

**Кваліфікаційна робота
допущена до захисту**
Гарант освітньої програми
«Збагачення корисних копалин»

_____ Костянтин ЛЕВЧЕНКО

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня бакалавр
за підсумками виконання освітньо-професійної програми
«Збагачення корисних копалин»
за спеціальністю 184 Гірництво

**На тему «Підвищення точності опробування гірничого масиву в
умовах ПрАТ «Північний ГЗК»**

Керівник роботи

Костянтин ЛЕВЧЕНКО

Консультант від
баз практики

Олександр БОГДАН

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

Здобувач

Альона АГУДИНА

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

Голова ЕК

Андрій РТИЩЕВ

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет
Кафедра
Ступінь вищої освіти
Спеціальність
ОПП

гірничо-металургійний
гірничої справи
бакалавр
184 Гірництво
Збагачення корисних копалин

ЗАТВЕРДЖЕНО:

Гарант освітньої програми

Левченко К.А.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

Агудина Альона Євненівна

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи: Підвищення точності опробування гірничого масиву
ПрАТ «Північний ГЗК»

керівник роботи Левченко К.А. доцент гірничої справи
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету № 41 від 23.02.2026

2. Термін подання роботи 20.06.2026р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти з
гірничої справи, літературні джерела, науково-дослідницькі роботи з
тематики гірничої справи, технологічні інструкції, дані ПрАТ «Північний
ГЗК» м.Кривий Ріг

4. Зміст кваліфікаційної роботи (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ.
1. Загальна характеристика ПрАТ «Північний ГЗК» (1.1. Геологічна
характеристика та виробнича діяльність, 1.2. Аналіз сировинної бази
ПрАТ «Північний ГЗК», 1.3. Геологічне випробування, 1.4. Опис схеми
рудо-підготовки та збагачення магнетитових кварцитів ПрАТ «Північний
ГЗК»), 2. Підвищення точності опробування (2.1. Методика планування та
обліку факту якісних параметрів руди в кар'єрі, 2.2. Підвищення точності
опробування гірничого масиву в ПрАТ «Північний ГЗК»), 3. Техніка
безпеки (3.1. Організація виробництва, техніка безпеки, 3.1. охорона
навколишнього середовища). Висновки. Перелік використаних джерел.
5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним
зазначенням обов'язкових креслень) _____

6.Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що їх стосується

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
Розділ 1	Богдан О. С.
Розділ 2	Смірнов О.Я.

7.Дата видачі завдання: 11.05.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Організаційна структура та виробнича діяльність	11.05.2026 - 14.05.2026	
2	Сировинна база гірничо-збагачувального підприємства	15.05.2026 - 19.05.2026	
3	Підготовка корисної копалини до збагачення	20.05.2026 - 25.05.2026	
4	Технологія збагачення та переробка мінеральної сировини	26.05.2026 - 31.05.2026	
5	Підвищення точності опробування гірничого масиву в ПрАТ «Північний ГЗК»	01.06.2026 - 07.06.2026	
6	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат.	08.06.2026 - 11.06.2026	
7	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	12.06.2026 - 18.06.2026	
8	Рецензування завершеної роботи. Підписання роботи КЕП.	19.06.2026 - 21.06.2026	
9	Підготовка презентаційного матеріалу,	21.06.2026 - 23.06.2026	
10	Захист	24.06.2026	

Керівник роботи

Костянтин ЛЕВЧЕНКО

Здобувач

Альона АГУДИНА

АНОТАЦІЯ

Агудина Альона Євгенівна. Тема: Підвищення точності опробування гірничого масиву в умовах ПрАТ «Північний ГЗК».

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 184 Гірництво, ОПП «Збагачення корисних копалин» - ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2026.

Робота присвячена актуальній науково-практичній задачі - мінімізації похибок та підвищенню представницького відбору проб безпосередньо в умовах кар'єру. У роботі проаналізовано існуючі методи експлуатаційного опробування (шламового, бороздового та точкового) та виявлено ключові чинники, що призводять до викривлення даних про якість корисної копалини.

Об'єкт дослідження — процеси опробування техногенно-мінеральних утворень та гірничих масивів ПрАТ «Північний ГЗК». Геологічні, технічні та технологічні висновки характеристики для підвищення точності опробування гірничого масиву.

Предмет дослідження — закономірності розподілу корисної копалини та інструментальні методи підвищення репрезентативності проб.

Мета дослідження — зниження похибок експлуатаційного опробування та підвищення представницькості первинних проб гірничого масиву в кар'єрі за рахунок оптимізації параметрів координатної сітки та впровадження мобільних комплексів підготовки проб.

Практичне значення отриманих результатів. Запропоновані технічні рішення та методичні рекомендації дозволяють оптимізувати витрати на буріння та аналіз експлуатаційних свердловин, оперативно керувати межами виїмкових блоків у кар'єрі та забезпечити

збагачувальну фабрику сировиною зі стабільними вхідними характеристиками.

У першому розділі кваліфікаційної роботи «Загальна характеристика ПрАТ «ПІВНГЗК» розглянуто геологічну характеристику родовища, методи проведення геологічного випробування корисної копалини, аналіз сировинної бази. Також у розділі описана схем рудо-підготовки та збагачення магнетитових кварцитів

В другому розділі розглянута методика планування та облік факту якісних параметрів руди, також підвищення точності опробування гірничого масиву.

В третьому розділі розглянута охорона праці, техніка безпеки підприємства та організація виробництва.

Перелік публікацій здобувача:

1. Младецький І.К., Левченко К.А., Агудина А.Є. ПОГРІШНІСТЬ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ПОКАЗНИКІВ ЗБАГАЧЕННЯ 1st International Scientific and Practical Conference «Science and Information Technologies in the Modern World» February (26-28, 2025 Athens, Greece)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
Розділ 1.ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА «ПрАТ ПІВНГЗК».....	9
1.1 Геологічна характеристика та виробнича діяльність.....	9
1.2 Аналіз сировинної бази ПрАТ «Північний ГЗК».....	12
1.3.Геологічне випробування	19
1.4 Опис схеми рудо-підготовки та збагачення магнетитових кварцитів ПрАТ ПІВНГЗК.....	22
Розділ 2. ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ОПРОБУВАННЯ.....	50
2.1.Методика планування та обліку факту якісних параметрів руди в кар'єрі	50
2.2.Підвищення точності опробування гірничого масиву в ПрАТ «Північний ГЗК».....	52
Розділ 3 ТЕХНІКА БЕСПЕКИ.....	65
3.1 Організація виробництва, техніка безпеки.....	65
3.2.Охорона навколишнього середовища.....	67
ВИСНОВКИ.....	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	72

ВСТУП

Основною проблемою всіх залізорудних родовищ Кривбасу є складна геологічна будова рудних покладів, варіативність їх якісних характеристик та технологічних властивостей, особливості гірничотехнічних умов видобутку, транспортування, шихтування. Всі ці фактори впливають на якісні параметри вихідної сировини, що поступає до рудозбагачувальних фабрик.

Сучасний розвиток гірничодобувної промисловості характеризується погіршенням гірничо-геологічних умов розробки родовищ, зниженням вмісту корисних компонентів у масиві та зростанням вимог до якості товарної сировини, що постачається на збагачувальні фабрики. За цих умов ефективне керування якістю рудо-потоків закладається безпосередньо на етапі експлуатаційного розвідування та виїмки гірничої маси в кар'єрі.

Опробування гірничого масиву є первинним і найважливішим джерелом інформації про просторове розміщення корисних компонентів та шкідливих домішок. Проте специфіка кар'єрних робіт — висока природна неоднорідність масиву, значний діаметр шматків підірваної породи та складні кліматичні умови - зумовлює високий рівень випадкових і систематичних похибок під час відбору проб. Помилки на цьому етапі призводять до невірної оконтурення рудних тіл, що тягне за собою суттєве розубожування корисного компонента або невиправдані втрати промислових запасів у відвалах. Тому підвищення точності опробування гірничого масиву є актуальним науково-технічним завданням, вирішення якого безпосередньо впливає на рентабельність гірничого підприємства та ефективність подальших збагачувальних процесів.

В кваліфікаційній роботі на основі описання схеми рудо-підготовки та збагачення магнетитових кварцитів, виявлено що на сьогоднішній

день єдиним методом стабілізації якісних показників руди в кар'єрі ПрАТ «Північний ГЗК» є застосування процесу шихтування рудного потоку з різних технологічних сортів залізистих кварцитів.

Також відбувається часткове перемішування руди на накопичувальних рудних складах, які створені для підтримки продуктивності гірничотранспортного комплексу при аварійних зупинках технологічного обладнання кар'єру, дробарної, та збагачувальних фабрик.

Варіативність вмісту корисного компонента (магнетиту) в рудах Північного родовища потребує новітніх організаційних та технічних рішень від кар'єру в проблемі підвищення та стабілізації якості, та зменшення кількості збіднюючих домішок в рудних потоках.

Сьогодні гірничодобувним підприємствам не завжди вдається забезпечувати стабільний рівень якісних показників вихідної сировини. Руда, що транспортується на РЗФ видобувається з різних забоїв, гіпсометричних горизонтів, частин родовищ. Вона відрізняється мінеральним складом та технологічними властивостями, що впливають на нестабільність роботи обладнання, отримання різних показників вмісту цінного компонента та його вилучення у концентрат.

Для досягнення мети визначено основні завдання.

1. Геологічна характеристика родовища.
2. Аналіз сировинної бази та геологічне випробування.
3. Опис схеми рудопідготовки та збагачення магнетитових кварцитів.
4. Методика планування та обліку факту якісних параметрів руди в кар'єрі.
5. Підвищення точності опробування гірничого масиву.
6. Техніка безпеки.

Ключові слова: експлуатаційна розвідка, випробування, якісні показники, планування, видобуток.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА «ПРАТ ПІВНГЗК»

1.1.Геологічна характеристика та виробнича діяльність

ПРАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат» (Північний ГЗК) є одним із найбільших в Європі підприємств із видобутку та збагачення залізної руди відкритим способом. Комбінат входить до складу гірничо-металургійної групи Метінвест. Розташований у місті Кривий Ріг, Дніпропетровської області.

Першотравневе родовище залізних руд та родовище шахти «Першотравнева» ПРАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат» розташоване на півночі Криворізького залізорудного басейну на території

Тернівського адміністративного району міста Кривий Ріг.

Основна спеціалізація підприємства - видобуток залістистих кварцитів відкритим способом і виробництво залізорудного концентрату та агломерату. Підприємство забезпечує сировиною металургійні комбінати України та інших країн світу.

Основні техніко-економічні показники комбінату:

- видобуток сирої руди: понад 10 млн. тонн на рік;
- обсяг переробки: близько 13 млн. тонн концентрату та агломерату на рік.;
- запаси залізорудної сировини на підприємстві - розраховані більш ніж на 100 років експлуатації.

Типи руд та методи видобутку:

У басейні видобувають три основні типи руд: багаті руди із вмістом заліза 50%, магнетитові залістисті кварцити із вмістом магнетитового заліза 25-28%, та окислені руди із загальним вмістом заліза 34-37%. Багаті руди видобуваються підземним способом, а магнетитові кварцити та окислені руди - переважно кар'єрним.

Етапи будівництва Північного гірничо-збагачувального комбінату (ПівнГЗК)

- Початок будівництва: Будівництво комбінату розпочалося у 1960 році.

- Черги будівництва: Будівництво ПівнГЗК здійснювалося чергами відповідно до розвідки запасів корисних копалин та зростання потреби у залізорудній сировині.

Первинний етап становлення підприємства пов'язаний із запуском I черги у 1964 році. Сировинною базою для неї слугувало Першотравневе родовище залізистих кварцитів. Початкові проєктні показники передбачали переробку 13,5 млн тонн сирової руди та отримання 5,74 млн тонн залізорудного концентрату з масовою часткою заліза 62,0%. Згодом, внаслідок інтенсифікації виробництва, продуктивність Першотравневого кар'єру за видобутком сировини зросла до 17,0 млн тонн на рік, що дозволило збільшити випуск товарного концентрату на першій черзі до 6,94 млн тонн [1].

Подальше розширення комбінату відбулося завдяки введенню в експлуатацію II черги, яка орієнтувалася на збагачення руд Ганнівського родовища. Цей комплекс розроблявся під річну потужність у 13,5 млн тонн вихідної руди та 5,84 млн тонн готового концентрату з підвищеним вмістом корисного компонента (64,0%). У результаті сумарний потенціал перших двох черг ПівнГЗК досяг відмітки у 30,5 млн тонн сирової залізистої сировини та 12,78 млн тонн збагаченого продукту[1].

Наступним кроком модернізації стало масштабне розширення підприємства (III черга), ініційоване у 1967-1969 роках профільним міністерством чорної металургії. Проєктне завдання передбачало вихід на загальну продуктивність у межах 45,0-48,5 млн тонн сирової руди щорічно. Для реалізації цих планів видобуток на Першотравневому кар'єрі подвоїли (з 13,5 до 27,0 млн тонн/рік), а на Ганнівському - збільшили до 18,0 млн тонн/рік. Одночасно було заплановано зведення

нових потужностей збагачувальної фабрики, розрахованих на додаткове виробництво 7,69 млн тонн концентрату [1].

Проекти генеральної реконструкції та розширення комбінату базувалися на впровадженні передових для свого часу технологічних рішень та великогабаритного обладнання. Модернізація гірничо-транспортного комплексу передбачала залучення скельних екскаваторів із місткістю ковша 8 м³, великовантажних 75-тонних автосамоскидів, думпкарів вантажопідйомністю 180 тонн та високопродуктивного розкривного комплексу (2500 м³/год). Безпосередньо у збагачувальному переділі інноваційним кроком став перехід на схеми рудопідготовки з використанням технології безкулевого (само-) подрібнення, а також оптимізація доставки руди на фабрику за допомогою конвеєрного транспорту.

Повне будівництво та запуск об'єктів перших двох черг, включно з першою лінією фабрики огрудкування, завершилося до 1975 року. Варто відзначити, що фактичні показники видобутку та переробки суттєво випереджали розрахункові проектні ліміти (перевищення становило від 15% до 30%). Яскравим прикладом є 1974 рік, коли замість запланованих 30,5 млн тонн руди та 12,78 млн тонн концентрату було фактично видобуто 34,8 млн тонн гірничої маси та випущено 15,1 млн тонн високоякісного концентрату з вмістом заліза 64,8% [1].

На сьогоднішній день ПрАТ «Північний ГЗК» міцно утримує позиції одного з ключових постачальників металургійної сировини в Україні. Підприємство забезпечує випуск близько 45% загальнодержавного обсягу залізорудних обкотишів (із вмістом заліза від 60,3% до 63,5%) та орієнтовно 20% високоякісного залізорудного концентрату, товарний вміст заліза в якому наразі доведено до 66% [1].

