обладнання. Таким чином зі збільшенням якості подрібнення порід вибухом, які попадають в дробарку, питомі витрати скорочуються [1, 8, 17, 19, 28, 31].

З вище зазначеного випливає, що різний вплив крупності порід на техніко-економічні показники процесів розробки дозволяє визначити оптимальні параметри буро-вибухових робіт таким чином, щоб мінімізувати сумарні питомі витрати на видобуток та переробку 1 т залізної руди, тобто [29]:

$$S(f, D_{сер.}) = S_{БВР} + S_H + S_E + S_A + S_{ДР}, \text{ (грн/т)} \quad (1.17)$$

де $S_{БВР}$ – питомі витрати на проведення буро-вибухових робіт; S_H – питомі витрати на дроблення негабариту з розміром більше 1200 мм; S_E – питомі витрати на екскавацію; S_A – питомі витрати на транспортування гірничої маси автосамоскидами; $S_{ДР}$ – питомі витрати на дроблення гірничої маси на фабриці.

В роботі [8] представлені криві питомих витрат в залежності від середнього розміру шматків підірваної гірничої маси при міцності порід $f=12$. З рисунку 2 видно, що найменші витрати на видобуток та

переробку 1 т залізної руди досягаються при середньому розмірі шматків $D_{сер.}=130$ мм.

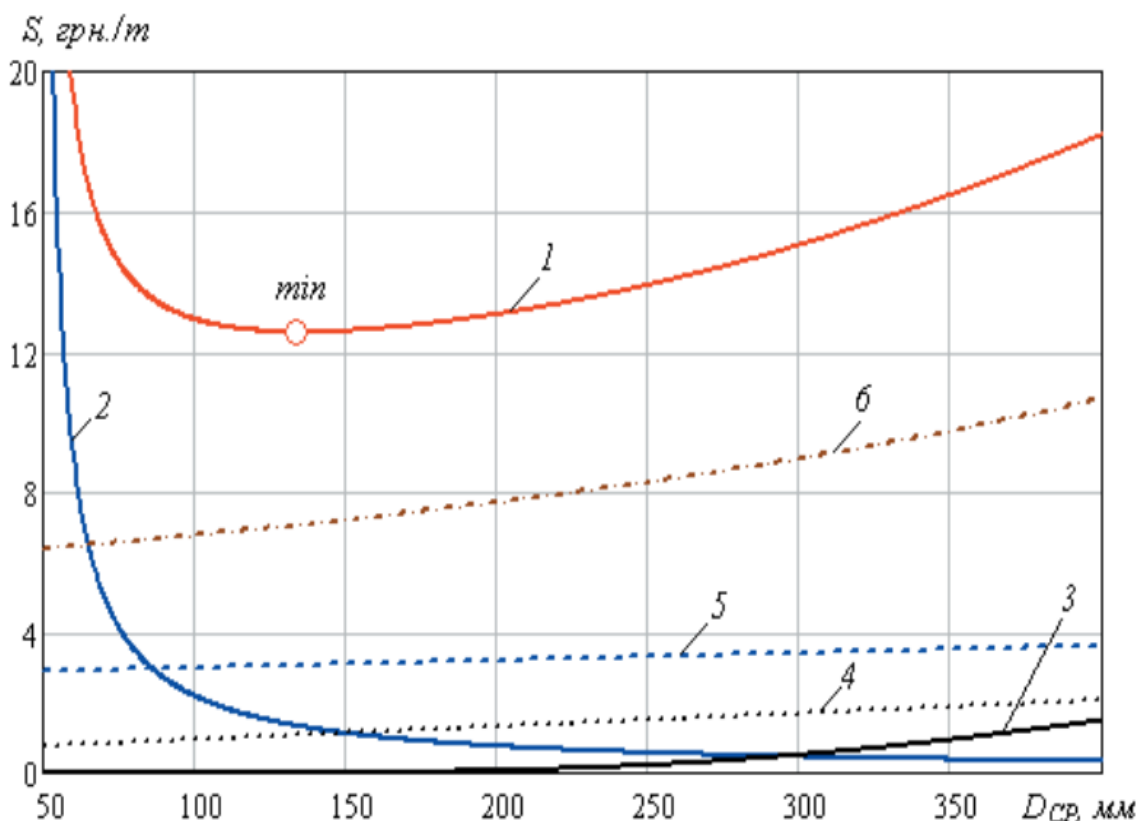


Рисунок 1.2. Криві питомих витрат на видобуток та переробку 1 т залізної руди S та їх залежність від середнього розміру шматка $D_{сер.}$ при міцності порід $f=12$

1 – сумарні витрати; 2 – витрати на проведення буро-вибухових робіт; 3 – витрати на повторне дроблення негабариту; 4 – витрати на екскавацію гірничої маси; 5 – витрати на транспортування; 6 – витрати на дроблення гірничої маси в дробарці [8].

Також в цій роботі [8] було показано залежність питомих витрат від середнього шматка гірничої маси при різній міцності порід (рис. 1.3).

З аналізу графіка зображеного на рисунку 1.3 можна зробити висновок, що при збільшенні показника міцності порід за шкалою проф.

М.М. Протодьяконова загальні витрати на видобуток та переробку 1 т руди суттєво зростають. Це пояснюється збільшенням витрат на буровибухові роботи в порівнянні з менш міцними породами.

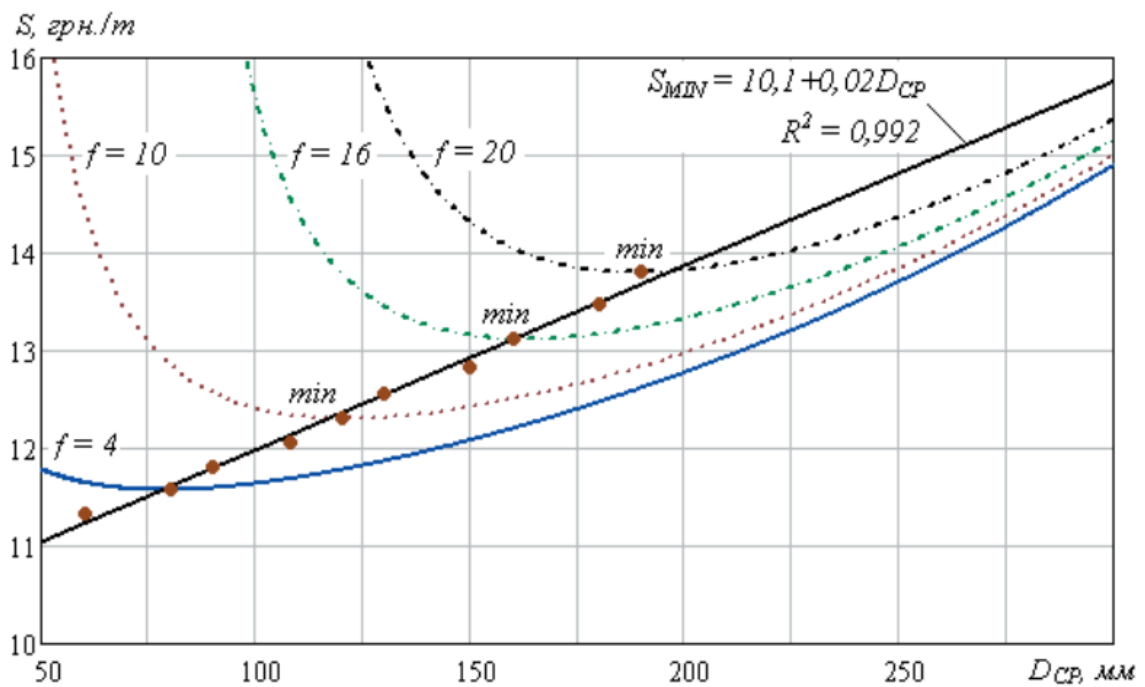


Рисунок 1.3. Мінімальні значення сумарних витрат при збільшенні міцності порід [8].

Отже, аналіз літературних даних дозволяє зробити висновок, що загальні витрати на видобуток та переробку 1 т залізної руди залежить від середнього розміру підірваних порід, а цей параметр в свою чергу від їх фізико-механічних властивостей.

РОЗДІЛ 2

ОРГАНІЗАЦІЯ БУРО-ВИБУХОВИХ РОБІТ В КАР'ЄРІ ПРАТ «ІНГЗК» З УРАХУВАННЯМ ОСОБЛИВОСТЕЙ ГЕОЛОГІЧНОЇ БУДОВИ РОДОВИЩА

2.1. Загальні відомості

Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат (ПрАТ «ІнГЗК») є одним із найбільших підприємств гірничодобувної галузі України. Він входить до складу Групи Метінвест і спеціалізується на видобутку, переробці та збагаченні магнетитових кварцитів, з метою виробництва залізорудного концентрату. Комбінат відіграє стратегічну роль у забезпеченні сировиною металургійної промисловості як в Україні, так і за її межами.

ПрАТ «ІнГЗК» відоме своєю високою технологічністю, сучасним підходом до управління виробничими процесами та впровадженням новітніх технологій у сфері видобутку і збагачення руди. Його діяльність спрямована на підвищення ефективності виробництва, мінімізацію екологічного впливу та забезпечення безпеки праці.

Відповідно до статуту ПрАТ «ІнГЗК», управління комбінатом здійснюється через такі ключові органи [5]:

- загальні збори акціонерів – вищий орган управління, який визначає стратегію розвитку підприємства, ухвалює рішення щодо реорганізації або розширення виробництва, розподілу прибутку та інших важливих аспектів діяльності комбінату;

- наглядова рада – виконує функцію контролю за діяльністю виконавчого органу, захищає права акціонерів та сприяє реалізації стратегічних завдань підприємства;

- генеральний директор – одноосібний виконавчий орган, відповідальний за управління поточними операційними процесами, організацію виробництва, взаємодію з партнерами та державними органами, а також забезпечення стабільного розвитку комбінату.

Структура управління комбінатом передбачає функціонування кількох дирекцій, які здійснюють керівництво різними аспектами діяльності підприємства [5]:

- дирекція з капітального будівництва – відповідає за реалізацію інфраструктурних проектів, розширення виробничих потужностей та модернізацію об'єктів комбінату;

- дирекція з виробництва та планування – займається стратегічним плануванням виробничих процесів, контролем виконання виробничих завдань та підвищенням ефективності операційної діяльності;

- дирекція з інжинірингу – забезпечує розробку та впровадження нових технологій, інноваційних рішень і технічних удосконалень у виробничих процесах;

- дирекція з технології та якості – контролює відповідність продукції міжнародним стандартам, проводить аналіз якості залізородного концентрату та впроваджує заходи щодо її покращення;

- дирекція з операційних покращень – реалізує програми оптимізації виробничих процесів, зниження витрат та підвищення продуктивності комбінату;

- фінансова дирекція – займається управлінням фінансовими потоками, бюджетуванням, контролем витрат та фінансовою звітністю підприємства;

- дирекція з персоналу та соціальних питань – відповідає за кадрову політику, підготовку та перепідготовку працівників, а також соціальні програми для персоналу;

- дирекція закупівель – організовує постачання матеріалів, обладнання, запчастин та інших необхідних ресурсів для безперебійного функціонування підприємства;

- дирекція з аналізу та управління ризиками безпеки – займається оцінкою виробничих ризиків, розробкою заходів щодо їх зменшення;

- дирекція з охорони праці, промислової безпеки та навколишнього середовища – контролює виконання норм охорони праці, реалізує екологічні ініціативи та забезпечує безпечні умови праці для персоналу.

Окрім зазначених дирекцій, під керівництвом генерального директора функціонують:

- головний спеціаліст із інформаційних технологій;

- спеціальний відділ;

- відділ логістики;

- головний спеціаліст із землеустрою.

ПрАТ «ІнГЗК» має розгалужену виробничу структуру, яка включає 15 основних підрозділів, серед яких шість є ключовими:

- цех «Кар'єр» – забезпечує видобуток бідних магнетитових кварцитів із Інгuleцького родовища, що включає в себе технологічні операції з буріння, підривання, навантаження руди та розкривних робіт;

- цех технологічного автотранспорту – виконує перевезення рудної маси на дробильну фабрику та транспортування «пустих» порід у відвали;

- залізничний цех – займається транспортуванням розкривних порід у відвали та перевезенням концентрату на кінцеві пункти відвантаження;

- дробильна фабрика – відповідає за дроблення та подрібнення видобутої руди, її підготовку для подальшого збагачення;

- рудозбагачувальні фабрики (РЗФ-1 і РЗФ-2) – здійснюють переробку та збагачення руди із застосуванням методу кульового подрібнення та самоподрібнення, а також флотаційного доведення

концентрату (РЗФ-1 виробляє концентрат із масовою часткою заліза 64,5%; РЗФ-2 забезпечує випуск продукції із вмістом заліза понад 67%).

