

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

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

_____ Костянтин ЛЕВЧЕНКО

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

**на тему «Обґрунтування параметрів процесу підготовки
магнетитових кварцитів до збагачення для умов ПРАТ ПівнГЗК»**

Керівник роботи
Консультант від
бази практики

Костянтин Левченко

Олег Гулак



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

Здобувач

Іван Заяць



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

Голова ЕК

Андрій Ртищев

Запоріжжя 2025

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

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1	
2	

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Збір матеріалу. Написання технологічного розділу	01.02.2025
2	Написання спеціального розділу.	08.02.2025
3	<i>Оформлення роботи</i>	10.02.2025
4		

Здобувач



(Іван ЗАЯЦЬ)

Керівник роботи

(Костянтин ЛЕВЧЕНКО)

АНОТАЦІЯ

Заяць Іван Андрійович. Обґрунтування параметрів процесу підготовки магнетитових кварцитів до збагачення для умов ПРАТ ПівнГЗК

Кваліфікаційна робота на правах рукопису. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 184 Гірництво, ОПП «Технології збагачення корисних копалин» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2025.

Об'єктом дослідження є технологічна схема збагачення ПРАТ ПівнГЗК.

Предметом дослідження є процеси підготовки магнетитових кварцитів.

У першому розділі проаналізовано сучасний стан підприємства, та діючої фабрики збагачування. Надана загальна характеристика сировинної бази, та основних виробничих можливостей. Приведено аналіз технологічних рішень діючої фабрики. В результаті визначена необхідність вдосконалення діючої технології з метою покращення якісних показників, сформульовано напрямки дослідження, які планується вивчати в рамках кваліфікаційної роботи, досягнення позитивних результатів планується за рахунок вдосконалення процесу подрібнення.

У другому розділі проведено аналіз запропонованої технології. визначено її доцільність, обґрунтовано необхідність та можливість застосування, наведено очікувані зміни якісних характеристик технологічного процесу.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: млин, якість, подрібнення, магнетитові кварцити.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	7
Загальна характеристика підприємства ПРАТ «ПІВНГЗК» ПРАТ.....	7
Характеристика родовищ	17
Висновки.....	27
ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ПІДГОТОВКИ МАГНЕТИТОВИХ КВАРЦИТІВ ДО ЗБАГАЧЕННЯ ДЛЯ УМОВ ПРАТ ПІВНГЗК.....	28
Аналіз роботи ПРАТ «ПІВГЗК».....	28
Підвищення ефективності рудо підготовки магнетитових кварцитів за рахунок вибору раціональних параметрів зносостійкості мелючі тіл...	29
Висновки.....	50
ЗГАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	52
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	53

ВСТУП

Україна займає провідне місце у світі по запасах залізної руди й має у своєму розпорядженні потужну гірничорудну галузь. У Програмі розвитку й реформування гірничо-металургійного комплексу України до 2025 року передбачається зростання виробництва залізорудної сировини в Україні з 55,9 млн. т/рік у 2020 р. до 61,0 млн. т/рік у 2025 р., відповідно на 9,2% при одночасному підвищенні якості концентрату на 0,94-1,37% та зниженні енергоємності виробництва.

Одним з напрямків поліпшення якості концентрату є підвищення ступеня розкриття мінералів у циклах подрібнення. Підготовка руди по крупності до збагачення здійснюється в барабанних млинах. Процес подрібнення в млинах є найбільш енергоємною операцією циклу підготовки руди до металургійного переділу, споживаючи до 30% енергоресурсів ГЗК, що становить 4,5-5% енергоспоживання всього гірничо-металургійного комплексу. Тому дослідження спрямовані на інтенсифікацію існуючого процесу подрібнення в кульових барабанних млинах є необхідними й актуальними.

ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Загальна характеристика підприємства ПРАТ «ПІВНГЗК» ПРАТ

Приватне акціонерне товариство «Північний ГЗК» займається видобутком і переробкою залізистих кварцитів у північній частині Криворізького залізорудного басейну. Розробка родовищ здійснюється відкритим способом із застосуванням буропідривних технологій, а відпрацьовані породи вивозяться у зовнішні відвали. Виробництво залізорудного концентрату на підприємстві розпочалося у 1963 році на першій збагачувальній фабриці, а через дев'ять років на першій фабриці огрудкування стартувало виробництво окатишів [1-7].

У жовтні 1996 року відповідно до наказу Регіонального відділення Фонду державного майна України по Дніпропетровській області підприємство змінило форму власності, ставши відкритим акціонерним товариством. За роки діяльності комбінат постійно модернізував виробничі потужності, створюючи повний технологічний цикл – від видобутку руди до її збагачення та виробництва окатишів.

Сьогодні ПРАТ «ПІВНГЗК» є одним із ключових підприємств галузі, забезпечуючи близько 45% виробництва окатишів і 20% залізорудного концентрату в Україні. Промисловий комплекс займає 7200 гектарів, що робить його одним із найбільших у Європі підприємств із повним циклом виробництва доменної сировини. До структури комбінату входять 26 промислових підрозділів, зокрема Першотравневий і Ганнівський кар'єри, два гірничотранспортні цехи, три дробильні фабрики, дві

рудозбагачувальні фабрики, два цехи з виробництва окатишів та управління залізничного транспорту. Роботу комбінату забезпечують також три допоміжні структурні підрозділи.

Комбінат є частиною Групи **Метінвест** – найбільшого приватного промислового холдингу України, який об'єднує підприємства гірничо-металургійного комплексу в єдиний виробничий ланцюг – від видобутку сировини до виготовлення та продажу металопродукції. Потужності підприємства дозволяють щорічно виробляти 14,2 млн тонн концентрату та 11,1 млн тонн окатишів.

Сировинна база комбінату складається з великих запасів залістистих кварцитів, видобуток яких ведеться у Першотравневому та Ганнівському кар'єрах. Загальні ресурси рудної бази підприємства оцінюються в 3,108 млн тонн. Основними видами продукції, що випускає комбінат, є залізорудний концентрат та окатиші.

Найвищі виробничі показники підприємство зафіксувало у 1988 році, коли було видобуто 45,2 млн тонн руди, виконано вскришні роботи в обсязі 50,2 млн кубометрів, вироблено 19,3 млн тонн концентрату та 14 млн тонн окатишів. Однак у період економічної кризи 1990-х років спостерігався значний спад: у 1994 році видобуток руди скоротився до 11,5 млн тонн, виробництво концентрату – до 5,3 млн тонн, а окатишів – до 4,6 млн тонн, що становило 27–33% від рівня 1988 року [1-7].

Останнім часом комбінат поступово збільшує обсяги виробництва, що зумовлено стабільним попитом на залізорудну продукцію як в Україні, так і за її межами. Ситуація на ринку визначається значною кількістю покупців у межах єдиного економічного простору та конкуренцією серед постачальників, продукція яких має подібні якісні характеристики.

Основними конкурентами ПРАТ «ПІВНГЗК» на ринку залізорудного концентрату є:

- ПАТ «Інгулецький ГЗК» – провідний виробник концентрату в Україні;
- АТ «Південний ГЗК»;
- ПРАТ «Центральний ГЗК»;
- ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»;
- ПРАТ «Полтавський ГЗК».

На ринку окатишів підприємство змагається з українськими компаніями ПРАТ «Полтавський ГЗК» та ПРАТ «ЦГЗК», а також із закордонними постачальниками зі Швеції, Бразилії, Австралії, Індії та Канади [1].

Основні напрями діяльності ПРАТ «ПІВНГЗК»:

Видобуток залізної руди відкритим способом;

- Збагачення руди, виробництво концентрату та окатишів;

Складування сировини та готової продукції;

- Міжнародна торгівля та зовнішньоекономічна діяльність;

Фактори, що впливають на обсяги виробництва:

Загальна економічна ситуація в Україні;

- Можливі коливання цін на світовому ринку металів;

Колівання курсу національної валюти;

- Пошкодження логістики

Технологічний процес виробництва залізорудного концентрату та окатишів передбачає багатоетапне подрібнення руди, магнітну сепарацію, збагачення та агломерацію сировини. Потокова організація виробничого процесу забезпечує високу ефективність, скорочення логістичних витрат та стабільну якість продукції.