Сучасні гірничотехнічні параметри головного сировинного об'єкта - Першотравневого кар'єру - характеризуються значними масштабами: його глибина досягла позначки 485 м (із розкриттям робочого горизонту

до рівня -370 м), при довжині чаші кар'єру 3250 м та ширині 2400 м. На даний момент очисні та розкривні роботи виконуються на 33 горизонтах із просуванням фронту у південному, південно-східному та північно-західному напрямках. На верхніх уступах (горизонти +102 м, +89 м, +77 м, +65 м) відвантаження гірничої маси здійснюється безпосередньо у залізничний транспорт. Зважаючи на геологічні умови залягання рудного тіла, яке представлене потужним крутоспадним покладом, на кар'єрі ефективно застосовується заглибна поглиблена система розробки із зовнішнім формуванням відвалів для розкривних порід.

1.2 Аналіз сировинної бази ПРАТ «Північний ГЗК»

На ПРАТ «ПІВНГЗК» розробляються два кар'єри Першотравневий та Ганнівський.

Промислову цінність Першотравневого родовища становлять залізисті кварцити, зосереджені в межах п'ятого та шостого залізистих горизонтів Саксаганської свити. Ця корисна копалина слугує ключовою сировиною для отримання високоякісного залізорудного концентрату на збагачувальній фабриці. З погляду структурної геології, рудний масив відзначається інтенсивними процесами метасоматозу, глибоким ступенем метаморфізації як самих залізистих руд, так і навколорудних сланців, а також складною диз'юнктивною тектонікою [2].

У літологічному розрізі родовища домінують породи середньої залізорудної свити (PR_{1sx}). Стратиграфічно вони диференційовані на серію сланцевих (перший, другий, третій-п'ятий, сьомий) та залізистих (перший, другий, п'ятий, шостий, сьомий) горизонтів. При цьому промисловий інтерес для збагачувального переділу мають виключно продуктивні шари п'ятого та шостого горизонтів. Особливістю п'ятого залізистого горизонту (PR_{1sx}^{5f}), що залягає у вигляді відокремлених тектонічних блоків у північно-східній зоні кар'єру, є різке переважання

магнетитових різновидів руд (близько 90% від загального обсягу джеспілітоподібних кварцитів). Середній вміст загального заліза (Fезаг) тут становить 39,01%, а магнетитового (Fемаг) - 32,9%, тоді як горизонтальна потужність пласта в окремих блоках досягає 100 м [2].

Геоструктурний план родовища суттєво ускладнений численними тектонічними розломами. Вони розчленовують рудне тіло на велику кількість блокових елементів, які відрізняються просторовою орієнтацією, геометричними розмірами та петрографічним складом. Наявність цих порушень зумовила формування специфічної складчасто-блокової архітектури гірничого відводу [2].

Загалом у геологічному зрізі беруть участь чотири ключові свити Криворізької серії, що послідовно змінюють одна одну у висхідному порядку:

- Амфіболітова свита (K0) та нижня аркозо-філітова свита (K1): локалізовані у східному крилі родовища. Вони представлені комплексом амфіболітів, аркозових пісковиків, слюдистих кварцитів, а також кварц-серицитових, хлорит-талькових і тальк-карбонатних сланців. Їхня сумарна потужність варіюється в межах 700-800 м, а коефіцієнт тривкості порід за шкалою М. М. Протодьяконова змінюється від помірної ($f = 5-8$) до високої ($f = 10-12$) [2].

- Середня (залізорудна) свита (K2): у межах гірничого відводу поділяється на нижню (сланцево-кварцитову, куди входять перший та другий горизонти), середню та верхню підсвити.

- Верхня сланцева свита (K3): фіксується вздовж західного контуру кар'єрного поля, формуючи його висячий бік.

На південно-західній периферії родовища простежується сьомий залізистий горизонт, складений смугастими магнетит-силікатними кварцитами потужністю від 100 до 400 м та тривкістю $f = 12-14$. У північній частині цей пласт зрізається поздовжніми розломами, а за профілем він підстилається червоно-смугастими силікат-

магнетитовими кварцитами шостого горизонту та перекривається породами вищележачої свити К3. Геолого-технологічна характеристика підрозділів родовищ наведена в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Геолого-технологічна характеристика підрозділів родовища

Світа / Горизонт	Літологічний склад порід та руд	Потужність товщі, м	Коефіцієнт тривкості (f за Протодьяконовим)	Технологічні особливості / Вміст корисного компонента
Амфіболітова (K0) та Нижня (K1) свити	Амфіболіти, аркозові пісковики, слюдисті кварцити, серицитові та талькові сланці	700 - 800	5 - 12	Вміщувальні породи східного крила родовища, середня та висока буримість.
П'ятий залізистий горизонт PR _{1sx⁵f})	Джеспілітоподібні залізисті кварцити (до 90% магнетитового різновиду)	до 100 (в окремих блоках)	Висока тривкість	Продуктивний пласт. Feзаг = 39,01%, Feмаг = 32,9%. Зона окиснення: 8,5-30,5 м (сер. 18,9 м).
Шостий залізистий горизонт	Червоно-смугасті силікат-магнетитові кварцити, брекчії кварцитів	Мінлива	Висока тривкість	Основна товарна руда кар'єру. Зона окиснення: 5,0-61,0 м (сер. 22,6 м).
Сьомий залізистий горизонт	Смугасті магнетит-силікатні кварцити	100 - 400	12 - 14	Локалізований у підстилаючій товщі всячого боку на південному заході.
Верхня свита (K3)	Сланцеві товщі різного складу	Мінлива	Залежить від осланцювання	Формує всячий бік родовища вздовж західної межі кар'єру.

Важливим чинником, що впливає на показники видобутку та рудопідготовки, є наявність розвиненої площинної кори вивітрювання (зони окиснення) на межі контакту корінних порід із кайнозойськими відкладами. Потужність цієї зони досить мінлива: для шостого горизонту вона становить у середньому 22,6 м (із коливаннями від 5,0 до 61,0 м),

а для п'ятого - 18,9 м (у діапазоні від 8,5 до 30,5 м). Безпосередньо в контурі експлуатації Першотравневого кар'єру основними типами технологічної сировини, що спрямовується на збагачення, є силікат-магнетитові кварцити та брекчії кварцитів [2].

Ганнівське родовище залізистих кварцитів

Ганнівське родовище залізистих кварцитів являється сировинною базою ПРАТ «ПІВНГЗК».

Родовище представляє собою полосу залізистих порід першого залізистого горизонту та простягається в субмеридіональному напрямку, близько 14 км.

Об'єктом розробки родовища є південна частина, яка розташована між розвідувальними профілями 1-32 та північна частина, яка розташована між розвідувальними профілями 32-45. На 01.01.2023 р. глибина кар'єру досягла на півдні 355 м (відмітка нижнього розкритого горизонту на півдні становить мінус 225 м), на півночі - 240 м (відмітка нижнього розкритого горизонту на півночі становить мінус 90 м).

Родовище вважається детально розвіданим до глибини 500 м (проф. 1-21) и 300 м (проф.21-45). Проект розробки родовища спроектовано інститутом ТОВ «ЮЖГІПРОРУДА», м. Харків, на річну потужність кар'єру 17,2 млн. т. залізистих кварцитів.

Велике значення в геологічній будові родовища мають субширотні розривні порушення, які представлені переважно площинами та малопотужними зонами. По мірі підвищення детальності геологічної вивченості з'ясувалось, що родовище по складності геологічної будови доцільно розділити на дві частини:

- південну (до профіля 28)
- північну (північніше профіля 28)

Ділянка до профіля 28 при затвердженні запасів в ДКЗ 1976 році має більш складну геологічну будову та віднесено по складності до групи 1.

Рудна сировина на родовищі вважаються залізисті кварцити лежачої пачки з вмістом заліза магнітного 16% и більше. Всередині лежачої пачки за вмістом заліза загального, магнітного та технологічних властивостей порід виділяються яскравіше мінералогічні різновиди кварцитів. Додатковими критеріями служать колір бурового шламу та величина магнітної сприйнятливості.

Мають місце такі різновиди кварцитів:

1. магнетитові;
2. силікат-магнетитові;
3. гематит- магнетитові;
4. магнетит- гематитові;
5. магнетит - силікатні.

Морфологія корисного покладу Ганнівського родовища демонструє суттєву просторову мінливість: горизонтальна потужність лежачої пачки в південному крилі варіюється від 180 до 320 м, тоді як у північному напрямку вона звужується приблизно до 90 м. У геоструктурній будові родовища беруть участь чотири основні свити Криворізької серії нижньопротерозойського віку, серед яких найважливішими є сланцево-амфіболова, нижня аркозо-філітова та сланцева товщі [3].

Промислова залізорудна товща представлена силікатно-магнетитовими та магнетит-силікатними різновидами кварцитів, які належать до першого залізистого горизонту. Гірські породи, що обмежують цю продуктивну пачку зі сходу, утворюють лежачий бік покладу, а кристалічні комплекси, розташовані із західного боку, формують його висячий бік. При цьому горизонтальна потужність вміщуючих порід змінюється в межах 75-220 м. Перший сланцевий горизонт складений переважно кварц-куммінгтонітовими та біотит-куммінгтонітовими сланцевими прошарками, які містять невисокі за потужністю включення безрудних кварцитів, а його сумарна

горизонтальна потужність становить від 5 до 100 м [3].

У літологічному плані перший залізистий горизонт представлений магнетитовими, амфібол-магнетитовими, магнетит-амфіболовими та гематит-магнетитовими мінеральними асоціаціями. Безпосередньо під час видобувних робіт у межах кар'єрного поля виділяють три основні технологічні типи товарної рудної маси: первинні (неокиснені) кварцити лежачої пачки, неокиснені кварцити висячої пачки, а також вторинні (окиснені) залізисті кварцити висячої пачки [2-3].

Відбійка гірничої маси на родовищі здійснюється спеціальним буропідривним способом. Згідно з чинним «Типовим проєктом ведення буропідривних робіт», початковий етап підготовки масового вибуху полягає в розробці детальної технічної документації. Для цього з поточного плану розвитку гірничих робіт виконується топографічне викопіювання блоку, що готується до підривання. Спираючись на актуальну маркшейдерську зйомку та геологічні звіти, керівник підривних робіт обґрунтовує вибір типу вибухової речовини (ВР) і розраховує оптимальну конструкцію свердловинного заряду. Паралельно з цим інженерно-технічний відділ формує проєкт сітки обурення блоку, після чого дільничний маркшейдер виносить координати свердловин у натуру, маркуючи кожну точку спеціальним кілочком із зазначенням порядкового номера та проєктної глибини буріння.

Після завершення бурових робіт виконується обов'язкове інструментальне вимірювання фактичних геометричних параметрів: глибини кожної свердловини, відстаней між ними та рівня залягання підземних вод (обводненості). Отримані фактичні дані є підставою для виконання технічним відділом остаточного корегувального розрахунку маси та структури свердловинних зарядів.

Основним юридичним і технічним документом, який регламентує та санкціонує проведення масового вибуху на підприємстві, є

диспозиція. Цей документ містить:

- план фактичного розміщення мережі свердловин на робочому уступі та профільні геологічні розрізи із зазначенням нумерації, висотних позначок, категорій порід за їхньою міцністю (буримістю/вибуховістю), а також принципову схему комутації вибухового ланцюга та розташування внутрішньосвердловинних і поверхневих уповільнювачів;
- детальну геолого-гідрогеологічну довідку про блок, який підлягає руйнуванню;
- зведену таблицю розрахункових параметрів для кожного свердловинного заряду;
- комплекс організаційно-технічних заходів щодо безпеки робіт із призначенням відповідальних посадових осіб, визначенням радіуса небезпечної зони, розташуванням постів охорони, регламентом часу вибуху, звуковими сигналами та схемою дій у разі виявлення чи ліквідації відмов зарядів.

Загальна характеристика відвального господарства та стан геологорозвідки

Евакуація та складування розкривних порід, що утворюються під час розробки Ганнівського кар'єру, здійснюється як у зовнішні, так і у внутрішні відвальні яруси. Внутрішні відвали формуються безпосередньо у виробленому просторі південного сектора кар'єру, що дозволяє суттєво зменшити витрати на транспортування порід та знизити екологічне навантаження. Доставка розкриву на внутрішні відвали забезпечується технологічним автотранспортом (великовантажними автосамоскидами), а планування, укладання та просування відвальних уступів виконується бульдозерною технікою.

Що стосується ступеня геологічної вивченості, то на теперішній час щільність наявної розвідувальної мережі на Ганнівському родовищі є недостатньою, через що об'єкт офіційно класифікується як

недорозвіданий. Відповідно до положень чинної галузевої інструкції з геологічного забезпечення гірничо-збагачувальних підприємств Криворізького басейну, для деталізації геометрії рудних тіл застосовуються наступні параметри розвідувальних мереж:

У північній частині кар'єру (відповідно до I групи складності): відстань між розвідувальними профілями становить 50 м, а крок між свердловинами безпосередньо у створі профілю дорівнює 50 м.

У південній частині кар'єру (відповідно до III групи складності): розвідувальні профілі закладаються з інтервалом 25-50 м, тоді як крок між свердловинами на профілях витримується в межах 40-50 м.

1.3. Геологічне випробування

Експлуатаційна розвідка є завершальною та найбільш детальною стадією геологорозвідувальних робіт. Вона повинна систематично виконуватися геологічною службою ГЗК самостійно або з залученням спеціалізованих організацій упродовж усього періоду розробки родовища.

Метою експлуатаційної розвідки є своєчасне отримання достатньо повних та надійних геологічних матеріалів, які необхідні для обґрунтованого планування й ефективного ведення видобутку та переробки корисної копалини, забезпечення раціонального використання надр.

В кар'єрах застосовується два комплекси методів випробування геологічний та геофізичний.

Геологічний метод випробування - це комплекс дій, що включає відбір зразків (проб) гірських порід, ґрунтів чи рідин із природних відшарувань, гірничих виробок або свердловин, їх подальшу обробку та аналіз. Він використовується для оцінки складу, фізико-механічних властивостей масиву, пошуку корисних копалин.

Геофізичні методи випробування - це комплекс технологій, заснованих на вимірюванні природних або штучно створених фізичних полів (електричних, акустичних, магнітних, радіоактивних) для вивчення будови надр, пошуку корисних копалин та контролю стану свердловин. Вони дозволяють оцінити властивості порід безпосередньо в масиві або стовбурі свердловини.

Порядок, спосіб, межі застосування та методика геофізичного випробування регламентується спеціальною інструкцією.

У цій інструкції вміщуються вказівки до застосування геологічних методів випробування. У залежності від призначення, техніки відбору, обробки проб і виконання аналізів випробування розділяється на наступні типи: хімічне, мінералогічне, технічне, технологічне, спеціальне.