Для безперебійної роботи основних структурних підрозділів функціонують допоміжні підрозділи:

- цех технічного водопостачання і шламового господарства – займається забезпеченням водопостачання, відведенням кар'єрних і технологічних вод;

- автотранспортний цех – обслуговує внутрішньозаводський транспорт, виконує технічне обслуговування та ремонт машин;

- відділ технічного контролю – здійснює контроль за якістю виробничих процесів і готової продукції;

- цех мереж і підстанцій – забезпечує комбінат електроенергією, обслуговує підстанції та електромережі;

- цех підготовки виробництва – здійснює планування, підготовку та забезпечення основних структурних підрозділів необхідними ресурсами;

- цех сервісного обслуговування – виконує ремонтні та сервісні роботи, спрямовані на підтримання обладнання в робочому стані.

2.2. Особливості геологічної будови Інгулецького родовища

Криворізький залізорудний басейн розташований в центральній частині Українського кристалічного щита. В його складі виділяють чотири залізорудних райони: Північний (Ганнівський), Центральний (Саксаганський), Південний та Інгулецький (Лихманівський). Інгулецьке родовище бідних магнетитових кварцитів приурочене до однойменного залізорудного району (рис. 2.1). В геологічному відношенні родовище локалізується в межах замкової частини Лихманівської синкліналі та має двоярусну будову: кристалічний фундамент (складений породами

архейського, протерозойського комплексу) та осадовий чохол (складений породами кайнозойського комплексу) [4].



Рисунок. 2.1. Локалізація Інгулецького родовища в загальній структурі Криворізького залізорудного басейну [4].

Породи архейського комплексу представлені плагіогранітами, мігматитами та амфіболітами. Ці породи характеризуються масивною текстурою та середньо-, дрібно-, та прихованокристалічною структурною. Головними породоутворювальними мінералами є кварц, мікроклін, плагіоклаз, рогова обманка, біотит. Гірські породи цього комплексу характеризуються помірною тріщинуватістю, що утворює так звану їх блокову будову. Фізико-механічні властивості порід: коефіцієнт міцності порід за шкалою проф. М.М. Протодьяконова в ділянках гіпергенно незмінених їх різновидів коливається в межах від 16 до 18; категорія буримості – XVII; категорія по підриванню – V; об'ємна вага – 2,66-2,95 т/м³ (табл. 2.1).

Таблиця 2.1. Фізико-механічні властивості порід Інгулецького родовища

Категорія порід з підриванню	Найменування порід	Категорія порід по буримості	Коефіцієнт міцності по проф. Протодьяконову	Об'ємна вага порід т/м ³
I. Дуже легко підриваються	Вапняки та гіпергенно змінені породи різного складу	X	1-2 1-4	2,2-2,6
II. Легко підриваються	Вивітрені різновиди сланців (біотитові, кварц-амфіболові, талькові)	X-XIII	3-8	2,6-3,0
III. Середньо підриваються	Кварцити окислені (тріщинуваті), сланці біотитові, кварц-біотитові, аркозо-філіти	XI-XIV	6-14	2,6-3,0
IV. Важко підриваються (а)	Граніти, мігматити, амфіболіти (частково вивітрені), кварцити окислені (грубо-блочні, буро-залізнякаві), сланці талькові	XIV-XVII	10-17	2,66-3,0
V. Важко підриваються (б)	Граніти, мігматити, амфіболіти, кварцити з прошарками сланців, кварцити гематит-магнетитові, кварцити силікат-магнетитові та магнетит-силікатні (центральної та західної частині родовища), амфіболіти, джеспіліти окислені	XVII-XVIII	16-20	2,66-3,4
VI. Дуже важко підриваються	Кварцити магнетит-силікатні, кварцити магнетит-кумінгтонітові (приконтатна зона), кварцити п'ятого сланцевого горизонту, кварцити магнетитові та силікат-магнетитові (східної та південної частини родовища)	XVIII-XX	18-20	3,4

Протерозойський комплекс порід представлений породами криворізької серії, яка в свою чергу поділена на світи: новокриворізьку, скелюватську, саксаганську та гданцевську.

Новокриворізька світа представлена полімінеральними біотит-кварц-роговообманковими, серицит-кварц-біотитовими та мономінеральними кварцовими, силікат-кварцовими, польовошпат-кварцовими кварцитами (метапісковиками). Потужність світи коливається в межах 35-55 м. Фізико-механічні властивості порід: коефіцієнт міцності порід за шкалою проф. М.М. Протодьяконова становить в межах 14-16; категорія буримості – XII-XIV; категорія по підриванню – II-IV; об'ємна вага – 2,64-2,95 т/м³ (табл. 2.1).

Породи скелюватської світи представлені мусковітовими, кварц-мусковітовими, тальк-хлоритовими та тальк-хлорит-амфіболовими сланцями. Потужність світи в західній частині родовища коливається в межах від десятків см до 5-10 м (зрізана Західним розломом), а в східній частині потужність світи становить 250-400 м. Фізико-механічні властивості порід: коефіцієнт міцності порід за шкалою проф. М.М. Протодьяконова 12-16; категорія буримості – XII-XV; категорія по підриванню – II-IV; об'ємна вага – 2,6-2,64 т/м³ (табл. 2.1).

Саксаганська світа представлена чергуванням п'яти сланцевих (від першого до п'ятого) та п'яти залізистих (від першого до п'ятого) горизонтів. Сланцеві горизонти складені гранат-біотитовими, гранат-біотит-кумінгтонітовими, гранат-біотит-кварц-кумінгтонітовими різновидами. Виключення становить п'ятий сланцевий горизонт – він складений силікат-магнетитовими кварцитами. Залізисті горизонти представлені гематит-магнетитовими, магнетитовими, силікат-магнетитовими та магнетит-силікатними кварцитами. Слід зазначити, що продуктивною товщею родовища є другий, третій, четвертий, п'ятий залізисті горизонти та третій, четвертий (за умови, що їх потужність менше 10 м), п'ятий сланцеві горизонти. Якісні показники руд родовища

дуже варіативні. Вміст заліза, що входить до складу магнетиту коливається від 14 до 33 мас. %. Фізико-механічні властивості: коефіцієнт міцності становить 14-17 в породах сланцевих горизонтів та 17-20 в породах залізистих горизонтів; категорія буримості XIV-XVIII в породах сланцевих горизонтів і XVII-XX в породах залізистих горизонтів; категорія по підриванню – IV-VI в сланцях та V-VI в руді; об'ємна вага в сланцевих породах 2,95 т/м³ і 3,4 т/м³ в руді.

Породи гданцевської світи (графіт-серіцит-кварц-хлоритові та графіт-мусковіт-кварц-біотитові сланці) в межах Інгулецького родовища гірничими виробками не перетинаються, а фіксуються лише геолого-розвідувальними свердловинами в північному напрямку від родовища.

Найбільш поширеними породами *кайнозойського* комплексу є різного складу вапняки (оолітові, доломітові та ін.), глини (буро-червоні, зелені та ін.) та піски (середньо- та дрібно-зернисті). Як зазначено вище, вони завершують розріз криворізької структури.

В тектонічному відношенні родовище стабільне. В західній частині, воно ускладнене Західним насувом (розглядається як прояв Криворізько-Кременчуцького глибинного розлому), а в центральній та східній частині – системо розривних порушень Східного розлому.

Отже, з вищезазначеного можна зробити висновок, що складна геологічна будова родовища, яка включає різноманіття гірських порід із варіативними фізико-механічними властивостями, суттєво впливає на організацію та результати буро-вибухових робіт у кар'єрі. Різна міцність, щільність, тріщинуватість та інші властивості порід створюють додаткові виклики при плануванні та виконанні вибухових робіт. Наприклад, у зонах із міцними породами необхідно збільшувати кількість вибухової речовини та за можливості зменшувати сітку свердловин або застосовувати потужніші типи вибухових матеріалів, тоді як у більш м'яких та тріщинуватих породах така тактика може призводити до надмірного подрібнення та утворення пилу.

Крім того, неоднорідність геологічної структури впливає на рівномірність дроблення: у менш міцних та тріщинуватих породах утворюється значна частка дрібних фракцій, тоді як у більш міцних породах залишаються великі шматки (негабарити), які потребують додаткового подрібнення. Це ускладнює досягнення бажаного гранулометричного складу та вимагає адаптації параметрів буровибухових робіт.

Таким чином, складна геологічна будова не лише впливає на ефективність вибуху, але й зумовлює необхідність гнучкого підходу до планування робіт, щоб мінімізувати кількість негабаритів і дрібного матеріалу, оптимізувати витрати вибухових матеріалів та забезпечити якісну підготовку гірничої маси до подальших етапів екскавації, транспортування і переробки.

2.3. Організація буровибухових робіт в кар'єрі ПрАТ «ІнГЗК»

Буровибухові роботи (БВР) у кар'єрі ПрАТ «ІнГЗК» є важливим етапом видобутку залізорудної сировини. Ці роботи потребують ретельного планування та взаємодії всіх задіяних служб і дільниць, зокрема геологічної, маркшейдерської служб, технічного бюро, бурової дільниці, видобувної та вибухової дільниці. Організація процесу БВР складається з кількох етапів: проектування, підготовка до вибуху, заряджання свердловин, вибух та аналіз.

Перший етап проектування буровибухових робіт розпочинається з підготовки геологічної та маркшейдерської інформації, яка є основою для створення технічного проекту. Всі проектувальні роботи виконуються за допомогою ГІС K-Mine.

Роль маркшейдерської служби на першому етапі полягає в наданні геологічній службі та технічному бюро актуальної маркшейдерської зйомки ділянки майбутніх буро-вибухових робіт.

Задача геологічної служби на цьому етапі полягає в наданні геологічної інформації, щодо будови ділянки проведення робіт, мінерального складу порід, їх технічних (міцність, категорія по буримості, категорія по вибуховості, тріщинуватість) та технологічних (показник вмісту заліза в складі магнетиту, збагачуваності) властивостей. Ці дані важливі для визначення параметрів вибуху, таких як кількість вибухової речовини та схема розташування свердловин.

Технічне бюро на основі отриманої геологічної та маркшейдерської інформації розробляє схеми свердловинної мережі: проектує місця розташування свердловин, їх глибину та нахил відповідно до геологічних умов залягання порід. Також проводиться розрахунок параметрів вибуху, а саме необхідну кількість вибухової речовини, визначається послідовність підриву та розраховується очікуваний гранулометричний склад. Проект повинен враховувати необхідність мінімізації сейсмічного впливу та запобігання розкиду шматків підірваної гірничої маси. Результатом цього етапу є детальний проект буро-вибухових робіт, який узгоджується з головними спеціалістами (начальником технічного бюро, геологом кар'єру, маркшейдером кар'єру, головним спеціалістом по БВР) та затверджується заступником начальника кар'єру з виробництва та планування.

Другий етап підготовки до вибуху. На цьому етапі проводяться роботи з буріння свердловин, їх заряджання та підготовки до вибуху.

Роль бурової ділянки полягає у виконанні буріння свердловин: Згідно з проектом, бурова ділянка забезпечує буріння свердловин із необхідними параметрами (глибина, діаметр, нахил). Для контролю

якості буріння бурова діляниця тісно взаємодіє з маркшейдерською службою для перевірки відповідності буріння проектним параметрам.

Задача геологічної служби полягає в перевірці фактичної геологічної будови діляниці проведення робіт методом геофізичного чи хімічного випробування. У разі виявлення змін технічних властивостей порід, умов їх залягання в обов'язковому порядку вносяться корективи до проекту.

Маркшейдерська служба забезпечує зацікавлені служби інформацією, щодо точного розташування пробурених свердловин, також фіксуються можливі відхилення від проекту буріння (місця розташування свердловин, глибина їх буріння).

Технічного бюро на основі даних фактичного виконання проекту визначає кількість і тип вибухової речовини для кожної свердловини.

Етап заряджання свердловин. На цьому етапі свердловини заповнюються вибуховою речовиною, а також монтуються системи ініціювання.

Вибуховою ділянкою на даному етапі проводиться заряджання вибухівкою свердловин та виконується їх герметизація. Після заряджання здійснюється тампонування свердловин для забезпечення ефективного використання енергії вибуху. Також виконуються роботи з комутації блоку.

Технічне бюро в свою чергу проводить контроль виконаних робіт у відповідності до проектної документації.

Етап проведення вибуху. Вибух виконується за чітким планом, розробленим технічним бюро. Перед проведенням вибуху персоналом вибухової діляниці виконується перевірка всіх блоків, що готові до підривання. Вся техніка та персонал евакуюються із зони небезпеки.

Етап проведення аналізу вибуху. Після проведення вибуху в кар'єрі технічне бюро аналізує, чи відповідають результати вибуху проектним розрахункам, і вносить корективи для наступних вибухів.

