

**ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»**

Гірничо-металургійний факультет  
Кафедра гірничої справи

«Допущено до захисту»  
Гарант ОПП

\_\_\_\_\_ Іван ЧЕБЕРЯЧКО

**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 сухої магнітної сепарації в  
умовах ІНГЗК»**

Керівник роботи

Наталія КУШНІРУК

Консультант від  
бази практики

Володимир РАДІОНОВ

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

Здобувач

Олена СТРЕЛЬЦОВА

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

Голова ЕК

Андрій РТИЩЕВ

Запоріжжя 2026

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
Факультет Гірничо-металургійний  
Кафедра Гірничої справи  
Ступінь  
вищої освіти Магістр  
Спеціальність 184 Гірництво  
ОПП Технології збагачення корисних копалин

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Гарант ОПП

\_\_\_\_\_ Іван ЧЕБЕРЯЧКО

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Стрельцова Олена Миколаївна

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Обґрунтування параметрів сухої магнітної сепарації в умовах ІНГЗК  
Керівник роботи Кушнірук Наталія Володимирівна  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
затверджені наказом Університету №239 від 10.09.2025 р.
2. Термін подання роботи 23.01.2026 р.
3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики збагачення корисних копалин, літературні джерела, технологічні інструкції, дані ПрАТ «ІНГЗК» м. Кривий Ріг, результати власних експериментів та досліджень тощо.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Стан питання та аналіз технології магнітного збагачення залістихкварцитів. 2. Дослідження фізико-механічних та магнітних властивостей руди. 3. Обґрунтування та оптимізація параметрів сухої магнітної сепарації. 4. Розрахунок технологічної схеми з впровадженням вузла СМС. 5. Охорона праці. 6. Техніко-економічне обґрунтування проекту. Висновки. Перелік використаних джерел.
5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Графічна частина виконана за допомогою програми PowerPoint, представлена у вигляді слайдів формату А4.

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

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1-6	Кушнірук Н.В., доцента кафедри ГС

7.Дата видачі завдання 08.12.2025 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Збір матеріалу. Написання технологічного розділу	10.12.2025
2	Написання спеціального розділу.	20.01.2026
3	<i>Оформлення роботи</i>	25.01.2026
4		
5		
6		
7		
8		

Здобувач

Олена СТРЕЛЬЦОВА

Керівник роботи

Наталія КУШНІРУК

## ЗМІСТ

	Сторінка
Анотація	6
Вступ	8
Розділ 1. Стан питання та аналіз технології магнітного збагачення залізистих кварцитів	13
1.1. Геолого-технологічна характеристика рудної бази ІнГЗК.	13
1.2. Аналіз існуючих технологій підготовки та збагачення магнетитових кварцитів.	14
1.3. Огляд сучасного обладнання для сухої магнітної сепарації (вітчизняний та світовий досвід).	15
1.4. Постановка задач дослідження.	17
Розділ 2. Дослідження фізико-механічних та магнітних властивостей руди ІнГЗК	19
2.1. Вивчення речовинного складу та магнітної сприйнятливості вихідної сировини.	19
2.2. Аналіз взаємозв'язку між крупністю подрібнення та ступенем розкриття мінералів.	20
2.3. Методика проведення експериментальних досліджень сухої сепарації в лабораторних умовах.	22
Розділ 3. Обґрунтування та оптимізація параметрів сухої магнітної сепарації	25
3.1. Дослідження впливу швидкості обертання барабана на показники розділення.	25
3.2. Вплив напруженості магнітного поля та конфігурації магнітної системи на якість концентрату.	28
3.3. Визначення оптимального діапазону крупності живлення для СМС в умовах ІнГЗК.	30

Розділ 4. Розрахунок технологічної схеми з впровадженням вузла СМС	33
4.1. Вибір та обґрунтування принципової схеми збагачення (включення СМС після крупного або середнього дроблення).	33
4.2. Розрахунок якісно-кількісних показників технологічної схеми (баланс металу, вихід продукції).	36
4.3. Розрахунок та вибір основного технологічного обладнання (сепаратори, конвеєри, грохоти).	52
4.4. Компонувочні рішення щодо розміщення вузла СМС на промисловому майданчику ГЗК.	61
Розділ 5. Охорона праці	64
5.1. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів при роботі з магнітними сепараторами.	64
5.2. Заходи щодо пилоподавлення та аспірації при сухому способі збагачення.	65
Розділ 6. Техніко-економічне обґрунтування проекту	68
6.1. Розрахунок капітальних інвестицій у будівництво вузла СМС	68
6.2. Визначення терміну окупності та чистого дисконтованого доходу.	69
Висновки	71
Список використаних джерел	73

## Анотація

Стрельцова Олена Миколаївна. Дослідження параметрів сухої магнітної сепарації.

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

Для сухої магнітної сепарації об'єктом дослідження є: процес розділення мінеральних сумішей або техногенних відходів на фракції з різною магнітною сприйнятливістю в повітряному або газовому середовищі під дією магнітного поля.

Предметом дослідження являється: фізико - механічні закономірності; кінетика розділення; параметри магнітного поля; вплив характеристик матеріалу; конструктивні параметри обладнання.

У наукових дослідженнях суха магнітна сепарація розглядається не просто як механічний процес, а як система взаємодій. Типова мета дослідження включає: оптимізація показників збагачення; ресурсо- та енергозбереження; екологізація виробництва; розробка нових конструкцій.

Методи дослідження СМС базується на поєднанні теоретичних розрахунків та експериментальних випробувань. До теоретичних методів належать: математичне моделювання; чисельне моделювання. До експериментальних методів відносять: гранулометричний аналіз; магнітний аналіз; лабораторні випробування; спектральний та хімічний аналіз.

Впровадження сухої магнітної сепарації замість традиційної системи з гідротранспортом забезпечує потенційно значне зниження обсягу хвостів, що підлягають складуванню, та критичне зменшення

споживання води. Ця оцінка базується на фундаментальній зміні технологічного процесу: відмову від водного середовища для транспортування та збагачення. Перехід на суху сепарацію дає значні екологічні та економічні переваги:

- зниження споживання води: практично повна ліквідація потреби у технологічній воді для збагачення;

- зниження обсягу хвостів: значне зменшення маси хвостів, що надходять у водний контур, та переведення їх у більш безпечну форму сухого складування.

Робота складається з: 73 с., 1 рис., 15 табл., 7 джерел у переліку посилань.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА** СУХА МАГНІТНА СЕПАРАЦІЯ, МАГНІТНА СПРИЙНЯТЛИВІСТЬ, МАГНІТНЕ ПОЛЕ, ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, ПИЛОПОДАВЛЕННЯ ТА АСПІРАЦІЯ.

## Вступ

Збагачення магнетитових кварцитів має прямий позитивний вплив на економіку регіонів, де розташовані родовища:

- створення високоякісної сировини: процес збагачення дозволяє підвищити вміст заліза в руді з 20-35% до 60-70% і більше (концентрат, агломерат, обкотиші). Ця високоякісна залізорудна сировина є ключовою для металургійної промисловості, яка часто є містоутворюючою та основним експортером в регіоні;

- підвищення конкурентоспроможності: збагачений концентрат має значно вищу товарну вартість, ніж необроблена руда. Це підвищує конкурентоспроможність місцевої гірничо-металургійної галузі на світовому ринку;

- розвиток інфраструктури та робочі місця: робота гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК) забезпечує тисячі робочих місць (від видобутку до переробки та логістики), стимулює розвиток транспортної, енергетичної та соціальної інфраструктури;

- податкові надходження: діяльність ГЗК є потужним джерелом податкових надходжень до місцевих та державних бюджетів.

Проблема утворення значних обсягів відходів сухої магнітної сепарації (СМС) (до 65% вихідної сировини) при складуванні їх у хвостосховищах полягає в тому що: необхідно залучати важку техніку для переміщення матеріалу у хвостосховищі, також складування великої кількості матеріалу та не вчасне відвантаження його негативно впливає на процес збагачення (прижимаються шибера на сухих сепараторах, пуста порода починає надходити у процес збагачення, де потребується додатково додавати воду, можливо навіть запускати додаткове обладнання. Також падає відсоток залізної руди у концентраті.)

Екологічна небезпека традиційних методів складування хвостів СМС заключається в тому, що при вітряній погоді тонкодисперсний матеріал забруднює навколишнє середовище, та може переноситися повітрям до населених пунктів.

Суша магнітна сепарація (СМС) є вкрай перспективним напрямком у збагаченні магнетитових кварцитів, оскільки вона прямо сприяє мінімізації водних відходів та підвищенню сталості виробництва.

Головне обґрунтування полягає у принциповій відмові від використання води як основного середовища розділення, що усуває найбільшу екологічну проблему традиційних ГЗК - утворення великооб'ємних рідких відходів (пульпи) та необхідність будівництва й обслуговування шламосховищ.

Суша сепарація дозволяє видалити 5-15% порожньої породи (немагнітного продукту) на ранніх стадіях збагачення (перед подрібненням), коли руда ще крупнокускова (25-0 мм).

Підвищення сталості та ефективності виробництва СМС є важливим кроком до сталого гірничо-металургійного виробництва за рахунок таких переваг:

1. Енергоефективність (СМС застосовується як процес попереднього збагачення):

- зменшення обсягу подрібнення: видалення інертної (порожньої) породи на крупному класі (наприклад, 10-15% матеріалу) значно знижує навантаження на енергоємні операції подрібнення та доведення (кульові млини). Це економить значну кількість електроенергії (до 5-10% і більше);

- оптимізація наступних процесів: отриманий промпродукт (чорновий концентрат) має вищий вміст заліза, що робить наступні стадії збагачення (часто мокрі) більш ефективними.

2. Раціональне поводження з відходами:

- безпечні хвости: сухий, крупнокусковий немагнітний продукт є стабільнішим і може бути використаний для рекультивації кар'єрів, будівельних матеріалів або дорожнього будівництва;

- зменшення площ під шламосховища: зменшення обсягу тонких відходів, що надходять у шламосховища, продовжує термін їхньої експлуатації або зменшує необхідну площу для складування.

3. Всесезонна робота: оскільки процес не вимагає води, СМС може працювати без обмежень у холодну пору року, що особливо актуально для північних регіонів, де мокрі процеси можуть бути ускладнені замерзанням.

Вплив напруженості магнітного поля на показники сухої магнітної сепарації (якість концентрату та вилучення) є критичним і має чіткі закономірності.

Якість концентрату (вміст цінного компонента) зазвичай погіршується при надмірному збільшенні напруженості поля.

- низька напруженість: сепаратор притягує лише частинки з найвищою магнітною сприйнятливістю (найбільш чисті магнітні мінерали). Це дає високу якість, але низьке вилучення;

- оптимальна напруженість: дозволяє ефективно відділити більшість цінного компонента від пустої породи;

- висока напруженість:

- небажаний ефект: збільшення магнітної сили може притягувати слабомагнітні або навіть немагнітні частинки (включення пустої породи) в магнітний продукт (концентрат);
- результат: це призводить до зниження якості концентрату через його забруднення немагнітними домішками.

Вилучення цінного компонента в концентрат, як правило, збільшується зі зростанням напруженості магнітного поля, але до певної межі:

- збільшення вилучення: зі зростанням напруженості магнітного поля магнітна сила зростає, що дозволяє притягнути:

- менші частинки цінного компонента;
- частинки, які мають меншу магнітну сприйнятливості (наприклад, зростки мінералів, де цінний компонент частково в зростку з породою);
- частинки, що знаходяться далі від магнітної системи.

- насичення: після досягнення певної критичної напруженості, подальше збільшення напруженості магнітного поля дає незначний приріст вилучення, оскільки практично всі магнітні частинки вже були притягнуті.

Вплив крупності живлення (розміру частинок) на ефективність сухої магнітної сепарації є одним із найважливіших факторів, що визначає як якість концентрату, так і вилучення цінного компонента.

Ефективність розділення залежить від співвідношення між магнітною силою та механічними силами (гравітація, сили інерції, аеродинамічний опір та міжчастинкова взаємодія). Крупність впливає на всі ці механічні сили. Занадто велика крупність живлення призводить до низької якості концентрату та низькому вилученню, тому що недостатнє розкриття зростків. Занадто дрібна крупність - середньої якості та низьке вилучення, через злипання частинок, агломерація, пилоутворення, погіршення транспортних властивостей.

Визначення оптимального діапазону параметрів (напруженості магнітного поля та крупності живлення) для забезпечення необхідної якості концентрату зводиться до пошуку технологічного компромісу між селективністю (якістю) та вилученням (кількістю) на основі лабораторних та промислових випробувань.

Оптимальні значення не є сталими і залежать від типу руди (магнетит, гематит, вміст слабomagнітних домішок), її мінералогічного

складу та вимог до кінцевого продукту.

Впровадження сухої магнітної сепарації замість традиційної системи з гідротранспортом забезпечує потенційно значне зниження обсягу хвостів, що підлягають складуванню, та критичне зменшення споживання води. Ця оцінка базується на фундаментальній зміні технологічного процесу: відмову від водного середовища для транспортування та збагачення. Перехід на суху сепарацію дає значні екологічні та економічні переваги:

- зниження споживання води: практично повна ліквідація потреби у технологічній воді для збагачення;

- зниження обсягу хвостів: значне зменшення маси хвостів, що надходять у водний контур, та переведення їх у більш безпечну форму сухого складування.