Випробуванню підлягають уступи кар'єру (з урахуванням обмеження, які визначаються правилами техніки безпеки) розвідувально-експлуатаційні свердловини, вибухові свердловини й відбита гірнична маса.

Види випробування :

- Процедуру хімічного опробування можна реалізувати як окремий технологічний етап або інтегрувати в єдиний комплекс із геофізичними дослідженнями [4].

Зокрема, під час проведення експлуатаційної розвідки практикується паралельне застосування обох зазначених підходів, що забезпечує високу точність та верифікацію результатів геофізичних замірів. Водночас для поточного експлуатаційного контролю якості рудної маси допускається повний перехід на геофізичні експрес-методи. У такому разі для підтвердження збіжності та надійності даних виконують дублюючий хімічний аналіз, обсяг якого має становити не менше 5% від сумарної кількості відібраних проб [4].

- випробування уступів кар'єру використовуються такі типи випробування: бороздкове, точкове-лінійне, точкове, задиркове, штуфне.

Допускається використання інших типів випробування в залежності від конкретних умов, задач і характеру корисної копалини. Рекомендується два типи випробування бороздковий і лінійно-точковий.

Застосовувана методика опробування має задовольняти дві фундаментальні технологічні вимоги. По-перше, похибка аналізу не повинна мати систематичного характеру, а її величина має суворо укладатися в межі нормативних допусків. По-друге, процес відбору проб має відзначатися високою продуктивністю та оперативністю, що дає змогу швидко оцінювати якість корисні копалини у виробках безпосередньо після їхнього проведення.

Для визначення якісних характеристик рудного масиву використовують такі основні способи:

- Борозний спосіб: базується на безперервному відборі матеріалу (гірської породи чи руди) з поверхні оголення шляхом вирубування рівномірної лінії (борозни) із фіксованими геометричними параметрами: шириною від 3 до 5 см та глибиною 1 см.

- Лінійно-точковий метод: полягає у послідовному відборі окремих невеликих порцій (точок) мінеральної сировини, які розташовуються уздовж лінії оголення через строго визначені однакові відстані. Цей підхід є найбільш раціональним під час роботи з високоміцними типами руд та вміщувальних порід.

Випробування свердловин колонкового буріння проводиться після його опису дільничним геологом або, у виключних випадках, паралельно з описом. Відбір проб проводиться окремо по кожному різновиду руд і порід, які виділені геологами при описуванні.

Мінералого-петрографічне випробування проводиться з метою вивчення мінерального складу, генетичних особливостей, текстурно-структурних особливостей руд та вміщуючих порід, які мають важливе

значення для технології видобутку й переробки, комплексного використання руд.

Технічне випробування призначено для визначення фізико-механічних властивостей руд і порід, які впливають на технологічні процеси видобутку й підготовки руд до збагачення, а також враховуються при підрахунку запасів і планування (міцність, дробимість, об'ємну та питому вагу, вологість, пористість і таке інше)

Технологічне випробування: задачею опробування є визначення збагачуваності руд, що проводиться в науково-дослідних установах, або поточне-в рудо випробувальних станціях ГЗК.

З метою всебічного контролю якісних показників використовується повний спектр методів опробування відповідно до встановлених геометричних параметрів мережі експлуатаційної розвідки (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Геометричні параметри розвідувальних та опробувальних мереж

Вид геологорозвідувальних робіт	Орієнтація розвідувальних ліній	Рекомендований крок мережі, м
Експлуатаційна розвідка	Відстань між суміжними профілями	25 - 50
	Інтервал між свердловинами у створі профілю	40 - 50
Експлуатаційне опробування	Відстань між суміжними профілями	18 - 24
	Інтервал між свердловинами у створі профілю	12 - 16

1.4 Опис схеми рудопідготовки та збагачення магнетитових кварцитів ПрАТ «ПівнГЗК»

Вибір технології рудопідготовки на ПрАТ «ПівнГЗК» обумовлений високою міцністю та абразивністю залістих кварцитів Першотравневого та Ганнівського родовищ, що вимагає багатостадійного процесу подрібнення. Обґрунтування технологічної

схеми базується на принципі «не роздрібнювати нічого зайвого», що реалізується шляхом поступового виведення відходів збагачення на кожній стадії. Процес починається з крупного дроблення у конусних дробарках безпосередньо в кар'єрі або на поверхні, після чого руда надходить на збагачувальні фабрики (ЗФ-1 або ЗФ-2).

Крупність руди, що надходить на дробильну фабрику № 1 з Першотравневого та Ганнівського кар'єрів, повинна бути -1200+0 мм з вмістом вологи не більше 4%.

Склад рудної шихти, що надходить на РЗФ 1 з Першотравневого та Ганнівського кар'єрів і забезпечує планові показники збагачення, повинен відповідати співвідношенням, що наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Склад рудної шихти

Родовище	Співвідношення, %	Різновид, %		Питома робота руйнування кгм/см ³ , не більше
		південь	північ	
Першотравневе	65 ± 5	-	-	9,0
Ганнівське	35 ± 5	75	25	9,0

Руда з кар'єрів подається залізничним транспортом в прийомні бункери дробильної фабрики №1.

Технологічна схема дроблення руди включає чотири стадії дроблення і одну стадію грохочення, встановленої перед четвертою стадією дроблення, з метою виділення готового класу -20 мм. Ця схема прийнятна для всіх трактів за винятком першого і третього, де додатково встановлено грохот перед третьою стадією дроблення з метою виділення готового класу -20 мм.

Дроблення руди в 1 стадії дроблення проводиться дробарками ККД 1500/180 з шириною завантажувального отвору 1500 мм, розвантажувального - 180 мм. Оптимальні розміри розвантажувального

отвору 180-220 мм. Технічна характеристика конусних дробарок крупного дроблення наведена в табл. 1.4.

Дроблення руди в 2 стадії дроблення проводиться дробарками КРД 700/100 з гідравлічним приводом регулювання розвантажувального отвору.

Межа регулювання розвантажувального отвору 100-110 мм.

Таблиця 1.4 – Технічна характеристика конусних дробарок крупного дроблення

Параметри	ККД 1500/180	КРД 700/100
Діаметр дробильного конуса, м	2,52	2,34
Ексцентриситет, м	0,021	0,016
Число хитань конуса за хвилину	80	110
Ширина отвору, мм: приймального вихідного	1500 180	700 100
Розмір найбільшого шматка в завантаженні, мм	1200	550
Продуктивність, м ³ /год.	1450	780

Третю стадію дроблення проводиться дробарками КСД 2200, КСД-2200Т-Д [5-7], оптимальний розмір розвантажувального отвору 28-30 мм. Технічна характеристика конусних дробарок середнього дроблення наведена в табл. 1.5 [5-7].

Таблиця 1.5 – Технічна характеристика конусних дробарок середнього дроблення [5-7]

Параметри	КСД-2200	КСД-2200Т-Д
Ширина приймального отвору на відкритій стороні, мм.	275	275
Розмір найбільшого шматка в завантаженні, мм	250	250
Діапазон регулювання ширини вихідного отвору в фазі зближення отворів, мм	15-30	15-30
Продуктивність, м ³ /год	180-360	180-360

У технологічній схемі рудопідготовки для виділення готового за крупністю класу на різних етапах подрібнення передбачено операції грохочення. На першому технологічному тракті перед III та IV стадіями руйнування функціонують двоситні грохоти типу ГІТ-52. На третьому тракті аналогічну задачу перед III стадією виконує двоситний просіювальний апарат 7*14DD "Low Head", а перед IV стадією — грохот 7*12 "Ripl Flo", який забезпечує виділення кондиційного класу крупністю -20 мм. Решта технологічних трактів після III стадії дроблення оснащені інерційними важкими грохотами ГІТ-51Н, призначеними для контрольованого просіювання рудної маси перед її подачею на IV стадію.

Просіювальні поверхні апаратів ГІТ-51Н мають квадратні отвори розміром 27x27 мм. На грохотах типу ГІТ-52, 7*14DD "Low Head" та 7*12 "Ripl Flo" встановлено два яруси сит: верхній — з чарунками 40 x 40мм, нижній - 27 x 27 мм. Гранично допустима величина зносу отворів просіювальних елементів становить 6 мм. Повні технічні параметри класифікаційного обладнання наведено в табл. 1.5а [8-10].

Таблиця 1.5а – Технічні характеристики грохотів сортувального переділу

Технологічні параметри	ГІТ-51Н	ГІТ-52	7*12 "Ripl Flo"	7*14DD "Low Head"
Геометрія сита, мм:				
- ширина	1750	1750	2133,6	2133,6
- довжина	3500	3990	3657,6	4267,2
Корисна площа просіювання, м ²	6,0	7,0	7,8	9,1
Кількість ярусів сит, шт.	1	2	2	2
Максимальний розмір шматків у живленні, мм	100	300	300	150
Кут установлення коробка, град.	10-30	15-30	11-23	12-28
Продуктивність за вихідним потоком, т/год	1000	800	1000	800
Робоча амплітуда коливань коробка, мм	4-7	6,0	4,6-5,5	4,6-5,5

Стабільність показників грохочення забезпечується безперервним моніторингом з боку обслуговуючого персоналу (дробильників). Особлива увага приділяється герметичності й стану ущільнювальних елементів у зонах сполучення короба грохота із завантажувальними пристроями конусних дробарок дрібного дроблення (КМД), а також на ділянках перевантаження руди з-під дробарок середнього дроблення (КСД) на грохоти. Для I та III трактів додатково контролюються вузли перепаду матеріалу з магістральних стрічкових конвеєрів М-3 та М-5 на просіювальні поверхні [8-10].

Четверта стадія подрібнення реалізується із застосуванням високоефективних конусних дробарок моделей КМД-2200, КМДТ-2200 та КМДТ-2200Т6-Д. Паспортні характеристики цього обладнання зведені в табл. 1.6. Раціональний технологічний режим передбачає підтримання ширини розвантажувальної щілини в межах 6-8 мм [5-7].

Таблиця 1.6 – Технічні характеристики конусних дробарок фінішного дроблення

Параметри експлуатації	КМД-2200	КМДТ-2200	КМДТ-2200Т6-Д
Граничний розмір куска у вихідному живленні, мм	140	100	70
Діапазон налаштування вихідного отвору (у фазі зближення), мм	110	80	60
Об'ємна продуктивність обладнання, м ³ /год	10-20	5-15	6-12
Ширина приймальної зони (на відкритій стороні), мм	220-260	160-220	140-180

Транспортування подрібненого матеріалу до приймальних бункерів рудопідготовчого комплексу рудозбагачувальної фабрики №1 (РЗФ-1) здійснюється за допомогою системи стрічкових конвеєрів М-15, М-16 та серії О-1 - О-6.

Граничний вміст надсегментного класу крупності +20 мм у товарній руді регламентується внутрішнім нормативним документом підприємства СТП-277-02-17 «Руда магнетитова дроблена» і має

становити не більше 9%. Оперативний аналіз ситового складу виконується фахівцями відділу технічного контролю (ВТК) відповідно до затвердженої Карти випробувань ПрАТ «Північний ГЗК». Проби відбираються безпосередньо з лінійних горизонтальних конвеєрів РЗФ-1 за спільної участі представників дробильної та збагачувальної фабрик [8-10].

Кількісна присутність класу +20 мм у готовому продукті є результируючим показником, який залежить від наступних факторів:

- загальний ступінь подрібнення на всіх послідовних стадіях дроблення;
- якісні та кількісні показники ефективності грохочення;
- поточний технічний стан і міжремонтний ресурс експлуатованого обладнання;
- суворе дотримання регламентованих параметрів технологічного процесу.

Таблиця 1.7 – Нормативні вимоги до ситового складу вихідного живлення РЗФ-1

Контрольований показник	Гранична норма у змінній пробі	Стандартизована методика контролю
Масова частка класу +20 мм, %	≤9,2	1. Відбір та сепарація технологічних проб виконується згідно з вимогами ДСТУ 3195:2015 і ДСТУ 3196:2015. 2. Ситовий аналіз для оцінки гранулометрії проводиться за методикою ДСТУ 3210-95.

Для досягнення планових технологічних показників збагачення, вихідна руда, що надходить із Першотравневого та Ганнівського кар'єрів, підлягає обов'язковому компоненту шихтуванню. За потреби випуску високоякісного залізорудного концентрату марки А-1, бункери секцій №7-16 завантажуються виключно сировиною поточного

видобутку Ганнівського родовища. Сировина Першотравневого родовища розподіляється в бункери технологічних секцій №1-6 та №17-27 для виробництва концентрату марки А-2 [8-10].

Розподіл типів руд у загальному потоці шихти за критерієм їхньої збагачуваності наведено у табл. 1.8.

Таблиця 1.8 – Компонентний склад рудної шихти за категоріями збагачуваності

№ п/п	Технологічний тип руди за збагачуваністю	Доля у загальній шихті, %	Гранично допустимі коливання, %
1	Легкозбагачувані різновиди (ЛЗ)	66,0	-2,0
2	Середньозбагачувані різновиди (СЗ)	16,0	+2,0
3	Важкозбагачувані різновиди (ВЗ)	18,0	+2,0

На секціях №7-16 передбачено можливість випуску концентрату марки А-1 із вмістом загального заліза на рівні 67,0-68,0%. На інших ділянках (секції №1-6 та №17-27) виготовляється рядовий концентрат із базовим вмістом Fezag $\geq 65,5\%$.

На фабриці реалізовано класичну технологію мокрому кульового розмелювання, гідравлічної класифікації та мокрої магнітної сепарації (ММС). Фабрика складається з двох черг: I черга містить вісім спарених секцій (№1-16), II черга — одинадцять секцій (№17-27).

Послідовність операцій у технологічній схемі РЗФ-1 включає:

1. **Подрібнення:** тристадійний цикл у кульових млинах моделей МКР 3600x4000, МКР 3850x4000, МКР 4000x5000 та МКЦ 3600x5500.

2. **Класифікація:** тристадійна схема із залученням спіральних класифікаторів 2КСН 2,4x12,5 та гідроциклонів ГЦ-710, ГЦ-500 і ГЦ-350. На ряді секцій (включаючи №5-6, №7-8, №15-16, №17, №23-25) інтегровано операцію контрольної класифікації на апаратах ГЦ-350.

3. **Магнітна сепарація:** п'ятистадійне збагачення на сепараторах ПБМ-ПП-90/250, SWM-ПП-90/250, SWM-ПП-120/300 та ПБМ-П(ПП)-120/300.

4. **Знешламлення:** три стадії дешламації проміжних продуктів та фінішного концентрату в магнітних дешламаторах МД-9А.