Структура ПРАТ «ПІВНГЗК» зберігає свою цілісність, оскільки всі підрозділи технологічно пов'язані між собою. Відокремлення окремих структур могло б призвести до підвищення управлінських витрат і транспортних витрат. У сучасних ринкових умовах підприємство поступово оптимізує виробничу діяльність та адаптується до нових економічних викликів.

За останні роки обсяги продажу продукції ПРАТ «ПІВНГЗК» демонструють позитивну динаміку, що свідчить про його стабільні позиції на ринку [2-7].

Згідно зі структурною схемою комбінату, магнетитова руда, яка надходить із кар'єрів на дробильну фабрику, проходить чотири стадії подрібнення до розміру 0–25 мм. Далі частина подрібненої руди

спрямовується на збагачувальну фабрику, де відбувається суха магнітна сепарація. На цьому етапі відділяється частина порожньої породи, а вміст заліза у руді підвищується. Відходи цього процесу можуть бути використані як будівельний матеріал, частина з них відправляється у шламосховище.

Після етапу збагачення рудна маса спрямовується на фабрику огрудкування, де формується кінцева продукція – залізорудні окатиші. Останнім етапом є транспортування готової продукції споживачам.

Виробничий процес на комбінаті має масовий характер, відзначається потоковою організацією та високим рівнем спеціалізації. Кожна технологічна стадія, робоче місце та агрегат виконують чітко визначені операції, що сприяє зменшенню часу на транспортування матеріалів між етапами обробки. Це забезпечує стабільність виробництва, точність параметрів процесу та його повторюваність.

Ефективна організація виробництва дає змогу підтримувати високу продуктивність праці, оптимально використовувати матеріальні та людські ресурси, а також сприяє зниженню витрат на виробництво продукції [1-7].

Оскільки всі структурні підрозділи комбінату технологічно та територіально взаємопов'язані, їх розмежування в окремі самостійні одиниці є недоцільним. Подібний підхід міг би призвести до збільшення управлінських витрат, підвищення транспортних витрат і створення додаткових труднощів у координації виробничих процесів.

Організаційна структура підприємства

На підприємстві сформована завершена виробнича структура, яка великою мірою залежить від спектра послуг і технологічних процесів, що здійснюються. В умовах переходу до ринкової економіки структура ПрАТ

«ПІВНГЗК» залишилася практично незмінною. Однак спостерігається зменшення розмірів окремих виробничих ділянок, що пояснюється оптимізацією штату працівників.

Основні виробничі об'єкти:

- Ганнівський кар'єр,
- Першотравневий кар'єр,
- рудозбагачувальні фабрики №1 і №2,
- цехи виробництва окатишів №1 і №2.

Також в структурі комбінату є допоміжні (тепловий цех, будівельно-монтажне управління, шламове господарство) та обслуговуючі (гірничо-транспортні цехи №1 і №2, управління залізничного транспорту) підрозділи [1-7].

Така структура дає змогу забезпечити достатній рівень автономності кожного підрозділу для ефективного виконання функціональних обов'язків.

Система управління ПРАТ «ПІВНГЗК» є багаторівнева, вона охоплює стратегічне та оперативне планування, організацію праці, фінансовий менеджмент, аналіз економічних показників, а також питання заробітної плати, обліку та господарського забезпечення.

Згідно із зарубіжним досвідом, непрофільні напрямки роботи доцільніше передавати спеціалізованим підрядним організаціям, які проходять відбір через тендерні процедури. Це дозволяє підприємству зосередитися на ключових виробничих процесах та оптимізувати витрати.

Підрядники несуть повну матеріальну відповідальність за виконання своїх зобов'язань. Всі роботи виконуються в узгоджені терміни, а за

порушення графіків передбачені штрафні санкції у вигляді пені або неустойки за кожен день прострочення.

За офіційними даними, у 2019 році обсяги продажу продукції ПРАТ «ПІВНГЗК» зросли на 1 807 430 тонн порівняно з 2018 роком та на 1 058 588,55 тонн у порівнянні з 2017 роком. Це свідчить про позитивні тенденції у діяльності підприємства та зростання попиту на його продукцію [1,3-7].

Динаміка показників продажу основних видів продукції 2017-2019 роки (рис.1.1) без ПДВ в тис.грн [1,3-7].

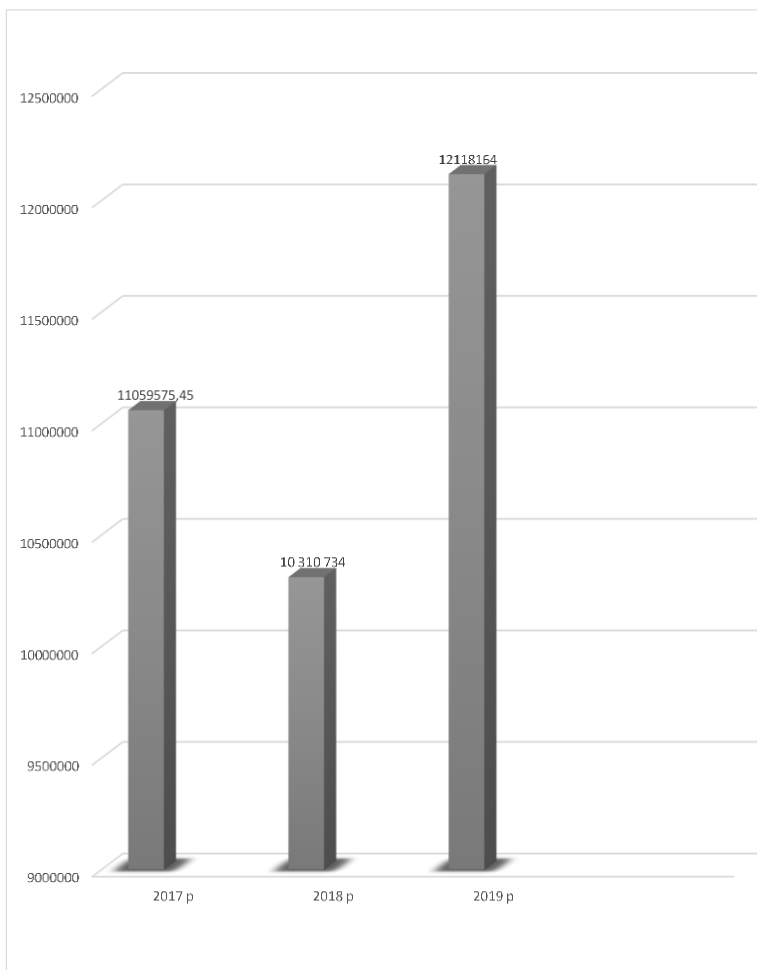


Рисунок 1.1 – Показники збуту продукції в тис.грн.

1.2 Характеристика Першотравневого та Ганнівського родовищ залізистих кварцитів

Першотравневе родовище

Запаси залізистих кварцитів Першотравневого родовища офіційно зараховані на баланс Північного гірничо-збагачувального комбінату. Розробка родовища відкритим способом триває з грудня 1960 року. Основною корисною копалиною є залізисті кварцити п'ятого та шостого залізистих горизонтів Саксаганської свити, що використовуються у виробництві залізородного концентрату [1-7].

Родовище розташоване у північному секторі Криворізького залізородного басейну, у зоні, де перетинаються Саксаганська та Східно-Ганнівська субмеридіональні синклінальні структури. У результаті цього утворилася складна форма залягання, відома як Першотравнева синкліналь. Геологічна будова характеризується складною тектонікою, значним ступенем метаморфізму руд і вміщуючих порід, а також активними метасоматичними процесами.

Основними геологічними формаціями, що формують родовище, є породи середньої залізородної свити (PR1sx), які поділяються на кілька горизонтів – сланцеві (перший, другий, третій-п'ятий, сьомий) та залізисті (перший, другий, п'ятий, шостий, сьомий). Продуктивними є лише кварцити п'ятого та шостого горизонтів [1-7].