## **Розділ 1. Стан питання та аналіз технології магнітного збагачення залізистих кварцитів**

### **1.1 Геолого-технологічна характеристика рудної бази ІНГЗК.**

Інгулецьке родовище розташоване в південній частині Криворізького залізорудного басейну і представлено пластовим покладом (потужність від 100 до 1000 м, довжина 2,5 км, ширина 1,2 км). У геологічній будові родовища беруть участь породи криворізької серії (граніти і залізисті кварцити протерозою), перекриті осадовими породами - глинами, піском, вапняками кайнозою. Потужність перекриваючих порід 30-40 м. За мінералогічним складом розрізняють руди силікатно-магнетитові, магнетитові, магнетито-силікатні роговики, магнетитові і гематито-магнетитові джеспіліти. Запаси руди Інгулецького родовища дорівнюють бл. 1,6 млрд т при середньому вмісті Fe 32,4 % [1-3].

Розробка родовища ведеться кар'єрним способом. При відкритих роботах розкриття родовища здійснюють постійними внутрішніми траншеями. Система розробки - транспортна з вивезенням пустих порід у зовнішні відвали. Глибина кар'єру 426 м (станом на 2013 р.). Проектна - 500 м, щоправда іде мова про розробку потужностей до 600 м. Розкриття - вертикальними стовбурами[1-3].

Система розробки поповерхове обвалення з відбійкою руди веєрними свердловинами. Використовується повторна розробка раніше втрачених руд. Гірничотранспортне обладнання - прохідницькі комплекси, бурові каретки, вантажні машини, контактні електровози. Вилучення руди в процесі видобутку - 98 %, розубожування - 2 %. Збагачення багатих руд-сортуванням, бідних (залізисті кварцити) - методом мокрої магнітної сепарації. Вилучення заліза при збагаченні -

88 %. Окиснені залізисті кварцити, що попутно добуваються складуються окремо. Розкривні породи використовуються для будівництва гребель, виробництва щебеню [1-3].

## 1.2 Аналіз існуючих технологій підготовки та збагачення магнетитових кварцитів.

Підготовка та збагачення магнетитових кварцитів - це складний багаторівневий процес, метою якого є отримання високоякісного залізородного концентрату з мінімальним вмістом шкідливих домішок (кремнезему, сірки, фосфору) [1-3].

Детальний аналіз сучасних технологічних підходів, що застосовуються в цій галузі передбачає такі способи:

1. Підготовка руди (подрібнення та класифікація). Це найбільш енергоємний етап. Сучасна тенденція полягає у переході від багатостадійного дроблення до схем із самоподрібненням:

- технологія самоподрібнення (AG) та напівсамоподрібнення (SAG): дозволяє зменшити кількість стадій дроблення та знизити експлуатаційні витрати;
- валкові преси високого тиску (HPGR): використовуються для інтенсифікації процесу дезінтеграції руди. Це створює мікротріщини в зернах мінералів, що полегшує подальше подрібнення та розкриття корисного компонента;
- тонка класифікація: заміна традиційних гідроциклонів на високоефективні грохоти (наприклад, типу Stack Sizer) дозволяє уникнути переподрібнення магнетиту та підвищити ефективність наступних стадій збагачення.

2. Основні методи збагачення. Магнетитові кварцити ідеально підходять для магнітної сепарації завдяки високій магнітній

сприйнятливості головного мінералу - магнетиту.

Магнітна сепарація - слабка магнітна сепарація (LIMS): основний метод, що проводиться в кілька стадій (від грубої сепарації до фінішної очистки). Магнітна дешламація використовується для видалення тонких немагнітних частинок (шламів), що покращує якість концентрату.

3. Новітні технології та дозбагачення (Deer Beneficiation). Оскільки вимоги до якості концентрату (вміст Fe > 68 - 70%) постійно зростають, застосовуються методи глибокого збагачення:

- зворотна катіонна флотація: найбільш ефективний спосіб видалення залишків кремнезему (SiO<sub>2</sub>) з магнетитового концентрату. Флотується не залізо, а порожня порода, що дозволяє отримати надчисті концентрати;
- магнітно-гравітаційна сепарація (MGS): використання спеціальних сепараторів (наприклад, сепаратор Еріз), які поєднують дію магнітного поля та відцентрових сил для відділення мінеральних зростків;
- сепаратори з високим градієнтом магнітного поля (HGMS): ефективні для вилучення дрібнодисперсних частинок слабкомагнітних мінералів (гематиту), які часто супроводжують магнетит.

### 1.3 Огляд сучасного обладнання для сухої магнітної сепарації (вітчизняний та світовий досвід).

Сучасна суха магнітна сепарація (СМС) переживає етап інтенсивного розвитку завдяки дефіциту водних ресурсів, необхідності переробки бідних руд та зростаючим вимогам до екологічності. Станом на 2026 рік основними трендами є використання високоенергетичних постійних магнітів (NdFeB) та інтелектуальних систем керування.

Світові лідери (Metso, Steinert, Eriez, Multotec) роблять ставку на сепаратори з надвисокою напруженістю поля та динамічні системи.

Магнітні ролик-сепаратори (Rare Earth Roll): використання дисків з неодим-залізо-бору дозволяє досягати індукції до 2.4 Тл (24 000 Гс). Це дозволяє ефективно вилучати навіть слабкомагнітні мінерали (наприклад, ільменіт чи окислені залізні руди) у сухому вигляді.

Динамічні магнітні сепаратори: новітня технологія, де магнітна система всередині барабана обертається швидше за сам барабан. Це створює змінне магнітне поле, яке змушує частинки "кувиркатися", руйнуючи магнітні флокули та вивільняючи застрягли немагнітні породи.

Сенсорна сепарація (Sensor-Based Sorting): інтеграція магнітних датчиків з рентгенівськими (XRT) або оптичними сенсорами для попереднього збагачення великих шматків руди (+10-50 мм).

Українські виробники (НВФ «Продекологія», «Українські Магнітні Системи», «Магнітні та Гідравлічні Технології») успішно конкурують на світовому ринку, пропонуючи рішення для гірничої та переробної галузей.

Провідне обладнання українського виробництва представлено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Провідне обладнання українського виробництва.

Тип обладнання	Призначення	Особливості
Барабанні сепаратори (БС)	Сухе збагачення сильномагнітних руд (магнетит)	Діаметр барабана до 1200 мм; автоматичне самоочищення.
Роликові сепаратори (РС-В)	Збагачення слабкомагнітних руд	Висока напруженість поля; використовуються для ільменітових та титано-цирконієвих пісків.
Шківні сепаратори (Ш)	Вилучення металосміття	Встановлюються замість приводного шківа конвеєра для захисту дробарок.
Електромагнітні бар'єрні сепаратори	Глибоке очищення сировини	Використовуються в скляній та керамічній промисловості.

#### 1.4 Постановка задач дослідження.

Дослідження процесу сухої магнітної сепарації (СМС) магнетитових кварцитів є критично важливим для підвищення ефективності попереднього збагачення та зниження витрат на подальше подрібнення. Постановка задач дослідження зазвичай охоплює чотири ключові напрямки: вивчення сировини, оптимізацію режимів, конструктивні параметри обладнання та екологічну стійкість.

Перш ніж приступати до сепарації, необхідно зрозуміти фізико-хімічну природу руди, а саме провести дослідження речовинного складу та властивостей сировини. Сюди входить: аналіз мінерального складу (визначення вмісту магнетиту, гематиту та супутніх мінералів породи (кварц, силікати); ступінь розкриття мінералів (дослідження того, при якій крупності дроблення зерна магнетиту звільняються від зростків з порожньою породою); магнітна сприйнятливність (вимірювання питомої магнітної сприйнятливості різних фракцій руди для прогнозування сили їх вилучення) та вплив вологості (визначення критичного рівня вологи (зазвичай до 1-3%), за якого сили зчеплення (адгезії) починають перешкоджати якісному розділенню частинок).

Оптимізація технологічних параметрів процесу включає блок завдань спрямований на пошук "золотої середини" між вилученням корисного компонента та якістю продукту:

- гранулометричний склад: пошук оптимального діапазону крупності живлення (наприклад, -40+10 мм або -10+0 мм), що забезпечує максимальний вихід відвальних хвостів;
- магнітна індукція: встановлення оптимальної напруженості магнітного поля на поверхні барабана ( $B = 0,1 - 0,3$  Тл для сильномагнітних руд);
- продуктивність (навантаження): дослідження впливу товщини

шару руди на барабані на чистоту сепарації;

- швидкість обертання барабана: визначення балансу між відцентровою силою (яка скидає породу) та магнітною силою (яка утримує магнетит).

Дослідження удосконалення конструкції сепараторів часто фокусуються на зміні "заліза" для досягнення кращих результатів: геометрія магнітної системи (оптимізація розташування полюсів для створення необхідного градієнта магнітного поля); способи подачі живлення (використання віброживильників для формування моношару частинок, що мінімізує механічне заплутування породи в магнітних флокулах); системи видалення пилу (розробка методів пиловловлювання, оскільки суха сепарація тонких класів створює значне пилоутворення).

До оцінки техніко-економічної та екологічної ефективності входить: енергоаудит (розрахунок економії електроенергії на стадії подрібнення за рахунок виведення відвальних хвостів на ранніх етапах); водозбереження (обґрунтування застосування СМС в умовах дефіциту технологічної води або в суворих кліматичних умовах (де мокра сепарація потребує підігріву); екологічний вплив (оцінка зменшення об'ємів хвостосховищ завдяки отриманню сухих відходів, які можна використовувати в будівництві).

## Розділ 2. Дослідження фізико-механічних та магнітних властивостей руди ІНГЗК

2.1. Вивчення речовинного складу та магнітної сприйнятливості вихідної сировини.

Вивчення речовинного складу та магнітних властивостей руди ПрАТ «Інгулецький ГЗК» (ІНГЗК) є базовим етапом для проектування процесів збагачення. Інгулецьке родовище має свої унікальні особливості, пов'язані з розташуванням у південній частині Кривбасу (Лихманівська синкліналь) [1-3].

Аналіз сировини ІНГЗК зазвичай фокусується на наступних параметрах:

а). Речовинний (мінеральний) склад. Руди ІНГЗК представлені переважно залізистими кварцитами різних генетичних типів.

- головні рудні мінерали: основний об'єкт вилучення - магнетит. Також присутні гематит (у верхніх горизонтах та зонах окиснення - мартит) та гідроксиди заліза (гетит);
- мінерали породи: переважно кварц, силікати (амфіболи, піроксени), а також карбонати та невелика кількість апатиту (джерело фосфору);
- типи руд: магнетитові та силікатно-магнетитові кварцити (основний промисловий тип): гематит-магнетитові джеспіліти; окиснені руди (гематитові), які часто складаються окремо через складність збагачення традиційними магнітними методами.

Важливо: Середній вміст загального заліза (Fe) у вихідній руді становить приблизно 32,4%, при цьому частка магнітного заліза (Femagn) варіюється, що критично для сухої магнітної сепарації.

б). Магнітна сприйнятливість - це головний показник, що визначає ефективність розділення. Магнетит є феромагнетиком з дуже високою сприйнятливістю, тоді як кварц - діамагнетик:

- магнетит: питома магнітна сприйнятливість  $\chi = (3000 - 5000) \cdot 10^{-6}$ , м<sup>3</sup>/кг.
- порожня порода (кварц):  $\chi = -0,01 \cdot 10^{-6}$ , м<sup>3</sup>/кг.
- слабкомагнітні мінерали (гематит, гетит):  $\chi = (20 - 100) \cdot 10^{-6}$ , м<sup>3</sup>/кг.

Задачі дослідження сприйнятливості для ІНГЗК:

1. Виявлення "зростків": вивчення того, як змінюється магнітна сприйнятливість частинок залежно від їхньої крупності. У великих класах (-25 мм) частинка може на 50% складатися з кварцу, але мати достатньо магнетиту, щоб притягнутися до сепаратора. Це знижує якість продукту.
2. Гранична сприйнятливість: визначення порогу, за якого частинка вважається "відвальною" (хвостами). Для СМС це дозволяє налаштувати силу поля так, щоб вилучити максимум вільного кварцу.
3. Гранулометричний та хімічний аналіз (за класами крупності). Для сухої сепарації на ІНГЗК важливо дослідити розподіл заліза за класами:
  - крупні класи (+25 мм, -25+10 мм): зазвичай спостерігається найнижчий ступінь розкриття. Дослідження показують, скільки породи можна виділити вже на цьому етапі;
  - дрібні класи (-10+0 мм): характеризуються кращим розкриттям, але вищою схильністю до пилоутворення та налипання (якщо руда волога) [1-3].

2.2. Аналіз взаємозв'язку між крупністю подрібнення та ступенем розкриття мінералів.

Аналіз взаємозв'язку між крупністю подрібнення та ступенем розкриття мінералів є фундаментальним аспектом металургії та збагачення корисних копалин. Від цього показника залежить ефективність подальших процесів (флотації, магнітної сепарації тощо)

та економічна вигідність усього підприємства.

Крупність подрібнення: характеризується розміром частинок руди після механічного руйнування. Зазвичай вимірюється у відсотках класу певного розміру (наприклад, 80% класу -0,074 мм).

Ступінь розкриття мінералу: Це відношення кількості вільних зерен корисного мінералу до його загальної кількості в руді. Вільні зерна це частинки, що складаються повністю з одного мінералу. Зростки - частинки, в яких корисний мінерал залишається фізично зв'язаним з порожньою породою.