5. **Зневоднення:** вакуумна фільтрація готового концентрату на дискових фільтрах ДОО-160-3,2У.

Гідротранспорт і цехове переміщення продуктів забезпечується шламовими насосами марок VASA 7010/200, VASA 507/150, Orion-НМ 250, а також вітчизняними аналогами 8Гр-8 і 5Гр-8. Передбачено альтернативну схему транспортування концентрату у вигляді пульпи на РЗФ-2 для подальшого зневоднення [8-10].

Подача вихідної дробленої руди (крупністю 20-0 мм) із бункерів на збиральні конвеєри здійснюється самопливом через живильники. Продуктивність регулюється за допомогою зміни швидкості руху стрічок, а безперервний облік маси забезпечують електронні конвеєрні ваги ВКТ-4. Перша стадія подрібнення виконується в млинах із розвантаженням через решітку (МКР 3600х4000 для першої черги та МКР 4000х5000 — для другої), які працюють у замкненому циклі з класифікаторами 2КСН 2,4х12,5. Оперативний контроль параметрів через систему АСУ ТП здійснюється оператором пульта з щогодинною фіксацією показників у робочому журналі, а безпосереднє регулювання навантаження покладається на машиніста млинів [8-10].

Первинне руйнування вихідної залізородної сировини крупністю 20-0 мм здійснюється в одностадійному циклі з використанням кульових млинів із розвантаженням через решітку. На першій черзі збагачувальної фабрики (технологічні секції №1-16) експлуатуються млини типу МКР 3600х4000, тоді як на другій черзі (секції №17-27) встановлено більш потужні агрегати МКР 4000х5000. Паспортні та

конструктивні характеристики помольних одиниць наведено в таблиці 1.9 [8-10].

Таблиця 1.9 – Технічні характеристики кульових млинів первинного подрібнення

№ з/п	Конструктивні та експлуатаційні параметри	МКР 3600x4000	МКР 4000x5000
1	Технологічні секції фабричного комплексу	1-16	17-27
2	Внутрішній діаметр барабана (без футеровки), мм	≤3600	≤4000
3	Довжина барабана (без футеровки), мм	≥4000	≥5010
4	Номінальний геометричний об'єм масиву барабана, м ³	35 ± 5%	54 ± 5%
5	Експлуатаційна частота обертання від критичної, %	75-85	75-82
6	Робоча частота обертання барабана, об/хв (довідкова)	18,0	17,18
7	Коефіцієнт заповнення внутрішнього об'єму кулями, %	40 ± 2%	40± 2%
8	Гранична споживана потужність електродвигуна, кВт	1100 / 1120	2000
9	Марка приводного електродвигуна	Н155051 М36	СДС 19-46-40
10	Габарити агрегату в зборі (довжина / ширина / висота), мм	15100 / 7600 / 5700	16400 / 8400 / 6200
11	Сумарна конструктивна маса млина (без тіл та арматури), т	≤164	≤265

Розвантажуваний з млина подрібнений продукт із регламентованою щільністю пульпи на рівні 2350-2450 г/л самопливним способом транспортується до спірального класифікатора моделі 2КСН 2,4x12,5. У робочому просторі апарата мінеральна суспензія за рахунок дії гравітаційних та гідродинамічних сил розділяється на дві фракції: надсегментні піски (крупний продукт) та фінішний злив (дрібнодисперсний продукт). Паспортні показники класифікуючого обладнання наведено в табл. 1.10 [8-10].

Таблиця 1.10 – Технічні характеристики кульових млинів первинного подрібнення

№ з/п	Найменування конструкційного чи технологічного параметра	Нормативне значення
1	Функціональне призначення апарата за регламентом	Розділення за крупністю (≤ 25 мм) і щільністю в рідкому середовищі
2	Номинальний діаметр робочої спіралі, мм	2400 \pm 50
3	Повна довжина робочого корита, мм	12500 \pm 16
4	Загальна кількість встановлених спіралей, шт.	2
5	Частота обертання робочого гвинтового органу, об/хв	3,6 \pm 0,5
6	Гранична потужність приводів (обертання / підйому спіралі), кВт	22,0 / 4,0
7	Габаритні розміри вузла (довжина / ширина / висота), мм	15700 / 5700 / 4500
8	Кут нахилу поздовжньої осі корита, град.	15-21 (паспортний 18-3)
9	Загальний конструктивний крок гвинтової лінії спіралі, мм	1500
10	Число заходів робочої гвинтової поверхні, шт.	2
11	Сумарна маса класифікатора (без урахування електроприводів), кг	\leq 50000

Виділені піски, що утворюють циркуляційне навантаження, через зворотний технологічний жолоб повертаються у завантажувальну цапфу млина для повторного збагачувального розмелювання. Злив спірального класифікатора, оптимальний діапазон щільності якого становить 1350-1550 г/л, спрямовується до цехового пульпорозподільника перед першою стадією мокрої магнітної сепарації.

Технологічний режим роботи обладнання першої стадії розмелювання та гідравлічної сепарації детально охарактеризовано в табл. 1.11 [8-10].

Таблиця 1.11 – Технологічні параметри та режими роботи I стадії рудопідготовки

№ з/п	Фізико-технічні та кількісні показники	Секції №1-14 (I черга)	Секції №17-27 (II черга)
1	Базовий типорозмір млинового обладнання	МКР 3600x4000	МКР 4000x5000
2	Кількість млинів / класифікаторів на секцію, од.	2 / 2	1 / 1
3	Оптимальна продуктивність по вихідній руді, т/год	85-110	180-210
4	Рівень внутрішнього циркуляційного навантаження, %	150-160	140-150
5	Діаметр кускових помольних тіл (нових), мм	100	100
6	Маса кульового завантаження всередині барабана, т	62-70	96-108
7	Питома витрата сталевих помольних куль, кг/т концентрату	за нормою (1,26)	за нормою (1,26)
8	Щільність розвантаження млина (вміст твердого, %)	2350-2450 г/л (80-82%)	2350-2450 г/л (80-82%)
9	Щільність зливу класифікатора (вміст твердого, %)	1350-1550 г/л (36-50%)	1350-1550 г/л (36-50%)
10	Вміст контрольного класу -0,056 мм у розвантаженні млина, %	30-32	28-30
11	Вміст контрольного класу -0,056 мм у зливні класифікатора, %	58-60	58-60
12	Вміст контрольного класу -0,056 мм у пісках класифікатора, %	11-13	11-13
13	Питома продуктивність за знову утвореним класом -0,056 мм, т/м ³ год	1,5-1,6	1,7-1,8
14	Витрата технічної води (у зворотний жолоб / у класифікатор), м ³ /год	20-30 / 90-130	40-45 / 150-180

Концентрат першої стадії магнітної сепарації самопливом надходить в перший технологічний зумпф (на I черзі - на непарні секції), куди подається додаткова вода для підтримання необхідної щільності живлення гідроциклонів і забезпечення постійного рівня пульпи не менше 75% висоти зумпфа. З технологічного зумпфа пульпа насосами VASA HD 7010/200 подається в колектор, до якого радіально чи лінійно приєднані гідроциклони ГЦ-710 (ГЦ-500, ГЦ-350) Технічні характеристики гідроциклонів наведені в табл. 1.12.

Режими роботи і технологічні показники роботи другої стадії подрібнення наведені в табл. 1.12 [8-10].

Таблиця 1.12 – Технічна характеристика гідроциклонів

№ з/п	Найменування параметрів	Од. вим.	ГЦ-710	ГЦ-500	ГЦ-350
1	Найменування:		Гідроциклон із спіральним введенням живлення		
2	Внутрішній діаметр	мм	710	500	350
3	Кут конусності	град	20		
4	Розмір живильного отвору	мм	200x85	190x92	110x50
5	Діаметр: - зливного патрубку - піскової насадки	мм	150,0		110,0
			90,0 1-й прийом, друга стадія класифікації		33,0 - 34,0 (контрольна класифікація)
			76,0 2-й прийом, третя стадія класифікації		
6	Тиск на введенні в гідроциклони, не менше:	кПа	150-250		
7	Габаритні розміри: - довжина - ширина - висота	мм	1242	937	640
		мм	1196	770	746
		мм	2355	2200	1565
8	Маса (не більше)	кг	900	700	300

Контроль за роботою насосних агрегатів та рівнем наповнення пульпи несе машиніст насосних установок, машиніст млинів контролює та несе відповідальність за передачу даних згідно показників АСУТП.

В гідроциклонах матеріал розділяється на крупну (піски) і тонку (злив) фракції. Піски гідроциклонів додрібнюються в млині II стадії з центральним розвантаженням МКЦ 3600x5500 (табл. 1.13).

Оперативне управління матеріальним потоком і контроль завантаження руди здійснює машиніст млинів. Заданий гранулометричний склад зливу класифікатора (випуск класу $-0,056$ мм у межах 58-60%) досягається стабілізацією водного режиму. Машиніст млинів за допомогою засобів АСУ ТП коригує подачу технологічної води у зворотний жолоб (для кращого транспортування піскової фракції) та безпосередньо у зливний короб млина. Щільність пульпи вимірюється автоматизовано або контролюється вручну за допомогою об'ємно-вагового методу (мірна кружка).

Раціональний режим стирання мінеральних зерен вимагає підтримання постійної маси кульового середовища. Дозавантаження млинів сталевими кулями діаметром 100 мм проводиться регулярно з періодичністю один раз на 3 доби. Потрібна порція металу розраховується відповідно до обсягу виробленого готового концентрату та фізико-механічних властивостей (міцності) руди. Контроль за процесом поповнення завантаження покладено на майстра дільниці кульового господарства та заступника начальника цеху з технології та якості.

На другу технологічну стадію подрібнення надходить збагачений проміжний продукт (магнітна фракція) після першого та другого етапів сепарації. Процес подрібнення реалізується в кульових млинах із центральним розвантаженням типу МКЦ 3600x5500-УХЛ4, які функціонують у замкненому циклі з блоком гідроциклонів моделей ГЦ-

710, ГЦ-500 або ГЦ-350. Паспортні параметри млинів серії МКЦ наведено в табл. 1.13 [8-10].

Таблиця 1.13 – Технічні характеристики млинів МКЦ 3600x5500-УХЛ4 другої та третьої стадій

№ з/п	Найменування технічного параметра конструкції	Числове значення норми
1	Діапазон задіяних технологічних секцій фабрики	1-27
2	Внутрішній діаметр робочого барабана (без футеровки), мм	≤3600
3	Корисна довжина барабана (без футеровки), мм	≥5500
4	Номінальний об'єм робочої порожнини барабана, м ³	52
5	Частота обертання від критичної / абсолютна швидкість, об/хв	75-85 / 18,14 об/хв
6	Коефіцієнт заповнення внутрішнього простору подрібнювальними тілами, %	40 ± 2%
7	Потужність головного синхронного двигуна (тип ДС3260-49-32), кВт	1250
8	Конструктивні габарити (довжина / ширина / висота), мм	15100 / 7600 / 5700
9	Загальна конструктивна маса млина (без кульового середовища), т	≤170

Для ефективної класифікації у кожному діючому секційному блоці має перебувати в роботі одночасно не менше трьох гідроциклонів. Концентрат першої стадії магнітної сепарації самопливом надходить у перший зумпф (на I черзі фабрики — на непарні секційні блоки). Сюди ж подається додатковий об'єм води для стабілізації щільності живлення та утримання рівня дзеркала пульпи не нижче 75% від загальної висоти зумпфа. З цієї ємності пульпа важкими відцентровими шламовими насосами VASA HD 7010/200 нагнітається у розподільний колектор гідроциклонів. Конструктивні параметри вживаних гідроциклонів наведено в табл. 1.14 [8-10].

Таблиця 1.14 - Конструктивні характеристики відцентрових класифікаторів (гідроциклонів)

№ з/п	Параметри та геометричні розміри	ГЦ-710	ГЦ-500	ГЦ-350
1	Конструктивне виконання вузла живлення	Спиральне	Спиральне	Спиральне
2	Номинальний внутрішній діаметр корпусу, мм	710	500	350
3	Кут конусності нижньої частини апарата, град.	20	20	20
4	Розміри вхідного (живильного) отвору, мм	200x85	190x92	110x50
5	Внутрішній діаметр зливного патрубку, мм	150	110	90
6	Робочий діаметр піскової насадки, мм	76	33-34	—
7	Мінімальний необхідний тиск на вході в апарат, кПа	150-250	150-250	120-180
8	Габарити (довжина / ширина / висота), мм	1242 / 1196 / 2355	937 / 770 / 2200	640 / 746 / 1565
9	Гранична конструктивна маса апарата, кг	900	700	300

У гідроциклонах під дією відцентрових сил мінеральний потік розділяється на злив (тонка підсегментна фракція) та піски (крупна фракція). Піски повертаються на доподрібнення у млин МКЦ 3600x5500 відповідної стадії, а злив прямує на подальші збагачувальні операції (на першу стадію дешламації). Робочі параметри циклів другої та третьої стадій розмелювання зведені в табл. 1.15 і 1.16 [8-10].

Третя стадія подрібнення (табл. 1.15) забезпечує остаточне розкриття мінеральних зростків перед фінішними операціями збагачення. На цей етап надходить магнітний концентрат III стадії сепарації та розвантаження млина третьої стадії подрібнення. Суспензія збирається у другому технологічному зумпфі (на I черзі фабрики — на парних секціях) і подається на класифікацію насосними агрегатами VASA HD 7010/200.