П'ятий залізистий горизонт складається з окремих тектонічних блоків у північно-східній зоні кар'єрного поля. В його складі переважають (до 90%) магнетитові кварцити, що відзначаються високим вмістом загального заліза – 39,01%, з яких 32,9% пов'язані з магнетитом. Потужність горизонту варіюється і в окремих місцях досягає 100 м.

Тектонічні процеси розділили родовище на численні блоки різних розмірів – від десятків до тисяч квадратних метрів. Це спричинило

формування складної складчасто-блокової структури. В місцях тектонічних розривів, потужність яких сягає 50–70 м, активно розвивалися метасоматичні процеси, що вплинули на склад порід.

У геологічній будові родовища беруть участь породи чотирьох свит Криворізької серії (знизу вгору):

- Сланцево-амфіболітова свита (K_0) – містить амфіболіти, піщаники, кварцити та різні види сланців. Потужність – 700-800 м.
- Нижня аркозо-філітова свита (K_1) – складена аркозовими піщаниками, хлорит-серицитовими кварцитами та філітовими сланцями.
- Середня залізородна свита (K_2) – містить продуктивні залізисті кварцити, розділені на три підсвити: нижню, середню та верхню.
- Верхня сланцева свита (K_3) – переважно представлена безрудними кварцитами та глинистими сланцями.

Ганнівське родовище

Ганнівське родовище розташоване в північній частині Криворізького залізородного басейну, в межах Криворізько-Кременчуцької структурно-фаціальній зони залізисто-кременевої формації. Його сировинна база представлена залізистими кварцитами, що розробляються відкритим способом із застосуванням буровибухових технологій.

За геологічною будовою родовище поділяється на дві частини: північну і південну.

- Південна частина відзначається численними поперечними розривами, що розділяють гірські породи на окремі блоки. Довжина цих блоків коливається в межах 50–300 м, а переміщення вздовж розломів досягає 200 м.

- Північна частина містить поздовжні (субмеридіональні) розломи, серед яких Західний (Саксаганський розлом) і Східний (Східний розлом).

Родовища залізистих кварцитів Ганнівського району складені чотирма основними свитами Криворізької серії нижнього протерозою:

- Сланцево-амфіболітова свита – включає амфіболіти, кварцити, сланці та польовошпат-піроксенові утворення.
- Нижня свита – складається з трьох горизонтів:
 1. Аркозового (слюдисті кварцити).
 2. Філітового (кварц-серицит-хлоритові сланці).
 3. Талькового (серпентин-кумінгтонітові сланці).
- Середня залізородна свита – містить магнетитові кварцити з прошарками магнетит-амфіболових та силікатних сланців.
- Верхня свита – представлена безрудними кварцитами та глинисто-карбонатними сланцями.

Основним рудоносним горизонтом є перший залізистий горизонт, який має середню потужність 250–349 м і залягає в межах складної тектонічної структури. Вміст загального заліза варіюється від 22,5% до 46%, а магнетитового – від 16% до 34,5%.

Геологічні особливості

Ганнівський кар'єр характеризується крутонахиленим заляганням залізистих кварцитів першого горизонту. Гірські породи розділяються на лежачу (продуктивну) та висячу пачки.

- Лежача пачка містить кварцити родузит-магнетитового, біотито-залізослюдного та магнетит-амфіболового складу.
- Висяча пачка складається з грубошарових магнетит-амфіболових кварцитів та біотит-гематит-амфіболових сланців.

Верхні горизонти частково піддані процесам вивітрювання, внаслідок чого утворилися зони окислених кварцитів. Потужність зони окислення змінюється від 10 до 40 м, а в окремих місцях досягає 160 м.

Кліматичні умови району

Клімат району помірно континентальний, з короткими зимами та спекотним літом.

- Середньорічна температура повітря – +8°C.
- Максимальна температура у липні – +38°C, мінімальна у лютому – -32°C.
- Річна кількість опадів – 423 мм.
- Пануючі вітри – північні, північно-східні та східні.

Ганнівське родовище є важливою сировинною базою комбінату, а його розробка ведеться відкритим способом із використанням сучасних технологій.

1.3. Аналіз технології збагачення магнетитових кварцитів на ПрАТ «ПівнГЗК» та напрямки її удосконалення

Враховуючи особливості речовинного складу та структури магнетитових кварцитів родовищ ПрАТ «ПівнГЗК» технологічна схема (рис. 1.1.) включає наступні операції: подрібнення, класифікацію, мокру магнітну сепарацію, декламацію та фільтрацію.

Подрібнення є одним із найважливіших процесів у технологічній схемі, оскільки воно забезпечує розкриття залізовмісних мінералів від пустої породи. У схемі використовується три стадії подрібнення, які здійснюються у кульових млинах (МКР 3600x4000, МКР 3850x4000, МКР 4000x5000, МКЦ 3600x5500). Перша стадія подрібнення відбувається у замкнутому циклі зі спіральним класифікатором (2КСН 2,4x12,5), який повертає недостатньо подрібнені частинки назад у млин. Друга та третя

стадії використовують гідроциклони (ГЦ-710, ГЦ-500, ГЦ-350) для класифікації матеріалу, розділяючи його на крупну (піски) і тонку (злив) фракції. Завдяки поступовому зменшенню розміру частинок забезпечується висока ефективність подальшої магнітної сепарації. Процес подрібнення виконується у замкненому циклі, що дозволяє підтримувати необхідну гранулометрію матеріалу. Використання різних типів млинів дозволяє контролювати якість подрібненої руди та регулювати рівень тонкого помелу. Надмірне подрібнення небажане, оскільки воно призводить до збільшення втрат магнетитового заліза у хвостах. Оптимальні розміри частинок забезпечують максимальне вилучення заліза у концентрат при мінімальних енергетичних витратах.

Магнітна сепарація є основним методом вилучення магнетитових частинок із рудної маси та покращення вмісту заліза у концентраті. У схемі передбачено п'ять стадій магнітної сепарації, які виконуються у барабанних магнітних сепараторах. Перша стадія передбачає два прийоми: на першому виділяється магнітний продукт, який спрямовується на перечистку, а на другому – остаточний магнітний концентрат. Друга стадія розділяє продукт подрібнення на магнетитовий концентрат і хвости, що надходять у відходи. Третя та четверта стадії магнітної сепарації виконують доочищення продукту, забезпечуючи підвищення масової частки заліза у концентраті та зниження втрати магнетиту з хвостами. На п'ятій стадії здійснюється остаточне розділення магнітного продукту, де концентрат спрямовується на подальше зневоднення. Використання багатоступінчастої магнітної сепарації дозволяє отримати концентрат із високим вмістом заліза, що відповідає вимогам металургійних підприємств. Процес магнітного збагачення працює у водному середовищі, що мінімізує втрати цінного компоненту.

