

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Стрельцов Віталій Олегович



УДК 622.235

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

Спеціальність 184 Гірництво

**АВТОРЕФЕРАТ**  
кваліфікаційної роботи  
на здобуття освітнього ступеня магістра

Запоріжжя 2025

Кваліфікаційною магістерською роботою є рукопис.  
Робота виконана у Технічному університеті «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» на кафедрі гірничої справи.

Керівник: Сахно Світлана Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри гірничої справи, ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Захист відбудеться 18 лютого 2025 р. о 12:00 год на засіданні екзаменаційної комісії  
([https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting\\_NzY4NzBjNzEtMTk4Mi00MWVvKLTikNTYtZTJkNDE0NWZkOTQ5%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%221f6a60da-12a6-4028-9d77-a98fa5c6b40f%22%2c%22Oid%22%3a%221c96d576-67cb-4945-8512-935c3ad49fac%22%7d](https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting_NzY4NzBjNzEtMTk4Mi00MWVvKLTikNTYtZTJkNDE0NWZkOTQ5%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%221f6a60da-12a6-4028-9d77-a98fa5c6b40f%22%2c%22Oid%22%3a%221c96d576-67cb-4945-8512-935c3ad49fac%22%7d)).

Електронна версія автореферату розміщена в Інституційному репозитарії ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» 19 лютого 2025 р.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

**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 Інгулецького 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.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У першому розділі представлено теоретичні питання визначення та контролю якості вибухового подрібнення гірничої маси. Охарактеризовано технологічні вимоги до якості дроблення, які впливають на ефективність подальших процесів: навантаження, транспортування, дроблення та збагачення. Проаналізовано сучасні методи оцінки гранулометричного складу підірваної маси, зокрема прямі (ситовий аналіз, фотопланіметричний метод, кількісний облік негабариту) та непрямі (математичне моделювання, рівняння Розіна-Раммлера). Встановлено, що для досягнення високої точності оцінки гранулометрії порід доцільно комбінувати ці методи. Досліджено вплив гранулометричного складу гірничої маси на техніко-економічні показники гірничозбагачувальних комбінатів. Визначено, що оптимальний середній розмір шматків гірничої маси дозволяє мінімізувати витрати на буро-вибухові роботи, екскавацію, транспортування та дроблення.

В другому розділі описано структуру підприємства, основні виробничі підрозділи та їхню роль у процесі видобутку, переробки та збагачення бідних магнетитових кварцитів. Детально охарактеризовано геологічні фактори, що впливають на параметри буро-вибухових робіт, зокрема: неоднорідність продуктивної товщі родовища (включає в себе п'ять залізистих та три сланцевих горизонти) породи якої мають варіативні технічні (міцність, щільність, буримість, дробимість та ін.) та технологічні (вміст заліза в складі магнетиту, збагачуваність та ін.) показники; тріщинуватість гірських порід, яка змінюється залежно від складу порід та їхнього залягання (у тріщинуватих породах вибухова хвиля поширюється нерівномірно, що може призводити до переважного утворення дрібних фракцій або нерівномірного дроблення).

Описано етапи організації буро-вибухових робіт: проектування, буріння свердловин, їх заряджання, проведення вибуху та аналіз його результатів. Визначено роль основних служб і підрозділів (геологічної, маркшейдерської, технічного бюро, бурової та вибухової дільниць) у забезпеченні ефективного виконання робіт. Встановлено, що оптимальна взаємодія всіх підрозділів та адаптація параметрів вибуху до геологічних умов дозволяє підвищити ефективність вибухового подрібнення, мінімізувати кількість негабаритних фракцій, знизити витрати вибухових матеріалів та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

У третьому розділі досліджено проблему підвищення ефективності роботи збагачувального комплексу шляхом оптимізації гранулометричного складу рудного матеріалу, що надходять на збагачення. Розглянуто вплив крупності руди на продуктивність та енергоефективність процесу самоподрібнення, а також запропоновано шляхи вдосконалення буро-вибухових робіт для досягнення оптимальних значень гранулометрії порід.

Охарактеризовано технологічну класифікацію руд Інгулецького родовища. Встановлено, що руди п'ятого залізного горизонту (основного рудного матеріалу рудозбагачувальної фабрики №2) характеризуються підвищеною міцністю та важко піддаються вибуховому подрібненню. Доведено необхідність збільшення вмісту крупних фракцій (понад 75 мм) у рудному матеріалі для оптимізації роботи млинів самоподрібнення. Запропоновано комплекс заходів з удосконалення буро-вибухових робіт, спрямованих на зміну гранулометричного складу руди, зокрема, розширення сітки свердловин. Описано експериментальні роботи з розширення сітки свердловин на блоках №84, №128, №176 та №171. Проаналізовано гранулометричний склад руд за допомогою фотопланіметричного методу та встановлено збільшення середнього розміру куска рудного матеріалу за експериментальною методикою. Порівняно показники буро-вибухових робіт за стандартною та експериментальною сітками свердловин та доведено зниження питомих витрат вибухової речовини з  $1,52 \text{ кг/м}^3$  до  $1,47 \text{ кг/м}^3$  (рис. 1) та підвищення показника виходу гірничої маси з  $24,4 \text{ м}^3/\text{м.п.}$  до  $27,4 \text{ м}^3/\text{м.п.}$  (рис. 2) за експериментальною методикою.