Зв'язок між цими параметрами зазвичай має пряму залежність: чим дрібніше подрібнена руда, тим вищий ступінь розкриття мінералів. Однак ця залежність не є лінійною і має свої критичні точки.

Етапи вивільнення мінералів:

- грубе подрібнення: руйнування відбувається переважно по межах спайності, але більшість корисних мінералів залишаються у зростках.
- оптимальне подрібнення: розмір частинок стає сумірним із розміром вкрапленості корисного компонента. Спостерігається різкий стрибок розкриття.
- переподрібнення (шламування): подальше зменшення розміру майже не збільшує розкриття, але створює надто дрібні частки (шлами), які погано вилучаються і потребують величезних енерговитрат.

Фактори, що впливають на розкриття: текстура руди (масивні руди розкриваються легше, ніж руди з екранованою або ерозійною вкрапленістю); розмір вкрапленості (чим дрібніші вкраплення корисного мінералу, тим тоншим має бути подрібнення); механічна міцність (різниця у твердості мінералу та породи сприяє вибіркового руйнуванню по межах розділу фаз).

Пошук балансу між крупністю та розкриттям - це головне завдання технолога:

- недостатнє подрібнення: веде до втрат корисного компонента у відходах через те, що реагенти не мають доступу до поверхні мінералу в "закритих" зростках;
- надмірне подрібнення: експоненціально збільшує витрати електроенергії та знос футеровки млинів, а також знижує селективність флотації.

2.3. Методика проведення експериментальних досліджень сухої сепарації в лабораторних умовах.

Методика лабораторних досліджень сухої магнітної сепарації спрямована на визначення оптимальних параметрів збагачення (магнітна індукція, швидкість подачі, крупність) та прогнозування показників промислового виробництва включає в себе наступні пункти:

1. Підготовка проб (пробопідготовка). Перед початком сепарації матеріал має бути приведений до кондиційного стану:

- дроблення та подрібнення: Матеріал подрібнюється до ступеня розкриття корисного мінералу (наприклад, до класу  $-0,5+0$  мм або  $-2+0$  мм).
- фракційний аналіз: вихідну пробу розділяють на вузькі класи крупності на ситовому аналізаторі. Ефективність сухої сепарації значно вища, якщо кожен клас обробляється окремо.
- сушіння: проба висушується до залишкової вологості  $< 1\%$  (зазвичай при  $105^{\circ}\text{C}$ ), щоб усунути злипання часток.

2. Налаштування лабораторного обладнання. Для досліджень найчастіше використовують роликові (валкові) або барабанні лабораторні сепаратори. Ключові параметри для налаштування:

- магнітна індукція (В): регулюється зміною сили струму (для

електромагнітів) або зміною зазору між магнітом та робочою зоною. Вимірюється тесламетром (мілітесламетром).

- швидкість обертання ( $n$ ): налаштовується частотним перетворювачем. Від неї залежить відцентрова сила, що відриває немагнітні частки.
- положення роздільника (шибера): кут нахилу ножа, який розділяє потоки концентрату, промпродукту та хвостів.

### 3. Експериментальна процедура (Етапи):

Етап А: пошукові дослідження. Проводяться для визначення діапазону значень. Наприклад, серія дослідів при сталій швидкості барабана, але з різною індукцією магнітного поля (0.1, 0.2, 0.4, 0.6 Тл).

Етап Б: основний експеримент. Зазвичай використовується метод математичного планування експерименту (наприклад, повний факторний експеримент  $2^n$  або план Бокса-Бенкена):

- на завантажувальний лоток (віброживильник) подається наважка матеріалу (від 0.5 до 2 кг).
- встановлюється рівномірний шар подачі (моношар для тонких часток).
- продукти сепарації збираються в окремі приймачі.

Етап В: перемісна сепарація. Отриманий чорновий концентрат повторно пропускають через сепаратор при нижчій індукції для підвищення його якості. Хвости можуть перечищатися при вищій індукції для мінімізації втрат корисного компонента.

4. Обробка результатів та аналіз. Після кожного дослідження отримані продукти (концентрат та хвости) зважуються та направляються на хімічний або мінералогічний аналіз. Розраховуються основні показники:

- вихід продукту ( $\gamma$ , %): відношення маси продукту до маси вихідної наважки.
- вміст компонента ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\theta$ , %): дані хімічного аналізу у вихідній руді,

концентраті та хвостах відповідно.

- вилучення ( $\epsilon$ , %).
- ефективність сепарації.

5. Контроль умов експерименту. Для чистоти результатів під час лабораторних робіт необхідно:

- знепилення: використання локальних витяжок над лабораторним сепаратором.
- захист від налипання: очищення барабана антистатичними щітками між дослідями.
- постійність живлення: контроль стабільності напруги, що подається на електромагніти.

### **Розділ 3. Обґрунтування та оптимізація параметрів сухої магнітної сепарації**

3.1. Дослідження впливу швидкості обертання барабана на показники розділення.

Швидкість обертання барабана при сухій магнітній сепарації є одним із ключових параметрів, що визначає баланс між якістю концентрату (вмістом корисного компонента) та вилученням (кількістю видобутого мінералу).

В основі цього процесу лежить протидія двох головних сил: магнітної сили, яка притягує частинки до барабана, та відцентрової сили, яка намагається їх відкинути. При зміні частоти обертання барабана змінюються траєкторії руху частинок: низька швидкість (відцентрова сила мінімальна, до барабана притягуються не лише чисто магнітні зерна, а й зростки, високе вилучення, але низька якість концентрату через засмічення породою); висока швидкість: відцентрова сила різко зростає, слабкомагнітні частинки та зростки відриваються від барабана першими під дією інерції, тільки частинки з високою магнітною сприйнятливістю здатні подолати відцентрову силу і втриматися на поверхні.

Дослідження показують типові закономірності для більшості типів магнітних руд наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Дослідження показують типові закономірності для більшості типів магнітних руд

Показник	При збільшенні швидкості	Причина
Вміст	Зростає	Сепарація стає жорсткішою; видаляються зростки та механічні домішки.
Вилучення	Зменшується	Магнітна сила не встигає компенсувати відцентрову для слабкомагнітних зерен.
Продуктивність	Зростає	Швидше розвантаження дозволяє збільшити обсяг подачі живлення.
Селективність	Покращується (до межі)	Краще розпушення шару матеріалу на поверхні барабана.

#### Критичні фактори та оптимізація

- діаметр барабана: чим більший діаметр, тим меншою має бути частота обертання (об/хв) для досягнення тієї ж лінійної швидкості;
- крупність матеріалу: дрібні частинки мають меншу масу, тому відцентрова сила на них діє слабше, ніж на великі шматки. Для дрібних класів часто використовують вищі швидкості;
- вологість: навіть незначне зволоження (понад 1-2%) при сухій сепарації призводить до злипання частинок, що нівелює ефект від регулювання швидкості.

Для того щоб вибір технологічного режиму був науково обґрунтованим, необхідно встановити кількісний зв'язок між динамічними параметрами роботи сепаратора та результатами розділення мінеральної маси. На підприємствах Кривбасу, зокрема на ІНГЗК, одним із найбільш дієвих важелів керування процесом сухої

магнітної сепарації є регулювання швидкості обертання барабана, оскільки це безпосередньо змінює співвідношення сил, що діють на рудне зерно.

Нижче наведено результати експериментальних досліджень (або промислових випробувань), які демонструють динаміку виходу немагнітного продукту та зміну масової частки заліза в ньому залежно від швидкості руху робочої поверхні сепаратора. Ці дані дозволяють визначити «точку перегину», за якою подальше інтенсифікування процесу призводить до недоцільних втрат корисного компонента табл.3.2.

Таблиця 3.2 Залежність показників сухої магнітної сепарації від швидкості барабана

Частота обертання барабана, об/хв	Лінійна швидкість $v$ , м/с	Вихід немагнітного продукту (хвостів), %	Масова частка заліза загального (Fезаг) у хвостах, %
25	1.2	8.4	10.2
35	1.7	11.2	11.5
45	2.2	14.5	12.8
55	2.7	18.1	16.4
65	3.2	22.3	21.0

Аналіз отриманих даних свідчить про наявність чітко вираженої залежності між швидкісним режимом сепаратора та якісно-кількісними показниками збагачення. У діапазоні низьких швидкостей (до 1,5 м/с) спостерігається мінімальний вихід немагнітного продукту, що пояснюється недостатньою величиною відцентрової сили для подолання сил тертя та магнітного утримання в щільному шарі матеріалу. Це призводить до механічного заплутування часток породи серед магнітних зерен, через що в подальшу переробку (на млини) потрапляє значний обсяг баластної породи, знижуючи загальну ефективність роботи збагачувальної фабрики.

При збільшенні лінійної швидкості барабана до 2,2 м/с відбувається інтенсифікація процесу розділення. У цьому режимі шар руди набуває необхідної динамічності, що сприяє ефективному розкриттю «магнітних пакунків» та вивільненню нерудних часток. Вихід хвостів зростає до 14,5% при відносно низькому вмісті заліза в них (12,8%), що є прийнятним показником для умов ІнгЗК. Таке значення швидкості можна вважати критичною точкою, де забезпечується максимальна селективність процесу: відцентрова сила вже достатня для скидання породи, але ще не перевищує магнітну силу, що утримує рудні зерна на поверхні барабана.

Подальше нарощування швидкості понад 2,5 м/с призводить до різкого погіршення технологічних показників. Вміст заліза в немагнітному продукті стрімко зростає до 16,4-21,0%, що свідчить про початок винесення промислових сортів руди та зростків у хвості. Це обумовлено тим, що для важких рудних часток відцентрова сила зростає пропорційно квадрату швидкості, швидко перевищуючи магнітну силу притягання. Отже, робота на високих швидкостях є економічно недоцільною через безповоротні втрати металу з відходами СМС.

3.2. Вплив напруженості магнітного поля та конфігурації магнітної системи на якість концентрату.

Якість концентрату при магнітній сепарації залежить не лише від сили магніту, а й від того, як саме це поле розподілене в просторі. Напруженість визначає «силу захвату», а конфігурація системи - «селективність» (здатність відділяти чистий мінерал від зростків).

Вплив напруженості магнітного поля ( $H$ ). Напруженість поля безпосередньо впливає на магнітну силу  $F_m$ , яка діє на частинку:

- низька напруженість дозволяє вилучати лише найбільш магнітні

частинки (чистий магнетит). Це забезпечує найвищу якість концентрату, але супроводжується великими втратами корисного компонента у хвостах (низьке вилучення);

- висока напруженість. Сила поля стає достатньою, щоб притягувати зростки та навіть слабкомагнітні мінерали породи. Вилучення зростає, проте якість концентрату стрімко падає через механічне засмічення породою та бідними зростками;
- оптимальний режим такий щоб напруженість була лише на 10-15% вищою за ту, що необхідна для утримання зерна корисного мінералу заданої крупності.

Конфігурація магнітної системи. Конфігурація (розташування полюсів, їх форма та крок) визначає градієнт напруженості ( $\text{grad } H$ ) - швидкість зміни сили поля при віддаленні від поверхні. Високий градієнт: створюється гострими або вузькими полюсами. Це дозволяє створювати величезні сили в тонкому шарі біля поверхні барабана. Це ідеально для тонкоподрібнених руд, де потрібно «вихопити» дрібні частинки. Низький градієнт: Поле «проникає» глибше в шар матеріалу. Це важливо при сепарації крупнозернистого матеріалу, щоб магнітна сила діяла на весь об'єм частинки. Чергування полюсів (магнітна флокуляція). Сучасні системи мають чергування полюсів (N-S-N-S):

- під час руху вздовж такої системи магнітні частинки постійно перевертаються (магнітне перемішування);
- це «струшування» дозволяє механічно заплутаним частинкам породи випасти із флокул (агрегатів магнітних зерен).

Порівняльний аналіз систем надано у таблиці 3.3

Таблиця 3.3 Порівняльний аналіз систем.

Тип системи	Характеристика	Вплив на якість
Відкрита (блочна)	Глибоке поле, низький градієнт.	Добре для вилучення, погано для очищення від породи.
Багатополюсна	Часте чергування полюсів.	Ефективне очищення концентрату від механічних домішок.
З високим градієнтом (HGMS)	Використання матриць (сіток, кульок).	Дозволяє отримувати концентрат із дуже дрібних шламів.

### 3.3. Визначення оптимального діапазону крупності живлення для СМС в умовах ІНГЗК.

Ефективність сухого магнітного збагачення значною мірою залежить від ступеня агрегації мінералів у вихідній сировині. Оскільки залісті кварцити мають різний характер вкрапленості, зміна верхньої межі крупності безпосередньо впливає на вихід хвостів та їх якість. Зменшення крупності сприяє розкриттю зростків, що полегшує відділення нерудних часток, проте надмірне подрібнення може призвести до підвищеного пилоутворення та зниження селективності через налипання дрібних часток на барабан.

Операцію попереднього збагачення мілкодробленої руди здійснюють методом сухої магнітної сепарації на сепараторах типу ПБКС-90/120 (два на секцію). На сепаратори подається руда, що пройшла чотири стадії дроблення у відкритому циклі. Вміст класу плюс 20мм - до 12%, масова частка заліза магнетитового у вихідній руді від 20% до 23,5%. Враховуючи те, що на збагачувальну фабрику може подаватися руда з різним вмістом заліза зв'язаного з магнетитом (від 20% до 23,5%), умовно виділено три режими сухої магнітної сепарації за вмістом магнетитового заліза: до 21,5%, від 21,5% до 23,5%,

понад 23,5%.