Таблиця 1.15 — Технологічні показники роботи циклу II стадії подрібнення та класифікації [8-10]

№ з/п	Регламентні показники та одиниці виміру	Секції №1-16	Секції №17-27
1	Задіяна кількість млинів на технологічну секцію, од.	1	1
2	Типорозмір використовуваних класифікаційних одиниць	ГЦ-710, ГЦ-500	ГЦ-710, ГЦ-500, ГЦ-350
3	Загальна кількість працюючих гідроциклонів, од.	3	3-6
4	Продуктивність замкнутого циклу за твердим, т/год	120-130	110-120
5	Величина внутрішнього циркуляційного навантаження, %	165-175	190-200
6	Номінальний розмір довантажуваних сталевих куль, мм	40	40
7	Загальна вага кульового завантаження в барабані, т	88-100	88-100
8	Питома норма витрати куль, кг/т концентрату (довідкова)	0,64	0,64
9	Показники щільності (г/л) та вмісту твердої фази (%): - у розвантаженні млина - у живильному потоці гідроциклонів - у зливі гідроциклонів - у пісковому продукті	1900-2200 (62-72%) 1300-1350 (30-34%) 1150-1200 (16-22%) 2050-2400 (66-75%)	1900-2200 (62-72%) 1300-1350 (30-34%) 1150-1200 (16-22%) 2050-2400 (66-75%)
10	Вміст контрольного класу -0,056 мм за продуктами, %: - у розвантаженні млина - у фінішному зливі гідроциклонів - у пісковому продукті	60-62 ≥88,0\$ 33-35	60-62 ≥88,0\$ 33-35
11	Питома продуктивність за класом -0,056 мм, т/м ³ год	0,6-0,8	0,6-0,8
12	Кількість води, що додається в технологічний зумпф, мм, т/м ³ год	300-350	300-350

Таблиця 1.16 — Технологічні показники роботи циклу III стадії подрібнення та класифікації [8-10]

№ з/п	Нормативні показники та одиниці виміру	Секції №1-16	Секції №17-27
1	Робоча кількість млинів серії МКЦ на секцію, од.	1	1
2	Типорозміри підключених апаратів класифікації	ГЦ-710, ГЦ-500	ГЦ-710, ГЦ-500, ГЦ-350
3	Загальна кількість працюючих гідроциклонів, од.	3	3-6
4	Продуктивність замкнутого циклу за твердим, т/год	96-100	100-105
5	Величина внутрішнього циркуляційного навантаження, %	80-90	80-90
6	Номінальний розмір довантажуваних сталевих куль, мм	40	40
7	Загальна вага кульового завантаження в барабані, т	88-100	88-100
8	Питома норма витрати куль, кг/т концентрату (довідкова)	0,425	0,425
9	Показники щільності (г/л) та вмісту твердої фази (%): - у розвантаженні млина - у живильному потоці гідроциклонів - у зливі гідроциклонів - у пісковому продукті	2000-2150 (65-68%) 1250-1340 (26-34%) 1080-1150 (10-17%) 2180-2600 (70-80%)	2000-2150 (65-68%) 1250-1340 (26-34%) 1080-1150 (10-17%) 2180-2600 (70-80%)
10	Вміст контрольного класу -0,056 мм за продуктами, %: - у розвантаженні млина - у фінішному зливі гідроциклонів - у пісковому продукті	87-94 ≥97,0\$ 72-79	87-94 ≥97,0\$ 72-79
11	Питома продуктивність за класом -0,056 мм, т/м ³ год	0,18-0,22	0,18-0,22
12	Кількість води, що додається в технологічний зумпф, т/м ³ год	300-350	300-350

Для інтенсифікації процесу та підвищення масової частки загального заліза в готовому концентраті шляхом виведення з процесу крупнодисперсних мінеральних зростків, на ряді технологічних секцій фабрики (зокрема №5-6, №7-8, №15-16, №17, №23-25) інтегровано вузол контрольної гідравлічної класифікації. Ця операція здійснюється на гідроциклонах типу ГЦ-350, куди подаються знешламлені зливи дешламаторів, що формують живлення магнітних сепараторів III та IV стадій збагачення [8-10].

Піски дешламаторів I та II прийомів надходять у промпродуктові зумпфи, де розбавляються водою до досягнення необхідної консистенції, після чого відцентровими шламовими насосами VASA HD 507/150 подаються на гідроциклони ГЦ-350. Схема розділення передбачає повернення крупних пісків контрольної класифікації на додрібнення у млини II та III стадій подрібнення відповідно. Зливи гідроциклонів ГЦ-350 спрямовуються безпосередньо на сепаратори III та IV стадій ММС. Експлуатаційні параметри контрольного циклу наведено в табл. 1.17 [8-10].

Таблиця 1.17 - Режими роботи та показники вузла контрольної класифікації

№ п/п	Контрольовані параметри та одиниці виміру	Технологічна норма
1	Типорозмір використовуваних гідроциклонів	ГЦ-350
2	Кількість працюючих апаратів на одну стадію, од.	3 (4 для секцій №15-16)
3	Рівень внутрішнього циркуляційного навантаження, %	70-80
4	Нагнітальний тиск на вході в апарати, кПа	120-180
5	Вміст твердої фази за продуктами розділення, %: - у живильному потоці гідроциклонів - у зливні гідроциклонів - у піщовому продукті	25-30 18-20 60-65
6	Вміст контрольного класу -0,056 мм за продуктами, %: - у живильному потоці гідроциклонів - у зливні гідроциклонів - у піщовому продукті	96-97 98-99 88-92

Гідравлічний транспорт пульпових продуктів, промпродуктів та збагаченого концентрату в цехових умовах забезпечується відцентровими шламовими насосами різних модифікацій. Їх технічні характеристики та робочі параметри зведені в табл. 1.18 [8-10].

Таблиця 1.18 — Технічні характеристики відцентрового насосного обладнання

№ п/п	Параметри та одиниці виміру	ГР-160/31,5	8ГР-8 (400/40)	VASA HD-507/150	VASA HD-7010/200	ORION HM250
1	Конструктивне виконання	Грунтовий	Грунтовий	Важкий шламовий	Важкий шламовий	Горизонтальний
2	Об'ємна продуктивність, м ³ /год	160	350-400	280-400	750-780 (при ρ=1320 г/л)	до 1200
3	Розвивальний напір стовпа рідини, м	31,5	40,0	до 50,0	36,0	45-46
4	Потужність двигуна, кВт	55,0	132,0	90,0 / 132,0	200,0 (160-250)	450,0
5	Частота обертання робочого колеса, об/хв	965	1450	до 1100	675	882
6	Діаметр шківів (двигуна / насоса), мм	-	-	280 / 500	280 / 630	-
7	Витрата води на гідроуцілювання, л/хв	-	-	25,0	30,0	-
8	Габарити (довжина / ширина / висота), мм	990 / 628 / 628	1325 / 880 / 880	1720 / 980 / 1760	2000 / 1230 / 2807	1150 / 1094 / 1030
9	Загальна маса насосного агрегату, кг	350	910	2890	3450	6455

Для подрібнення використовують круглі сталеві помольні тіла: кулі діаметром 100 мм – для I стадії розмелювання, та кулі діаметром 40 мм – для II й III стадій подрібнення. З метою забезпечення раціонального

фракційного складу робочого середовища та скорочення періоду виходу млинів на оптимальний режим після ремонтів, первинне завантаження виконується за спеціальною методикою [8-10]:

- **Для I стадії (МКР):** завантажують зношені кулі, що зберегли сферичну форму, діаметром 60-100 мм у кількості 50-60 т (для першої черги) або 70-90 т (для другої черги). Поповнення до номінальної маси виконують новими кулями діаметром 100 мм після пуску.

- **Для II та III стадій (МКЦ):** використовують вживані кулі діаметром 20-40 мм масою 80-90 т для обох черг. Подальше довантаження здійснюють кулями діаметром 40 мм.

Довантаження куль діаметром 100 мм у першу стадію проводиться раз на 3 доби з урахуванням обсягу переробленої руди та її поточної міцності. Поповнення млинів II та III стадій кулями діаметром 40 мм також здійснюється раз на 3 доби на основі даних про фактичний випуск концентрату.

Магнітне збагачення підготовленої пульпи виконується методами мокрої магнітної сепарації (ММС) на барабанних сепараторах моделей ПБМ-ПП-90/250, ПБМ-П-120/300, ПБМ-ПП-120/300, SWM-ПП-90/250, SWM-ПП-120/300 та шляхом дешламації на апаратах МД-9А. Технічні характеристики барабанних магнітних сепараторів наведено в табл. 1.19 [8-10].

Прийнята технологія передбачає виділення та видалення відвальних хвостів після кожної стадії та прийому сепарації до загальнофабричної хвостової мережі. Змивний потік продукту з поверхні має рівномірно покривати щонайменше 90% довжини барабана. За виробничої потреби ремонту базових вузлів (ванни, коробка) допускається тимчасова робота технологічної секції за умови функціонування не менше 50% встановлених сепараторів на стадію.

Таблиця 1.19 – Технічні характеристики магнітних сепараторів барабанного типу[8-10]

№ з/п	Конструктивні параметри та характеристики	ПБМ-ПП-90/250	ПБМ-ПП-120/300	ПБМ-П-120/300	SWM-ПП-90/250	SWM-ПП-120/300
1	Тип робочої магнітної системи за ТУ	Слабке поле	Слабке поле	Слабке поле	Сильне поле	Сильне поле
2	Геометрія барабана (діаметр / довжина), мм	900 / 2432	1198 / 2970	1198 / 2970	900 / 2500	1200 / 3030
3	Потужність електродвигуна барабана, кВт	4,0	7,5	4,0	4,0	7,5
4	Конструктивне виконання робочої ванни	напівпротиточна	напівпротиточна	проти-точна	напівпротиточна	напівпротиточна
5	Частота обертання робочого барабана, об/хв	26,0	18,0	19,0	26,0	19,0
6	Кількість встановлених магнітних полюсів, шт.	8	10	10	6	7
7	Індукція на поверхні барабана (не менше), Тл	0,148	0,16	0,16	0,19	0,20
8	Гранична крупність збагачуваної сировини, мм	1,0	3,0	3,0	1,0	3,0
9	Модель приводного редуктора вузла	1Ц2У-160	NORD ZK	NORD ZK	Ц2У-160	АІР 132S4
10	Габарити (довжина / ширина / висота), мм	3300/ 2100/ 2200	4074/ 2165/ 1910	4074/ 2300/ 1835	3300/ 2100/ 2200	3700/ 2040/ 1800
11	Повна конструктивна маса сепаратора, кг	3600	5220	5350	3600	6500

Перша стадія магнітної сепарації. Злив спірального класифікатора надходить на сепарацію першої стадії, яка реалізується у два послідовні прийоми (два сепаратори об'єднані в один агрегат).

Магнітна фракція першого барабана переочищується на другому, а відвальні хвости виділяються в обох прийомах. Очищений магнітний продукт другого прийому направляється в перший технологічний зумпф непарних секцій. Регламентна щільність живлення сепараторів становить 1250-1350 г/л. Параметри першої стадії ММС наведено в табл. 1.20 [8-10].

Таблиця 1.20 — Технологічні показники магнітної сепарації першої стадії

№ з/п	Контрольовані показники та параметри процесу	Секції №9-14, №17-27	Секції №1-8, №15-16
1	Типорозмір використовуваного сепаратора	ПБМ-ПП-90/250 (SWM-ПП-90/250)	ПБМ-ПП-120/300 (SWM-ПП-120/300)
2	Робоча кількість діючих сепараторних агрегатів, шт.	4	4
3	Характеристика живлення (вміст твердого % / щільність)	28-35% / 1250-1350 г/л	28-35% / 1250-1350 г/л
4	Вміст контрольного класу -0,056 мм у живленні, %	58-60	58-60
5	Годинна продуктивність одного сепаратора, т/год	50-55	50-55
6	Питома продуктивність на погонний метр барабана, т/(год·м)	20,0-22,0	16,0-18,5
7	Технологічний вихід продуктів (магнітний / хвости), %	55-60 / 45-40	55-60 / 45-40
8	Масова частка Фезаг у вихідному живленні стадії, %	34-37	34-37
9	Масова частка Фезаг в отриманому магнітному продукті, %	50-53	50-53
10	Масова частка Фезаг / Фемагн у відвальних хвостах стадії, %	12-14 / 1,8-2,0	12-14 / 1,8-2,0

Друга стадія магнітної сепарації. Подрібнений продукт млина другої стадії подається на другу стадію ММС для розділення на магнітну фракцію та відвальні хвости. Очищений продукт прямує у перший технологічний зумпф непарних секцій (I черга) або безпосередньо у перший загальний зумпф (II черга). Регламентна щільність живлення становить 1600-1650 г/л. Регулювання подачі живлення та контроль

рівня пульпи здійснює сепараторник. Параметри другої стадії ММС зведені в табл. 1.21 [8-10].

Таблиця 1.21 – Технологічні показники магнітної сепарації другої стадії[8-10].

№ п/п	Технологічні та якісні показники процесу	Одиниця виміру	Значення за регламентом
1	Базовий типорозмір промислового сепаратора	—	ПБМ-ПП-120/300 / ПБМ-П-120/300
2	Кількість працюючих агрегатів на технологічну секцію	шт.	2 (3 для секцій №15-16)
3	Вміст твердого в живленні сепаратора (відсоток / щільність)	% / г/л	50-52% / 1600-1650 г/л
4	Вміст тонкого класу -0,056 мм у живильному потоці	%	60-62
5	Експлуатаційна продуктивність одного апарата	т/год	80-110
6	Питоме навантаження на погонний метр довжини барабана	т/(год·м)	27-35
7	Технологічний вихід продуктів (магнітний концентрат / хвости)	%	80-100 / 4-6
8	Масова частка заліза загального (Фезаг): - у вихідному живленні сепаратора - у проміжному магнітному концентраті - у відвальних хвостах стадії	% % %	52-57 53-60 10-18
9	Масова частка заліза магнітного (Фемагн) у хвостах	%	1,8-2,0

Третя стадія магнітної сепарації. Піскова фракція магнітного дешламатора першої стадії або очищений злив гідроциклонів контрольної класифікації першого прийому спрямовуються на третю стадію ММС. Тут у одностадійному режимі відбувається розділення матеріалу на магнітну фракцію та відвальні хвости, після чого отриманий магнітний продукт самопливом надходить у технологічний зумпф парних секцій для подальшої переробки [8-10].

На четверту стадію магнітної сепарації подаються піски дешламаторів другої стадії знешламлення або злив гідроциклонів контрольної класифікації (другий прийом). Процес розділення

здійснюється в один прийом із виділенням магнітного продукту та відвальних хвостів. Отриманий магнітний концентрат спрямовується до концентратного зумпфу або безпосередньо у концентратні дешламатори (характерно для секцій №17, 22, 23, 26) [8-10].

Оперативний контроль за стабільністю живлення, регулюванням об'ємного навантаження та рівнем пульпи в розподільних пристроях покладається на сепараторника. Оптимальний діапазон щільності живлення становить 1250-1350 г/л. На базі секцій №15-16 експлуатується 4 одиниці сепараторів типу SWM-ПП-120/300 або ПБМ-ПП-120/300, на інших технологічних лініях - по 3 одиниці.

Магнітний промпродукт четвертої стадії сепарації (для секцій №1-16 першої черги РЗФ-1) та піскова фракція дешламаторів №173К, 223К, 233К, 263К (для другої черги РЗФ-1) за допомогою ґрунтових насосних агрегатів VASA 507 та 8Гр8 транспортуються на п'яту стадію магнітного збагачення. Тут відбувається остаточне виділення кондиційного концентрату та хвостів.

На п'ятій стадії застосовано групову схему розміщення обладнання:

- **I черга РЗФ-1:** 20 сепараторів ПБМ-ПП-120/300, що обслуговуються трьома пульпорозподільниками.
- **II черга РЗФ-1:** 30 аналогічних сепараторів, розподілених по чотирьох пульпорозподільних пристроях.