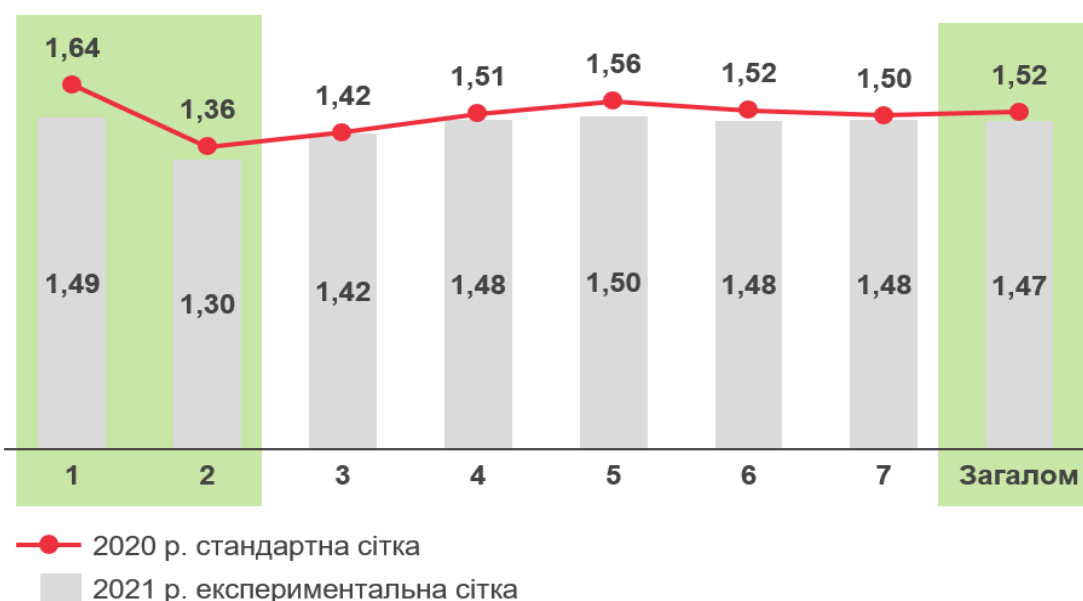


Рисунок 1 - Питомі витрати вибухової речовини ( $\text{кг/м}^3$ ) по технологічним різновидам руди в кар'єрі ПрАТ «ІНГЗК».  
1, 2...7 – технологічні різновиди руд

Охарактеризовано процес самоподрібнення та його залежність від гранулометричного складу руди. Узагальнено, що оптимальне співвідношення дрібних і крупних фракцій є критичним для досягнення високої продуктивності та енергоефективності процесу. Наголошено на важливості контролю якісних характеристик руд та кількісного співвідношення технологічних сортів в шихті для забезпечення стабільності технологічного процесу. Проаналізовано роботу рудозбагачувальної фабрики №2 за стандартного та зміненого гранулометричного складу руди. Встановлено

підвищення середньої продуктивності секцій фабрики на 0,827 т/год та зниження питомої витрати електроенергії на 0,53 кВт/т за збільшеного вмісту крупних частинок у руді.



Рисунок 2 - Вихід гірничої маси (м<sup>3</sup>/м.п.) по технологічним різновидам руди в кар'єрі ПрАТ «ІНГЗК».  
1, 2...7 – технологічні різновиди руд

Охарактеризовано операційне покращення як важливий напрямок підвищення ефективності виробничих процесів у гірничодобувній промисловості. Доведено, що оптимізація буро-вибухових робіт є ефективним інструментом зниження витрат та підвищення продуктивності. Проаналізовано показники економічної ефективності використання стандартної та експериментальної сітки свердловин для 1-го та 2-го технологічних різновидів руд. Встановлено економічну доцільність впровадження експериментальної сітки свердловин, що підтверджено зменшенням витрат вибухових речовин, скороченням обсягу бурових робіт та зниженням загальної собівартості робіт. Узагальнено, що впровадження запропонованих заходів з оптимізації гранулометричного складу руди є економічно ефективним та сприяє підвищенню продуктивності збагачувального комплексу.

В четвертому розділі розглянуто питання охорони праці та екологічної безпеки при проведенні буро-вибухових робіт у кар'єрі. Детально описано комплекс заходів, спрямованих на забезпечення безпеки працівників під час транспортування та доставки вибухових речовин, виконання бурових, зарядних та вибухових операцій. Особливу увагу приділено питанням встановлення та позначення небезпечної зони, порядку допуску працівників різних служб для контролю та відновлення робіт після вибуху, а також заходам з виявлення та ліквідації свердловинних зарядів, що відмовили.