Отже, організація буро-вибухових робіт у кар'єрі ПрАТ «ІнГЗК» базується на злагодженій роботі геологічної, маркшейдерської служб, технічного бюро, бурової та вибухової дільниць. Така інтеграція дозволяє забезпечити високу ефективність робіт і дотримання всіх вимог безпеки та екологічних стандартів.

РОЗДІЛ 3

ОПТИМІЗАЦІЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ПІДГОТОВЛЕНИХ ДО ВИЙМАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ В УМОВАХ ПРАТ «ІНГУЛЕЦЬКИЙ ГЗК»

3.1. Аналіз гранулометричного складу підготовлених до виймання гірських порід

Інгулецьке родовище бідних магнетитових руд має складну геологічну будову. Як зазначено вище, в його будові беруть участь різні за складом та властивостями гірські породи. Продуктивна товща представлена чотирма (за новим стратиграфічним поділом п'ятьма) залізистими горизонтами та трьома (за новим стратиграфічним поділом чотирма) сланцевими горизонтами. Різного складу магнетитові кварцити та сланці характеризуються варіативністю технічних та технологічних властивостей. Для забезпечення стабільної роботи рудозбагачувальних фабрик комбінату, геологічної службою на початку 90-х років було розроблено технологічну класифікацію руд, яка налічує сім технологічних сортів. Так, для поставки руди на рудозбагачувальну фабрику №1 використовують шихтування першого, четвертого, п'ятого, шостого та сьомого технологічних різновидів, а для рудозбагачувальної фабрики №2 – першого, другого, третього, четвертого та п'ятого різновидів.

Упродовж усього періоду експлуатації Інгулецького родовища бідних залізних руд (магнетитових кварцитів) також на постійній основі проводиться визначення фізичних і технічних властивостей руд і вмісних гірських порід. За результатами аналізу даних про буримість і міцність за проф. М.М. Протодьяконовим, було виділено шість категорій руд і

вмісних порід родовища за показником вибухового подрібнення (табл. 2.1.). Гематит-магнетитові й магнетит-гематитові кварцити п'ятого залізного горизонту, що були об'єктом досліджень автора, належать до п'ятої категорії руд і гірських порід за показником вибухового подрібнення – руди, що дуже важко піддаються подрібненню та з категорією за буримістю XVII, коефіцієнтом міцності за шкалою проф. М.М. Протодьяконова 18-20 балів. За мінеральним, хімічним складом, структурою, текстурою, фізичними та іншими показниками магнетитові кварцити п'ятого залізного горизонту поділяють на два (перший і другий) мінералого-технологічні різновиди.

Руди цих різновидів, як зазначено вище, є вихідною сировиною рудозбагачувальної фабрики №2 Інгuleцького ГЗК, на якій використовуються млини самоподрібнення. Головною умовою їхньої стійкої роботи є стабільна подача рудного матеріалу оптимального гранулометричного складу. Для вирішення цього завдання необхідно збільшити вміст частинок крупністю понад 75 мм у рудному матеріалі після вибухового подрібнення з 40,7% до 45 мас.% [2]. Цієї мети можна досягти з використанням таких змін параметрів буро-вибухових робіт:

- розширення сітки свердловин;
- застосування конструкцій свердловинних зарядів, що відрізняються від тих, які використовують нині, і дають змогу змінити ступінь вибухового навантаження на руди та вмісні гірські породи;
- зміни режимів підривання;
- схеми комутації ланцюга вибухових свердловин, режимів уповільнення вибухів тощо;
- комбінування названих методів.

Очікуваний ефект:

- оптимізація роботи млинів самоподрібнення і, як результат, збільшення продуктивності устаткування, економія енергоресурсів;

- зменшення витрат вибухових речовин, зниження вартості вибухових робіт;
- зниження обсягу бурових робіт;
- у зв'язку зі зниженням кількості використовуваних ВР – зменшення викидів шкідливих газів.

Автор роботи зі спеціалістами цеху Кар'єр провели експерименти з розширення сітки вибухових свердловин без зміни величини свердловинних зарядів у межах покладу гематит-магнетитових і магнетит-гематитових кварцитів п'ятого залізного горизонту [20]. Відстань між свердловинами для руд першого мінералого-технологічного різновиду збільшилася на 1 метр, для руд другого різновиду – на 0,5 м. Відстань між рядами та між свердловинами в першому ряді залишилась без змін (рис. 3.1).

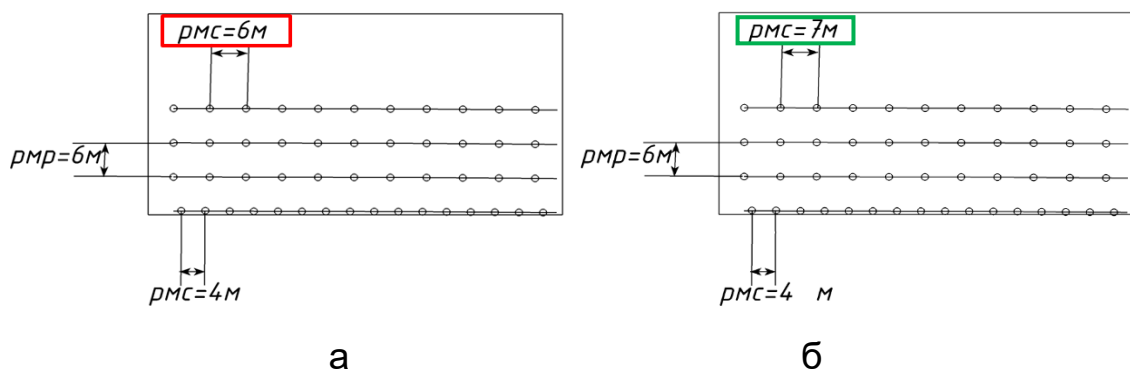
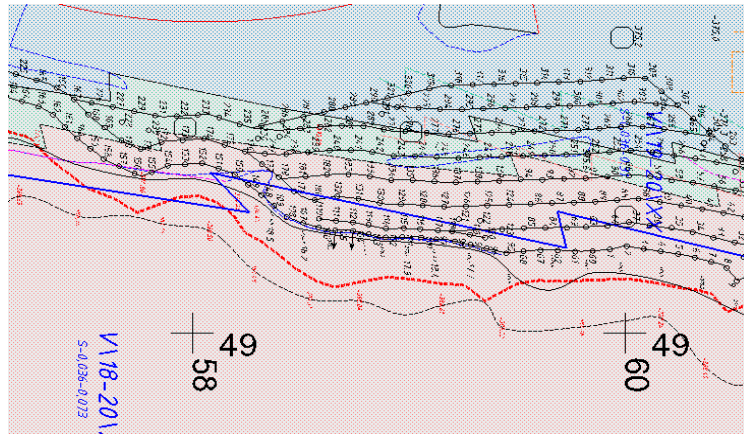


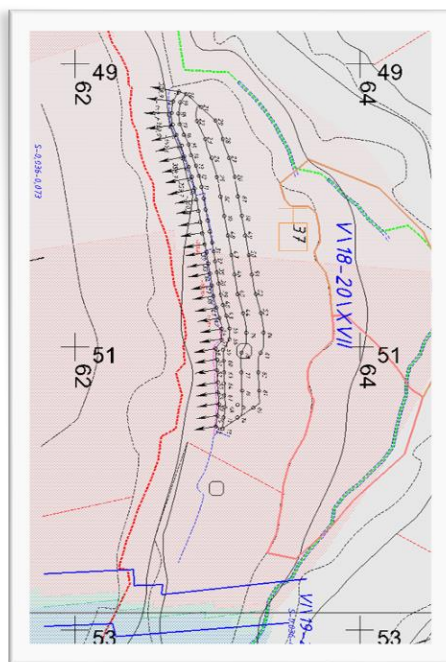
Рисунок 3.1. Схематичне зображення положення свердловин при V категорії вибуховості за паспортними (а) та експериментальними (б) даними для руд першого технологічного різновиду (розроблено автором роботи).

Для початку експерименту було проаналізовано гранулометричний склад руд першого та другого технологічного різновидів на підірваних блоках №84, №128 (рис. 3.2а) за існуючими параметрами БВР, а наступним етапом – за експериментальними

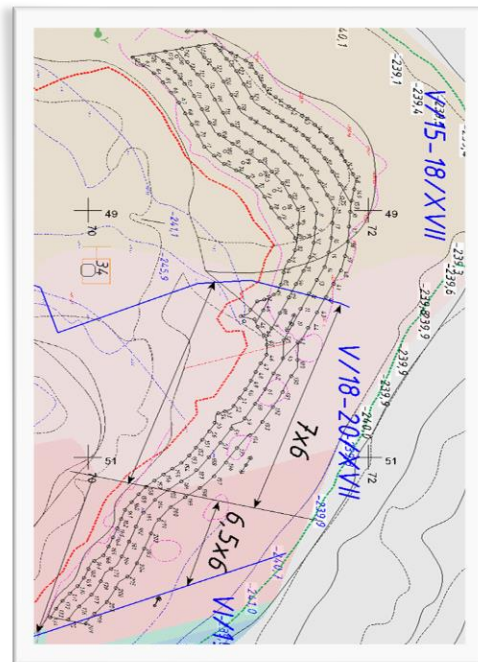
параметрами на блоках №176, №171 (рис.3.2б, в). Визначення гранулометричного складу проводили фотопланіметричним методом (рис. 3.3).



а



б



в

Рисунок 3.2. Проекти БВР блоку №84 за стандартною (а) та блоків №176 (б), №161 (в) за експериментальною методиками (розроблено автором роботи).



а



б



в



г

Рисунок 3.3. Фотопанограми ділянок рудних масивів, підірваних за стандартною (а, в) та експериментальною (б, г) методикою.

Отримані результати свідчать про збільшення середнього розміру куска в рудному матеріалі, підірваному за стандартною (245-260 мм) та експериментальною (333-366 мм) методиками (табл. 3.1).

Був також проведений порівняльний аналіз показників буровибухових робіт у відповідності до стандартної сітки свердловин та експериментальної. Відповідно за стандартною методикою за 7 місяців 2020 р. було підірвано руди першого технологічного різновиду 654 000 м³, другого 541 000 м³. Об'єм бурових робіт склав відповідно 23 409 і

17 817 п.м. Вибухової речовини витратили 1 070 578 та 735 872 кг. Питомі витрати вибухової речовини склали 1,64 та 1,36 кг/м³. Вихід гірничої маси склав 27,94 та 30,36 м³/п.м. (табл. 2.3).

Таблиця 3.1. Порівняльна характеристика середнього розміру куска підірваної рудної маси за стандартною та експериментальною методиками фотопланіметричним методом

№	Блок	Горизонт, м	Параметри сітки свердловин, м	Середній розмір куска, мм
Стандартна сітка (6*6 метрів)				
1	84	-390	6x6	245
2	128	-255	6x6	260
Експериментальна сітка (7*6 / 6,5*6 метрів)				
3	176	-375	7x6	333
4	161	-255	7x6 / 6x5	366

За 7 місяців 2021 року з використанням розширеної (експериментальної) сітки свердловин було підірвано 931 250 м³ першого різновиду руди та 192 000 м³ другого. Об'єм бурових робіт відповідно склав 32 609 та 5 744 п.м. Витрачено вибухової речовини 1 386 641 і 249 870 кг, питомі витрати вибухової речовини: 1,49 кг/м³ для першого технологічного різновиду та 1,30 кг/м³ для другого. Вихід гірничої маси склав відповідно 28,56 і 33,43 м³/п.м. (табл. 3.2).

З отриманих даних за 7 місяців 2020 та 2021 р. видно, що суттєво відбулося зниження показнику питомої витрати вибухової речовини на 0,15 кг/м³ по першому технологічному різновиду і на 0,06 кг/м³ по другому (рис. 3.4). Також відбулося підвищення виходу гірничої маси на 0,62 м³/п.м. по першому та на 3,06 м³/п.м. по другому різновиду (рис. 3.5).

В загальному вигляді питомі витрати вибухової речовини по руді з урахуванням запропонованих заходів по розширенню сітки свердловин знизились понад 3%, а вихід гірничої маси зріс на понад 10 %.