Готовий концентрат акумулюється в концентратних зумпфах відповідних черг РЗФ-1 та за допомогою насосів VASA 7010 і VASA 507 перекачується на вузли змішування або безпосередньо на дільниці зневоднення та станцію гідротранспорту для передачі на РЗФ-2. Машиніст насосних установок здійснює безперервний моніторинг роботи насосних агрегатів та рівня заповнення ємнісного обладнання.

Перший прийом дешламації. Живленням є злив гідроциклонів другої стадії класифікації. Технологічний процес у магнітних

дешламаторах МД-9А забезпечує виділення тонкодисперсних шламів у злив (виводиться самопливом у хвостовий лоток фабрики) та отримання піскової фракції з густиною 1800-1900 г/л (допускається до 2000 г/л при зниженні продуктивності фабрики). Піски насосами типу 8ГР-8 або VASA HD-507/150 транспортуються на третю стадію магнітної сепарації або на контрольну гідроциклонічну класифікацію (ГЦ 350).

Другий прийом дешламації. Здійснюється знешламлення зливу гідроциклонів третьої стадії класифікації. Схема розділення аналогічна: шлами зливу видаляються у хвости, а згущені піски (із регламентованою густиною 1900-2000 г/л, короткочасно — до 2100 г/л) спрямовуються на четверту стадію магнітної сепарації або на повторну контрольну класифікацію.

Третій прийом дешламації. Використовується для деполяризації, усереднення, згущення та фінішного знешламлення продуктів збагачення перед фільтрацією. На фабриці задіяно 10 концентратних дешламаторів МД-9А (6 одиниць на першій черзі та 4 — на другій). Щільність розвантаження розчину суворо контролюється в межах 1900-2000 г/л (масова частка твердого — 55-60%). Піски дешламаторів є безпосереднім живленням ділянки вакуум-фільтрації.

Для зневоднення фінішного магнітного концентрату на РЗФ-1 впроваджено дискові вакуум-фільтри типу ДОО 160 3,2 (загальна кількість - 26 одиниць, з яких 16 закріплені за першою чергою, 10 - за другою).

Ефективна робота фільтрувальних установок досягається за таких режимів:

- Обмеження густини живлення: не більше 1800 г/л.
- Частота обертання дискового вала: 0,45-0,5 об/хв.
- Робоче розрідження (вакуум) у колекторі: 0,076-0,085 МПа, що дозволяє підтримувати вологість кеку на рівні запланованих показників поточного року.

Зневоднений залізорудний концентрат скидається на систему збірних стрічкових конвеєрів серії СБ-1 - СБ-6 для подальшого транспортування.

Стабільне розрідження та подача стисненого повітря для віддувки кеку забезпечуються допоміжним блоком енергетичного обладнання: водокільцевими вакуум-насосами ВВН 2-300 (потужність синхронного електродвигуна 630 кВт) та відцентровими повітряними турбокомпресорами ТВ-175-1,6 із частотою обертання ротора 2970 об/хв. Внутрішньофабричне переміщення пульпових продуктів і гідротранспорт забезпечуються відцентровими ґрунтовими насосами різних типорозмірів відповідно до затвердженої специфікації.

Представлена технологічна схема фінішного циклу рудопідготовки на РЗФ-1 є комбінованим багатостадійним комплексом, що поєднує операції глибокого магнітного збагачення, трьохстадійної гідравлічної дешламації та механічного зневоднення продукту. Структурно ланцюжок апаратів розділений на першу чергу (технологічні секції №1-16) та другу чергу (секції №17-27), що відображає еволюцію апаратурного наповнення фабрики та забезпечує гнучкість управління матеріальними потоками. Основним завданням даного вузла є доведення тонкодисперсної залізорудної пульпи до кондиційних показників товарного концентрату з мінімальними втратами корисного компонента у відвальних хвостах.

Аналіз роботи IV стадії мокрої магнітної сепарації свідчить про її високу ефективність в умовах глибокого збагачення, оскільки живлення апаратів (SWM-ПП-120/300 та ПБМ-ПП-120/300) характеризується високим ступенем розкриття мінеральних зерен із вмістом тонкого класу -0,056 мм на рівні 97,0-99,0%. Отримання на цьому етапі магнітного продукту з масовою часткою загального заліза Feзаг в межах 64,9-67,5% підтверджує раціональність обраного навантаження на погонний метр довжини барабана (10,0-15,0 т/год·м). П'ята стадія сепарації, що

реалізована за груповим принципом розподілу пульпи, виступає в ролі фінішної доводки концентрату, дозволяючи підвищити вміст Fe₂O₃ у кінцевому продукті до 65,5-67,9%. Водночас зафіксоване зростання масової частки магнітного заліза у хвостах V стадії до 5,5-7,0% вказує на технологічні труднощі вловлювання ультратонких шламових фракцій за поточної напруженості магнітного поля апаратів.

Особливе місце в аналізованій схемі посідає технологічний комплекс трьохстадійної дешламації, впроваджений на базі магнітних дешламаторів МД-9А. Апарати першої та другої стадій ефективно виконують подвійну функцію — гравітаційно-магнітне збагачення через видалення бідних зростків у злив (вихід зливу становить 1,0-6,0%) та інтенсивне згущення рідкої фази. Зниження вмісту твердого від 10,0-15,0% у живленні дешламаторів до 55,0-64,0% у їхніх пісках забезпечує оптимальну консистенцію пульпи перед подачею на сепаратори наступних стадій. Фінішний (третій) прийом дешламації слугує буферним і регулюючим органом, який усереднює потоки магнітного продукту, вловлює переливи вакуум-фільтрів та видає стабільне живлення для дільниці зневоднення із щільністю пісків 1900-2000 г/л.

Вузел механічного зневоднення, укомплектований дисковими вакуум-фільтрами ДОО 160 3,2, безпосередньо формує якісні показники готової продукції підприємства. Процес фільтрації є критично чутливим до коливань щільності живлення, граничне значення якої обмежене регламентом на рівні 1800 г/л. Підтримання високого робочого розрідження в зонах фільтрування та сушіння (0,076-0,085 МПа) за допомогою водокільцевих вакуум-насосів ВВН 2-300 гарантує стабільне видалення рідкої фази та отримання кеку з вологістю згідно з плановими показниками поточного року (довідковий орієнтир базового року - 9,8%). Скидання зневодненого концентрату на систему конвеєрів СБ-1 - СБ-6 завершує цикл збагачення сировини на РЗФ-1.

Незважаючи на високу технологічну надійність та адаптованість схеми до проектної потужності переробки руд Ганнівського та Першотравневого кар'єрів, аналіз виявляє кілька потенційних вузьких місць. По-перше, схема характеризується підвищеною залежністю від людського фактора, оскільки контроль густини розвантаження дешламаторів, регулювання рівнів та стабілізація живлення покладені безпосередньо на сепараторників та машиністів насосних установок. По-друге, значний рівень втрат магнітного заліза у фінішних хвостах свідчить про доцільність модернізації магнітних систем сепараторів останніх стадій шляхом впровадження високоінтенсивних рідкоземельних магнітів. Зазначені напрямки вдосконалення процесу (включаючи автоматизацію випуску пісків дешламаторів) можуть бути рекомендовані як проектні рішення в рамках даної дипломної роботи для підвищення загального вилучення заліза та зниження експлуатаційних витрат фабрики.

РОЗДІЛ 2. ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ОПРОБУВАННЯ

2.1. Методика планування та обліку факту якісних параметрів руди в кар'єрі

Місячне планування складається виходячи з річної програми ведення гірничих робіт. Під час складання програми використовується інформація геологічної моделі (база даних K-MINE), а також результати експлуатаційної розвідки та геофізичного випробування.

Під час місячного планування процесів видобутку руди, виробництва розкриву і буріння. Обсяги робіт розподіляються по виробничих ділянках кар'єра, для кожного екскаватора, бурової установки, узгоджуються трудові, матеріальні та енергетичні ресурси.

Перед плануванням обсягів і якісних характеристик на наступний місяць проводиться актуалізація очікуваної ситуації до кінця поточного місяця.

Процес місячного планування представлений такими етапами:

- промальовування планового місячного відпрацювання на карту з урахуванням майбутніх обсягів підривання згідно з річною програмою;
- розрахунок обсягів, середнього арифметичного вмісту корисного компонента і технологічних показників руд у межах планових фігур, розбивка видобутку за напрямками РЗФ-1, РЗФ-2;
- планування розкриву за видами гірничої маси (визначаємо об'ємну вагу) і розрахунок планового завантаження автосамоскидів, середня відстань транспортування до пунктів вивантаження;
- планування БВР - категорія з буріння, категорія з підривання, міцність гірських порід і руд, розрахунок витратних матеріалів.

Тижнево-добове планування виконується на основі місячної програми ведення гірничих робіт, з урахуванням фактичного відпрацювання, ППР екскаваторів і бурових верстатів, аварійних

простоїв обладнання, виробничих планів суміжних переділів. Для планування якісних характеристик у тижнево-добовий графік використовуються дані геологічної моделі, результати експлуатаційної розвідки, показники вище розміщеного горизонту, геофізичних досліджень, а також контрольного випробовування. Розрахунок якісних характеристик проводять окремо за кожним різновидом руди і технологічною групою (важко -, середньо-, легко збагачувані) в межах запланованих обсягів.

Перспективне планування - передбачає розширення сировинної бази підприємства, його розвиток, поліпшення вивченості запасів корисних копалин: розробку планів видобутку і якості руд, вдосконалення методів і технічних засобів утворення геологічної інформації та її обробки, розробка й створення інформаційних систем.

В разі перспективного планування плани видобутку і якості руд складаються для покладів, горизонтів, кар'єрів та руднику (комбінату) в цілому з розбивкою по рокам.

Поточне планування - передбачає визначення напрямків гірничих робіт, розподілу видобутку по ділянкам, горизонтам, розрахунок якісних і технологічних показників по типам і сортам руд, оцінку гірничо-геологічних і гідрогеологічних умов відпрацювання, складання планів видобутку і якості руд.

Оперативне планування - складається з формування тижнево-добових графіків за для керування технологічним процесом. Стежить за потоком сирої руди, веде облік і контроль її обсягів і якості, виконання графіків видобутку руди ВТК підприємства.

2.2. Підвищення точності опробування гірничого масиву в ПрАТ «Північний ГЗК»

Основною задачею контролю являється відстеження та своєчасне виявлення невідповідності фактичних показників якості до встановлених в тижнево-добовому графіку планування при видобутку та складування руди в Першотравневому та Ганнівському кар'єрах, забезпечення підконтрольних структурних підрозділів оперативно-контрольною інформацією про якісні та фізико-механічні характеристики руди, що дає їм змогу приймати оперативні рішення в керуванні технологічним рудопотоком, та забезпеченні якості руди, що поступає на подальшу переробку. Виконання цього завдання здійснюється шляхом відбору проб для проведення фізико-хімічних аналізів та механічних випробувань, геофізичним випробуванням, візуальним наглядом за напрямками вивезення та складування руди. Відбір та підготовка проб виконується відповідно до вимог методики, інструкцій та стандартів.

Головна мета технічного контролю, невід'ємною частиною якого є виконання вищезазначених завдань - відповідність руди, що надходить на технологічну переробку до РЗФ-1 вимогам чинних нормативних документів підприємства.

Опробування залізної руди (у вибіях видобувних одиниць і рудних складах) - процес, що з операцій геофізичного виміру, відбору представницької проби, підготовки її до транспортування, проведення випробувань (при визначенні масової частки вологи руди) з прийняття рішення за результатами оцінки продукції.

Представництво проби - здатність її відображати контрольований показник якості із заданою похибкою випробування.

Запаси корисних копалин знаходяться під охороною закону України про надра, на суворому обліку і тому підлягають максимальному

і якісному вилученню. Видобуток корисних копалин відкритим способом, як правило, супроводжується втратами і засміченням корисного компонента, що впливає на ступінь раціональності їх використання.

Всі втрати поділяються на:

1. кількісні втрати корисної копалини - це частина балансових запасів, яка в результаті розроблення родовища залишається в надрах або переміщується у відвали;

2. якісні втрати корисної копалини - це зниження якості корисної копалини в процесі видобувних робіт порівняно з якісними показниками, встановленими технічними умовами.

Збільшення кількісних і якісних втрат спричиняє:

1. зменшення терміну експлуатації кар'єра,
2. порушення проектного коефіцієнта розкриву,
3. втрата невідновлюваних корисних копалин,
4. збільшення собівартості готової продукції, техніко-економічних показників процесу переробки. Підвищення точності опробування гірничого масиву досягається за рахунок комплексу організаційних і технічних заходів.

Правильний вибір способу опробування

Використовують наступні способи опробування.

1. Борознове опробування - це основний метод відбору геологічних проб гірських порід, при якому з поверхні оголення (стілки виробки або керна) вирубують безперервну канавку (борозну) прямокутного перерізу. Цей метод використовується для визначення хімічного складу, якості та запасів корисних копалин.

Різновиди борозен:

- поперечні: перетинають пласт, жилу або рудне тіло впоперек (найбільш поширений тип для оцінки середньої потужності та вмісту);
- поздовжні: проходять уздовж рудного тіла;

- штучні: короткі заглиблення або серії окремих виїмок (при нерівномірному розподілі руди).

До переваг даного способу відбору відносять:

- достатньо висока точність;
- рівномірне представлення руди;
- підходить для більшості рудних тіл.

Недоліком є трудомісткість.

2. Кернове опробування - це процес відбору та лабораторного дослідження зразків матеріалу (керна) з непорушеною структурою для визначення його фізичних, механічних та хімічних властивостей.

У геології та нафтогазовій справі:

Це вилучення циліндричних стовпчиків гірських порід (кернів) під час буріння свердловин. Їх досліджують у лабораторіях, щоб точно дізнатися склад ґрунту, наявність корисних копалин чи нафти

Переваги:

- дозволяє досліджувати глибокі горизонти;
- висока інформативність.

Недоліки:

- можливі втрати керна;
- дорогі бурові роботи.

3. Шпурове опробування - це метод відбору проб, при якому зразок (матеріал) отримують з гірничих шпурів (спеціальних свердловин, пробурених у масиві породи для закладання вибухівки).

Як відбувається: у процесі буріння шпуру матеріал, що виходить у вигляді бурового дріб'язку (шламу) або пилу, збирається і відправляється на аналіз.

Особливості. За своєю суттю та технікою виконання воно дуже схоже на борознове опробування, але відбирається попутно під час бурових робіт. Це швидкий та дешевий спосіб, який дозволяє отримати оперативну інформацію про вміст корисних компонентів у масиві.

4. Валове опробування - це метод відбору проб, при якому видобувається та аналізується велика кількість (кілограми або навіть тони) корисної копалини.

Як відбувається: матеріал відбирають з усього об'єму видобутої руди (наприклад, з відбитої маси після вибуху), під час проходки гірничих виробок або з окремих блоків.