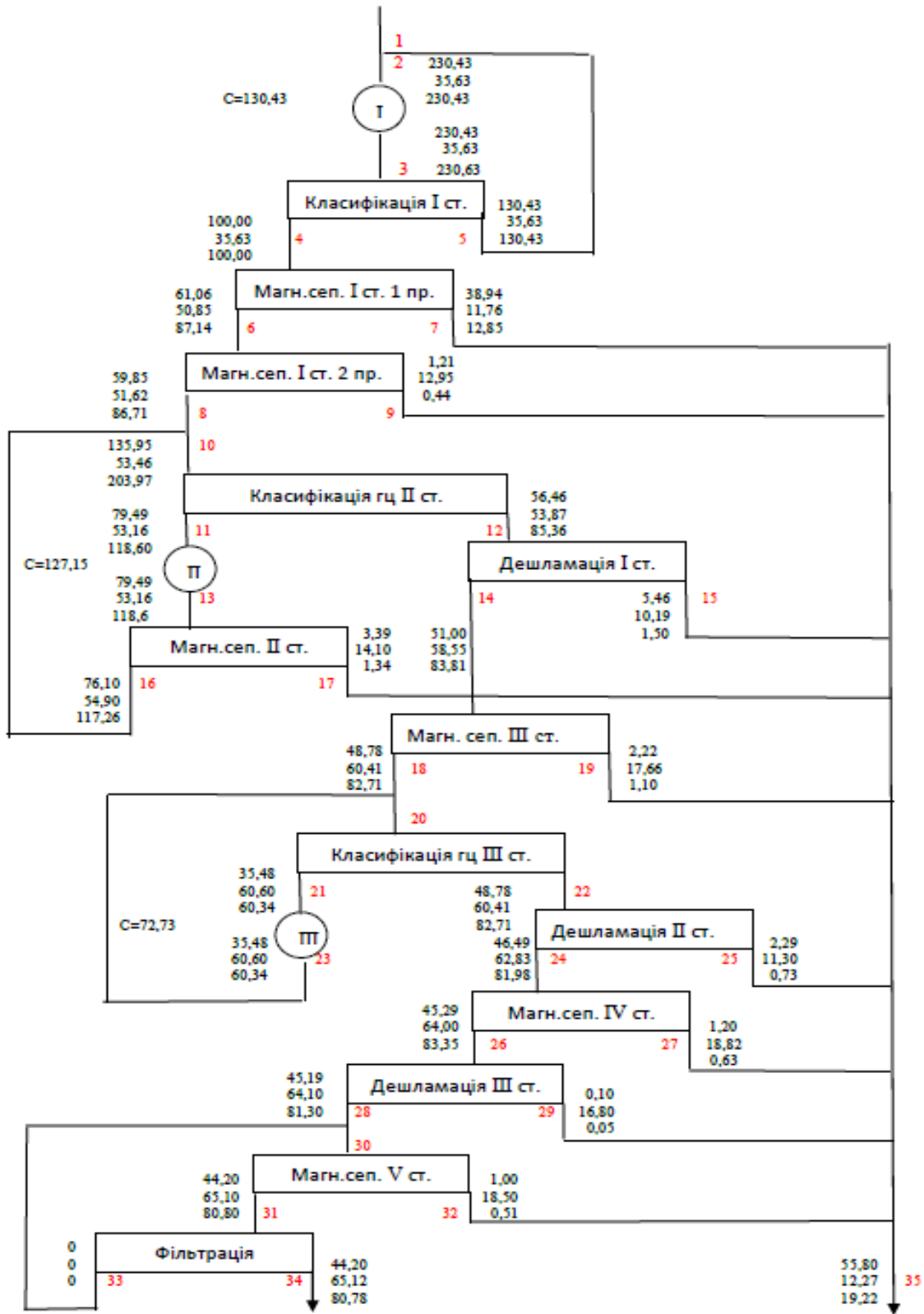


Рисунок 1.1 – Існуюча технологічна схема на ПрАТ «ПівнГЗК»

Класифікація у схемі виконує функцію розподілу матеріалу за розмірами, що дозволяє покращити якість подальших процесів збагачення. Тим самим дана операція виводить з процесу вже розкриті часточки та не дозволяє їм пере подрібнюватися. Перша стадія класифікації здійснюється спіральними класифікаторами, які поділяють матеріал на крупну (піски) і дрібну (злив) фракції. Друга та третя стадії класифікації використовують гідроциклони (ГЦ-710, ГЦ-500, ГЦ-350), що забезпечують високу точність поділу частинок за розміром. Контрольна класифікація застосовується для видалення зростків залізовмісних мінералів та покращення якості живлення магнітних сепараторів III-IV стадій. Дешламація необхідна для видалення дрібнодисперсних шламів, що можуть негативно впливати на процес фільтрації концентрату. Виконується вона у магнітних дешламаторах, які розділяють продукт на хвостову пульпу та концентрат. Дешламація проводиться у три прийоми, що дозволяє поступово видалити шламіві домішки та підвищити якість продукту. Злив дешламаторів спрямовується у хвостові відвали, а піски надходять на додаткову стадію магнітного збагачення або контрольну класифікацію. Використання дешламації суттєво знижує втрати заліза та покращує кінцеві показники виробництва.

Зневоднення концентрату є важливим заключним етапом у схемі збагачення, що забезпечує можливість транспортування та подальшої переробки продукції. Для цього використовуються вакуум-фільтри ДОО 160 3,2, які дозволяють значно знизити вологість концентрату. Перед подачею на фільтрацію концентрат проходить через концентратні магнітні дешламатори, які усувають залишкові домішки. Після фільтрації продукт спрямовується у концентратні зумпфи, звідки насосами VASA 7010, VASA 507 подається на ділянки зневоднення або

гідротранспортується на РЗФ-2. Надлишкова волога, отримана у процесі фільтрації, повертається у технологічний цикл для повторного використання. Використання вакуум-фільтрів дозволяє отримати концентрат із вологістю, що відповідає вимогам металургійного виробництва. Високий рівень зневоднення концентрату знижує витрати на транспортування та подальшу агломерацію. Вакуум-фільтрація є ефективним методом, який забезпечує високу продуктивність і стабільність роботи всього комплексу. Завдяки ефективній системі зневоднення комбінат може забезпечувати стабільне постачання продукції на металургійні підприємства.

За даною технологією з вихідної сировини 35,63% за якістю, отримується концентрат з масовою часткою цінного компоненту 65,12% при його виході – 44,20% та вилучення цінного компоненту в концентрат 80,78%. При цьому втрати х хвостами складають 19,22%.

Висновки

1. Методи та технології, що на сьогодні задіяні ПРАТ ПівнГЗК не завжди забезпечують отримання продукції з високими показниками якості.

2. В умовах діючого підприємства існують напрямки та можливості покращення технологічного процесу збагачення, оптимізація параметрів процесу підготовки магнетитових кварцитів може бути одним з напрямків.

2. ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ПІДГОТОВКИ МАГНЕТИТОВИХ КВАРЦИТІВ ДО ЗБАГАЧЕННЯ ДЛЯ УМОВ ПРАТ ПІВНГЗК

2.1 Аналіз роботи ПрАТ ПівГЗК

На сьогоднішній день вітчизняні гірничорудні підприємства стикаються з посиленням конкуренції на європейському та світовому ринках залізорудної продукції. Основний тиск створюють міжнародні виробники залізної руди, зокрема компанії зі Швеції, Бразилії, Австралії та Індії, які постачають сировину з високим вмістом заліза (68–69% Feзаг.). Вітчизняна огрудкована продукція поступається за якістю, оскільки її вміст заліза становить лише 54,58–59,82% Feзаг. Крім того, витрати енергії на виробництво у гірничо-металургійному комплексі України у 1,8-2 рази перевищують показники закордонних конкурентів. Аналіз енергобалансу гірничо-збагачувальних комбінатів виявив, що найбільшу частку енергоспоживання припадає на процеси збагачення та огрудкування залізорудного концентрату. Зокрема, збагачення споживає 19,07% загальних енергоресурсів, а витрати електроенергії на цей цикл досягають 44,08% загальнокомбінатських витрат. Особливо енергозатратним є процес подрібнення, на який припадає до 30% витрат електроенергії комбінату. Враховуючи це, одним із ключових завдань підвищення ефективності збагачення магнетитових кварцитів є розроблення методів інтенсифікації подрібнення в барабанних млинах, що є основним обладнанням на збагачувальних фабриках. Проте їхній коефіцієнт корисної дії (ККД) не перевищує 1-2%, що свідчить про значні втрати енергії та необхідність модернізації технологічного процесу.

Однак у сучасних умовах, коли Україна переживає складний період воєнного конфлікту, важливо знаходити шляхи вдосконалення виробництва з мінімальними капітальними вкладеннями. Інвестування у масштабну модернізацію та закупівлю дорогого імпортного обладнання є проблематичним, тому оптимізація існуючих технологій стає першочерговим завданням. Для цього необхідно застосовувати маловитратні методи підвищення ефективності подрібнення, що не потребують значних інвестицій, але водночас дозволяють скоротити енергоспоживання та підвищити якість кінцевого продукту. Серед таких методів – оптимізація режимів роботи млинів, удосконалення техніко-технологічних параметрів подрібнення, модернізація внутрішніх елементів обладнання та впровадження більш ефективних фізико-технологічних рішень. Враховуючи економічні труднощі, підприємства мають орієнтуватися на розроблення та впровадження технологій із мінімальними фінансовими витратами, зосереджуючись на ресурсозбереженні та раціональному використанні наявного обладнання.