Таблиця 3.2. Зіставлення показників буро-вибухових робіт з використанням стандартної та експериментальної сітки свердловин

Період	Технологічні параметри	Одиниці вимірювання	Технологічні різновиди руди							Загалом
			1	2	3	4	5	6	7	
2020 р. (7 міс.) Стандартна сітка	Об'єм буріння	м.п.	23 409	17 817	5 238	12 686	20 792	56 853	29 656	166 450
	Об'єм підірваної гірничої маси	м ³	654 000	541 000	130 000	277 000	435 000	1 338 500	692 500	4 068 000
	Вибухова речовина	кг	1 070 578	735 872	184 884	417 454	679 720	2 039 011	1 037 978	6 165 497
	Питомі витрати вибухової речовини	кг/м ³	1,64	1,36	1,42	1,51	1,56	1,52	1,50	1,52
	Вихід гірничої маси	м ³ /м.п.	27,94	30,36	24,82	21,84	20,92	23,54	23,35	24,44
2021 р. (7 міс.) Експериментальна сітка	Об'єм буріння	м.п.	32 609	5 744	4 961	5 829	21 270	57 113	33 908	161 434
	Об'єм підірваної гірничої маси	м ³	931 250	192 000	116 000	126 750	503 000	1 637 000	877 000	4 383 000
	Вибухова речовина	кг	1 386 641	249 870	164 694	187 797	753 770	2 417 860	1 296 644	6 457 276
	Питомі витрати вибухової речовини	кг/м ³	1,49	1,30	1,42	1,48	1,50	1,48	1,48	1,47
	Вихід гірничої маси	м ³ /м.п.	28,56	33,43	23,38	21,74	23,65	28,66	25,86	27,15
Порівняння	Питомі витрати вибухової речовини	кг/м³	-0,15	-0,06	0,00	-0,03	-0,06	-0,05	-0,02	-0,04
	Вихід гірничої маси	м³/м.п.	0,62	3,06	-1,44	-0,09	2,73	5,12	2,51	2,71

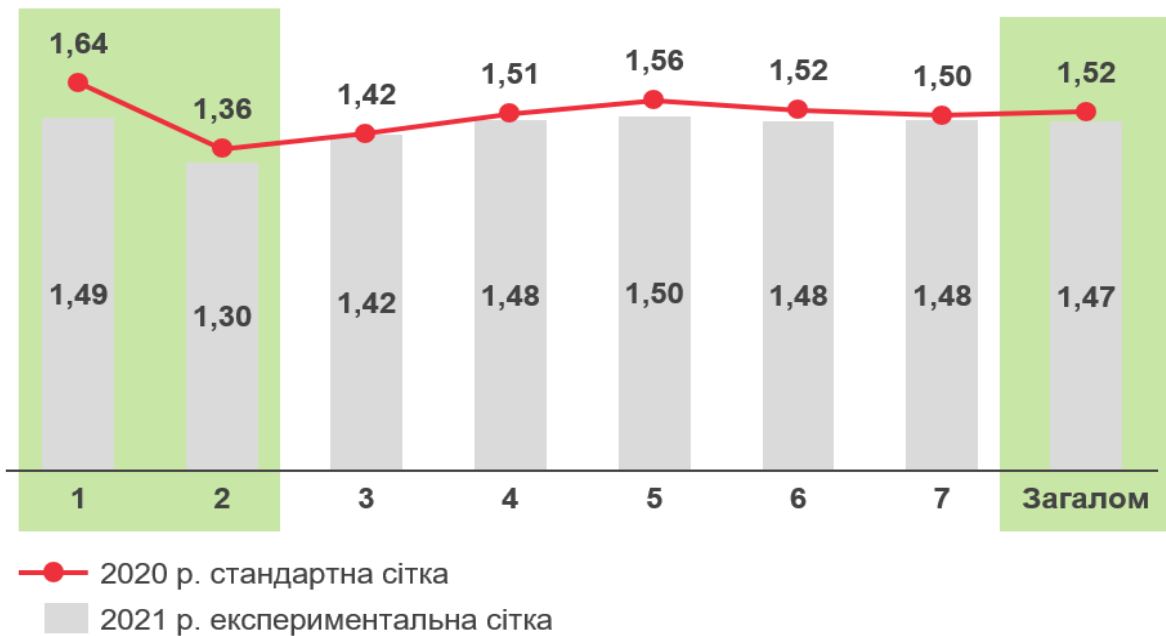


Рисунок 3.4. Питомі витрати вибухової речовини (кг/м³) по технологічним різновидам руди в кар'єрі ПрАТ «ІНГЗК».

1, 2...7 – технологічні різновиди руд (розроблено автором роботи)



Рисунок 3.5. Вихід гірничої маси (м³/м.п.) по технологічним різновидам руди в кар'єрі ПрАТ «ІНГЗК».

1, 2...7 – технологічні різновиди руд (розроблено автором роботи)

Використання розширеної сітки свердловин дозволило оптимізувати витрати вибухових речовин і бурових робіт, а також покращити техніко-економічні показники підприємства. Запропоновані заходи також позитивно вплинули на екологічний аспект роботи кар'єру завдяки зменшенню обсягів використання вибухових речовин і зниженню викидів шкідливих газів. Отримані результати є вагомою основою для подальшої оптимізації технології буро-вибухових робіт на ПрАТ «ІнГЗК» і можуть бути використані для підвищення ефективності видобутку на інших залізородних родовищах Кривбасу.

3.2. Оцінка впливу гранулометричного складу підготовлених до виймання гірських порід на ефективність роботи рудозбагачувальної фабрики №2

Розвиток гірничо-збагачувального виробництва безпосередньо пов'язаний з підвищенням ефективності дроблення та подрібнення корисних копалин. Одним із ключових параметрів, що впливають на ефективність збагачувальної фабрики № 2, є гранулометричний склад підготовленої до виймання рудної маси після вибухового подрібнення. Важливо забезпечити оптимальний розподіл крупності руди для ефективної роботи млинів самоподрібнення, які застосовуються у переробці залізних руд (магнетитових кварцитів) [2, 21, 22, 36].

Одним із шляхів підвищення продуктивності фабрики є коригування гранулометричного складу подрібненої руди. У кваліфікаційній роботі автором розглядається вплив збільшення вмісту частинок крупністю понад 75 мм після вибухового подрібнення з 40,7% до 45 мас. % на показники ефективності рудозбагачувальної фабрики, що працює за технологією самоподрібнення.

Процес самоподрібнення базується на руйнуванні частинок корисної копалини за рахунок їх взаємного зіткнення в барабанних млинах великого діаметра. Важливим чинником ефективності є співвідношення дрібних і крупних фракцій: крупні частинки виконують роль «помелевого середовища», здійснюючи механічне дроблення менших частинок; дрібні частинки сприяють рівномірному заповненню млина, підтримуючи стабільність процесу. Оптимальне співвідношення цих фракцій є критичним для досягнення високої продуктивності та економічності процесу [2, 21, 22, 36].

При надмірному зменшенні крупної фракції (частинок понад 75 мм) процес самоподрібнення стає менш ефективним через зниження кількості великих частинок, що беруть участь у руйнуванні дрібніших зерен. Водночас, занадто високий вміст крупної фракції може призвести до перевантаження млина, зниження швидкості подрібнення та зростання енерговитрат.

Слід також зауважити, що на основні показники ефективності роботи фабрики значний вплив мають вихідні якісні характеристики руд, кількісне співвідношення технологічних сортів в «шихті», що подається. Саме ці фактори визначають стабільність технологічного процесу, рівень вилучення корисних компонентів та загальну продуктивність виробництва.

У зв'язку з цим, протягом усього періоду експериментальних досліджень фахівці суворо контролювали вихідні параметри сировини, зокрема їх якісні показники (вміст в руді заліза загального; вміст заліза в складі магнетиту; показник збагачуваності руд), а також гранулометричний склад. Окрім того, забезпечувалось підтримання сталого співвідношення різних технологічних сортів руд, що дозволяло мінімізувати вплив змін у сировині на кінцеві результати збагачення.

Збереження стабільності вихідних параметрів є вкрай важливим для об'єктивної оцінки ефективності роботи фабрики. Це дозволяє

більш точно визначити вплив змін у технологічному процесі, оцінити ефективність впроваджених удосконалень та зробити коректні висновки щодо оптимізації виробництва.

В 2020 році протягом одного місяця було проаналізовано роботу рудозбагачувальної фабрики при стандартній подачі руди (близько 41% з розміром частинок більше 75 мм). Середня продуктивність секцій фабрики була на рівні 125-130 т/год (в середньому 129,2 т/год), а питома витрата електроенергії – 84,51-85,02 кВт/т (в середньому 84,69 кВт/т) (рис. 3.6). Якісні показники руд коливались в діапазоні: вміст в руді заліза загального від 35,7 до 36,9 мас.% (в середньому 36,1 мас.%); вміст заліза в складі магнетиту від 28,4 до 29,1 мас.% (в середньому 29,05 мас.%); показник збагачуваності руди від 62,5 до 64,3% (в середньому 63,6%); середнє співвідношення технологічне різновидів руд в «шихті»: 1 т.р. – 43,7%; 2 т.р. – 45,2%; 3 т.р. – 0,6%; 4 т.р. – 1,6%; 5 т.р. – 4,0%; 6 т.р. – 1,5%; 7 т.р. – 3,4% (рис. 3.7) [18].

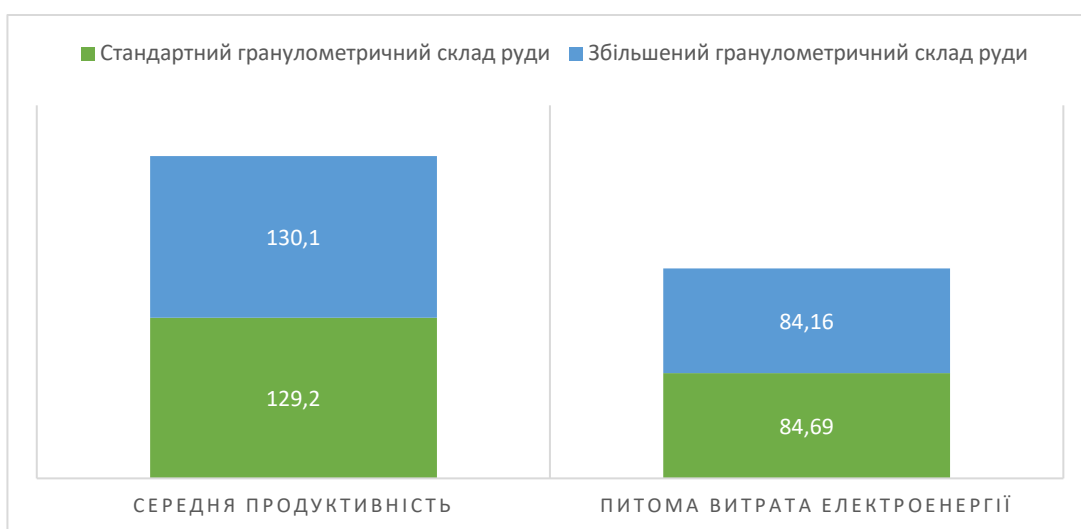


Рисунок 3.6. Показники середньої продуктивності секцій РЗФ-2 (т/год) та середні питомі витрати електроенергії (кВт/т) при стандартному та збільшеному гранулометричному складі руди (розроблено автором роботи)

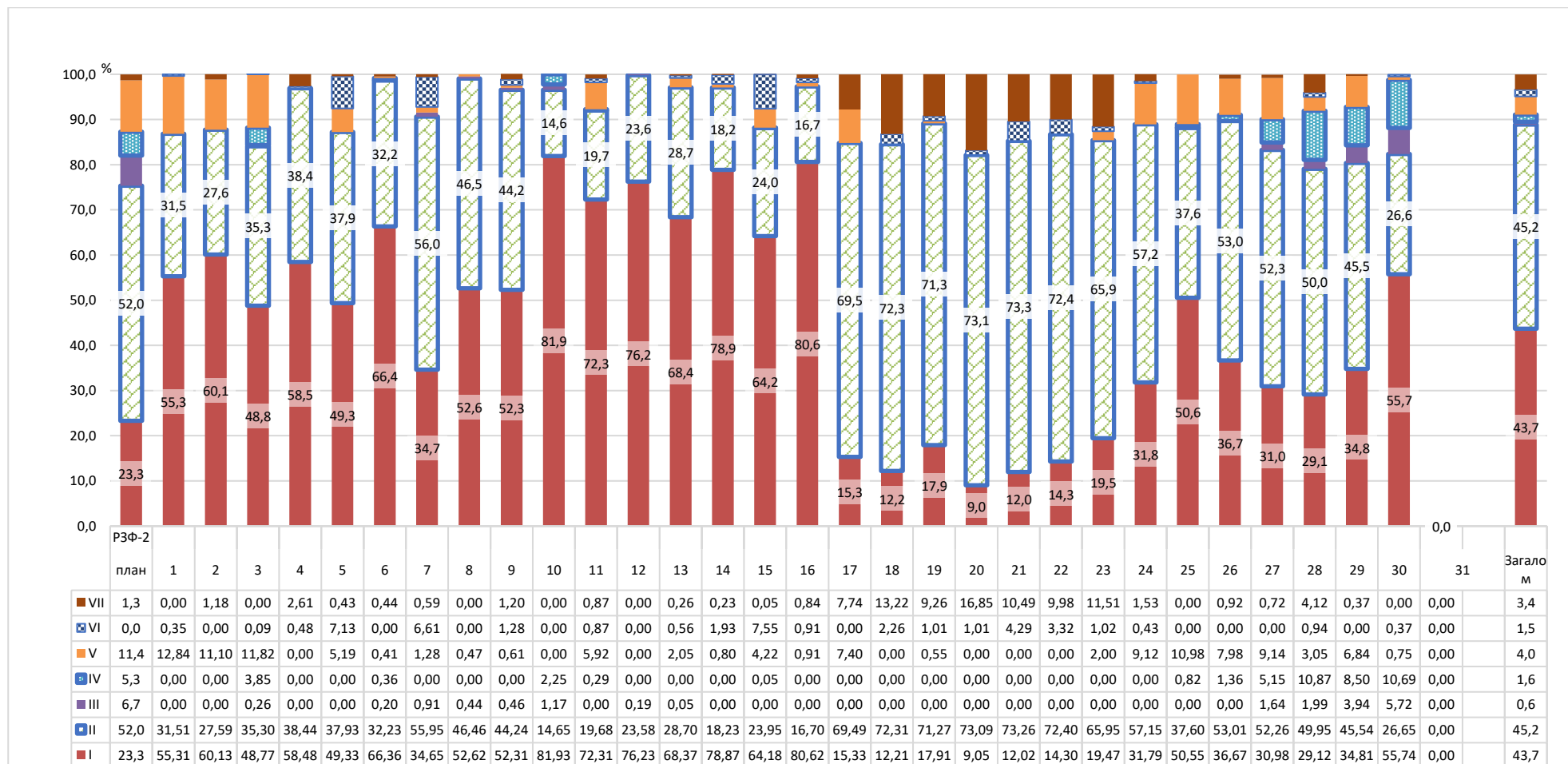


Рисунок 3.7. Відсоткове співвідношення технологічних різновидів руди в «шихті» для РЗФ-2 з стандартною величиною гранулометричного складу (розроблено автором роботи)