Для кожного режиму умовно визначено положення дільника хвостів при постійних обертах барабану та положенні магнітної системи.

Режим роботи сепараторів ПБКС-90/120 наведено у таблиці 3.4 .

Таблиця 3.4 Режим роботи сепараторів ПБКС-90/120

Найменування технологічних показників та технічних параметрів	Режими вмісту заліза магнітного		
	до 21,5%	від 21,5% до 23,5%	понад 23,5%
Положення дільника продуктів сухої магнітної сепарації	1-3	4-6	7-9
Частота обертання барабану, об/хв	45,0	45,0	45,0
Положення магнітної системи, градус	10-15	10-15	10-15
Продуктивність секції по вихідній руді, т/год	225-235	215-225	205-215
Густина зливу класификатора, г/л	1900-2000	1800-1900	1600-1700
Хвости СМС:			
-вихід, %	Понад 10	7-10	5-7
-вміст Fe <sub>заг</sub> , %	15,95-18,55	15,0-17,5	16,00-20,65
-вміст Fe <sub>магн</sub> , %	3,4-5,0	5,0-7,0	7,0-9,0
Приріст по залізу магнетитовому в зливні класификатора, %	1,5-1,55	1,0-1,05	0,8-0,75

Таблиця 3.5 Залежність показників розділення від класу крупності живлення (У таблиці наведено усереднені технологічні показники СМС для руд ІНГЗК при фіксованій оптимальній швидкості барабана (2,2 м/с)

Клас крупності живлення, мм	Вихід немагнітного продукту (хвостів), %	Масова частка заліза (Fetot) у хвостах, %	Вміст заліза в магнітному продукті, %
-50 + 0	6.2	16.5	34.2
-35 + 0	10.8	13.4	36.5
-25 + 0	14.7	12.1	38.8
-15 + 0	17.5	14.8	39.5
-10 + 0	19.2	18.3	40.2

Аналіз даних показує, що при крупності  $-50 + 0$  мм спостерігається найнижчий вихід хвостів (6,2%) при високих втратах заліза в них (16,5%). Це пояснюється наявністю великої кількості зростків, де навіть незначний вміст магнетиту змушує великий шматок породи притягуватися до барабана. В такому режимі сепарація практично не виконує свою функцію передзбагачення, залишаючи баласт у технологічному циклі.

Перехід до класу  $-25 + 0$  мм є найбільш технологічно виправданим для умов ІНГЗК. При такій крупності досягається оптимальний ступінь розкриття мінеральних агрегатів, що дозволяє збільшити вихід відвальних хвостів до 14,7%. При цьому вміст заліза в хвостах знижується до мінімального значення 12,1%, що свідчить про високу селективність процесу та мінімальні втрати корисного компонента.

Подальше зниження крупності до  $-10 + 0$  мм хоч і дозволяє вивести більше немагнітного продукту (19,2%), проте різко погіршує його якість. Вміст заліза в хвостах зростає до 18,3%, що свідчить про винесення в хвости дрібних рудних часток, які не встигають зафіксуватися магнітним полем через високу швидкість потоку та аеродинамічні сили. Крім того, підготовка руди до такої крупності вимагає додаткових витрат на дроблення.

## Розділ 4. Розрахунок технологічної схеми з впровадженням вузла СМС

4.1. Вибір та обґрунтування принципової схеми збагачення (включення СМС після крупного або середнього дроблення).

Вибір місця включення сухої магнітної сепарації (СМС) у схему збагачення - це стратегічне рішення, яке безпосередньо впливає на капітальні витрати та експлуатаційні витрати всього ГЗК.

Нижче наведено порівняльний аналіз та обґрунтування двох основних підходів.

1. СМС після крупного дроблення (клас -300+0 мм або -200+0 мм). Цей варіант передбачає вилучення пустої породи на самому початку технологічного ланцюга. Розглянемо переваги та недоліки цього варіанту.

Обґрунтування та переваги:

- розвантаження транспорту: значна частина породи (до 10-15%) відсівається відразу, що зменшує навантаження на конвеєрний транспорт та проміжні склади;
- економія на подальшому дробленні: зменшується кількість матеріалу, що надходить на стадії середнього та дрібного дроблення, що дозволяє встановити менш потужне обладнання;
- зниження зносу: пуста порода часто є більш абразивною, ніж рудне тіло; її раннє видалення подовжує термін служби футеровок.

Недоліки:

- низька селективність: через великий розмір шматків (крупне зростання) високі втрати корисного компонента з хвостами або низький вихід породи;

- складність обладнання: потрібні спеціальні сепаратори для крупнокускової руди з дуже потужними магнітними системами.

2.СМС після середнього дроблення (клас -100+0 мм або -50+0 мм).

Це найбільш розповсюджене рішення для залізистих кварцитів та титаномагнетитових руд. Розглянемо переваги та недоліки цього варіанту.

Обґрунтування та переваги:

- краще розкриття мінералів: при подрібненні до -50 мм частка розкритих зерен корисного мінералу та пустої породи значно вища, ніж при -200 мм. Це дозволяє вилучити 20-30% відходів без суттєвих втрат заліза;
- стабілізація якості: СМС після середнього дроблення працює як «буфер», вирівнюючи вміст заліза в руді, що йде на подрібнення в млини;
- економія електроенергії: найбільш енергоємний процес - це мокре помелювання. Видалення 25% породи на стадії СМС дозволяє пропорційно знизити витрати енергії, води та мелючих тіл у головному корпусі.

Недоліки:

- потребує розгалуженої мережі конвеєрів та аспіраційних систем у корпусі середнього дроблення.

Для більшості сучасних ГЗК найбільш економічно доцільною є схема з СМС після середнього дроблення. Головний аргумент: основна вартість збагачення зосереджена в циклах помелу (млини МСЦ/МШЦ). Включення СМС на класі мінус 50 (40) мм дозволяє максимально вивести «баласт» перед млинами, що підвищує продуктивність всієї фабрики за концентратом на 15-20% без будівництва нових секцій подрібнення. СМС після крупного дроблення рекомендується лише у випадках, коли родовище має дуже чітке візуальне та фізичне розділення рудних тіл та вміщуючих порід.

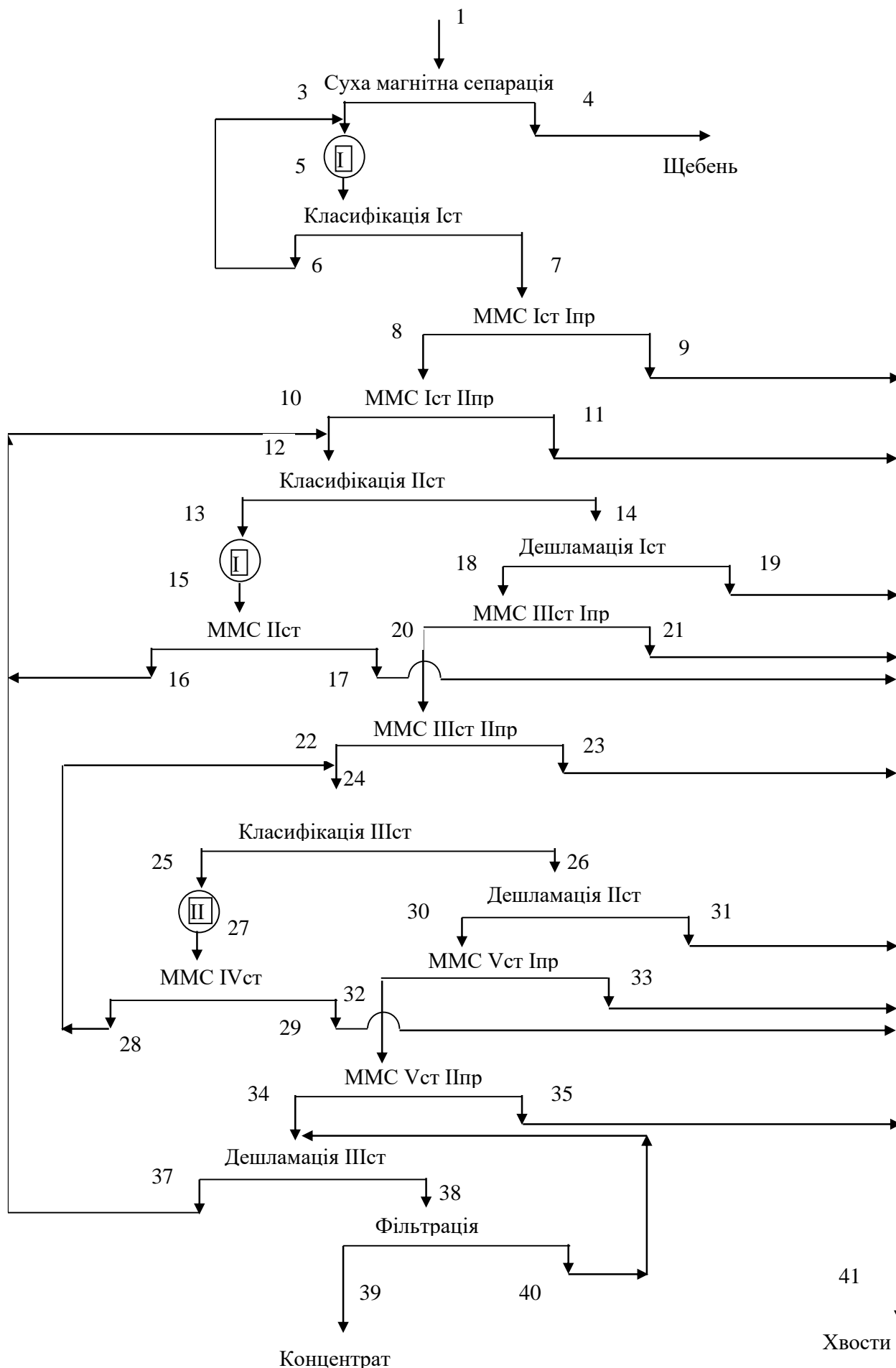


Рисунок 1 - Технологічна схема збагачувальної фабрики

#### 4.2. Розрахунок якісно-кількісних показників технологічної схеми (баланс металу, вихід продукції).

##### Розрахунок якісно-кількісної схеми переробки магнетитових кварцитів

Розрахунок якісно-кількісної схеми починаємо з визначення необхідної кількості вихідних показників.

$$N=c(n_p-a_p+1)-1 = 2(28-14+1)-1= 29$$

де,  $c$  - кількість розрахункових компонентів (для монометалевих руд  $c = 2$ ),

$n_p$  - число продуктів розділення,

$a_p$  - число операцій розділення.

В якості вихідних показників приймаємо масові частки корисного компонента в усіх продуктах розділення.

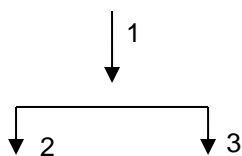
$$\begin{aligned} \beta_1 &= 33,13 \% ; \beta_2 = 35,31 \% ; \beta_3 = 15,7 \% ; \beta_8 = 42,94 \% ; \beta_{10} = 46,05 \% ; \\ \beta_{11} &= 15,33 \% ; \beta_{13} = 49,9 \% ; \beta_{14} = 50,4 \% ; \beta_{16} = 52 \% ; \beta_{17} = 13,69 \% ; \\ \beta_{18} &= 56,5 \% ; \beta_{19} = 14,5 \% ; \beta_{21} = 16,5 \% ; \beta_{20} = 58,65 \% ; \beta_{22} = 59,96 \% ; \\ \beta_{23} &= 16,9 \% ; \beta_{25} = 61,5 \% ; \beta_{26} = 62,6 \% ; \beta_{28} = 63,99 \% \beta_{29} = 14,35 \% ; \\ \beta_{30} &= 63,39 \% ; \beta_{31} = 16,0 \% ; \beta_{32} = 64,0 \% ; \beta_{33} = 19,85 \% ; \beta_{34} = 64,4 \% ; \\ \beta_{35} &= 19,07 \% ; \beta_{37} = 24,5 \% ; \beta_{38} = 64,75 \% ; \beta_{41} = 14,75 \% ; \end{aligned}$$

Для розрахунку вузла подрібнення I стадії приймаємо за вихідні показники масові частки класу  $-0,074$  мм:  $\beta_5^{-74} = 28,5 \%$ ,  $\beta_6^{-74} = 8 \%$ ,  $\beta_7^{-74} = 56,8 \%$ .