Оптимізація процесу подрібнення може здійснюватися в кількох напрямках. Перш за все, це вдосконалення техніко-технологічних параметрів подрібнення, включаючи зміни у конструкції млинів, а також застосування фізико-технологічних методів підготовки руди. Крім того, ефективність процесу можна підвищити за рахунок використання сучасних методів інтенсифікації, що базуються на принципах фізики твердого тіла. Важливим аспектом є урахування фізико-хімічних особливостей взаємодії твердої та рідкої фаз у пульпі, що дозволить створювати вискоелективні технологічні рішення. Завдяки комплексному підходу можна розробити обладнання з покращеними

техніко-економічними характеристиками, що забезпечить зниження енерговитрат і підвищення продуктивності.

Сьогодні накопичено значний досвід щодо впровадження різних методів інтенсифікації подрібнення, які сприяють ефективному розкриттю корисних мінералів. Одним із напрямів є введення розширювального середовища (пара, газ, плазма) у мікротріщини руди, що сприяє додатковому руйнуванню мінералів. Також використовується технологія попереднього підривного навантаження, що дозволяє зменшити енерговитрати на подрібнення. Альтернативним рішенням є теплова обробка руди, наприклад інфрачервоне нагрівання, яке змінює структуру матеріалу та полегшує його руйнування. Ефективним є також застосування поверхнево-активних речовин (ПАР), які впливають на змочуваність мінералів, покращуючи процес подрібнення. Серед перспективних технологій – ультразвукові, електроімпульсні та електромагнітні методи, що забезпечують мікротріщиноутворення в рудному матеріалі. Додатково досліджуються електрохімічні, надвисокочастотні та методи обробки із застосуванням енергії прискорених електронів, які можуть суттєво покращити ефективність процесу. Комплексне поєднання цих методів дозволяє досягти високого ступеня розкриття корисних мінералів при знижених енерговитратах.

В умовах війни підприємства змушені працювати в умовах обмеженого фінансування, дефіциту ресурсів та складної логістики, що обмежує можливості модернізації за рахунок дорогого імпортного обладнання. Саме тому ключовим завданням є пошук ефективних рішень, які потребують мінімальних капіталовкладень, але забезпечують суттєве зниження витрат та підвищення продуктивності. Використання маловитратних методів інтенсифікації подрібнення, оптимізація

енергоспоживання та впровадження нових технологій без значних фінансових витрат дозволять українським гірничо-збагачувальним підприємствам залишатися конкурентоспроможними навіть у складних економічних умовах.

2.2 Підвищення ефективності рудопідготовки магнетитових кварцитів за рахунок вибору раціональних параметрів зносостійкості мелючи тіл

Згідно з прогнозами, у найближчі 20 років конструкція млинів не зазнає суттєвих змін, тому барабанні кульові млини й надалі залишатимуться основним обладнанням для подрібнення руди на гірничо-збагачувальних комбінатах. Серед усіх технологічних процесів на збагачувальних фабриках подрібнення є найбільш енерговитратним і трудомістким, оскільки його частка у загальних витратах на виробництво концентрату становить від 50% до 70%. Основні витрати на подрібнення припадають на середню та дрібну стадії помолу, які послідовно розташовані в технологічному ланцюгу й зазвичай оснащені високопродуктивними млинами МШР та МШЦ. Вони забезпечують випуск готового продукту, і їхні експлуатаційні параметри значною мірою визначають загальну ефективність роботи збагачувальної фабрики. Важливу роль у забезпеченні стабільної роботи млинів відіграє зносостійкість куль та футеровок. Відносно короткий термін служби ключових вузлів і деталей млинів спричиняє зниження їхньої експлуатаційної надійності. Планові простой млинів на ремонт складають від 2,8% до 21,45% загального машинного часу, що призводить до зменшення обсягів видобутої товарної руди. Протягом останніх 10–15

років у галузі спостерігається значний прогрес у покращенні фізико-механічних характеристик мелючих тіл. Завдяки цьому їхня зносостійкість зросла на 20-25%. Однак, через збільшення частки міцних тонковкраплених руд у загальному балансі, а також необхідність більш тонкого помелу для отримання якісного концентрату, споживання мелючих тіл не зменшилося і залишається на рівні понад 1,2 млн тонн на рік.

Значна частка витрат у збагачувальному процесі пов'язана саме з використанням мелючих тіл – їхня частка у загальній вартості переділу на збагачувальних фабриках досягає 12-15%. У порівнянні з передовими країнами світу, вітчизняні ГЗК витрачають у два рази більше мелючих тіл на одиницю продукції, що створює необхідність пошуку шляхів зменшення цих витрат. Вирішення цієї проблеми можливе за рахунок застосування нових видів металів, удосконалення технологій виготовлення мелючих тіл і підвищення їхньої зносостійкості. Саме тому було проведено дослідження щодо оцінки технологічної ефективності різних видів мелючих тіл, визначення основних механізмів їхнього зношування, а також впливу форми та хімічного складу матеріалу на продуктивність помелу. Аналіз включав оцінку абразивного та корозійного зношування куль і стрижнів, виготовлених із чавуну та сталі з різним вмістом легуючих елементів. Дослідження проводилися в промислових умовах на збагачувальних фабриках, що дозволило отримати практичні рекомендації щодо зниження витрат мелючих тіл. У розробці технологій виготовлення куль та стрижнів брали участь провідні наукові установи, такі як УкрНДІмет, ІЧМ та ДМЕТІ. Найбільш затратними у процесі ремонту млинів усіх стадій подрібнення залишаються футеровка та мелючі тіла.

Вітчизняні науковці та інженери досягли значних успіхів у збільшенні довговічності мелючих тіл, проте їхня зносостійкість усе ще не відповідає сучасним вимогам експлуатації млинів. Потенціал підвищення довговічності зношуваних деталей млинів далеко не вичерпаний, тому розробка нових методів їхнього зміцнення залишається актуальною. Аналіз витрат на виробництво концентрату свідчить, що до 25% загальних витрат на переробку руди припадає на споживання мелючих тіл. Зменшити ці витрати можна шляхом підвищення їхньої зносостійкості та покращення якості продукції, що постачається заводами-виробниками. Дослідження показали, що інтенсивність зношування мелючих тіл залежить від фізико-механічних властивостей руди та параметрів самих куль і стрижнів (розмір, форма, матеріал виготовлення). Вибірковий аналіз сертифікатів якості, що надходять разом із партіями мелючих тіл, свідчить, що їхня фактична твердість часто виявляється на 15–20% нижчою, а ударна стійкість – на 25–30% нижчою за заявлені показники. Це пов'язано з тим, що не всі виробники оснащені необхідним обладнанням для тестування мелючих тіл на ударну міцність. Досвід експлуатації показав, що кульові млини, виготовлені на вітчизняних підприємствах, мають недостатню ударостійкість.

На більшості ГЗК Кривбасу подрібнення руди здійснюється у три стадії кульовими млинами, а на деяких підприємствах, таких як ІнГЗК, – у дві стадії з використанням рудногалечних млинів. Подрібнення на першій стадії проводиться до 50–75% класу мінус 0,074 мм, а остаточне подрібнення – до 85–98% класу мінус 0,05 мм. Навантаження на обладнання змінюється залежно від характеристик руди. У кульових млинах першої стадії воно складає 1,0–1,9 т/м³, другої – 0,6–1,0 т/м³, а у млинах самоподрібнення ці значення варіюються від 0,85 до 1,36 т/м³.

Найвища питома продуктивність на 1 м³ обладнання була зафіксована на ПівнГЗК (1-1,3 т/год.), найнижча – на Арселор Міттал Кривий Ріг (0,9 т/год.). Залежно від типу руди та застосованого способу збагачення, кінцева крупність продукту (концентрату та хвостів) у класі –0,074 мм коливається від 81,7% до 91%.

Для визначення оптимальних розмірів мелючих тіл необхідно враховувати силу, що діє на частки руди під час їхнього руйнування кулями, а також розуміти механізм цього процесу та динаміку подрібнення. Процес здрібнення відбувається за рахунок трьох основних механізмів: ударного впливу, тертя та кочення мелючих тіл по часткам руди. Ключовими параметрами, які впливають на якість руйнування та довговічність мелючих тіл, є:

- форма та розмір куль;
- рівномірність твердості по всій структурі;
- стійкість до ударних навантажень.