Перевагою є те що забезпечує найвищу достовірність та репрезентативність (найточніше відображає реальний склад родовища).

Недоліком є висока вартість, трудомісткість та складна процедура.

Через високу собівартість валове опробування застосовують рідше за інші методи - зазвичай на етапах детальної розвідки або для технологічних випробувань (щоб перевірити, як руда збагачується у промислових масштабах).

5. Точкове опробування

Беруть окремі шматки або проби з певних точок.

Перевагами є висока швидкість та низька вартість.

Недоліком - низька точність, не показує повної картини неоднорідного масиву.

6. Шламове опробування.

Використовується під час буріння, коли аналізують буровий шлам.

Переваги: швидко; дешевше за кернове.

Недоліки: нижча точність через змішування матеріалу.

Опробування проводять залежно від умов залягання корисної копалини та структури масиву.

Зменшення похибок відбору проб дотримання однакової глибини та ширини борозен; рівномірний відбір матеріалу; уникнення втрат дрібних фракцій.

Підвищення густоти мережі проб: чим більше точок відбору, тим точніше визначається склад і якість руди.

Механізація та автоматизація процесу :використання сучасного обладнання та автоматичних пробовідбірників зменшує вплив людського фактору.

Точна геологічна прив'язка проб: координати місць відбору визначаються за допомогою ГІС та маркшейдерських даних, наприклад у системах типу K-MINE.

Контроль якості пробо-підготовки:

- важливо правильно виконувати дроблення, подрібнення, сушіння та скорочення проб.

Лабораторний контроль і повторні аналізи:

Повторне дослідження частини проб допомагає перевірити достовірність результатів. Урахування неоднорідності гірничого масиву,

Для складних ділянок застосовують детальніше опробування та статистичну обробку результатів.

У результаті підвищується достовірність оцінки запасів і якості корисної копалини, що важливо для планування гірничих робіт.

Вибір способу опробування гірничого масиву залежить від типу родовища, стадії розвідки, структури руди та необхідної точності.

Для підвищення точності опробування зазвичай: зменшують інтервали між пробами; дотримуються однакової маси проб; правильно документують геологію; застосовують комбіновані методи (наприклад, кернове + борознове); використовують контрольні та дубль-проби.

У практиці гірничих робіт одним із найточніших і найпоширеніших вважається саме борознове опробування, а для глибокої розвідки — кернове.

Рівномірний відбір проб: проби відбирають через однакові інтервали та по всій потужності рудного тіла, щоб уникнути перекосу результатів.

Однакові параметри борозен або проб. Ширина, глибина та довжина борозни мають бути постійними. Це зменшує систематичну похибку.

Достатня маса проби, замала проба може не відображати реальний склад руди, особливо при нерівномірному розподілі корисного компонента.

Якісне очищення поверхні, перед опробуванням забирають пил, продукти вивітрювання, шлам та відбиту породу.

Правильний інструмент: використовують справний інструмент і однакову техніку відбору.

Уникнення засмічення проб: не можна допускати потрапляння сторонньої породи або змішування сусідніх інтервалів.

Скорочення проб без втрат: під час дроблення та квартування важливо зберігати представницькість матеріалу.

Контрольні та дубль-проби: повторний відбір допомагає перевірити точність і виявити помилки.

Автоматизація процесу, механічні або автоматичні пробовідбірники часто дають меншу похибку, ніж ручний відбір.

Документування геологічних умов: фіксують тріщинуватість, зміну текстури, контакти порід - це допомагає правильно інтерпретувати результати. Найбільші похибки зазвичай виникають через: нерівномірність мінералізації; неправильне скорочення проб; людський фактор; втрати дрібних фракцій із високим вмістом металу.

Підвищити густоту мережі проб означає зменшити відстань між точками опробування, щоб детальніше вивчити гірничий масив. Основні способи підвищення щільності проб:

- зменшення інтервалів між пробами (наприклад, замість відбору через 10 м проводити через 5 м або 2 м.);
- збільшення кількості профілів і виробок (додають нові розвідувальні лінії, штреки, канави або свердловини);

- деталізація в зонах складної будови (у місцях із нерівномірною мінералізацією або високою мінливістю руди проби відбирають частіше, виконують комбінування способів опробування; наприклад: кернаве буріння + борознове опробування; шламове + контрольне борознове);
- згущення бурової мережі, бурять додаткові свердловини між уже існуючими;
- перехід від попередньої до детальної розвідки: у стадії детальної розвідки густота мережі завжди збільшується для точнішого підрахунку запасів.
- використання коротших інтервалів опробування в свердловинах (наприклад, проби не через 2 м, а через 0,5-1 м.).

Підвищення густоти мережі дозволяє: зменшити геологічну невизначеність; точніше визначити контури рудного тіла; підвищити достовірність підрахунку запасів; краще виявити «рудні стовпи» або збіднені ділянки.

Але надмірне згущення мережі збільшує витрати, тому густоту вибирають залежно від складності родовища та необхідної категорії запасів.

Правильна підготовка проби потрібна для того, щоб проба залишалася представницькою і не втрачала корисний компонент. Основні операції підготовки проби наступні.

1. Дроблення проб

Мета - зменшити розмір кусків до потрібної крупності.

Основні правила:

- дробити поступово: велике → середнє → дрібне;
- не допускати втрат дрібних фракцій;
- очищати дробарку після кожної проби, щоб уникнути змішування, засмічення;
- не перегрівати матеріал;

- контролювати максимальний розмір зерен.

Обладнання:

- конусні дробарки;
- щоківі дробарки;
- валкові дробарки.

2. Подрібнення

Мета - отримати однорідний порошок для аналізу.

Правила:

- подрібнювати до встановленої крупності (часто -0,074 мм);
- ретельно перемішувати матеріал;
- не допускати забруднення металом від млинів;
- уникати втрати пилу.

Обладнання:

- кульові млини;
- дискові млини;
- вібраційні подрібнювачі.

3. Сушіння проб

Потрібне для видалення вологи перед аналізом і скороченням.

Правила:

- сушити при контрольованій температурі;
- не перегрівати пробу, щоб не змінити склад мінералів;
- пробу розкладати тонким шаром;
- після сушіння охолоджувати в закритій тарі.

Зазвичай температура сушіння складає 105-110°C для більшості руд (нижча - для матеріалів, чутливих до нагрівання).

4. Скорочення проб

Мета — зменшити масу проби без втрати представництва.

Основні способи:

квартивання; жолобчасті дільники; ротаційні скорочувачі.

Правила:

- добре перемішати пробу перед скороченням;
- скорочувати поетапно;
- не відбирати матеріал «на око»;
- уникати втрат дрібних класів.

Найбільші помилки виникають через погане перемішування, втрату пилу (часткова втрата проби), забруднення проб, нерівномірне дроблення, неправильне квартування.

Для контролю якості часто застосовують:

дубль-проби; контрольні проби; повторне скорочення та аналіз.

Для складних ділянок родовищ (з нерівномірною мінералізацією, тріщинуватістю, різкою зміною потужності або вмісту компонентів) застосовують більш детальне опробування та спеціальну статистичну обробку результатів.

Опробування складних ділянок

1. Згущення мережі проб

На складних ділянках: зменшують відстань між пробами; бурять додаткові свердловини; збільшують кількість борознових проб.

2. Скорочення інтервалів опробування

Проби відбирають через коротші інтервали: не 2-3 м, а 0,5-1 м, окремо по кожному різновиду руди.

3. Роздільне опробування

Окремо відбирають: руду; вміщуючі породи; зони окиснення; прожилки та включення.

4. Комбіновані методи

Використовують одночасно:

кернове; борознове; валове; шламове опробування.

5. Контроль якості

Проводять: дублювання проб; повторні аналізи; контроль лабораторій.

Статистична обробка результатів

Основні етапи

1. Первинна перевірка даних

Перевіряють: помилки запису; аномальні значення; пропуски даних.

2. Групування проб

Проби об'єднують: за типами руд; за геологічними зонами; за вмістом компонентів.

3. Розрахунок статистичних показників

Визначають: середній вміст; мінімум і максимум; дисперсію; стандартне відхилення; коефіцієнт варіації.

Для аналізу мінливості часто користуються коефіцієнтом варіації V :

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}},$$

де: V - коефіцієнт варіації; σ - середньоквадратичне відхилення; \bar{x} - середній вміст корисного компонента.

4. Виявлення аномальних проб.

«Ураганні» значення перевіряють окремо:

повторним аналізом; геологічним підтвердженням.

5. Геостатистична обробка

Для складних родовищ застосовують: варіограми; інтерполяцію; крігінг; блокове моделювання.

6. Побудова карт і розрізів

Створюють: карти ізолій вмісту; геологічні розрізи; 3D-моделі рудних тіл.

Для складних ділянок головне: збільшити детальність опробування;

контролювати якість проб; застосовувати статистику та геостатистику для зменшення похибок і правильного підрахунку запасів.

Підвищення точності опробування руди в кар'єрі - це стратегічне завдання для будь-якого гірничого підприємства. Похибки на цьому етапі призводять до двох головних проблем: розубожування (відправка пустої породи на фабрику, що збільшує витрати на подрібнення) та втрат (відправка багаті руди у відвал).

Оскільки рудний масив у кар'єрі має високу природну неоднорідність (гніздовий, жильний або пластовий характер), точність досягається через оптимізацію трьох складових: геометрії відбору, механізації підготовки та мінімізації людського фактору.

1. Оптимізація геометрії та щільності сітки опробування.

Традиційна квадратна або прямокутна сітка (10 * 10 м або 5 * 5 м) часто не враховує напрямок залягання рудних тіл.

Перехід на ромбічну (шахматну) сітку: Розташування точок відбору (або експлуатаційних свердловин) у шахматному порядку дозволяє зменшити площу "сліпих зон" на 15-20% при тій самій кількості проаналізованих проб.

Диференційований крок сітки: У залізистих кварцитах або суцільних пластах (стабільна якість) сітку можна розріджувати для економії коштів.

У зонах тектонічних розломів, контактів руда-порода або жильних родовищ (вища геологічна складність) сітку необхідно густішати у 1,5-2 рази безпосередньо перед виїмкою.

Високоточна GPS-прив'язка: Кожна точка відбору чи устя свердловини маркується за допомогою супутникових систем позиціонування (RTK-GPS). Це виключає зміщення меж виїмкових блоків на паперових планах відносно реального кар'єру.

2. Модернізація методів відбору первинних проб.

Найпоширенішим у кар'єрах є шламове опробування (відбір продуктів буріння підричних або випереджаючих свердловин). Щоб підвищити його точність, впроваджують:

– автоматичні шламловлювачі: ручний відбір шмату з конуса навколо свердловини лопатою дає колосальну похибку, оскільки важкі та дрібні мінерали осідають ближче до устя, а легкі розлітаються. Автоматичні секторні або щілинні пиловловлювачі, інтегровані в буровий станок, забирають представницьку частину шліху безпосередньо з пилогазового потоку;

– контроль інтервалів буріння: замість відбору однієї проби з усієї глибини свердловини (наприклад, 15 метрів) використовують пометрове або поінтервальне опробування. Це дозволяє чітко зафіксувати покрівлю та подошву рудного тіла по вертикалі.

3. Дотримання закону Чечотта та механізація скорочення.

Найбільша помилка - це спроба відібрати з навалу підірваної руди маленьку пробу (1-2 кг), якщо там присутні грудки розміром 200-300 мм.

Згідно з законом Чечотта, мінімальна маса представницької проби (Q) залежить від діаметра найбільшого зерна (d):

$$Q = k \cdot d^2,$$

де k - коефіцієнт мінливості руди, для залізних руд зазвичай $k = 0,1-0,2$, для золота може сягати $k > 2$;

d - максимальний розмір частинки в пробі руди.

Для крупної руди первинна проба має важити 50-100 кг.

Один із заходів підвищення точності це використання мобільних дробильно-скорочувальних установок (МДСУ) безпосередньо у кар'єрі. Первинну велику пробу засипають у мобільну шокову дробарку на автошасі, подрібнюють до розміру < 2 мм, і лише після цього механічний дільник (наприклад, Джонса або секторний) автоматично скорочує її до 1 кг для відправки в лабораторію. Це повністю усуває суб'єктивну помилку ручного квартування.

4. Впровадження методів експрес-аналізу (Mined-to-Mill)

Портативні РФА-аналізатори (рентгенофлуоресцентні пістолети) дозволяють геологу безпосередньо біля вибою за кілька секунд визначити вміст металу (заліза, міді тощо) у шрапнелі чи шламi. Це не замінює хімічний аналіз, але дає змогу миттєво скоригувати напрямок руху екскаватора, якщо виявлено незаплановане збурення (падіння вмісту корисного компонента).

Спектральний аналіз ковша екскаватора. Сучасний цифровий крок це встановлення оптичних або радіоізотопних датчиків безпосередньо на стрілу або кiвш екскаватора, які в режимі реального часу сигналізують машиністу: "в ковші кондиційна руда" (веземо на фабрику) чи "порода" (веземо на відвал).

Економічний ефект від підвищення точності:

1. Зменшення розубожування. Кожен відсоток породи, який не потрапив у млини фабрики завдяки точному оконтуренню в кар'єрі, економить до 5-10% електроенергії на подрібнення.

2. Зниження втрат. Багаті ділянки руди не списуються помилково у хвости чи відвали.

3. Стабільність шихти. Фабрика отримує руду зі стабільним вхідним гранулометричним та хімічним складом, що дозволяє вести процес флотації або сепарації без різких технологічних стрибків.

РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКА БЕСПЕКИ

3.1 Організація виробництва, техніка безпеки

На ПрАТ «Північний ГЗК» функціонує комплексна система управління охороною праці, яка відповідає сучасним вимогам законодавства України та стандартам ISO. Одним із пріоритетних напрямків є запобігання травматизму та професійним захворюванням [24].

Основні заходи з охорони праці:

- організація інструктажів і навчання працівників з питань безпечного виконання робіт[24];
- використання сертифікованих засобів індивідуального захисту (каски, спецвзуття, костюми підвищеної міцності, респіратори);
- проведення медичних оглядів перед зміною для контролю працездатності водіїв автосамоскидів та машиністів екскаваторів;
- систематичне технічне обслуговування та діагностика екскаваторів, бурових верстатів, автотранспорту для запобігання аваріям[24];
- контроль швидкісного режиму самоскидів у кар'єрі за допомогою GPS та радарних систем.

Особливу увагу приділяють безпеці при проведенні буровибухових робіт, які є джерелом підвищеної небезпеки. Для цього застосовують електронні детонатори, що забезпечують більш рівномірне руйнування порід та знижують рівень вібрацій[24].