Визначаємо годинну продуктивність збагачувальної фабрики:

$$Q_{\text{год}} = Q_{\text{річ}} / (340 \cdot 3 \cdot 8) = 15,4 \cdot 10^6 / (340 \cdot 3 \cdot 8) = 1887,25 \text{ т/год.}$$

Розглянемо вузол сухої магнітної сепарації



$$Y_1 = Y_2 + Y_3$$

$$Y_1 \beta_1 = Y_2 \beta_2 + Y_3 \beta_3$$

$$Y_2 = Y_1 - Y_3$$

$$Y_1 \beta_1 = (Y_1 - Y_3) \beta_2 + Y_3 \beta_3$$

$$Y_1 \beta_1 = Y_1 \beta_2 - Y_3 \beta_2 + Y_3 \beta_3$$

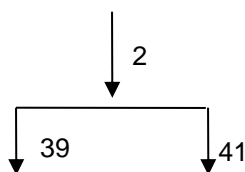
$$Y_1 \beta_1 - Y_1 \beta_2 = Y_3 \beta_3 - Y_3 \beta_2$$

$$Y_3 = Y_1 * (\beta_1 - \beta_2) / (\beta_3 - \beta_2)$$

$$Y_3 = 100 * (33,13 - 35,31) / (15,7 - 35,31) = 11,12 \%$$

$$Y_2 = 100 - 11,12 = 88,88 \%$$

Розглянемо всю схему загалом



$$Y_2 = Y_{41} + Y_{39}$$

$$Y_2 \beta_2 = Y_{41} \beta_{41} + Y_{39} \beta_{39}$$

$$Y_{41} = Y_2 - Y_{39}$$

$$Y_2 \beta_2 = (Y_2 - Y_{39}) \beta_{41} + Y_{39} \beta_{39}$$

$$Y_2 \beta_2 = Y_2 \beta_{41} - Y_{39} \beta_{41} + Y_{39} \beta_{39}$$

$$Y_2 \beta_2 - Y_2 \beta_{41} = Y_{39} \beta_{39} - Y_{39} \beta_{41}$$

$$Y_{39} = Y_2 * (\beta_2 - \beta_{41}) / (\beta_{39} - \beta_{41})$$

$$Y_{39} = 88,88 * (35,31 - 14,75) / (64,75 - 14,75) = 36,55 \%$$

Далі схема розраховується аналогічно з низу в гору.

Результати розрахунків заносимо до таблиці 5.

Продуктивність визначаємо за формулою

$$Q_n = Q_1 \cdot \gamma_n$$

Вилучення цінного компоненту до продукту визначаємо за формулою:

$$\varepsilon_n = \gamma_n \beta_n / \alpha$$

Вилучення металу розраховуємо за формулою

$$P_1 = Q_1 \cdot \beta_1$$

$$P_n = \varepsilon_n \cdot P_1$$

Результати розрахунки заносимо до таблиці 4.1.

#### Розрахунок водно-шламової схеми

Для розрахунку водно-шламової схеми необхідно забезпечити оптимальне відношення Р:Т в операціях і продуктах схеми, визначити кількість води що додається у операції.

Вихідними показниками розрахунку задаємося вмістом твердої фази у продуктах та операціях таблиці 4.1.

Складаємо допоміжну таблицю 4.3. Визначаємо вологу у продуктах і операціях з відомими R за формулою:

$$W_n = R_n \cdot Q_n, \text{ м}^3/\text{год}$$

де,  $Q_n$  - продуктивність n-ої операції чи продукту, т/год;

$R_n$  - розрідження n-ої операції чи продукту.

Таблиця 4.1 - Технологічні показники збагачення магнетитових кварцитів фабрики

№ Продукт, операція	Найменування операцій та продуктів	Продуктивність, т/год	Вихід, %	Масова частка корисного компонента	Вилучення, %	Розрідження	Продуктивність за водою, м куб/год	Продуктивність за пульпою, м куб/год
I	Суша магнітна сепарація							
	Входить							
1	Вихідна руда	1887,25	100,00	33,13	100,00			
	Всього	1887,25	100,00	33,13	100,00			
	Виходить							
2	Магнітний продукт	1677,39	88,88	35,31	94,73			
3	Немагнітний продукт	209,86	11,12	15,70	5,27			
	Всього	1887,25	100,00	33,13	100,00			
II	Подрібнення Іст							
	Входить							
2	Магнітний продукт	1677,39	88,88	35,31	94,73	0,01	23,48	489,42
6	Піски класифікації	1180,47	62,55	35,31	66,67	0,16	188,88	516,79
	Свіжа вода						302,06	302,06
	Всього	2857,86	151,43	35,31	161,39	0,18	514,42	1308,27
	Виходить							
5	Розвантаження млина	2857,86	151,43	35,31	161,39	0,18	514,42	1308,27

	Всього	2857,86	151,43	35,31	161,39	0,18	514,42	1308,27
II	Класифікація Іст							
	Входить							
5	Розвантаження млина	2857,86	151,43	35,31	161,39	0,18	514,42	1308,27
	Свіжа вода						714,47	714,47
	Всього	2857,86	151,43	35,31	161,39	0,43	1228,88	2022,73
	Виходить							
7	Злив класифікатора	1677,39	88,88	35,31	94,73		1040,00	1505,95
6	Піски класифікації	1180,47	62,55	35,31	66,67	0,16	188,88	516,79
	Всього	2857,86	151,43	35,31	161,39	0,43	1228,88	2022,73
IV	Магнітна сепарація Іст1пр							
	Входить							
7	Злив класифікатора	1677,39	88,88	35,31	94,73	0,00	1040,00	1505,95
	Свіжа вода						1744,46	1744,46
	Всього	1677,39	88,88	35,31	94,73	1,66	2784,46	3250,40
	Виходить							
8	Магнітний продукт	1225,20	64,92	42,94	84,14	0,92	1127,19	1467,52
9	Немагнітний продукт	452,19	23,96	14,64	10,59		1657,28	1782,88
	Всього	1677,39	88,88	35,31	94,73	1,66	2784,46	3250,40
V	Магнітна сепарація Іст2пр							
	Входить							

8	Магнітний продукт Іст1пр	1225,20	64,92	42,94	84,14	0,92	1127,19	1467,52
	Свіжа вода						2180,88	2180,88
	Всього	1225,20	64,92	42,94	84,14	2,70	3308,07	3648,40
	Виходить							
10	Магнітний продукт	1101,22	58,35	46,05	81,10	0,67	737,82	1043,71
11	Немагнітний продукт	123,99	6,57	15,33	3,04		2570,25	2604,69
	Всього	1225,21	64,92	42,94	84,14	2,70	3308,07	3648,40
VI	Класифікаціяг/ц ІІст							
	Входить							
10	Магнітний продукт Іст2пр	1101,22	58,35	46,05	81,10	0,67	737,82	1043,71
16	Магнітний продукт ІІст	2323,39	123,11	52,00	193,23	0,57	1324,33	1969,72
37	злив дешламатора 3ст	6,04	0,32	24,50	0,24		599,14	600,82
	Свіжа вода						2553,29	2553,29
	Всього	3430,65	181,78	50,04	274,57	1,52	5214,58	6167,53
	Виходить							
13	Піски класифікації	2458,14	130,25	49,90	196,18	0,32	786,61	1469,42
14	Злив класифікації	972,50	51,53	50,40	78,39	4,55	4427,97	4698,11
	Всього	3430,64	181,78	50,04	274,57	1,52	5214,58	6167,53
VII	Здрібнення ІІст							
	Входить							
13	Піски класифікації	2458,14	130,25	49,90	196,18	0,32	786,61	1469,42

	Свіжа вода						270,40	270,40
	Всього	2458,14	130,25	49,90	196,18	0,43	1057,00	1739,82
	Виходить							
15	Розвантаження млина	2458,14	130,25	49,90	196,18	0,43	1057,00	1739,82
	Всього	2458,14	130,25	49,90	196,18	0,43	1057,00	1739,82
VIII	Магнітна сепарація ІІст							
	Входить							
15	Розвантаження млина ІІст	2458,14	130,25	49,90	196,18	0,43	1057,00	1739,82
	Свіжа вода						1376,56	1376,56
	Всього	2458,14	130,25	49,90	196,18	0,99	2433,56	3116,38
	Виходить							
16	Магнітний продукт	2323,39	123,11	52,00	193,23	0,57	1324,33	1969,72
17	Немагнітний продукт	134,75	7,14	13,69	2,95		1109,23	1146,66
	Всього	2458,14	130,25	49,90	196,18	0,99	2433,56	3116,38
IX	Дешламація Іст							
	Входить							
14	Злив класифікації	972,50	51,53	50,40	78,39	4,55	4427,97	4698,11
	Свіжа вода						0,00	0,00
	Всього	972,50	51,53	50,40	78,39	5,00	4427,97	4698,11
	Виходить							
18	Піски дешламації	831,33	44,05	56,50	75,12	0,62	515,43	746,35

19	Злив дешламації	141,17	7,48	14,50	3,27		3912,54	3951,75
	Всього	972,50	51,53	50,40	78,39	4,55	4427,97	4698,11
X	Магнітна сепарація IIIстIпр							
	Входить							
18	Піски дешламації	831,33	44,05	56,50	75,12	0,62	515,43	746,35
	Свіжа вода						1646,04	1646,04
	Всього	831,33	44,05	56,50	75,12	2,60	2161,47	2392,39
	Виходить							
20	Магнітний продукт	789,81	41,85	58,65	74,09	0,68	537,07	756,47
21	Немагнітний продукт	41,52	2,20	15,60	1,03		1624,39	1635,93
	Всього	831,33	44,05	56,50	75,12	2,60	2161,47	2392,39
XI	Магнітна сепарація IIIст IIпр							
	Входить							
20	магнітний продукт MC IIIст.Iпр	789,81	41,85	58,65	74,09	0,68	537,07	756,47
	Свіжа вода						1516,44	1516,44
	Всього	789,81	41,85	58,65	74,09	2,60	2053,51	2272,90
	Виходить							
23	немагнітний продукт	23,97	1,27	16,90	0,65		1425,52	1432,18
22	магнітний продукт	765,85	40,58	59,96	73,44	0,82	627,99	840,73

	Всього	789,81	41,85	58,65	74,09	2,60	2053,51	2272,90
XII	Класифікація IIIст							
	Входить							
22	Магнітний продукт IIIст ліпр.	765,85	40,58	59,96	73,44	0,82	627,99	840,73
28	магнітний продукт IVст	791,70	41,95	63,99	81,03	0,79	625,44	845,36
		0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
	Свіжа вода						3201,15	3201,15
	Всього	1557,55	82,53	62,01	154,47	2,86	4454,59	4887,24
	Виходить							
25	Піски класифікації	833,60	44,17	61,50	81,99	0,47	391,79	623,35
26	Злив класифікації	723,95	38,36	62,60	72,48		4062,79	4263,89
XIII	Всього	1557,55	82,53	62,01	154,47	2,86	4454,59	4887,24
	Подрібнення IIIст							
	Входить							
25	Піски класифікації	833,60	44,17	61,50	81,99	0,47	391,79	623,35
	Свіжа вода						58,35	58,35
	Всього	833,60	44,17	61,50	81,99	0,54	450,14	681,70
	Виходить							
27	Розвантаження млина	833,60	44,17	61,50	81,99	0,54	450,14	681,70
XIV	Всього	833,60	44,17	61,50	81,99	0,54	450,14	681,70

	магнітна сепарація IV ст							
	Входить							
27	Розвантаження млина	833,60	44,17	61,50	81,99	0,54	450,14	681,70
	Свіжа вода						1467,13	1467,13
	Всього	833,60	44,17	61,50	81,99	2,30	1917,28	2148,83
	Виходить							
28	магнітний продукт	791,70	41,95	63,99	81,03	0,79	625,44	845,36
29	немагнітний продукт	41,90	2,22	14,35	0,96		1291,83	1303,47
	Всього	833,60	44,17	61,50	81,99	2,30	1917,28	2148,83
XV	Дешламація II ст							
	Входить							
26	Злив класифікації	723,95	38,36	62,60	72,48		4062,79	4263,89
	Свіжа вода						63,75	63,75
	Всього	723,95	38,36	62,60	72,48	5,70	4126,54	4327,64
	Виходить							
30	Піски дешламації	711,87	37,72	63,39	72,17	0,70	498,31	696,05
31	Злив дешламації	12,08	0,64	16,00	0,31		3628,23	3631,59
	Всього	723,95	38,36	62,60	72,48	5,70	4126,54	4327,64
XVI	Магнітна сепарація V ст I пр							
	Входить							
30	Піски дешламації I ст	711,87	37,72	63,39	72,17	0,70	498,31	696,05

	Свіжа вода						1608,81	1608,81
	Всього	711,87	37,72	63,39	72,17	2,96	2107,12	2304,86
	Виходить							
32	Магнітний продукт	702,06	37,20	64,00	71,86	1,10	772,26	967,28
33	Немагнітний продукт	9,81	0,52	19,85	0,31		1334,86	1337,58
	Всього	711,87	37,72	63,39	72,17	2,96	2107,12	2304,86
XVII	Магнітна сепарація VcIIпр							
	Входить							
32	магнітний продукт	702,06	37,20	64,00	71,86	1,10	772,26	967,28
	Свіжа вода						1825,35	1825,35
	Всього	702,06	37,20	64,00	71,86	3,70	2597,61	2792,63
	Виходить							
34	магнітний продукт	695,83	36,87	64,40	71,67	0,98	681,91	875,20
35	немагнітний продукт	6,23	0,33	19,07	0,19		1915,70	1917,43
	Всього	702,06	37,20	64,00	71,86	3,70	2597,61	2792,63
XVIII	Дешламація IIIст							
	Входить							
34	Магнітний продукт	695,83	36,87	64,40	71,67	0,98	681,91	875,20
40	фільтрат	0,00	0,00	0,00	0,00		538,04	538,04
	Свіжа вода						0,00	0,00
	Всього	695,83	36,87	64,40	71,67		1219,95	1413,23