I, II... VII – технологічні різновиди руди

Після проведення експерименту з використанням розширеної сітки вибухових свердловин в 2021 році було організовано поставку руди зі збільшеною фракцією на рудозбагачувальну фабрику. Показник кількості руди зі збільшеним розміром частинок по відношенню до загального обсягу руди, що подається на РЗФ-2 контролювався щодобово (рис. 3.8.) [20].

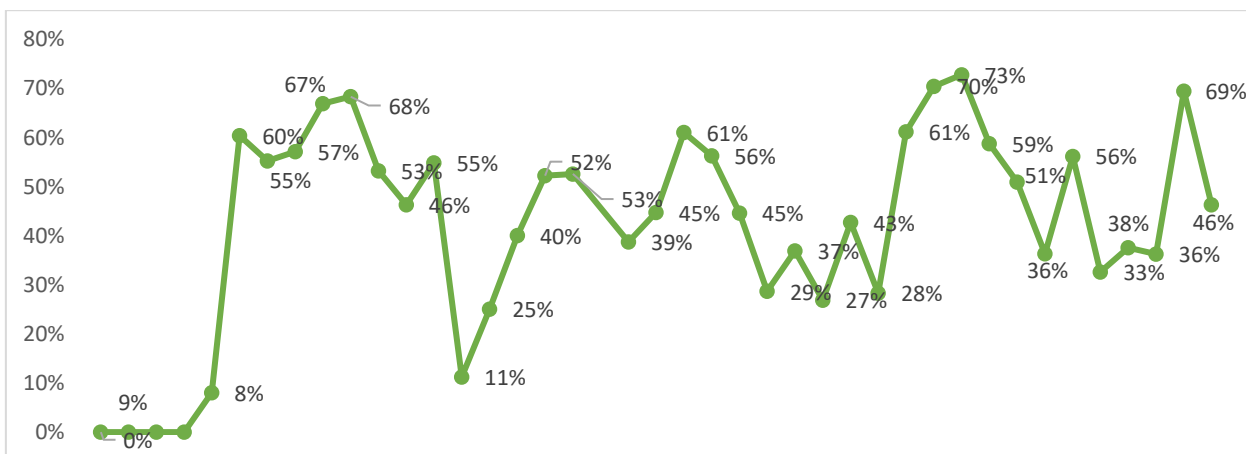


Рисунок 3.8. Об'єм руди збільшеної фракції в загальному обсязі поставки на РЗФ-2 (розроблено автором роботи)

Спеціалістами аналізувалася середньогодинна продуктивність секцій РЗФ-2. За отриманими результатами середня продуктивність секцій зросла на 0,827 т/год (коливання показника відбувалось в діапазоні від 127 до 131 т/год в середньому 130,1 т/год) (рис. 3.6). У зв'язку з приростом продуктивності секцій РЗФ-2 на 0,827 т/год відбулося зниження питомої витрати електроенергії – вона склала 84,16 КВт/т, що менше на 0,53 КВт/т по відношенню до стандартного гранулометричного складу поставленої на фабрику руди (рис. 3.6). Якісні показники руд були близькими до поставлених руд в 2020 році. Відсоткове співвідношення технологічних різновидів наведено на рисунку 3.9 [20].

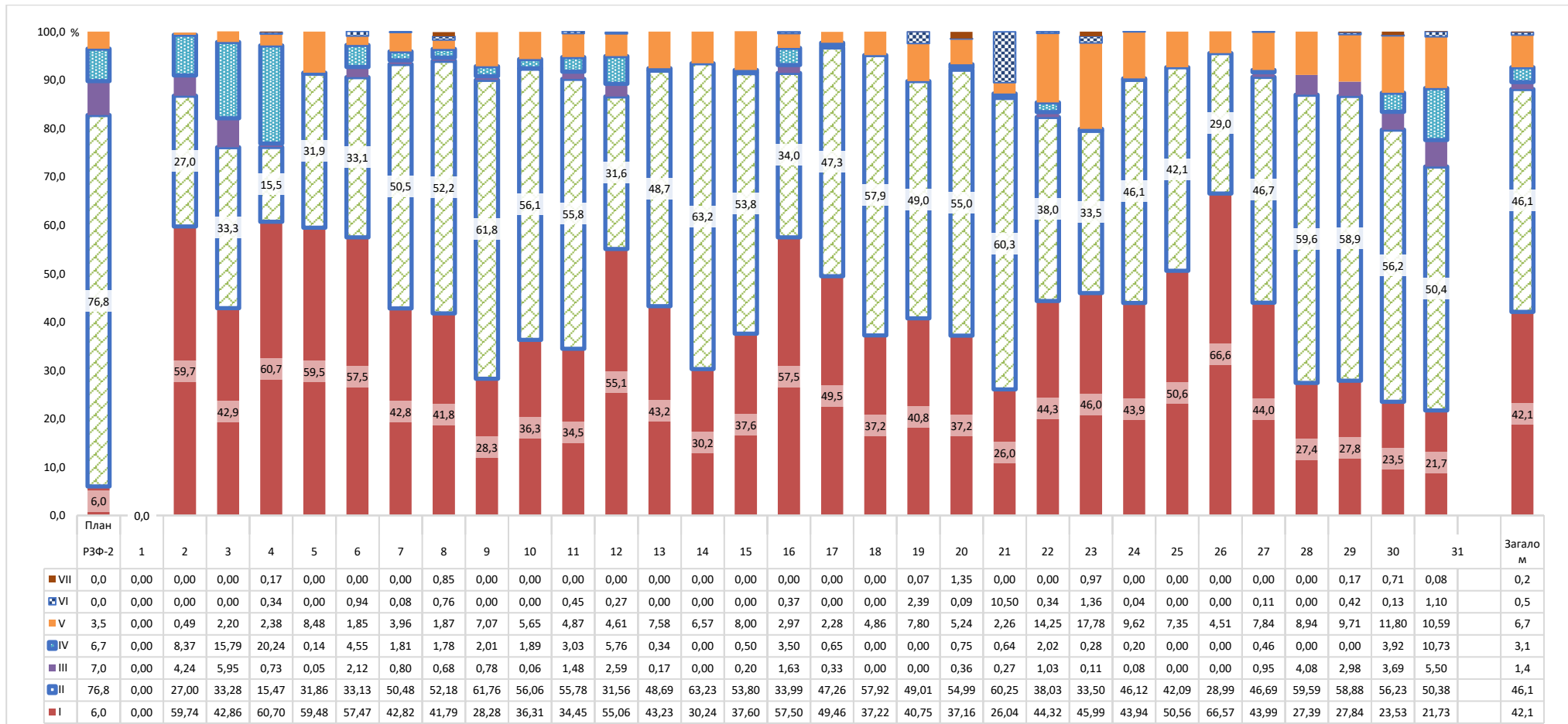


Рисунок 3.9. Відсоткове співвідношення технологічних різновидів руди в «шихті» для РЗФ-2 з експериментальною величиною гранулометричного складу (розроблено автором роботи)

I, II... VII – технологічні різновиди руд

Отже, з проведених досліджень встановлено, що збільшення вмісту частинок руди крупністю понад 75 мм з 40,7% до 45% сприяє підвищенню продуктивності рудозбагачувальної фабрики №2. Зокрема, середньогодинна продуктивність секцій фабрики зросла на 0,827 т/год, а питома витрата електроенергії знизилася на 0,53 кВт/т, що свідчить про покращення енергоефективності процесу самоподрібнення. При цьому якісні показники руди залишилися стабільними, що підтверджує ефективність такого підходу до оптимізації гранулометричного складу руди, що подається на збагачення.

3.3. Аналіз результативності показників економічної ефективності заходів з операційного покращення

Операційне покращення в галузі гірничодобувної промисловості є одним із ключових напрямків підвищення ефективності виробничих процесів. В умовах постійного зростання витрат на енергоносії, матеріали та обладнання, а також посилення екологічних вимог, підприємства змушені шукати нові підходи до оптимізації виробничих процесів. Це включає зменшення собівартості видобутку корисних копалин, покращення ефективності використання ресурсів та впровадження сучасних технологій, які дозволяють знизити вплив на довкілля та підвищити продуктивність.

Одним із таких підходів є вдосконалення методів проведення буровибухових робіт, які є основним етапом видобутку залізорудної сировини у кар'єрах. Оптимізація цього процесу дозволяє зменшити витрати вибухових матеріалів, скоротити обсяг бурових робіт та покращити загальні техніко-економічні показники виробництва.

У межах даної кваліфікаційної роботи було проведено дослідження щодо впровадження експериментальної сітки свердловин

для першого та другого технологічних різновидів руд. Даний підхід дозволив оцінити реальний вплив змін у конфігурації сітки свердловин на ефективність вибухового руйнування гірських порід, а також на подальші процеси транспортування та дроблення руди.

Результати проведених досліджень, представлені у попередніх розділах, свідчать про суттєві переваги використання оптимізованої сітки свердловин. Зокрема, завдяки новій конфігурації сітки вдалося значно зменшити питомі витрати вибухових речовин, що, у свою чергу, позитивно вплинуло на загальну економічну ефективність процесу. Внаслідок зменшення щільності буріння також було досягнуто скорочення витрат на експлуатацію бурового обладнання, включаючи витрати на паливо, бурові коронки та інші допоміжні матеріали.

Окрім цього, оптимізація сітки свердловин дозволила покращити гранулометричний склад висадженої гірничої маси, що сприяло підвищенню ефективності подальших етапів технологічного процесу. Більш однорідна гірнична маса забезпечує стабільну роботу дробильного та збагачувального обладнання, що знижує витрати на подальше подрібнення та переробку сировини.

У даному розділі проаналізовано показники ефективності використання стандартної та експериментальної сітки свердловин для сумарно 1-го та 2-го технологічних різновидів руд. Метою є встановлення економічної доцільності впровадження нових технологій, виявлення основних тенденцій зміни витрат і визначення потенційних шляхів для подальшого вдосконалення виробничих процесів. Аналіз спирається на дані за два періоди (2020 та 2021 роки), що дозволяє оцінити динаміку змін та зробити висновки про доцільність впровадження експериментальних підходів.

Головними параметрами за якими проводились розрахунки були:

- 1) вартість вибухових речовин;
- 2) вартість бурових робіт;

3) загальна собівартість робіт.

Головні технологічні показники буро-вибухових робіт (обсяги бурових робіт, вихід гірничої маси та ін.), які використовувались для розрахунку економічного ефекту охарактеризовані в розділі 3.1 (табл. 3.2). Слід зауважити, що в розрахунок увійшли показники тільки для першого та другого технологічних сортів руд в межах яких використовувалась розширена сітка вибухових свердловин.