Використання більш зносостійких мелючих тіл дозволяє отримати рудний продукт необхідної. Отже, при виборі параметрів мелючих тіл необхідно враховувати їхню ударостійкість, силу взаємодії між кулями та частинками руди в процесі руйнування, а також міцність самих частинок.

На рисунку 2.1 відображено розраховані значення сил, що виникають у точці контакту при падінні куль діаметром 15-60 мм з різної висоти. Аналізуючи ці результати, можна дійти висновку, що надлишкова кінетична енергія куль призводить до підвищеного зношування як мелючих тіл, так і футеровки млинів. Дослідження показують, що кінетичної енергії куль розміром 30 мм і менше достатньо для ефективного руйнування рудних частинок, що робить їх більш доцільними для процесу подрібнення. Вибір відповідного розміру куль є

критично важливим, оскільки він впливає на загальну продуктивність процесу, енерговитрати та кінцеву крупність продукту.

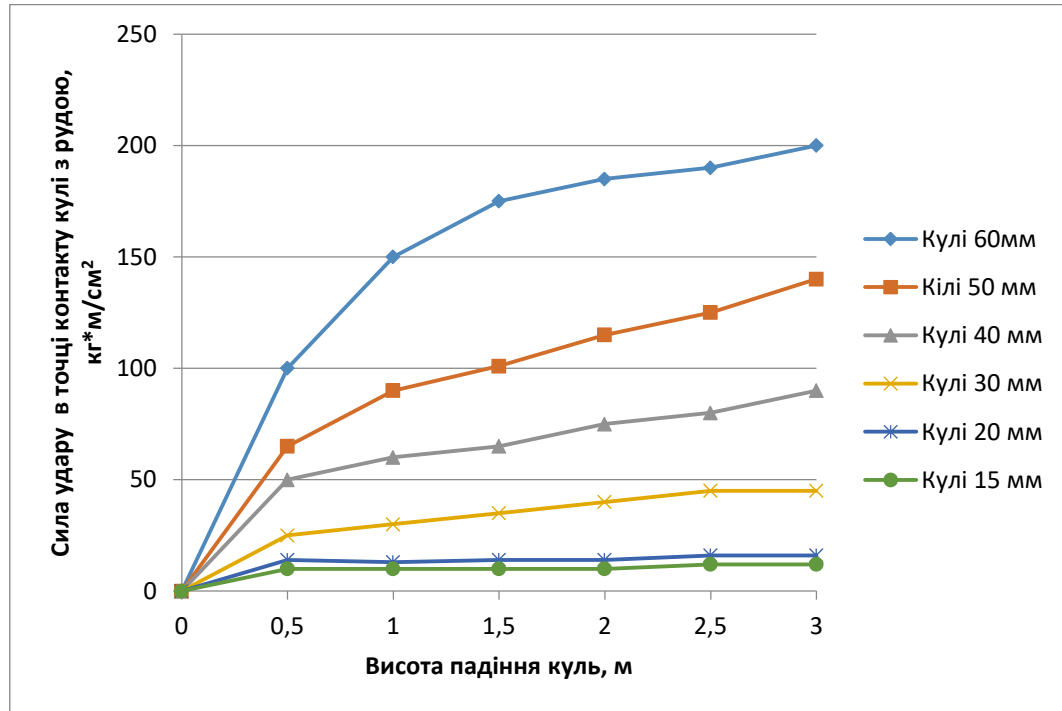


Рисунок 2.1 – Залежність сили удару в точці контакту кулі з рудою від розміру куль

Традиційно на збагачувальних фабриках найбільш поширеними є кульові мелючі тіла, однак виготовлення куль малого діаметру (менше 40 мм) супроводжується технологічними труднощами, що стимулює пошук альтернативних варіантів. Для дослідження можливості використання таких мелючих тіл було проведено експериментальні тести в лабораторному млині об'ємом 14 л, де тестувалися кульові та альтернативні форми мелючих тіл (рис. 2.1).

Основна характеристика тіл для подрібнення наведена на рис.2.2-2.3 та табл. 2.1.