	Виходить							
38	Піски дешламації	689,79	36,55	64,75	71,43	0,90	620,81	812,42
37	Злив дешламації	6,04	0,32	24,50	0,24		599,14	600,82
	Всього	695,83	36,87	64,40	71,67	1,75	1219,95	1413,23
XIX	Фільтрація							
	Входить							
38	Піски дешламації	689,79	36,55	64,75	71,43	0,90	620,81	812,42
	Свіжа вода						0,00	0,00
	Всього	689,79	36,55	64,75	71,43		620,81	812,42
	Виходить							
40	Фільтрат	0,00	0,00	0,00	0,00		538,04	538,04
39	Концентрат	689,79	36,55	64,75	71,43	0,12	82,77	274,38
	Всього	689,79	36,55	64,75	71,43		620,81	812,42

Таблиця 4.2 - Вихідні показники для розрахунку водно-шламової схеми

Регульовані значення T, %	Не регульовані значення T, %
T <sub>II</sub> = 84,75	T <sub>2</sub> = 98,62
T <sub>III</sub> = 69,93	T <sub>5</sub> = 84,75
T <sub>IV</sub> = 37,59	T <sub>6</sub> = 86,21
T <sub>V</sub> = 27,03	T <sub>8</sub> = 52,08
T <sub>VI</sub> = 39,68	T <sub>10</sub> = 59,88
T <sub>VII</sub> = 69,93	T <sub>13</sub> = 75,76
T <sub>VIII</sub> = 50,25	T <sub>15</sub> = 69,93
T <sub>IX</sub> = 16,67	T <sub>16</sub> = 63,69
T <sub>X</sub> = 27,78	T <sub>18</sub> = 61,73
T <sub>XI</sub> = 26,18	T <sub>20</sub> = 59,52
T <sub>XII</sub> = 25,19	T <sub>22</sub> = 54,95
T <sub>XIII</sub> = 64,94	T <sub>25</sub> = 68,03
T <sub>XIV</sub> = 30,30	T <sub>27</sub> = 64,94
T <sub>XV</sub> = 14,93	T <sub>28</sub> = 55,87
T <sub>XVI</sub> = 25,19	T <sub>30</sub> = 58,82
T <sub>XVII</sub> = 21,28	T <sub>32</sub> = 47,62
T <sub>XVIII</sub> = 26,46	T <sub>34</sub> = 50,51
	T <sub>38</sub> = 52,63
	T <sub>39</sub> = 89,29

Таблиця 4.3. - Допоміжна таблиця

Номер операції і продукту	Продуктивність Q, т/год	Розжиження R	Волога W м <sup>3</sup> /год
2	1677,39	0,014	23,48
II	2857,86	0,18	514,42
5	2857,86	0,18	514,42
III	2857,86	0,43	1228,88
6	1180,47	0,16	188,88

IV	1677,39	1,66	2784,46
8	1225,20	0,92	1127,19
V	1225,20	2,7	3308,07
10	1101,22	0,67	737,82
VI	3430,65	1,52	5214,58
13	2458,14	0,32	786,61
VII	2458,14	0,43	1057,00
15	2458,14	0,43	1057,00
VIII	2458,14	0,99	2433,56
16	2323,39	0,57	1324,33
IX	972,5	4,55	4427,97
18	831,33	0,62	515,43
X	831,33	2,6	2161,47
20	789,81	0,68	537,07
XI	789,81	2,6	2053,51
22	765,85	0,82	627,99
XII	1557,55	2,86	4454,59
25	833,6	0,47	391,79
XIII	833,6	0,54	450,14
27	833,6	0,54	450,14
XIV	833,6	2,3	1917,28
28	791,7	0,79	625,44
XV	723,95	5,7	4126,54
30	711,87	0,7	498,31
XVI	711,87	2,96	2107,12
32	702,06	1,1	772,26
XVII	702,06	3,7	2597,61
34	695,83	0,98	681,91
XVIII	695,83	1,75	1219,95
38	689,79	0,9	620,81
39	689,79	0,12	82,77

Необхідну кількість додаткової води розраховуємо за рівнянням балансу.

$$W_{II} = W_2 + W_6 + L_{II}$$

$$L_{II} = W_{II} - W_2 - W_6 = 514,42 - 23,48 - 188,88 = 302,06 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_7 = W_{III} - W_6 = 1228,88 - 188,88 = 1040,00 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_{III} = W_5 + L_{III}$$

$$L_{III} = W_{III} - W_5 = 1228,88 - 514,42 = 714,47 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_9 = W_{IV} - W_8 = 2784,46 - 1127,19 = 1657,28 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_{IV} = W_7 + L_{IV}$$

$$L_{IV} = W_{IV} - W_7 = 2784,46 - 1040,00 = 1744,46 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_V = W_8 + L_V$$

$$L_V = W_V - W_8 = 3308,07 - 1127,19 = 2180,88 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_{11} = W_V - W_{10} = 3308,07 - 737,82 = 2570,25 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_{34} = W_{37} + W_{39}$$

$$W_{37} = W_{34} - W_{39} = 681,91 - 82,77 = 599,14 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_{38} = W_{40} + W_{39}$$

$$W_{40} = W_{38} - W_{39} = 620,81 - 82,77 = 538,04 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_{VI} = W_{10} + W_{16} + W_{37} + L_{VI}$$

$$L_{VI} = W_{VI} - W_{10} - W_{16} - W_{37} = 5214,58 - 737,82 - 1324,33 - 599,14 = 2553,29 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_{VII} = W_{13} + L_{VII}$$

$$L_{VII} = W_{VII} - W_{13} = 1057,00 - 786,61 = 270,40 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_{14} = W_{VI} - W_{13} = 5214,58 - 786,61 = 4427,97 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_{VIII} = W_{15} + L_{VIII}$$

$$L_{VIII} = W_{VIII} - W_{15} = 2433,56 - 1057,00 = 1376,56 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_{17} = W_{VIII} - W_{16} = 2433,56 - 1324,33 = 1109,23 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_{IX} = W_{14} + L_{IX}$$

$$L_{IX} = W_{IX} - W_{14} = 4427,97 - 4427,97 = 0 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_{19} = W_{IX} - W_{18} = 4427,97 - 515,43 = 3912,54 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_X = W_{18} + L_X$$

$$L_X = W_X - W_{18} = 2161,47 - 515,43 = 1646,04 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_{21} = W_X - W_{20} = 2161,47 - 537,07 = 1624,39 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_{XI} = W_{20} + L_{XI}$$

$$L_{XI} = W_{XI} - W_{20} = 2053,51 - 537,07 = 1516,44 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_{23} = W_{XI} - W_{22} = 2053,51 - 627,99 = 1425,52 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_{XII} = W_{22} + W_{28} + L_{XII}$$

$$L_{XII} = W_{XII} - W_{22} - W_{28} = 4454,59 - 627,99 - 625,44 = 3201,15 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_{26} = W_{XII} - W_{25} = 4454,59 - 391,79 = 4062,79 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_{XIII} = W_{25} + L_{XIII}$$

$$L_{XIII} = W_{XIII} - W_{25} = 450,14 - 391,79 = 58,35 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_{XIV} = W_{27} + L_{XIV}$$

$$L_{XIV} = W_{XIV} - W_{27} = 1917,28 - 450,14 = 1467,13 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_{29} = W_{XIV} - W_{28} = 1917,28 - 625,44 = 1291,83 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_{XV} = W_{26} + L_{XV}$$

$$L_{XV} = W_{XV} - W_{26} = 4126,54 - 4062,79 = 63,75 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_{31} = W_{XV} - W_{30} = 4126,54 - 498,31 = 3628,23 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_{XVI} = W_{30} + L_{XVI}$$

$$L_{XVI} = W_{XVI} - W_{30} = 2107,12 - 498,31 = 1608,81 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_{33} = W_{XVI} - W_{32} = 2107,12 - 772,26 = 1334,86 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_{XVII} = W_{32} + L_{XVII}$$

$$L_{XVII} = W_{XVII} - W_{32} = 2597,61 - 772,26 = 1825,35 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_{35} = W_{XVII} - W_{34} = 2597,61 - 681,91 = 1915,70 \text{ м}^3/\text{год}$$

Розраховані значення заносимо до таблиці 7.

Об'єм пульпи розраховуємо за формулою

$$V_n = W_n + Q_n / \delta$$

де  $V_n$  - об'єм пульпи  $n$ -ої операції чи продукту,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$W_n$  - вміст вологи  $n$ -ої операції чи продукту,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$Q_n$  - продуктивність  $n$ -ої операції чи продукту, т/год,

$\delta$  - щільність твердої фази, т/ м<sup>3</sup>.

Розраховані значення заносимо до таблиці 5.

4.3. Розрахунок та вибір основного технологічного обладнання (сепаратори, конвеєри, грохоти).

Розраховуємо обладнання для сухої магнітної сепарації

Розраховуємо сепаратор двох типів 2ПБС 90/250 та 2ПБС 90/120

Продуктивність сепаратора для сухої магнітної сепарації сильномагнітних руд розраховується по формулі:

$$Q_c = 0.82n(L - 0.1)v\delta \frac{d_2 - d_1}{\lg 100} ab$$

де:  $Q_c$  - продуктивність по вихідному навантаженню, т/год.

$n$  - кількість барабанів для основної сепарації;

$L$  - довжина барабанів;

$v$  - швидкість переміщення шару матеріалу на головних барабанах, приймаємо рівною 1 м/с;

$S$  - щільність руди;

$d_1$  і  $d_2$  - найменший і найбільший діаметр зерен руди у живленні, мм

$a$  - емпіричний коефіцієнт, залежний від крупності живлення;

$b$  - коефіцієнт, залежний від відношення між кількістю барабанів, використовуючи для переміщення хвостів, та кількістю загальних барабанів.

$$Q_c = 0.82 \cdot 2(2,5 - 0.1) \cdot 1,3,6 \frac{20 - 0,2}{\lg 100} 1,5 \cdot 1,5 = 315,63 \text{ т/год}$$

$$n = \frac{Q_1}{NQ_c} = \frac{1887,25}{6 \cdot 315,63} = 0,997 = 1 \text{ шт}$$

Приймаємо до установки на секцію 1 магнітний сепаратор 2ПБС 90/250, 6 на фабрику.

$$Q_c = 0,82 \cdot 2(1,2 - 0,1) \cdot 3,6 \frac{20 - 0,2}{\lg 100} 1,5 \cdot 1,5 = 156,72 \text{ т/год}$$

$$n = \frac{Q_1}{NQ_c} = \frac{1887,25}{6 \cdot 156,72} = 2 \text{ шт}$$

Приймаємо до установки на секцію 2 магнітний сепаратор 2ПБС 90/120, 12 на фабрику.

Складаємо порівняльну таблицю 4.4.

Сепаратори	Кількість, шт		Маса, т		Потужність, кВт	
	на секцію	на фабрику	одного	усіх	одного	усіх
2ПБС 90/250	1	6	4	24	4	24
2ПБС 90/120	2	12	2,85	34,2	2	24

До встановлення приймаємо магнітний сепаратор типу 2ПБС 90/250 за мінімальною сумарною масою.

Для магнітного збагачення приймаємо магнітні сепаратори типу ПБМ-120/300 та для порівняння ПБМ 90/250.

Сепаратори ПБМ-120/300 та ПБМ 90/250 призначені для мокрої магнітної сепарації сильно магнітних руд крупністю 1 - 0 мм з розподіленням матеріалу на два продукти магнітний і немагнітний. Продуктивність сепараторів для мокрої сепарації сильно магнітних руд розраховується по нормам питомого навантаження на 1 м ширини живлення фабрики аналога.

Визначаємо продуктивність сепаратора по початковому продукту

по формулі:

$$Q_c = q \cdot n(L - 0.1)$$

де,  $Q_c$  - продуктивність сепаратора,  $m/год$ ;

$q$ - питома продуктивність навантаження сепаратора,  $t/(m \cdot год)$ ;

$L$  - довжина барабана,  $m$ ;

$n$ - кількість головних барабанів.

Кількість сепараторів визначаємо по формулі:

Визначаємо кількість сепараторів у I ст. I прийому магнітної сепарації (ПБМ-П-120/300)

$$n = \frac{Q_7}{NQ_c} = 1677,39 / (6 * (50 * 1 * (3 - 0,1))) = 1,29 = 2 \text{ шт}$$

Приймаємо до установки в першій стадії першого прийому магнітної сепарації сепаратор ПБМ-П-120/300 на фабрику 12 штук, на секцію 2 штуки.

ПБМ-П-90/250

$$n = \frac{Q_7}{NQ_c} = 1677,39 / (6 * (27 * 1 * (2,5 - 0,1))) = 4,31 = 6 \text{ шт}$$

Приймаємо до установки в першій стадії першого прийому магнітної сепарації сепаратор ПБМ-П-90/250 на фабрику 36 штук, на секцію 6 штуки.

Визначаємо кількість сепараторів у I ст. II прийому магнітної сепарації (ПБМ-П-120/300)

$$n = \frac{Q_8}{NQ_c} = 1225,20 / (6 * (45 * 1 * (3 - 0,1))) = 1,56 = 2 \text{ шт}$$

Приймаємо до установки в першій стадії другого прийому магнітної сепарації сепаратор ПБМ-П-120/300 на фабрику 12 штук, на секцію 2 штуки.

ПБМ-П-90/250

$$n = \frac{Q_8}{NQ_c} = 1225,20 / (6 * (26 * 1 * (2,5 - 0,1))) = 3,27 = 4 \text{ шт}$$

Приймаємо до установки в першій стадії другого прийому магнітної сепарації сепаратор ПБМ-П-90/250 на фабрику 24 штук, на секцію 4 штуки.

Визначаємо кількість сепараторів у II ст. магнітної сепарації.