1) Розрахунок загальної вартості вибухових речовин здійснювався за формулою:

$$\text{Вартість вибухових речовин} = \text{Обсяг ВР} \times 24.9 \text{ грн/кг}$$

Стандартна сітка:

$$\text{Обсяг вибухових речовин (1-й + 2-й): } 679720 + 735872 = 1415592 \text{ кг}$$

$$\text{Загальна вартість: } 1415592 \times 24.9 = 35244242 \text{ грн}$$

Експериментальна сітка:

$$\text{Обсяг вибухових речовин (1-й + 2-й): } 753770 + 249870 = 1003640 \text{ кг}$$

$$\text{Загальна вартість: } 1003640 \times 24.9 = 24980636 \text{ грн}$$

$$\text{Економічний ефект: } 35244242 - 24980636 = 10263606 \text{ грн}$$

2) Розрахунок вартості бурових робіт проводився за формулами:

$$\text{Вартість буріння} = \text{Обсяг буріння} \times 289.47 \text{ грн/м.п.}$$

$$\text{Кількість доліт} = \text{Обсяг буріння} / 190$$

$$\text{Вартість доліт} = \text{Кількість доліт} \times 55000$$

Стандартна сітка:

$$\text{Обсяг буріння (1-й + 2-й): } 5238 + 17817 = 23055 \text{ м.п.}$$

$$\text{Загальна вартість: } 23055 \times 289.47 = 6678201 \text{ грн}$$

$$\text{Кількість доліт (1-й + 2-й): } (5238 + 17817) / 190 \approx 122 \text{ долота}$$

$$\text{Загальна вартість: } 122 \times 55000 = 6710000 \text{ грн}$$

Експериментальна сітка:

$$\text{Обсяг буріння (1-й + 2-й): } 5440 + 19200 = 24640 \text{ м.п.}$$

$$\text{Загальна вартість: } 24640 \times 289.47 = 7129661 \text{ грн}$$

$$\text{Кількість доліт (1-й + 2-й т.р.): } (5440 + 19200) / 190 \approx 130 \text{ доліт}$$

Загальна вартість: $130 \times 55000 = 7150000$ грн

Зростання витрат: $(7129661 + 7150000) - (6678201 + 6710000) =$
 $=891460$ грн

3) Підсумкова собівартість робіт обчислюється як сума всіх витрат:
Загальна собівартість = Вартість вибухових речовин + Вартість
бурових робіт

Стандартна сітка:

Загальна собівартість: $35244242 + 6678201 + 6710000 = 48632443$ грн.

Експериментальна сітка:

Загальна собівартість: $24980636 + 7129661 + 7150000 = 39260297$ грн.

Економічний ефект: $48632443 - 39260297 = 9372146$ грн

Отже, впровадження експериментальної сітки свердловин у буро-вибухових роботах показало суттєву економічну ефективність у порівнянні зі стандартною сіткою. Розширені висновки базуються на аналізі отриманих результатів:

- використання експериментальної сітки дозволило знизити обсяг використаних вибухових речовин на 411952 кг або 29.1%. Це забезпечило економію коштів у розмірі 10263606 грн, що свідчить про значний вклад цього фактору у загальну економічну ефективність заходів.

- через збільшення плану добичі руди в 2021 р обсяги буріння збільшилися на 1585 м.п. (+6.87%), що призвело до зростання витрат на буріння на 451460 грн та використання доліт на 440000 грн в порівнянні з 2020 р, але в загальному вигляді (якщо порівнювати сітку свердловин стандартну і експериментальну за 2021 р) відбулося зниження витрат.

- загальна собівартість робіт при використанні експериментальної сітки знизилася на 9372146 грн або на 19.3%. Це значне скорочення є результатом раціонального використання ресурсів, скорочення обсягів вибухових речовин і впровадження інноваційного підходу до планування буро-вибухових робіт.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ПРИ ПРОВЕДЕННІ БУРО-ВИБУХОВИХ РОБІТ В КАР'ЄРІ

4.1. Охорона праці при проведенні буро-вибухових робіт в кар'єрі

Охорона праці при проведенні буро-вибухових робіт у залізорудному кар'єрі є одним із найважливіших аспектів забезпечення безпеки працівників та збереження технічних ресурсів підприємства. Буро-вибухові роботи відіграють ключову роль у процесі видобутку залізної руди, забезпечуючи ефективне руйнування гірських порід та підготовку рудної маси до подальшого транспортування та переробки.

Під час виконання буро-вибухових робіт існує значний ризик виникнення небезпечних ситуацій, таких як неконтрольовані вибухи, утворення вибухових газів, обвали породи, відмови свердловинних зарядів та вплив вібраційних хвиль на персонал і обладнання. Саме тому питання безпеки при виконанні бурових, зарядних та вибухових операцій набувають особливого значення.

4.1.1. Перевезення та доставка вибухової речовини до місць виконання робіт. Перевезення ВР транспортними засобами підприємств, що ведуть вибухові роботи (роботи з ВР), а також приймання ВР підприємствами-споживачами повинно здійснюватися згідно з інструкціями, розробленими згідно з вимогами «Правил безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення» щодо перевезень вибухових матеріалів залізничним, морським, річковим і повітряним, автомобільним видами транспорту з урахуванням місцевих умов [15]. Такі інструкції мають бути затверджені керівниками підприємств.

Доставка ВР повинна проводитися за встановленими керівником підприємства (керівником вибухових робіт) маршрутами під наглядом підривників або супроводжуючих осіб. При цьому доставка ВР може здійснюватися проінструкованими робітниками. Порядок одержання ВР від підривника і звіту про їх доставку визначається керівником підприємства.

Вибухові речовини і засоби ініціювання необхідно залишати окремо в сумках, касетах, заводській упаковці тощо.

Засоби ініціювання і бойовики можуть переноситися тільки підривниками.

Бойовики з детонаторами повинні переноситися в сумках із жорсткими осередками (касетах, ящиках), покритих зсередини м'яким матеріалом.

При спільній доставці СІ і ВВ підривник може переносити не більше 12 кг. Маса бойовиків, що переносяться підривником, не повинна перевищувати 10 кг.

У разі перенесення в сумках ВВ без СІ норма може бути збільшена до 24 кг.

Під час перенесення ВР у заводському пакуванні їхня кількість має бути в межах чинних норм перенесення важких предметів.

Під час доставки ВР зі складів безпосередньо до місць робіт за дозволом керівника підприємства (шахти, рудника тощо), що веде вибухові роботи, спільне перевезення ВВ, СІ та ПВА (прострілювальних і вибухових апаратів) допускається тільки за дотримання таких умов:

- завантаження транспортного засобу не більше ніж на 2/3 його вантажопідйомності;
- розміщення ЗВ у передній частині транспортного засобу в спеціальних ящиках, що щільно закриваються, з м'якими прокладками з усіх боків;

- розділення ВВ і ящиків із ЗВ способами, що виключають зіткнення упаковок із ВВ зі спеціальними ящиками для ЗВ;
- розміщення порохів і перфораторних зарядів у заводському пакуванні або в спеціальних ящиках і не ближче ніж на 0,5 м від інших ВР;
- закріплення ящиків та інших місць із ВР, що виключає удари й тертя їх один об одного.

Спільне перевезення ВР, за винятком груп сумісності В і F, на спеціалізованих автомобілях дозволяється при їх завантаженні до повної вантажопідйомності.

Автомобілі, що використовуються для перевезення ВМ, повинні відповідати вимогам «Правил перевезення вибухових матеріалів автомобільним транспортом».

Доставлення до місць роботи підричників разом із виданими їм ВР допускається тільки в автомобілях, призначених для цієї мети.

4.1.2. Безпека праці при буро-вибухових операціях. Під час виконання технологічних операцій, пов'язаних із підготовкою та здійсненням масових вибухів, персонал зобов'язаний керуватися відповідною нормативно-технічною документацією, що регламентує порядок проведення вибухових робіт. Усі інструкції та положення розробляються відповідно до чинних стандартів безпеки та керівних документів ПАТ «ПВП «Кривбасвибухпром».

Процес буріння свердловин здійснюється виключно згідно з затвердженим проектом бурових робіт та відповідним паспортом. Установка бурового верстата має виконуватися на рівній поверхні таким чином, щоб його гусенична база була розташована на відстані не менш ніж два метри від верхньої бровки уступу, при цьому орієнтація гусениць повинна бути перпендикулярною до уступу.

У випадках безперервного накопичення бурового шламу допускається використання бурового верстата для очищення

свердловин блоку, що підлягає заряджанню. Однак порядок його застосування та заходи безпеки повинні бути попередньо погоджені згідно з вимогами чинного законодавства.

Зони гирл свердловин у радіусі 0,7 м підлягають очищенню від уламків породи та залишків бурового шламу. Транспортні шляхи між рядами свердловин та під'їзди до блоків, що заряджаються повинні бути заздалегідь підготовлені для безпечного пересування технологічного транспорту.

Перед заряджанням вибуховими речовинами робочі блоки необхідно звільнити від сторонніх предметів та непотрібного обладнання. У разі утворення засмічення у свердловинах вибуховими матеріалами другої групи їх усунення допускається виключно за допомогою спеціального дерев'яного пробійника.

Монтаж та закріплення проміжних детонаторів у свердловині повинні гарантувати їхню стабільність і унеможливити випадкове падіння. У процесі заряджання та забивання свердловин необхідно уникати наїздів на детонаційні шнури, хвилеводи та гирлові ділянки свердловин.

Для позначення небезпечної зони встановлюються попереджувальні знаки, зокрема червоні прапорці або таблички з написом «СТІЙ! ВИБУХОВІ РОБОТИ». У цю зону заборонено допускати сторонніх осіб, які не беруть безпосередньої участі у підготовці вибухових робіт, заряджанні, набійці або комутації вибухових ланцюгів.

Категорично забороняється перебування людей під нестабільними гірськими утвореннями, такими як «заколи» або «козирики». Також не допускається знаходження працівників ближче ніж на 2/3 висоти уступу від його нижньої бровки.

Всі операції, пов'язані з масовим вибухом, виконуються виключно за командою відповідального керівника вибухових робіт та осіб, які

здійснюють технічний нагляд. Змінювати проєкт вибухових робіт без додаткового узгодження суворо заборонено.

Працівники повинні бути забезпечені спецодягом, засобами індивідуального захисту та справним робочим інструментом. Використання вибухових матеріалів має відповідати кількості, зазначеній у проєкті масового вибуху, перевищення допустимого обсягу забороняється.

Контроль за дотриманням проєктних параметрів вибуху здійснюється спеціально призначеними відповідальними особами, визначеними у наказі по кар'єру. Вибухові матеріали необхідно транспортувати та завантажувати обережно, забороняється їх кидати, кантувати або піддавати ударам.

Огляд території після вибуху проводиться візуально, починаючи з навітряного боку для запобігання впливу залишкових вибухових газів. До повного завершення перевірки та усунення можливих небезпек ходіння по висадженій гірській масі категорично заборонено.

Організація оповіщення та регулювання проведення вибухових робіт здійснюється згідно з «Інструкцією з організації використання повітряного простору під час проведення вибухових робіт у кар'єрі ПРАТ «ІНГЗК».

Також важливими заходами з охорони праці є вимоги до порядку виведення людей за межі забороненої та небезпечної зони:

- процедура виведення працівників за межі забороненої та небезпечної зони під час виконання вибухових робіт здійснюється згідно з нормативною документацією та відповідними інструкціями;

- межі забороненої зони під час підготовки та здійснення масового вибуху визначаються у проєктній документації, зокрема у паспорті ведення вибухових робіт;

- у разі виконання тривалих заряджувальних робіт мінімальна відстань, що встановлюється для забороненої зони, повинна становити не менше ніж 20 метрів від найближчого заряду;

- під час проведення вибухових робіт перебування сторонніх осіб у межах забороненої зони категорично забороняється. Контроль за недопущенням сторонніх осіб здійснюють охоронні служби вибухових блоків, а також працівники вибухової ділянки, які виконують безпосередні роботи у цій зоні;

- у межах забороненої зони переміщення дозволяється виключно технологічному транспорту, який рухається за визначеними маршрутами, передбаченими проектом;

- в зоні проведення вибухових робіт можуть перебувати виключно особи, які безпосередньо задіяні у процесі заряджання свердловин або є відповідальними за безпечне виконання робіт. Інші працівники чи посадові особи допускаються у цю зону лише за наявності спеціального дозволу або перепустки, погодженої з підривником, який керує роботами на вибуховому блоці;

- границі небезпечної зони вибуху визначаються у графічній частині паспорта масового вибуху. Вони розраховуються індивідуально для кожного вибуху з урахуванням конкретних умов роботи;

- співробітники, які здійснюють охорону небезпечної зони вибуху, розміщуються на постах, визначених у проєктній документації та нанесених на план кар'єру;

- усі постові охорони небезпечної зони зобов'язані пройти інструктаж перед початком чергування. Ознайомлення з розташуванням постів підтверджується їхнім особистим підписом.

- обов'язки постових та старшого сектору при виконанні охоронних заходів регламентуються відповідними розділами нормативної документації та інструкцій.