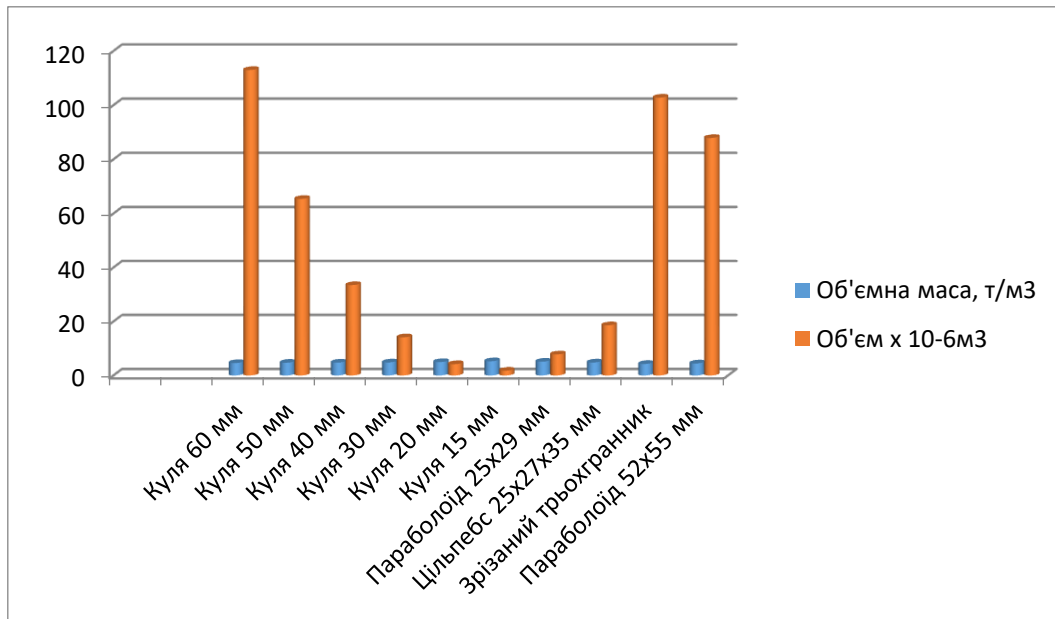


Рисунок 2.2 – Об'ємні показники тіл для подрібнення

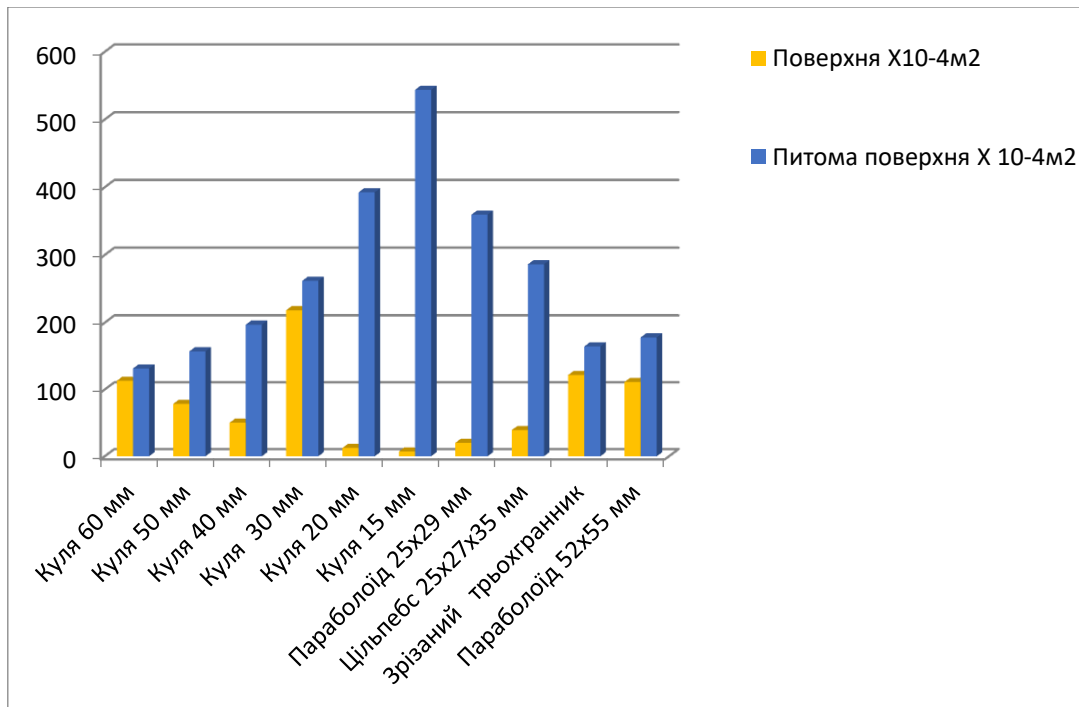


Рисунок 2.3 – Значення питомої поверхні тіл для подрібнення

Таблиця 2.1 – Кількість мелючих тіл у млині

	Куля 60 мм	Куля 50 мм	Куля 40 мм	Куля 30 мм	Куля 20 мм	Куля 15 мм	Параболоїд 25x29 мм	Цільпес 25x27x35 мм	Зрізаний трьохгранник	Параболоїд 52x55 мм
Кількість в млині	31	55	107	257	890	2333	525	201	33	41

Теоретичною основою переваги дрібних мелючих тіл є їхня збільшена питома поверхня, яка забезпечує більше контактів між ними та частками руди. Це безпосередньо впливає на ефективність подрібнення. Чим більше контактів між мелючими тілами, тим ефективніше відбувається руйнування частинок руди. Наприклад, для куль діаметром 60 мм питома поверхня становить $131,4 \times 10^{-4} \text{ м}^2/\text{кг}$, а для куль діаметром 40 мм – $197,0 \times 10^{-4} \text{ м}^2/\text{кг}$. Ця тенденція була підтверджена експериментально шляхом аналізу кінетичних залежностей, які показали, що зменшення діаметра куль веде до збільшення швидкості процесу подрібнення. Аналіз показників подрібнення промислового продукту вказує, що при використанні куль діаметром 15 мм відносна швидкість зменшення класу +0,044 мм є значно вищою, ніж при використанні більших куль (рис. 2.4).

Дослідження параболоїдних мелючих тіл розміром 25 × 29 мм показало, що їх ефективність наближається до куль діаметром 30 мм, проте вони мають нижчий рівень зношування – приблизно у 1,93 раза менший. Водночас їхня питома поверхня є вищою у 1,37 раза, що забезпечує додаткову ефективність подрібнення. Аналогічні результати були отримані для порівняння куль діаметром 60 мм та параболоїдних

тіл розміром 52 × 55 мм, де швидкість подрібнення становила 0,011 хв⁻¹ та 0,012 хв⁻¹ відповідно. Це свідчить про можливість заміни традиційних куль більш ефективними формами мелючих тіл, що зменшують зношування та енергоспоживання.

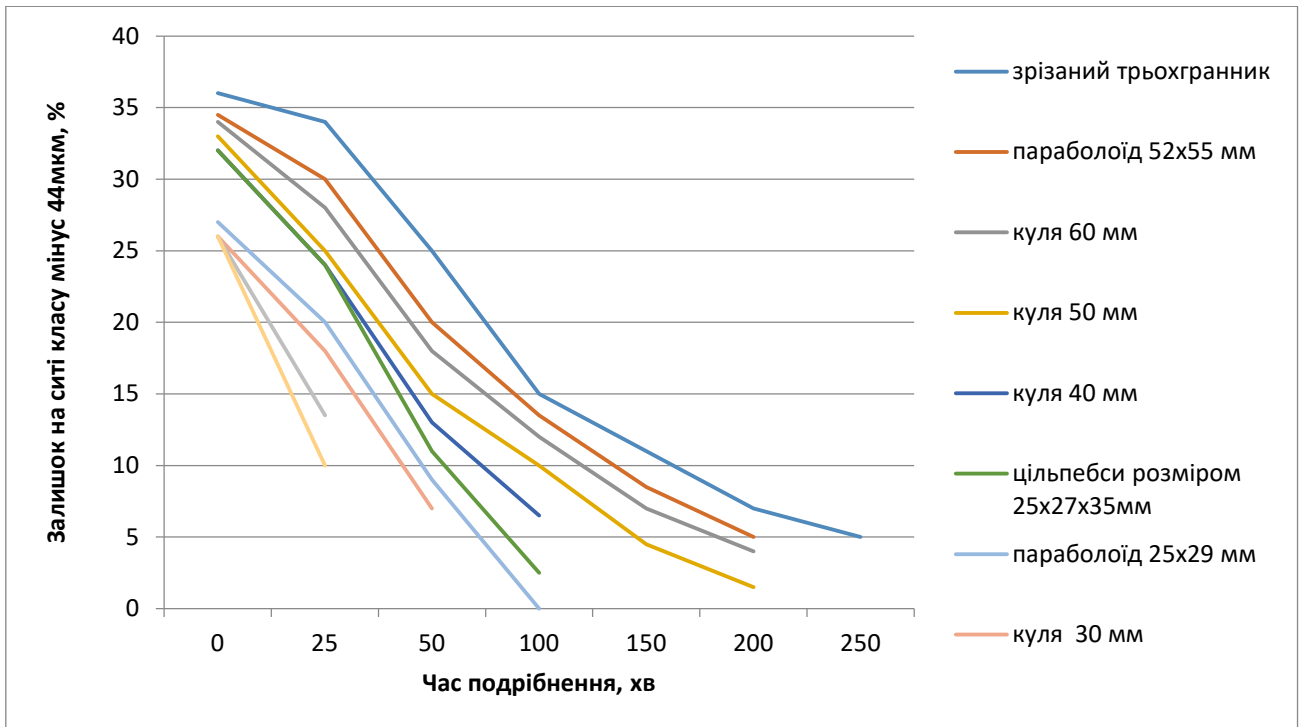


Рисунок 2.4 – Кінетика подрібнення

При тонкому подрібненні важливим показником є масова частка класу мінус 0,01 мм, яка суттєво впливає на загальну продуктивність збагачення. Графічні залежності (рис. 2.5) демонструють, що при однаковій крупності подрібнення 95% класу - 0,044 мм, найменша частка шламів (20%) досягається при використанні куль 15 мм, тоді як найбільша (29,5%) спостерігається при кулях 60 мм і зрізаних трикутниках (31,5%). Використання параболоїдних мелючих тіл дозволяє знизити частку шламів до 21,3%, що є кращим результатом у порівнянні з кулями діаметром 40 мм.

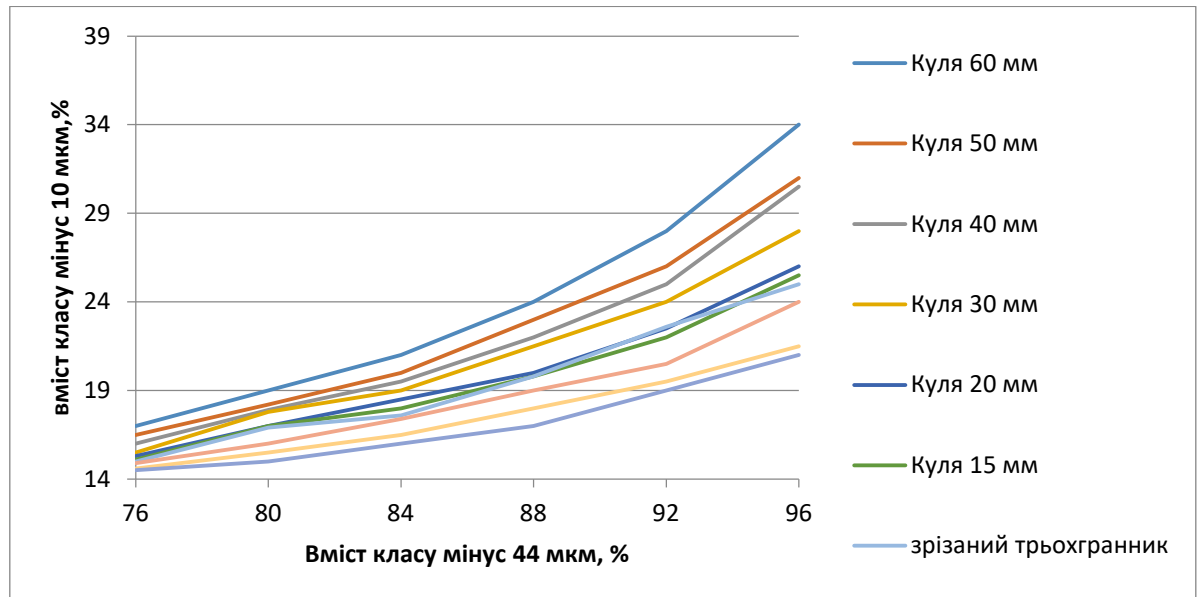


Рисунок 2.5 – Графічне зображення ефективності подрібнення матеріалу 3 стадії, розрахованої за залежностями в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Ефективність подрібнення магнетитових кварцитів у 3 стадії