ПБМ-120/300

$$n = \frac{Q_{15}}{NQ_c} = 2458,14 / (6 * (55 * 1 * (3 - 0,1))) = 2,57 = 4 \text{ шт}$$

Приймаємо до установки в другій стадії магнітної сепарації сепаратор ПБМ-ПП-120/300 на фабрику 24 штук на секцію 4 штуки.

ПБМ-90/250

$$n = \frac{Q_{15}}{NQ_c} = 2458,14 / (6 * (25 * 1 * (2,5 - 0,1))) = 6,82 = 8 \text{ шт}$$

Приймаємо до установки в другій стадії магнітної сепарації сепаратор ПБМ-ПП-90/250 на фабрику 45 штук, на секцію 8 штуки.

Визначаємо кількість сепараторів у III ст. I пр. магнітної сепарації.

ПБМ-120/300

$$n = \frac{Q_{18}}{NQ_c} = 831,33 / (6 * (36 * 1 * (3 - 0,1))) = 1,32 = 2 \text{ шт}$$

Приймаємо до установки в третій стадії I пр. магнітної сепарації сепаратор ПБМ-ПП-120/300 на фабрику 12 штук, на секцію 2 штуки.

ПБМ-90/250

$$n = \frac{Q_{18}}{NQ_c} = 831,33 / (6 * (15 * 1 * (2,5 - 0,1))) = 3,84 = 4 \text{ шт}$$

Приймаємо до установки в третій стадії I пр. магнітної сепарації

сепаратор ПБМ-ПП-90/250 на фабрику 24 штук, на секцію 4 штуки.

Визначаємо кількість сепараторів у III ст. II пр. магнітної сепарації.

ПБМ-120/300

$$n = \frac{Q_{20}}{NQ_c} = 789,81 / (6 * (30 * 1 * (3 - 0,1))) = 1,51 = 2 \text{ шт}$$

Приймаємо до установки в третій стадії II пр. магнітної сепарації сепаратор ПБМ-ПП-120/300 на фабрику 12 штук, на секцію 2 штуки.

ПБМ-90/250

$$n = \frac{Q_{20}}{NQ_c} = 789,81 / (6 * (16 * 1 * (2,5 - 0,1))) = 3,42 = 4 \text{ шт}$$

Приймаємо до установки в третій стадії II пр. магнітної сепарації сепаратор ПБМ-ПП-90/250 на фабрику 24 штук, на секцію 4 штуки.

Визначаємо кількість сепараторів у IV ст. магнітної сепарації.

ПБМ-ПП-120/300

$$n = \frac{Q_{27}}{NQ_c} = 833,60 / (6 * (25 * 1 * (3 - 0,1))) = 1,91 = 2 \text{ шт}$$

Приймаємо до установки в четвертій стадії магнітної сепарації сепаратор ПБМ-ПП-120/300 на фабрику 12 штук, на секцію 2 штуки.

ПБМ-ПП-90/250

$$n = \frac{Q_{27}}{NQ_c} = 833,60 / (6 * (12 * 1 * (2,5 - 0,1))) = 4,82 = 6 \text{ шт}$$

Приймаємо до установки в четвертій стадії магнітної сепарації сепаратор ПБМ-ПП-90/250 на фабрику 36 штук, на секцію 6 штуки.

Визначаємо кількість сепараторів у V ст. I пр магнітної сепарації.

ПБМ-ПП-120/300

$$n = \frac{Q_{30}}{NQ_c} = 711,87 / (6 * (22 * 1 * (3 - 0,1))) = 1,86 = 2 \text{ шт}$$

Приймаємо до установки в V стадії I пр магнітної сепарації сепаратор ПБМ-ПП-120/300 на фабрику 12 штук, на секцію 2 штуки.

ПБМ-ПП-90/250

$$n = \frac{Q_{30}}{NQ_c} = 711,87 / (6 * (15 * 1 * (2,5 - 0,1))) = 3,29 = 4 \text{ шт}$$

Приймаємо до установки в V стадії I пр магнітної сепарації сепаратор ПБМ-ПП-90/250 на фабрику 24 штук, на секцію 4 штуки.

Визначаємо кількість сепараторів у V ст. II пр магнітної сепарації.

ПБМ-ПП-120/300

$$n = \frac{Q_{32}}{NQ_c} = 702,06 / (6 * (15 * 1 * (3 - 0,1))) = 2,68 = 4 \text{ шт}$$

Приймаємо до установки, в V стадії II пр. магнітної сепарації сепаратор ПБМ-ПП-120/300 на фабрику 24 штук, на секцію 4 штуки.

ПБМ-ПП-90/250

$$n = \frac{Q_{32}}{NQ_c} = 702,06 / (6 * (10 * 1 * (2,5 - 0,1))) = 4,87 = 6 \text{ шт}$$

Приймаємо до установки в V стадії II пр магнітної сепарації сепаратор ПБМ-ПП-90/250 на фабрику 36 штук, на секцію 6 штуки.

Складаємо порівняльну таблицю 4.4.

Сепаратори	Кількість, шт.		Маса, т		Потужність, кВт	
	на секцію	на фабрику	одного	усіх	одного	усіх
ПБМ-90/250	42	252	3,3	831,6	4	1008
ПБМ-120/300	20	120	5,6	672	7,5	900

При порівнянні двох типів сепараторів кращім варіантом є сепаратор ПБМ-120/300, його приймаємо до встановлення.

Розрахунок обладнання для зневоднення

Магнітне зневоднення призначене для дешламації та згущення зливів гідроциклонів перед магнітним збагаченням і концентрату магнітного збагачення перед його фільтруванням.

Розрахунок дешламаторів проводиться по нормам питомого

навантаження діючого аналога. На фабриці аналог встановлені дешламатори МД-9, для порівняння розраховуємо мешламатор МД-5.

Визначаємо загальну площу необхідну для дешламації у I ст.

Визначаємо площу дешламатора:

$$S_{\text{заг}} = \frac{Q_{14}}{q} = 972,50/1,5 = 648,33 \text{ м}^2$$

$$S_{\text{деш}} = 63,8 \text{ м}^2$$

$$n = S_{\text{заг}} / S_{\text{деш}} = 648,33/63,8 = 10,16 \text{ шт}$$

Кількість дешламатор на секцію

$$n = 10,16/6 = 1,69 \text{ шт}$$

До встановлення приймаємо 2 дешламатор МД-9 на секцію, 12 на фабрику.

$$S_{\text{деш}} = 19,6 \text{ м}^2$$

$$n = S_{\text{заг}} / S_{\text{деш}} = 648,33/19,6 = 33,08 \text{ шт}$$

Кількість дешламатор на секцію

$$n = 33,08/6 = 5,51 \text{ шт}$$

До встановлення приймаємо 6 дешламаторів МД-5 на секцію, 36 на фабрику.

Визначаємо загальну площу необхідну для дешламації у II ст.

$$S_{\text{заг}} = \frac{Q_{26}}{q} = 723,95/1,53 = 473,17 \text{ м}^2$$

$$S_{\text{деш}} = 63,8 \text{ м}^2$$

$$n = S_{\text{заг}} / S_{\text{деш}} = 473,17 / 63,8 = 7,42 \text{ шт}$$

Кількість дешламаторів на секцію

$$n = 7,42 / 6 = 1,23 = 2 \text{ шт}$$

До встановлення приймаємо 2 дешламатори МД-9 на секцію, 12 на фабрику.

$$S_{\text{деш}} = 19,6 \text{ м}^2$$

$$n = S_{\text{заг}} / S_{\text{деш}} = 473,17 / 19,6 = 24,14 \text{ шт}$$

Кількість дешламаторів на секцію

$$n = 24,14 / 6 = 4,02 = 5 \text{ шт}$$

До встановлення приймаємо 5 дешламатори МД-5 на секцію, 30 на фабрику.

Визначаємо загальну площу необхідну для дешламації у III ст. дешламації концентрату:

$$S_{\text{заг}} = \frac{Q_{36}}{q} = 695,83 / 1,4 = 497,02 \text{ м}^2$$

$$S_{\text{деш}} = 63,8 \text{ м}^2$$

$$n = S_{\text{заг}} / S_{\text{деш}} = 497,02 / 63,8 = 7,79 \text{ шт}$$

Кількість дешламаторів на секцію

$$n = 7,79 / 6 = 1,29 = 2 \text{ шт}$$

До встановлення приймаємо 2 дешламатори МД-9 на секцію, 12 на фабрику.

$$S_{\text{деш}} = 19,6 \text{ м}^2$$

$$n = S_{\text{заг}} / S_{\text{деш}} = 497,02 / 19,6 = 25,36 \text{ шт}$$

Кількість дешламаторів на секцію

$$n = 25,36 / 6 = 4,22 = 5 \text{ шт}$$

До встановлення приймаємо 5 дешламатори МД-5 на секцію, 30 на фабрику.

Складаємо порівняльну таблицю 4.5, за результатами якої визначаємо кращий варіант дешламатора.

Дешламатори	Кількість, шт		Маса, т		Потужність, кВт	
	на секцію	на фабрику	одного	усіх	одного	усіх
МД-5	16	96	9,8	940,8	2,8	268,8
МД-9	6	36	17,9	644,4	14,0	504

Враховуючи отримані результати обираємо до встановлення дешламатори МД-5.

Розрахунок обладнання для фільтрації

Вакуум-фільтр розраховується по формулі питомого навантаження діючого аналога. Для встановлення приймаємо вакуум-фільтри ДУ-100-2,5 для порівняння розраховуємо фільтр ДОО-160-3,2У.

Визначаємо необхідну площу для фільтрування.

$$S_{\text{заг}} = \frac{Q_{38}}{q} = 689,79/0,8 = 862,24 \text{ м}^2$$

$$S_{\text{ф}} = 100 \text{ м}^2$$

$$n = S_{\text{заг}} / S_{\text{ф}} = 862,24 / 100 = 8,6 \text{ шт}$$

Кількість фільтрів на секцію

$$n = 8,6/6 = 1,43 = 2 \text{ шт}$$

На фабрику встановлюємо 12 вакуум фільтрів ДУ-100-2,5.

$$S_{\text{ф}} = 160 \text{ м}^2$$

$$n = S_{\text{заг}} / S_{\text{ф}} = 862,24 / 160 = 5,39 \text{ шт}$$

Кількість фільтрів на секцію

$$n=5,39/6 = 0,9=1 \text{ шт}$$

На фабрику встановлюємо 6 вакуум фільтрів  $S_{\phi}=160\text{м}^2$

Складаємо порівняльну таблицю 4.6 для фільтрувального обладнання.

Вакуум-фільтри	Кількість, шт		Маса, т		Потужність, кВт	
	на секцію	на фабрику	одного	усіх	одного	усіх
ДОО-160-3,2У	1	6	24	144	13	78
ДУ-100-2,5	2	12	16,93	203,16	11	132

Враховуючи отримані результати обираємо до встановлення вакуум-фільтри ДОО-160-3,2У.

4.4. Компоновочні рішення щодо розміщення вузла СМС на промисловому майданчику ГЗК.

Розміщення вузла сухої магнітної сепарації (СМС) на промисловому майданчику гірничо-збагачувального комбінату (ГЗК) - це складне інженерне завдання, що потребує врахування логістики, енергоефективності та екологічних норм.

Вибір місця залежить від того, яку роль відіграє СМС: попереднє збагачення чи фінішна обробка. Прикорпусна схема (біля дробильної фабрики): вузол СМС інтегрується безпосередньо в корпус середнього або дрібного дроблення. Це мінімізує витрати на транспортування, оскільки матеріал подається конвеєрами відразу після дроблення.

Окремо розташований корпус будується як самостійна одиниця. Це рішення є оптимальним для реконструкції діючих підприємств, де в існуючих цехах немає місця для нового обладнання.

Мобільні та модульні установки розміщуються безпосередньо в кар'єрі або на перевантажувальних пунктах. Це дозволяє відсіяти пусту породу ще до її транспортування на фабрику, що значно знижує логістичні витрати.

Ефективність вузла СМС багато в чому залежить від використання сили тяжіння для руху матеріалу. Типова вертикальна структура будівлі включає:

- верхній ярус: прийомні бункери та живильники (вібраційні або стрічкові), що забезпечують рівномірну подачу руди;
- середній ярус: магнітні сепаратори (барабанного або валкового типу). Важливо передбачити вільний простір для демонтажу барабанів під час ремонту;
- нижній ярус: система збору продуктів сепарації (жолоби, воронки) та вихідні конвеєри для концентрату та хвостів.

При проектуванні майданчика обов'язково враховуються наступні елементи: система аспірації, магнітний захист, склад хвостів СМС. Система аспірації: обов'язкова для сухого процесу. Пилоочисні установки розміщують поруч із джерелами пилення (місця пересипу). Магнітний захист: встановлення підвісних магнітів перед сепараторами для вилучення випадкових металевих предметів (зубів екскаваторів тощо). Склад хвостів СМС: оскільки хвости сухі, необхідно передбачити окремий майданчик для їх зберігання або систему швидкого відвантаження на автотранспорт.

Фактори, що впливають на вибір рішення:

- кліматичні умови: у регіонах з низькими температурами вузол СМС обов'язково розміщують у капітальних опалювальних будівлях, оскільки волога руда може примерзати до магнітних барабанів;
- ремонтпридатність: необхідно передбачити мостові крани або

талі над кожним сепаратором, а також під'їзні шляхи для спецтехніки;

- енергопостачання: розміщення поблизу підстанцій, оскільки потужні магнітні системи та конвеєрне господарство потребують значних енерговитрат.