4.1.3. *Порядок допуску працівників Державного воєнізованого гірничо-рятувального загону (ДВГРЗ) для контролю загазованості рудничної атмосфери, підривників для визначення повноти вибуху та робітників на свої робочі місця після масового вибуху.* За добу до початку зарядки вибухових блоків відповідальна особа, що здійснює підготовку кар'єру до масового вибуху, передає керівнику робіт із забезпечення вибухових заходів супровідну інформацію щодо району запланованих підривних робіт, а також місць, де будуть відбиратися проби повітря. Одночасно визначається розташування командного пункту (КП) та перевіряється його забезпечення засобами зв'язку, у тому числі з підрозділами ДВГРЗ. У разі необхідності аналізуються та уточнюються ключові положення оперативного плану ліквідації можливих аварій, які можуть виникнути під час виконання вибухових робіт.

Якщо під час ознайомлення з районом майбутнього вибуху керівником робіт із забезпечення масового вибуху виявлено порушення правил безпеки, вони фіксуються у пропозиціях ДВГРЗ щодо покращення протиаварійного захисту об'єкта. Один примірник таких зауважень передається керівнику підприємства (шахти, рудника, кар'єру). Підрозділ ДВГРЗ не розпочинає виконання робіт із забезпечення вибуху до отримання офіційного письмового підтвердження про усунення виявлених порушень.

У день проведення масового вибуху підрозділи ДВГРЗ прибувають на територію кар'єру не пізніше ніж за одну годину до початку вибуху. Вони діють під керівництвом відповідальної особи з організації вибухових робіт.

Дії відповідального за підготовку кар'єру до МВ після вибуху:

- особисто перебуває на КП та забезпечує присутність технічного персоналу та представників служб підприємства, які можуть брати

участь у керуванні вибуховими роботами та вжитті заходів щодо ліквідації можливих аварійних ситуацій;

- передає керівнику вибухових робіт письмові завдання щодо виконання технічних заходів, а також вносить ці відомості до оперативного журналу;

- отримує оперативну інформацію від керівника вибухових робіт і, за необхідності, приймає рішення щодо змін у завданнях, продовження або завершення заходів із забезпечення вибуху;

- виконує свої обов'язки відповідно до затвердженого плану ліквідації аварій у разі виникнення надзвичайної ситуації у районі вибуху або на суміжних об'єктах (шахті, руднику, кар'єрі).

Дії керівника робіт із забезпечення вибухових заходів після вибуху:

- перебуває разом із відділеннями на КП;

- отримує від відповідального за підготовку кар'єру письмові завдання щодо проведення робіт із забезпечення вибуху;

- призначає старших відділень та розподіляє між ними відповідні обов'язки;

- проводить інструктаж респіраторників щодо правил охорони праці згідно з чинними нормативними документами;

- перевіряє наявність та стан засобів зв'язку на КП, забезпечує ними старших відділень та погоджує з відповідальною особою з підготовки кар'єру спосіб транспортування респіраторників до району вибуху;

- особисто вносить записи до оперативного журналу на підставі повідомлень від старших відділень про хід виконання робіт та передає цю інформацію відповідальній особі;

- інформує старших відділень про можливі зміни у завданнях та додаткові заходи, якщо вони не суперечать вимогам нормативних документів;

- отримує розпорядження від відповідального за підготовку кар'єру щодо відбору контрольних проб повітря у районі вибуху та завершення робіт із забезпечення безпеки.

- керує аварійно-рятувальними роботами та підтримує зв'язок з відділеннями, які перебувають у небезпечній зоні, аж до прибуття додаткових підрозділів ДВГРЗ.

Допуск бійців ДВГРЗ або інших посадових осіб, що контролюють стан повітря у кар'єрі після вибуху, здійснюється за командою відповідального керівника вибуху (від організації, що виконує вибухові роботи). Вхід дозволяється не раніше ніж через 15 хвилин після вибуху.

Після провітрювання гірничих виробок шахти, рудника, кар'єру або об'єктів ЦПТ та визначення хімічного складу повітря у робочих зонах, керівник вибухових робіт передає відповідальному за підготовку кар'єру до масового вибуху результати останніх експрес-аналізів рудникового повітря.

Після завершення заходів із забезпечення вибухових робіт керівник визначає завдання для відбору контрольних проб повітря. Лише після цього він отримує дозвіл відповідального керівника вибуху на завершення робіт та повернення підрозділу ДВГРЗ до місця дислокації.

Допуск посадових осіб або працівників підприємства для перевірки якості підривання блоків виконується за командою керівника вибуху після повного розсіювання пилогазової хмари, відновлення нормальної видимості у кар'єрі, а також отримання підтвердження з постів ДВГРЗ про відсутність у повітрі небезпечних концентрацій продуктів вибуху. Огляд дозволяється не раніше ніж через 30 хвилин після вибуху.

Перевірка підірваних блоків виконується лише візуально, без фізичного переміщення працівників по висадженій гірській масі.

У разі відсутності нездетонованих зарядів відповідальний керівник вибухових робіт подає команду «Відбій». Після цього пости охорони небезпечної зони можуть бути зняті.

Допуск технічного персоналу та робітників у шахту, рудник, кар'єр або об'єкти ЦПТ здійснюється тільки після того, як концентрація токсичних газів у районі вибуху буде знижена до гранично допустимих норм, що підтверджується експрес-аналізами. Дозвіл на вхід надає відповідальний керівник вибухових робіт, з урахуванням вимог галузевих правил безпеки та параметрів проекту масового вибуху.

4.1.4. Заходи з виявлення та ліквідації свердловинних зарядів вибухових речовин, що відмовили. У разі виявлення одиночного свердловинного заряду, що відмовив (або підозру на нього), машиніст екскаватора зобов'язаний:

- припинити роботу, вивести обладнання за межі 20-метрової зони, виставити попереджувальні знаки;
- повідомити диспетчера кар'єра та викликати особу технагляду;
- у журналі прийому-здачі зміни зробити запис із зазначенням вжитих заходів, часу та П.І.Б особи технагляду.

Кожен заряд, що відмовив повинен бути зафіксований у журналі реєстрації відмов при вибухових роботах.

Рішення про спосіб ліквідації відмовивших зарядів приймає керівник вибухових робіт. У місцях відмов забороняються будь-які роботи, що не пов'язані з ліквідацією відмов.

Ліквідацію відмов свердловинних зарядів треба проводити відповідно вимог пункту 5.11.глави 5 розділу VII НПАОП 0.00-1.66-13 [15].

Ліквідацію відмов дозволено проводити вибухом заряду, що відмовив у випадках, коли це не приведе до небезпечного розльоту шматків пороли або впливу УПВ під час вибуху.

Ліквідація свердловинного заряду що відмовив, проводиться у світлий час доби машиністом екскаватора в присутності вибухового персоналу, після письмового дозволу в журналі прийому-здачі зміни. Черпання гірської маси проводити не ближче 0,5 м від заряду ВР, що відмовив. У випадку проявлення кінців ДШ, хвильоводів та проміжних детонаторів треба тимчасово припинити розбірку породи та вручну вилучити їх з місця відмови, дотримуючись таких попереджувальних заходів:

- вилучення ЗІ з свердловини проводять після попередньої підготовки місця відмови, що включає прибирання осипів, нависів, планування майданчику для їх вилучення. У випадку неможливості вилучення залишків ВР з перебуру або залишків ВР у перебурі не знайдено, цей заряд розглядається як неліквідований, про що складається відповідний запис у журналі реєстрації відмов під час проведення вибухових робіт.

Акт про ліквідацію заряду, що відмовив складається протягом 3 днів у 2-х екземплярах за підписом осіб, відповідальних за ліквідацію відмови, та маркшейдера, який виконав зйомку місця відмов.

Маркшейдерською службою проводиться зйомка місця одиночного, групового чи масових відмов, відзначається на викопіюванні вибухового блоку і плані гірничих робіт, а після вибуху переноситься на план бурових робіт нижнього блоку.

У разі виявлення групових відмов проводиться зачистка методом розбирання гірської маси екскаватором рівня цілика.

На поверхні уступу вибуховий персонал проводить візуальний огляд та витяг з гірської маси залишків ВР.

Після зачистки та підготовки блоку до перебуру, маркшейдер виставляє точки на буріння інструментально, мінімальна відстань від осі свердловинних зарядів, що відмовили, до місця буріння нових свердловин має бути не менше 3-х метрів.

Екіпаж екскаватора, який працює в районі ліквідації групових відмов, повинен бути проінструктований та ознайомлений з планом гірничих робіт та місцями відмов.

Масові відмови виявляються після виробництва вибуху під час огляду блоків на повноту підривання. Характерною особливістю відмови свердловинних зарядів є відсутність слідів руйнування блока та наявність поверхневої вибухової мережі. Огляд місця масових відмов виконується від врубу блоку, проти направлення дії вибухового імпульсу.

Ліквідація масових відмов здійснюється, зазвичай, повторним підриванням, у день виробництва масового вибуху.

Усі роботи пов'язані з ліквідацією свердловинних зарядів, що відмовили, проводити відповідно до «Технологічної інструкції з попередження, виявлення та ліквідації свердловинних зарядів ВР, що відмовили, на відкритих гірничих роботах»(Приказ №342 від 12.05.2014 року. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України) [16]

4.2. Зниження впливу екологічного навантаження на довкілля при вибухових роботах з використанням експериментальної сітки свердловин

Зменшення пилогазовиділень під час масових вибухів досягається завдяки технологічним, інженерно-технічним і організаційним заходам [6, 7, 18, 24, 25].

До технологічних заходів включають підривання на неприбрану гірську масу для зменшення викидів пилу та газів, використання гідрогелю та крупнозернистих матеріалів у забійці, застосування вибухових речовин із нульовим кисневим балансом, а також зниження використання тротилових сумішей.

Інженерно-технічні заходи передбачають зрошення вибухових блоків водою з поверхнево-активними речовинами, створення водяних завіс, осушення свердловин та використання гідрозабійки.

Організаційні заходи спрямовані на виконання масових вибухів в кар'єрах у періоди максимальної вітрової активності для прискореного розсіювання пилогазової хмари.

На кар'єрі ПрАТ «ІНГЗК» застосовується короткосповільнене підривання свердловинних зарядів, що утворює пилогазову хмару. Визначення концентрації забруднюючих речовин після вибухів здійснюється за методикою «Кривбаспроект» і свідчить про дотримання гранично допустимих норм. Для контролю забруднення передбачено систему моніторингу повітря.

З метою зниження пилогазових викидів на підприємстві впроваджено наступні заходи:

- проведення вибухів у затиснутому середовищі (зменшення викидів на 20%);
- оптимізація зарядів вибухових речовин відповідно до рекомендацій НДГРІ для зниження сейсмічних коливань;
- використання внутрішньої гідрозабійки свердловин у поліетиленових рукавах (ефективність пилоподавлення – до 50%);
- зволоження набійки водою або використання водонаповнених свердловин (зниження викидів на 30-40%);
- обробка поверхні вибухового блоку розчинами бішофіту для пилоподавлення (ефективність – 13%);
- використання неелектричних систем ініціювання вибуху для підвищення точності підривних робіт;
- контроль запиленості та загазованості до і після вибухів.

Досліджуються й альтернативні методи, такі як водяні гідрозабійки (зовнішні, внутрішні та комбіновані), застосування гідрогелю для зниження викидів пилу та газів, обробка вибухових блоків піною або

штучним снігом. Проте деякі з цих методів мають обмежену ефективність через складність їх реалізації та високі фінансові витрати [6, 7, 18, 24, 25].

Найперспективнішим методом вважається дрібнодисперсне зрошення, яке демонструє високу ефективність пилоподавлення. Водночас, багато сучасних методів потребують додаткових допоміжних операцій, що ускладнює їх впровадження у масштабних кар'єрах. Отже, оптимальним підходом залишається поєднання існуючих заходів із впровадженням нових технологій виконання буро-вибухових робіт та технологій зрошення та пилопригнічення.

У кваліфікаційній роботі детально проаналізовано ефективність оптимізації вибухових робіт. Зокрема, особливу увагу приділено впровадженню більш раціональної схеми розташування вибухових свердловин при розробці першого та другого технологічного різновиду руд. Це нововведення стало можливим завдяки спільній роботі автора дослідження та спеціалістів структурного підрозділу «Кар'єр», що дозволило значно підвищити ефективність використання вибухових матеріалів та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

Впровадження розширеної сітки свердловин, як зазначено вище, сприяло суттєвому скороченню обсягів використання вибухової речовини Україніт-ПП-2Б. Якщо до впровадження змін маса вибухових матеріалів становила 1 806 450 кг, то після оптимізації цей показник знизився майже на 10% і склав 1 636 511 кг.