Мелючі тіла	Рівняння	Індекс апроксимації
Куля 60 мм	$y = 0,5x^2 - 0,2143x + 17$	0,9971
Куля 0 50 мм	$y = 0,3804x^2 + 0,1632x + 16,11$	0,9976
Куля 0 40 мм	$y = 0,4214x^2 - 0,1986x + 16,12$	0,9929
Куля 0 30 мм	$y = 0,2446x^2 + 0,6761x + 14,89$	0,9936
Куля 0 20 мм	$y = 0,2321x^2 + 0,4179x + 14,9$	0,9939
Куля 0 15 мм	$y = 0,2286x^2 + 0,3657x + 14,82$	0,9914
Зрізаний трьохгранник	$y = 0,1946x^2 + 0,6175x + 14,37$	0,9922
Цільпелс 25x27x35 мм	$y = 0,2214x^2 + 0,1814x + 14,64$	0,9905
Параболоїд 25x29 мм	$y = 0,1339x^2 + 0,4339x + 14,05$	0,9995
Параболоїд 52x55 мм	$y = 0,2054x^2 - 0,1375x + 14,45$	0,9981

Зміна параметрів подрібнення також впливає на витрати електроенергії. Було виявлено, що при використанні куль діаметром 60 мм питомі витрати електроенергії становлять 0,802–1,138 кВт·год/кг виробленого класу –0,044 мм. При зменшенні діаметра мелючих тіл витрати електроенергії знижуються, що є важливим фактором для підвищення ефективності процесу подрібнення.

У промислових умовах, зокрема на збагачувальній фабриці ПрАТ «ПівнГЗК», було проведено експериментальну заміну куль діаметром 50–60 мм на кульові мелючі тіла діаметром 30 мм у млинах МШЦ 45 × 60 на третій стадії подрібнення. Результати досліджень показали, що збільшення ступеня заповнення млина з 28% до 42% дозволило підвищити масову частку заліза в кінцевому концентраті на 0,5%. При використанні куль 50-60 мм із максимальним заповненням 42%, вміст заліза у концентраті складав 66,11%, тоді як при використанні параболоїдних тіл аналогічний результат досягався вже при заповненні **33%**. При цьому енергоспоживання млина становило 2100 кВт, що на 120 кВт менше, ніж при традиційному варіанті.

Дані дослідження підтверджують, що застосування дрібних мелючих тіл дозволяє інтенсифікувати процес тонкого подрібнення. Проте, на більшості збагачувальних фабрик кулі діаметром менше 40 мм майже не використовуються через технологічні труднощі. Це пояснюється тим, що раніше не було необхідності досягати такої дрібної крупності продукту, як це вимагається сьогодні. Використання магнетитових кварцитів, які характеризуються дрібним вкрапленням і складною взаємодією мінералів, вимагає значного зменшення розміру помелу до 30-50 мкм.

Отже, оптимальними для третьої стадії подрібнення є мелючі тіла розміром 12-16 мм, однак їх використання у діючих млинах є складним через необхідність доопрацювання конструкції обладнання. Тому рекомендується застосування куль діаметром 20-30 мм, що дозволить скоротити тривалість подрібнення, підвищити швидкість досягнення необхідної крупності та знизити енергоспоживання. Це забезпечить більш ефективне використання ресурсів та зниження виробничих витрат.

Це сприятиме пришвидшенню процесу подрібнення на третій стадії та скороченню часу для отримання матеріалу з необхідними характеристиками. При застосуванні куль діаметром 60 мм, для досягнення залишку 5% на ситі з класом +0,044 мм, потрібно 180 хв. У той же час, використання куль меншого розміру (30 мм) дозволяє досягти аналогічного результату вже за 56 хв. Крім того, було зафіксовано збільшення концентрації цінного компонента в кінцевому продукті на 0,2%. Разом із цим спостерігалось суттєве скорочення енергоспоживання – з 0,802 кВт·год/кг (для класу мінус 0,044 мм) до 0,272 кВт·год/кг, що значно покращує загальну ефективність процесу подрібнення.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Подрібнення є найбільш ресурсомістким етапом виробництва концентрату, оскільки на нього припадає від 50% до 70% загальних витрат збагачувальних фабрик. Основне навантаження несуть середня та дрібна стадії подрібнення, які оснащені високопродуктивними млинами. Незважаючи на досягнення у вдосконаленні мелючих тіл, їх витрати залишаються високими, а процес подрібнення споживає значну частину електроенергії ГЗК. Планові простой млинів через знос обладнання знижують загальну продуктивність комбінатів.

2. Протягом останніх років спостерігається прогрес у покращенні фізико-механічних характеристик мелючих тіл, що дозволило збільшити їхню зносостійкість на 20-25%. Однак зростання видобутку міцних тонковкраплених руд та необхідність отримання концентрату з вищим вмістом заліза призводять до того, що обсяг споживання мелючих тіл не знижується.

3. Дослідження показали, що зменшення розміру куль підвищує швидкість подрібнення та знижує зношення футеровки. Використання куль діаметром 30 мм у третій стадії подрібнення дозволило скоротити час процесу з 180 хвилин (при кулях 60 мм) до 56 хвилин. Це також сприяло підвищенню масової частки заліза у концентраті та зниженню витрат електроенергії. Однак виготовлення дрібних куль супроводжується технологічними труднощами, що потребує розробки альтернативних мелючих тіл.

4. Використання ефективніших мелючих тіл, таких як кульки діаметром 20-30 мм або альтернативні форми, дозволяє зменшити енергоспоживання та знос обладнання. Подальші вдосконалення у сфері зносостійкості, контролю якості та оптимізації форми мелючих тіл можуть

суттєво знизити витрати на їх використання. У зв'язку з війною в Україні необхідно знаходити шляхи оптимізації з мінімальними капітальними вкладеннями, що передбачає модернізацію існуючого обладнання без значних витрат на повну заміну млинів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Д. : Східний видавничий дім, 2004-2013.
1. Бугай В.З., Омельченко В.М. Аналіз та оцінка фінансової стійкості підприємства . Держава та регіони : журнал. Запоріжжя, 2008. 34–39 с.
2. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища: навч. посібник. Київ: Знання, 2013. URL: <http://www.info-library.com.ua/books-book-158.html> (дата звернення: 13.11.2020).
3. Дорогунцов С.І., Хвесик М.А., Аблова О.К. Екологія : підручник Київ, 2004. 364 с.
4. Офіційний портал компанії «Метинвест». Структура ПРАТ «ПІВНГЗК». URL: <https://sevgok.metinvestholding.com/ua/about/structure> (дата звернення: 11.10.2020).
5. Офіційний портал компанії «Метинвест». Інформація для акціонерів. URL: <https://sevgok.metinvestholding.com/ua/about/info> (дата звернення: 11.10.2020).
6. Офіційний портал компанії «Метинвест». ПРАТ «ПІВНГЗК» сьогодні. URL: <https://sevgok.metinvestholding.com/ua/about/common> (дата звернення: 12.11.2020).
7. Офіційний портал компанії «Метинвест». Інформація для акціонерів. URL: <https://sevgok.metinvestholding.com/ru/about/info> (дата звернення: 14.11.2020).