## Розділ 5. Охорона праці

### 5.1. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів при роботі з магнітними сепараторами

Робота з магнітними сепараторами (залізовідділювачами) пов'язана з низкою специфічних ризиків, що зумовлені як конструкцією обладнання, так і фізичними процесами магнітної сепарації[4-7]:

- магнітні поля високої напруженості: сильні постійні або змінні магнітні поля можуть впливати на роботу медичних імплантів (кардіостимуляторів). Також існує ризик раптового притягнення металевих предметів (інструментів, ключів), що може призвести до ударів або защемлення кінцівок[4-7];
- рухомі частини механізмів: у барабанних або стрічкових сепараторах небезпеку становлять приводи, вали, підтримувальні ролики та сама конвеєрна стрічка. Існує ризик затягування одягу або частин тіла в зони набігання стрічки;
- відлітання металевих предметів: під час роботи сепаратора металеві домішки вириваються з потоку матеріалу з великою силою, що може призвести до травмування очей або обличчя;
- електричний струм: оскільки більшість сепараторів працюють від мережі (електромагніти), існує ризик ураження струмом при порушенні ізоляції, відсутності заземлення або під час технічного обслуговування під напругою[4-7];
- виробничий пил: процес сепарації сипучих матеріалів часто супроводжується інтенсивним пиловиділенням. Пил може подразнювати дихальні шляхи та слизові оболонки;
- шум та вібрація: робота двигунів, редукторів та вібраційних живильників створює підвищений рівень шуму, що негативно

- впливає на нервову систему та органи слуху;
- статична електрика: тертя сухих матеріалів об деталі сепаратора може призводити до накопичення статичного заряду, що створює дискомфорт або ризик виникнення іскри в запиленому середовищі;
  - фізичні перевантаження: очищення сепараторів з ручним розвантаженням вимагає значних фізичних зусиль для відривання металевих предметів від магнітної системи;
  - напруженість праці: необхідність постійного візуального контролю за процесом очищення та роботою обладнання призводить до швидкої втомлюваності[4-7].

## 5.2. Заходи щодо пилоподавлення та аспірації при сухому способі збагачення

Видалення забрудненого повітря з укриттів збагачувальних машин і приміщень, де розташоване працює це обладнання здійснюється за рахунок промислової вентиляції: витяжної (аспіраційної), припливної та припливно-витяжної. У першому випадку, забруднене повітря відсмоктується вентилятором від місць локальних укриттів (аспірації) і видаляється в атмосферу через очисні пристрої; у другому - чисте атмосферне повітря нагнітається вентилятором у приміщення і витискує собою забруднене; у третьому - відбувається одночасно відсмоктування повітря з приміщень і подача чистого атмосферного повітря у приміщення[4-7].

При сухій магнітній сепарації пилоутворення є критичним фактором, оскільки відсутність води як змащувального та зв'язувального агенту призводить до інтенсивного виділення дрібнодисперсних часток (особливо класу  $<0,05$  мм). Комплекс заходів

щодо пилоподавлення та аспірації поділяється на три рівні: локалізація, видалення та очищення.

Локалізація пилу (герметизація). Першочерговим завданням є утримання пилу всередині обладнання, щоб запобігти його поширенню в робочу зону[4-7]:

- укриття (кожухи): всі вузли пересипання, віброживильники та самі магнітні барабани мають бути закриті герметичними кожухами;
- ущільнення: використання еластичних (гумових або силіконових) ущільнювачів у місцях з'єднання рухомих та нерухомих частин;
- гнучкі вставки: на ділянках завантаження та вивантаження встановлюються гнучкі рукави, які запобігають вибиванню пилу при вібрації обладнання.

Системи аспірації. Аспірація створює розрідження (невеликий вакуум) під кожухами, що фізично унеможлиблює вихід запиленого повітря назовні:

- точки відсосу: встановлюються у місцях найбільшого збурення матеріалу (вузли скидання концентрату та хвостів);
- розрахунок швидкості потоку: швидкість повітря у повітропроводах для рудного пилу повинна бути в межах 15-20 м/с, щоб уникнути осідання пилу в самих трубах;
- аспіраційні лійки: спеціальні розширення повітропроводів безпосередньо над зоною сепарації, що захоплюють пилову хмару [4-7].

Запилене повітря, що витягується з сепараторів, підлягає обов'язковому очищенню перед викидом в атмосферу або поверненням у цех, методи очищення та обладнання наведені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. Методи очищення та обладнання для очищення повітря перед викидом в атмосферу або поверненням у цех.

Метод очищення	Тип обладнання	Ефективність	Особливості
Грубе очищення	Циклони	70-85%	Використовується як перший ступінь для вловлювання великих часток.
Тонке очищення	Рукавні фільтри	до 99.9%	Найпоширеніший метод для сухого збагачення. Потребує регулярної регенерації (імпульсного продування).
Електрофільтри	Мокрі/сухі електрофільтри	Висока	Використовуються на великих комбінатах для вловлювання ультрадисперсного пилу.

4. Специфічне пилоподавлення (сухий спосіб). Оскільки додавання води заборонене технологією, застосовуються альтернативні методи:

- пневмосепарація: використання керованих потоків повітря всередині сепаратора для відведення пилу безпосередньо в момент розшарування матеріалу на магнітну та немагнітну фракції;
- антистатична обробка: використання іонізаторів повітря для зняття статичного заряду з часток пилу, що зменшує їх здатність «зависати» у повітрі та налипати на обладнання;
- туманоутворення (сухий туман): впорскування мікроскопічних крапель води (розміром до 10 мікрон). Краплі настільки малі, що вони змочують пил, але випаровуються до того, як матеріал стане вологим (не порушуючи «сухий» статус процесу) [4-7].

## Розділ 6. Техніко-економічне обґрунтування проекту

### 6.1. Розрахунок капітальних інвестицій у будівництво вузла СМС.

Сучасні тенденції розвитку гірничо-збагачувальних підприємств передбачають зниження енерго- та водоемності технологічних процесів за одночасного підвищення економічної ефективності виробництва. Одним із перспективних напрямів удосконалення технологічних схем переробки магнетитових кварцитів є впровадження сухої магнітної сепарації у голові збагачувальної фабрики.

Застосування сухої магнітної сепарації дозволяє відокремити частину немагнітної породи до стадії подрібнення, що призводить до зменшення навантаження на дробильно-подрібнювальне обладнання, скорочення витрат електроенергії та води, а також зниження експлуатаційних витрат фабрики.

Річна продуктивність збагачувальної фабрики Інгулецького ГЗК становить:

$$Q_{\text{річ}} = 15,4 \cdot 10^6 \text{ т/рік}$$

Згідно з результатами технологічних розрахунків сухої магнітної сепарації, вихід немагнітного продукту становить 11,12 %, при цьому вміст заліза в ньому дорівнює 15,7 %, а втрати заліза з немагнітним продуктом не перевищують 5,27 %.

Маса руди, яка відсікається у вигляді немагнітного продукту до стадії подрібнення, визначається за формулою:

$$Q_{\text{відсіч}} = Q_{\text{річ}} \cdot \gamma_{\text{нм}}$$

де,  $\gamma_{\text{нм}}$  - вихід немагнітного продукту.

$$Q_{\text{відсіч}} = 15,4 \cdot 10^6 \cdot 0,1112 = 1,71 \cdot 10^6 \text{ т/рік}$$

Таким чином, близько 1,71 млн т руди на рік не надходить у дробильно-подрібнювальний цикл.

Питомі витрати електроенергії на дроблення та подрібнення магнетитових кварцитів на гірничо-збагачувальних фабриках становлять у середньому 18-22 кВт·год/т. Для розрахунків приймаємо середнє значення:

$$e=20 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{т}$$

Річна економія електроенергії визначається за формулою:

$$E=Q_{\text{відсіч}}\cdot e$$

$$E=1,71\cdot 10^6\cdot 20=34,2\cdot 10^6 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік}$$

Грошовий еквівалент зекономленої електроенергії при тарифі  $c=4,5$  грн/кВт·год:

$$\Delta C_{\text{ел}}=E\cdot c = 34,2 \cdot 10^6 \cdot 4,5 = 153,9\cdot 10^6 \text{ грн}/\text{рік}.$$

## 6.2. Визначення терміну окупності та чистого дисконтованого доходу

Окрім економії електроенергії, впровадження сухої магнітної сепарації забезпечує зменшення витрат на водопостачання, перекачування пульп, ремонт насосного обладнання та обслуговування гідравлічних апаратів. Для укрупненого економічного розрахунку додаткову економію експлуатаційних витрат приймаємо на рівні 20 % від економії електроенергії:

$$\Delta C_{\text{експл}}=0,2\cdot \Delta C_{\text{ел}}=0,2\cdot 153,9=30,8\cdot 10^6 \text{ грн}/\text{рік}$$

Загальний річний економічний ефект визначається як сума економії електроенергії та скорочення експлуатаційних витрат:

$$\Delta C_{\text{заг}}=\Delta C_{\text{ел}}+\Delta C_{\text{експл}} = 153,9+30,8=184,7\cdot 10^6 \text{ грн}/\text{рік}$$

Орієнтовні капітальні витрати на впровадження вузла сухої магнітної сепарації становлять:

$$K= 130 \cdot 10^6 \text{ грн}$$

Строк окупності капітальних вкладень визначається за формулою:

$$T=K/\Delta C_{заг} = 130/184,7=0,7 \text{ року}$$

Впровадження сухої магнітної сепарації у технологічну схему Інгулецького гірничо-збагачувального комбінату є економічно доцільним. Застосування даного технічного рішення забезпечує скорочення обсягів подрібнення руди на 11,12 %, річну економію електроенергії понад 34 млн кВт·год та загальний економічний ефект близько 185 млн грн на рік. Строк окупності капітальних вкладень не перевищує одного року, що підтверджує ефективність та перспективність впровадження сухої магнітної сепарації.

## Висновки

Суша магнітна сепарація - це технологічний процес розділення сухих, сипучих матеріалів (наприклад, руди, піску, промислових відходів) на компоненти, який базується на відмінності їхніх магнітних властивостей (магнітні/немагнітні або з різною інтенсивністю магнітизації).

Цей метод здійснюється без використання рідини (води), що є його ключовою відмінністю від мокрої магнітної сепарації.

Принцип роботи полягає в тому, що процес ґрунтується на різниці матеріалів по-різному реагувати на магнітне поле. Матеріал подається у робочу зону сепаратора (наприклад, на конвеєрну стрічку або барабан). На нього діє сильне магнітне поле, магнітні компоненти суміші (наприклад, залізна руда, металомангнітні домішки) притягуються до магнітного елемента (барабана, ролика) і відокремлюються, змінюючи траєкторію свого руху. Немагнітні компоненти (наприклад, кварц, кераміка) проходять крізь магнітне поле без притягання і збираються окремо.

Проблема утворення значних обсягів відходів сухої магнітної сепарації (СМС) (до 65% вихідної сировини) при складуванні їх у хвостосховищах полягає в тому що: необхідно залучати важку техніку для переміщення матеріалу у хвостосховищі, також складування великої кількості матеріалу та не вчасне відвантаження його негативно впливає на процес збагачення (прижимаються шибера на сухих сепараторах, пуста порода починає надходити у процес збагачення, де потребується додатково додавати воду, можливо навіть запускати додаткове обладнання. Також падає відсоток залізної руди у концентраті.)

Вплив крупності живлення (розміру частинок) на ефективність

сухої магнітної сепарації є одним із найважливіших факторів, що визначає як якість концентрату, так і вилучення цінного компонента.

Ефективність розділення залежить від співвідношення між магнітною силою та механічними силами (гравітація, сили інерції, аеродинамічний опір та міжчастинкова взаємодія). Крупність впливає на всі ці механічні сили. Занадто велика крупність живлення призводить до низької якості концентрату та низькому вилученню, тому що недостатнє розкриття зростків. Занадто дрібна крупність - середньої якості та низьке вилучення, через злипання частинок, агломерація, пилоутворення, погіршення транспортних властивостей.

Визначення оптимального діапазону параметрів (напруженості магнітного поля та крупності живлення) для забезпечення необхідної якості концентрату зводиться до пошуку технологічного компромісу між селективністю (якістю) та вилученням (кількістю) на основі лабораторних та промислових випробувань.

### Список використаних джерел

1. Керівництво по системі превентивного управління якістю ПАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат». Метінвест, 2024.
2. Ведення процесу збагачення магнетитових кварцитів в умовах фабрики кульового подрібнення : технологічна інструкція ТІ 00190905.03.001-2023. ПАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат», 2023.
3. Ведення процесу збагачення магнетитових кварцитів в умовах фабрики безкульового подрібнення : технологічна інструкція ТІ 00190905.07.001-2024. ПАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат», 2024.
4. Лапшин О. Є., Лапшин О. О., Лапшина Д. О. Охорона праці в гірництві : підручник. Кривий Ріг : РВВ КНУ, 2018. 276 с.
5. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII. *Відомості Верховної Ради України*. 1992. № 49. Ст. 668. (з наступними змінами).
6. Кодекс цивільного захисту України від 02.10.2012 № 5403-VI : станом на 29 жовт. 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17> (дата звернення: 22.01.2026).
7. Про затвердження Типового положення про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з питань охорони праці : наказ Державного комітету України по нагляду за охороною праці від 04.04.1994 № 30.