Окрім зниження витрат на вибухові роботи, важливим результатом такого підходу стало значне скорочення викидів шкідливих газів у атмосферу. Оцінка обсягів забруднюючих речовин проводилася на основі паспортних характеристик вибухової речовини Україніт-ПП-2Б, згідно з якими при згорянні одного кілограма вибухової речовини вивільняється 762 літри шкідливих газів. Відповідно, зменшення використання вибухівки на 169 939 кг дозволило скоротити загальний

обсяг викидів шкідливих газів на 129 493 518 літрів. Це є суттєвим показником покращення екологічної безпеки вибухових робіт та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

Таким чином, проведена оптимізація технологічного процесу дозволила не лише підвищити економічну ефективність вибухових робіт за рахунок зниження витрат на вибухові матеріали, а й значно покращити екологічні показники. Скорочення викидів шкідливих газів сприяє зменшенню забруднення повітря, що позитивно позначається на довкіллі та здоров'ї працівників кар'єру й мешканців прилеглих територій. Ці результати свідчать про доцільність подальшого вдосконалення методів буро-вибухових робіт, впровадження новітніх технологій та використання більш екологічно безпечних вибухових речовин.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що ефективність вибухового подрібнення гірничої маси є важливим фактором, що безпосередньо впливає на продуктивність усіх наступних етапів технологічного циклу: навантаження, транспортування, дроблення та збагачення. Для забезпечення якісної роботи технологічного обладнання важливо підтримувати гранулометричний склад підірваних порід у межах оптимальних параметрів, які залежать від робочих характеристик екскаваторів, автосамоскидів та дробарок.

2. Аналіз літературних джерел дозволив визначити основні методи оцінки гранулометричного складу порід, які поділяються на прямі та непрямі. Прямі методи, такі як ситовий аналіз, кількісний облік негабаритів і фотопланіметричний метод, характеризуються високою точністю, але є трудомісткими та часозатратними. Непрямі методи засновані на математичних моделях і статистичній залежності, що дозволяє швидко оцінювати гранулометричний склад. Вони зручні для попередніх розрахунків, але можуть давати похибки через спрощення моделей. Для оптимізації оцінки гранулометрії доцільно комбінувати прямі та непрямі методи, забезпечуючи баланс між точністю, швидкістю та ефективністю.

3. Складна геологічна будова Інгулецького родовища, що включає широкий спектр порід із різними фізико-механічними властивостями, значно впливає на організацію та результати буро-вибухових робіт. Неоднорідність порід, їх міцність, тріщинуватість і щільність вимагають ретельного підходу до планування параметрів вибухових робіт, адаптації технологій і раціонального використання вибухових матеріалів.

4. Експериментальні дослідження довели, що використання розширеної сітки свердловин у межах п'ятого залізного горизонту Інгулецького родовища забезпечило:

- зниження питомої витрати вибухових речовин на понад 3% та зростання виходу гірничої маси на понад 10%, що зменшило витрати на вибухові роботи;

- збільшення частки матеріалу крупністю понад 75 мм у рудній масі, що забезпечило стабільну роботу млинів самоподрібнення на рудозбагачувальній фабриці №2;

- покращення екологічних показників завдяки зменшенню обсягів використання вибухових речовин і викидів шкідливих газів.

5. Доведено, що оптимізація гранулометричного складу рудної маси після вибухового подрібнення позитивно впливає на ефективність роботи рудозбагачувальної фабрики №2. Збільшення вмісту частинок крупністю понад 75 мм з 40,7% до 45% дозволило підвищити середньогодинну продуктивність секцій фабрики на 0,827 т/год, що свідчить про зростання загальної продуктивності підприємства. Також відзначено покращення енергоефективності процесу, оскільки питома витрата електроенергії знизилася на 0,53 кВт/т, що є вагомим показником економічної доцільності впроваджених змін. При цьому якісні показники руди залишалися стабільними, що свідчить про контрольованість і надійність запропонованого підходу до коригування гранулометричного складу руди.

6. Впровадження експериментальної сітки свердловин у буровибухових роботах продемонструвало значну економічну ефективність. Зниження обсягу використання вибухових речовин на 29,1% призвело до економії понад 10 мільйонів гривень. Збільшення витрат на буріння через більший обсяг робіт компенсується значним скороченням витрат на вибухові матеріали, що в цілому знижує собівартість робіт майже на 20%. Отримані результати підтверджують доцільність впровадження

нових технологій та оптимізації процесів для підвищення економічної ефективності та раціонального використання ресурсів у гірничодобувній промисловості.

7. Оптимізація вибухових робіт, зокрема впровадження раціональної схеми розташування вибухових свердловин, дозволила досягти значного прогресу у зниженні негативного впливу на довкілля. Завдяки розширенню сітки свердловин вдалося скоротити використання вибухової речовини Українит-ПП-2Б майже на 10%, що призвело до зменшення викидів шкідливих газів на 129 493 518 літрів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бизов В.Ф. Вибухові роботи / В.Ф.Бизов, П.Й.Федоренко. Кривий Ріг: Мінерал, 2001. 230 с.
2. Ведення процесу збагачення магнетитових кварцитів в умовах фабрики безшарового подрібнення / Технологічна інструкція № ТІ 00190905.07.001-2019 // Кривий Ріг: Інгулецький гірничозбагачувальний комбінат, 2019.
3. Дриженко А.Ю. Відкрита розробка залізних руд України: стан і шляхи удосконалення: Монографія / А.Ю. Дриженко, Г.В. Козенко, А.О. Рикус // Національний гірничий університет, 2008. 452 с.
4. Євтехов В.Д. До проблеми розвитку мінерально-сировинної бази Криворізького басейну / В.Д.Євтехов, І.С.Паранько // Мінеральні ресурси України. 1999б. №2. С. 7-11.
5. Звіт про управління Приватного акціонерного товариства «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат». Кривий Ріг, 2020. 14 с.
6. Іщенко М.І. Еколого-економічні напрямки удосконалення технології підривних робіт на кар'єрах / М.І.Іщенко // Наука і освіта: матер. міжнар. наук.-практичн. конф. Дніропетровськ. 2003. Т.27. С. 33–35.
7. Іщенко М.І. Перспективи підвищення еколого-економічної ефективності вибухових робіт у Криворізьких залізрудних кар'єрах / М.І.Іщенко // Розвиток методів добичі руд чорних і супутніх металів та шляхи їх подальшого удосконалення: Матер. міжнар. наук.-техн. конф. присвяченої 70-річчю ГНІГРГ. Кривий Ріг. 2003. С. 159–163.
8. Купін А.І. Математична модель буро-вибухових робіт в оптимізаційній системі підтримки прийняття рішень / А.І.Купін, І.О.Музика. Східно-європейський журнал передових технологій. 2010. №8 (48). С. 56-59.

9. Курінний В.П. Фізичні аспекти руйнування гірських порід вибухом / В.П.Курінний. Дніпропетровськ: НГУ, 2009. 158 с.

10. Кривцов О.М. Про оперативне управління енергією вибуху при подрібненні негабаритних фракцій накладними зарядами / О.М. Кривцов, С.В. Ковалевич // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Гірництво» : зб. наук. пр. – К., 2006. С.81–84.

11. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. Київ: МППУ. 2008. 702с.

12. Перегудов В.В. Підвищення ефективності підривних робіт в складних гірничо-геологічних умовах залізородних родовищ: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.15.03 „Відкрита розробка родовищ корисних копалин” / В.В.Перегудов. Кривий Ріг, 2012. 20 с.

13. Перегудов В. В. Аналіз теоретичних передумов вибухового впливу на гірські породи / В.В.Перегудов // Вісник Житомирського державного технологічного університету. 2009. № 48. С. 205–208.

14. Перегудов В. В. Вплив вибухової дії на фізико-технологічні властивості залізородної сировини / В.В.Перегудов // Вісник Криворізького технічного університету : зб. наук. праць. 2008. № 21. С. 24–27.

15. Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення: НПАОП 0.00-1.66-13: затв. М-вом енергетики та вугіл. пром-сті України 12.06.2013.– Луганськ: ЛЕТЦ, 2013.– 194 с.

16. Про затвердження Інструкції щодо запобігання, виявлення і ліквідації відмов свердловинних зарядів на відкритих гірничих роботах. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0563-14#Text> (дата звернення: 11.02.2025).

17. Прокопенко В.С. Фізико-технічні основи руйнування скельних порід вибухами свердловинних зарядів вибухових речовин у рукавах: дис. доктора техн. наук: 05.15.11 / В.С.Прокопенко. К., 2003. 380 с.

18. Савотченко О. М. Дослідження параметрів пилогазових викидів при вибухових роботах у кар'єрах / О.М.Савотченко, О.В.Зберовський // Збірник наукових праць НГУ. 2017. № 51. С. 218–226

19. Сименович Г.А. Руйнування гірських порід вибухом / Г.А.Сименович, В.П.Меліхов // Навчальний посібник. Дніпропетровськ, ДНГУ, 2003. 116 с.

20. Смірнов О.Я. Підвищення продуктивності РЗФ за рахунок оптимізації гранулометричного складу підірваної гірської маси в кар'єрі ПРАТ «ІНГЗК». Міжнародна наукова конференція «MININGMETALTECH 2024 - Гірничо-металургійний комплекс: інтеграція бізнесу, технологій та освіти»: матеріали конференції (28-29 листопада 2024 р.) / О.Я. Смірнов, В.О. Стрельцов. Запоріжжя, 2024, С. 296-299.

21. Сокур М. І. Випробування технології комбінованого подрібнення на Інгулецькому ГЗК / М.І. Сокур, В.С. Білецький // Гірничий вісник : наук.-техн. зб. Кривий Ріг: КНУ, 2022.– Вип. 110.– С. 67-70.

22. Сокур М. І. Експериментальні дослідження напруженого стану барабану млина самоподрібнення в промислових умовах / М. І. Сокур, В. С. Білецький, Д. П. Божик // Збагачення корисних копалин. 2017. – Вип. 68 (109). С. 55–64.

23. Сторчак С.О. Виготовлення і застосування емульсійних вибухових речовин на кар'єрах / С.О. Сторчак, М.В. Кравцов, В.А. Поплавський К.: Експоната, 2004. 95 с.

24. Твердий В.В. Визначення кількості шкідливих газів у продуктах вибуху з урахуванням міцності гірських порід / В.В.Твердий. Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». 2011. Вип. 20. С. 184–188.

25. Твердий В.В. Визначення впливу підривних робіт на виробничий персонал кар'єра та населення прилеглої території при

застосуванні нових сумішевих вибухових речовин / В.В.Твердий, І.А.Лучко // Проблеми охорони праці в Україні. 2010. Вип. 19. С. 95–102.

26. Шапурін О.В. Руйнування гірничих порід вибухом / О.В.Шапурін, П.Я.Кирик. К., 1995. – 280 с.

27. Швець Є.М. Оперативне визначення вмісту негабариту / Є.М.Швець, О.В.Шапурін // Вісник Криворізького технічного університету: зб. наук. праць. 2008. Вип 21. – С. 14–17.

28. Швець Є.М. Вплив кускуватості гірських порід на ефективність роботи виймально-навантажувального обладнання / Є.М.Швець, О.В.Шапурін, А.В.Кузнецов // Вісник Криворізького технічного університету : зб. наук. праць. 2009. Вип. 24. С. 16–21.

29. Швець Є.М. Дослідження розрахункових методів визначення кускуватості подрібнених вибухом гірських порід / Є.М.Швець, О.В.Шапурін, А.А.Скачков // Вісник Криворізького технічного університету : зб. наук. праць. Кривий Ріг. 2011. Вип. 29. С. 246–250.

30. Швець Є.М. Визначення гранулометричного складу подрібнених вибухом гірських порід / Є.М.Швець, О.В.Шапурін, Ф.С. Разкевич // Тези доповіді 69-ої наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету. К. 2013. С. 532.

31. Шевцов М.Р. Руйнування гірських порід вибухом / М.Р.Шевцов, П.Я.Таранов, В.В.Левіт, О.Г.Гудзь // Підручник для вузів. 4-е видання перероблене та доповнене. Донецьк: 2003. 248 с.

32. Lilly D. P. The Enterprise Solution to Integrating Blasting into the Mining Process / D.P.Lilly, M.Dann, J.Cory // 2008 Oxford Business & Economics Conference. 2008. P. 1–5.

33. Ochilov Sh.A. The teoretical study of the fracture mechanism of less fissured rocks / Sh.A.Ochilov, U.F.Nasirov, L.G.Toshniyozov // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Austria, 2017. № 1-2. P. 98-101.

34. Persson P.A. Rock blasting and explosives engineering / P.A.Persson, R.Holmberg, J.Lee. CRC Press, 1993. – 540 p.
35. Workman L. The Potential for Unifying Drilling, Blasting and Downstream Operations by the Application of Technology / L.Workman. 1999. 13 p.
36. Workman L. The Effects of Blasting on Crushing and Grinding Efficiency and Energy Consumption / L.Workman, J.Eloranta. 1999. 10 p.