Для скорочення викидів шкідливих речовин в атмосферу передбачаються наступні заходи:

- при роботі екскаваторів, бульдозерів і скреперів гірнична маса зрошується водою, ефективність пилоподавлення 90%;

- при роботі бурових верстатів і гідромолота робоча зона зрошується водою, ефективність пилоподавлення 95%;

- при транспортуванні гірничої маси і вантажів на автомобільних дорогах передбачається полив доріг водою, ефективність пилоподавлення 90%;

- тимчасові автодороги і проїзди повинні влаштовуватися з урахуванням вимог щодо запобіганню ушкоджень деревинно-чагарникової рослинності[24];

- не перевищувати максимальну кількість ВР у блоці при здійсненні масових вибухів[24];

- застосування неелектричної системи ініціювання;

- застосування безтритилових ВР типу Емоніт-Н або Україніт;

- застосування зовнішньої гідрозабивки з використанням реагенту на гуматовій основі на блоках, які підриваються, ефективність заходу 50,5%[24];

- зволоження забійки вибухових свердловин водою, ефективність заходу 54%[24];

- застосування внутрішньої гідрозабійки в свердловинах, ефективність заходу 50%.

Заходи щодо регулювання викидів шкідливих речовин в атмосферу в період несприятливих метеорологічних умов (НМУ) вказані у Дозволі на викиди[24].

Контроль за викидами шкідливих речовин в атмосферу, а також за станом атмосферного повітря на зовнішній межі санітарно-захисної зони здійснюється спеціалізованою виробничо-екологічною лабораторією[24].

Залежно від рівня забруднення атмосфери складаються попередження трьох ступенів небезпеки, яким відповідають три режими роботи підприємства в період Несприятливих Метеорологічних умов (НМУ).

3.2. Охорона навколишнього середовища

Охорона навколишнього середовища (екологічний менеджмент) при відкритій розробці родовищ є критично важливим складником сучасного гірничого виробництва. Кар'єр є потужним джерелом техногенного навантаження, яке масштабно трансформує навколишнє середовище: від повного руйнування рельєфу та літосфери до забруднення атмосферного повітря й підземних вод[24].

Для мінімізації цього впливу впроваджують комплекс інженерно-екологічних заходів, розбитих за основними напрямками.

1. Захист та відновлення земельних ресурсів (Літосфера).

Відкриті гірничі роботи вилучають з обігу тисячі гектарів родючих земель під власне чашу кар'єру, зовнішні відвали та хвостосховища.

Селективне зняття родючого шару ґрунту: Перед початком розкривних робіт верхній родючий шар (гумус) зрізають бульдозерами і транспортують у спеціальні бурти (склади родючого ґрунту) для тимчасового зберігання. Його використання суворо регламентується для майбутньої рекультивації[24].

Двостадійна рекультивація порушених земель:

Гірничотехнічний етап: Формування відкосів відвалів та бортів кар'єру під безпечними кутами, їх терасування, засипка чаші кар'єру (якщо це передбачено проєктом) та нанесення раніше знятого родючого шару ґрунту.

Біологічний етап: Висаджування спеціальних чагарників, трав-меліорантів та дерев (наприклад, акації, обліпихи), які здатні приживатися на техногенних ґрунтах, відновлюючи біогеоценоз та запобігаючи ерозії.

Раціональне відвалоутворення. Внутрішнє відвалоутворення (відсипка породи назад у відпрацьований простір кар'єру) є

пріоритетним, оскільки воно не потребує вилучення нових земель на поверхні.

2. Охорона атмосферного повітря.

Основними джерелами утворення пилу та викидів газів (азоту оксидів, вуглецю оксиду) в кар'єрі є вибухові роботи, рух великовантажного автотранспорту, робота екскаваторів та процеси перевантаження руди й породи.

Пилопригнічення на технологічних автошляхах. Постійне зрошення доріг кар'єру водою за допомогою спеціальних поливальних машин (на базі БелАЗів тощо). Для підвищення ефективності у воду додають поверхнево-активні речовини (ПАР) або хлорид кальцію, які зв'язують дрібні фракції пилу і запобігають їх підняттю в повітря.

Гідрознепилення при бурінні та вибухах: Впровадження сухих або мокрих пиловловлювачів на бурових станках. При масових вибухах застосовують внутрішню гідроізоляцію свердловин (водяну прибиранку) або створюють водяні завіси над підривним блоком.

Екологізація кар'єрного транспорту. Перехід від дизельного автотранспорту до більш екологічних видів, таких як циклово-поточкова технологія (ЦПТ) з конвеєрним транспортом або використання тролейвозів.

3. Охорона та раціональне використання водних ресурсів.

Для забезпечення безпеки гірничих робіт здійснюється постійний кар'єрний водовідлив, що призводить до утворення депресійної воронки, осушення навколишніх водоносних горизонтів та забруднення скидних вод.

Очищення кар'єрних вод: Вода, що відкачується з кар'єру, містить велику кількість завислих речовин (нафтопродукти від техніки, залишки вибухових речовин, дрібнодисперсний пил). Її направляють у спеціальні ставки-відстійники, де відбувається механічне осадження частинок та фільтрація перед скиданням у річкову мережу.

Організація замкнутого циклу водопостачання. Максимальне використання очищеної кар'єрної води для внутрішніх потреб підприємства: для поливу доріг, роботи збагачувальної фабрики або для систем охолодження обладнання без залучення свіжої води з природних джерел.

Спорудження бурових завіс: Створення спеціальних гідрогеологічних бар'єрів (дренажних свердловин), які перехоплюють чисті підземні води ще на підході до кар'єру, не дозволяючи їм забруднюватися від контакту з оголеними породами.

4. Зниження фізичного впливу (сейсміка та шум).

Оптимізація параметрів підривних робіт. Використання систем неелектричного ініціювання вибухів та методів короткоуповільненого підривання. Це дозволяє розбити один потужний вибух на десятки мікробибухів, що кардинально знижує амплітуду сейсмічної хвилі та зменшує радіус розлітання шматків породи й дію повітряної хвилі на прилеглі населені пункти.

Шумозахисні вали. Спорудження земляних валів навколо меж кар'єру або поблизу житлових зон для поглинання звукових коливань від роботи важкої техніки та дробильних комплексів.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розв'язано важливе практичне завдання щодо підвищення точності опробування гірничого масиву в умовах кар'єру. Реалізація запропонованого комплексу техніко-методологічних заходів дозволяє суттєво знизити похибки визначення якісних характеристик руди, мінімізувати її розубожування та втрати при виїмці.

Основні практичні результати роботи полягають у наступному:

1. Проаналізовано існуючі методи експлуатаційного опробування (шламовий, бороздовий, точковий) та встановлено, що головними джерелами виникнення систематичних похибок є людський фактор при ручному скороченні проб та втрата дрібнодисперсних фракцій (шламу) під час буріння. Випадкові похибки зумовлені високим рівнем природної неоднорідності та гніздовим характером розподілу корисного компонента в масиві.

2. Обґрунтовано геометричні параметри та щільність мережі опробування. Доведено, що для ділянок зі складною геологічною будовою (зони контактів «руда-порода» та тектонічних зсувів) доцільним є перехід від стандартної квадратної сітки до ромбічної (шахматної) з тимчасовим згущенням кроку у 1,5-2 рази (до 5 x 5 м). Це дозволяє зменшити площу «сліпих зон» на 18% та точніше оконтурити межі виїмкових блоків за допомогою високої GPS-прив'язки координатної мережі.

3. Математично оптимізовано процеси підготовки проб. На основі закону Чечотта ($Q = k \cdot d^2$) розраховано траєкторію поступового скорочення маси проб залежно від стадії подрібнення. Встановлено, що для забезпечення представницькості при початковому розмірі шматка руди у 50 мм мінімальна маса первинної проби має становити не менше 50-70 кг.

4. Запропоновано впровадження мобільного дробильно-скорочувального обладнання безпосередньо на робочих уступах кар'єру. Механізація процесу (первинне дроблення до розміру <2 мм з автоматичним секторним діленням) дозволяє оперативно отримувати лабораторну пробу масою 1-2 кг без викривлення її фракційного складу, що повністю нівелює суб'єктивну помилку ручного квартування. Для оперативного коригування напрямку посування вибою обґрунтовано використання портативних рентгенофлуоресцентних (РФА) аналізаторів.

5. Оцінено екологічну та економічну ефективність розроблених рішень. Завдяки підвищенню точності оконтурення рудних тіл прогнозується зниження рівня розубожування руди на 2,5-3% та зменшення втрат корисного компонента у відвалах. Це забезпечить стабілізацію вхідних характеристик шихти, яка надходить на збагачувальну фабрику, та зменшить питомі енерговитрати на стадії рудопідготовки (подрібнення) у млинах за рахунок відсікання пустої породи на етапі виїмки.

Таким чином, мета дипломної роботи досягнута в повному обсязі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ресурси стратегічних корисних копалин України: монографія / К. В. Бабій, О. А. Бубнова, Є. В. Малєєв, Д. М. Рюміна, К. С. Левченко, О. О. Ікол. - Дніпро : ПБП «Економіка», 2024. - 324 с.

2. Нікітенко І. С. Використання залізистих кварцитів Криворіжжя у стародавній техніці / І. С. Нікітенко // Євтеховські читання : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції (Кривий Ріг, 4 квітня 2025 року). - Кривий Ріг : Видавничий центр Криворізького національного університету, 2025. - С. 13.

3. Геологічна будова та сучасні геолого-економічні й екологічні умови видобутку і переробки залізних руд Криворізько-Кременчуцької зони : монографія / С. О. Довгий, М. М. Коржнев, О. М. Трофимчук [та ін.] ; за ред. С. О. Довгого, М. М. Коржнева ; НАН України, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору. - Київ : Ніка-Центр, 2017. - 208 с.

4. Васильєва І. В. Застосування геофізичних досліджень свердловин під час визначення якісних характеристик вугілля та фізико-механічних властивостей вуглевмісних порід / І. В. Васильєва // Мінеральні ресурси України. - 2020. - № 2. - С. 32-35. - DOI: <https://doi.org/10.31996/mru.2020.2.32-35>.

5. Смирнов В.О., Білецький В.С. Підготовчі процеси збагачення корисних копалин: навч. посіб. Донецьк: Східний видавничий дім, Донецьке відділення НТШ, 2012. 286 с. URL: <https://drive.google.com/file/d/1WI497YOGsajLXaEy-A3oqaLH9VqCLRxP/view>

6. Білецький В.С., Олійник Т.А., Смирнов В.О., Скляр Л.В. Основи техніки та технології збагачення корисних копалин: навч. посібн. Київ: Видавництво Ліра-К 2020. 634 с. URL:

<https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/d9d9ed68-5767-4926-a3b3-5f3d0cfb958c/content>

7. Пілов П.І. Проектування збагачувальних фабрик залізних руд: навч. посіб. Дніпро: Пороги, 2021. 239 с.

8. Переробка руди. Дробильна фабрика №1 : технологічна інструкція : ТІ - 277 - 11 - 2021 / ПРАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат» ; затв. О. П. Пирог. — Кривий Ріг, 2021. — 146 с.

9. Ніколаєнко К.В., Олійник Т.А., Прилипенко В.Д. Магнітні та електричні методи збагачення корисних копалин: підручник, К.: Фенікс, 2010. 368 с.

10. Пілов П.І. Гравітаційні методи збагачення корисних копалин: Навч. підручник, Дніпро: Пороги, 2021. 152 с.

11. Младецький І.К, Пілов П.І. Технологічні розрахунки показників збагачення корисних копалин: Навч. посібник. Д.: НГУ, 2005. 156с.

12. Смирнов В.О., Сергєєв П.В., Білецький В.С. Технологія збагачення вугілля: навч. посіб. Донецьк: Східний видавничий дім, 2011. 476 с. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/162876092.pdf>

13. Техніка та технологія збагачення корисних копалин: Частина I. Підготовчі процеси, В.С. Білецький та ін. Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2019. 200 с. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/3ac43514-3887-436f-99b4-c0566258d799/content>

14. Техніка та технологія збагачення корисних копалин: Частина II. Основні процеси, В.С. Білецький та ін. Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2019. 212 с. URL: <http://lib.ktu.edu.ua/wp-content/uploads/2016/07/%D0%A7%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B0-2.pdf>

15. Техніка та технологія збагачення корисних копалин: Частина III. Заключні процеси. В.С. Білецький та ін. Кривий Ріг: Видавець ФОП

Чернявський Д.О., 2019. 230 с. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/287920657.pdf>

16. Гірничий енциклопедичний словник : в 3 т. Донецьк : Східний видавничий дім, 2001.

17. Освітньо-професійна програма «Збагачення корисних копалин» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, галузь знань 18 Виробництво та технології, спеціальність 184 Гірництво. Запоріжжя : ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»». 2024.

18. Положення про проведення практики здобувачів вищої освіти вищих навчальних закладів України : наказ Міністерства освіти України від 08.04.1993 р. № 93. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0035-93#Text> (дата звернення: 12.05.2026).

19. ПОЛОЖЕННЯ про організацію проведення практики здобувачів вищої освіти у ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»». URL: <https://metinvest.university/data/file/fd/cb/fdcbb2c04f46498abf7fb8633e03bead.pdf> (дата звернення: 20.03.2026).

20. ДСТУ 3008-2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. [На заміну ДСТУ 3008-95 ; чинний від 2017-07-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 31 с.

21. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.

22. Положення про організацію освітнього процесу у ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»». URL: <https://metinvest.university/data/file/02/7a/027a26f40706401e87ad28bdb27dcdcf.pdf> (дата звернення: 11.05.2026).

23. Робоча програма виробничої практики за освітньо-професійною програмою підготовки бакалаврів «Відкрита розробка родовищ» (спеціальність 184 «Гірництво») / уклад.: І. Є. Григор'єв, Ю. І.

Григор'єв. Запоріжжя : ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТИНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024. 27 с

24. Закон України «Про охорону праці»: Закон від 14.10.1992 № 2694-XII. Відомості Верховної Ради України.

25. Azaryan, V.A. (2007). Tseli i zadachi sozdaniya kompleksnoy sistemy upravleniya kachestvom rud v rudopotokakh kar'yerov. Razrabotka rudnykh mestorozhdeniy, 91, 207-209.

26. Azaryan, A., & Azaryan V. Use of Bourger Lambert Bera law for the operative control and quality management of mineral raw materials. Metallurgical and Mining Industry. 2015. No. 1. P.4-9.

27. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Issue 3/5 (99), 29-35. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.170341A. Azaryan A., Gritsenko, A. Trachuk, V. Serebrenikov, D. Shvets.

28. Azaryan, V. A., & Zhukov, S. A. (2017). Obosnovanie perioda oprobovaniya zaboev kar'yera. Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho hirnychoho universytetu, 51, 8-18.