Значну увагу приділено питанням зниження негативного впливу на навколишнє середовище при вибухових роботах. Розглянуто та проаналізовано існуючі технологічні, інженерно-технічні та організаційні заходи, спрямовані на зменшення пилогазовиділень під час масових вибухів. Серед них: підривання на неприбрану гірську масу, використання гідрогелю та крупнозернистих матеріалів у забійці, застосування вибухових речовин із нульовим кисневим балансом, зрошення вибухових блоків водою, створення водяних завіс та інші.

Окремо проаналізовано вплив впровадження експериментальної сітки свердловин на зменшення екологічного навантаження. Доведено, що оптимізація параметрів буро-вибухових робіт, зокрема, розширення сітки свердловин, сприяє суттєвому скороченню обсягів використання вибухової речовини. Це, в свою чергу, призводить до значного зменшення викидів шкідливих газів в атмосферу. Внаслідок впровадження експериментальної сітки свердловин, об'єм викидів шкідливих газів зменшився на 129 493 518 літрів. Встановлено, що оптимізація буро-вибухових робіт є ефективним засобом не тільки підвищення економічної ефективності, але й значного покращення екологічної безпеки гірничих робіт.

## 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 Інгuleцького 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 залізистого 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 буро-вибухових роботах продемонструвало значну економічну ефективність. Зниження обсягу використання вибухових речовин на 12,02% призвело до економії понад 4 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 7%. 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 на 12%, що призвело до зменшення викидів шкідливих газів на 129 493 518 літрів.

## **ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

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>..

## АНОТАЦІЯ

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. ОПП «Новітні технології розробки родовищ корисних копалин» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2025.

У кваліфікаційній роботі досліджено питання підвищення ефективності буро-вибухових робіт шляхом оптимізації гранулометричного складу гірничої маси. Встановлено, що якість вибухового подрібнення безпосередньо впливає на продуктивність усіх наступних етапів технологічного циклу: навантаження, транспортування, дроблення та збагачення.

Проаналізовано сучасні методи оцінки гранулометричного складу порід, зокрема прямі та непрямі підходи, які дозволяють досягти балансу між точністю та ефективністю контролю. Враховано геологічні особливості родовища, які впливають на параметри вибухових робіт та вимагають адаптації технологій під конкретні умови.

На основі експериментальних досліджень доведено, що використання розширеної сітки свердловин забезпечує зниження питомої витрати вибухових речовин на понад 3%, збільшення виходу гірничої маси – на понад 10%. Це сприяє підвищенню ефективності роботи збагачувального комплексу, зростанню продуктивності, зменшенню енергоспоживання та оптимізації витрат підприємства.

Запропоновані заходи також дозволили суттєво знизити негативний вплив вибухових робіт на довкілля, зменшивши обсяги використання вибухових матеріалів та викиди шкідливих газів. Впровадження оптимізованої схеми буро-вибухових робіт забезпечило значну економію коштів та підтвердило ефективність застосування інноваційних підходів у гірничодобувній промисловості.

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

## ABSTRACT

Streltsov V.O. Optimisation of the granulometric composition of rocks prepared for extraction in order to increase the productivity of the enrichment

complex in the conditions of «Ingulets mining and processing plant». Qualifying work for obtaining a degree of higher education master's degree in the specialty 184 Mining. EPP «The latest technologies for the development of mineral deposits» – LLC TECHNICAL UNIVERSITY «METINVEST POLITEKHNKA», Zaporizhzhia, 2025.

The qualification work investigates the improvement of drilling and blasting efficiency by optimizing the granulometric composition of the rock mass. It has been established that the quality of explosive fragmentation directly affects the productivity of all subsequent stages of the technological cycle: loading, transportation, crushing, and beneficiation.

Modern methods for assessing the granulometric composition of rocks are analyzed, including direct and indirect approaches that allow balancing accuracy and efficiency in control. The geological characteristics of the deposit, which influence blasting parameters and require adaptation of technologies to specific conditions, are also considered.

Based on experimental studies, it has been proven that the use of an expanded blast hole grid reduces the specific consumption of explosives by more than 3% and increases the rock mass yield by more than 10%. This contributes to improving the efficiency of the beneficiation complex, increasing productivity, reducing energy consumption, and optimizing operational costs.

The proposed measures have also significantly reduced the environmental impact of blasting operations by lowering the consumption of explosives and decreasing harmful gas emissions. The implementation of the optimized drilling and blasting scheme has led to substantial cost savings and confirmed the effectiveness of innovative approaches in the mining industry.

ROCKS, DRILLING AND BLASTING OPERATIONS, MIDDLE-SIZED  
PIECE, GRANULOMETRIC COMPOSITION, MINING AND PROCESSING  
PLANT.