



ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Гірничо-металургійний факультет
Кафедра гірничої справи

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

Іван ЧЕБЕРЯЧКО

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за підсумками виконання освітньо-професійної програми
«Технології збагачення корисних копалин»
за спеціальністю 184 Гірництво

**на тему «Розробка заходів із підвищення якості магнетитових
концентратів в умовах ІнгЗК»**

Керівник роботи

Ігор МЛАДЕЦЬКИЙ

Консультант від
бази практики

Володимир ПОЛТАВЕЦЬ

Здобувач

Ігор ЗАБЕЛЛО

<i>Підсумкова оцінка за атестацію</i>			
---------------------------------------	--	--	--

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

«___» _____ 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Забелло Ігор Дмитрович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Розробка заходів із підвищення якості магнетитових концентратів в умовах ІНГЗК

керівник роботи Младецький Ігор Костянтинович, д.т.н., професор.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету №239 від 10.09.2025 р.

Термін подання роботи 23.01.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти зі збагачення корисних копалин, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики збагачення корисних копалин, літературні джерела, технологічні інструкції, дані ІНГУЛЕЦЬКИЙ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИЙ КОМБІНАТ м. Кривий Ріг, результати власних експериментів та досліджень.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Загальна характеристика. 2. Ведення процесу збагачення магнетитових кварцитів в умовах РЗФ-1(ІНГЗК) 3. Спеціальна частина. Висновки. Перелік використаних джерел.

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): водошламова схема РЗФ-1 ІНГЗК

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Загальна характеристика сировини та технології збагачення	08.12-21.12 2025
2	Розділ 2. Ведення процесу збагачення магнетитових кварцитів в умовах РЗФ-1(ІнГЗК)	22.12.2025-04.01 2026
3	Розділ 3. Спеціальна частина	04.01-19.01 2026
4	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	04.01-19.01 2026
5	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	19.01-25.01 2026
6	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу	25.01-29.01 2026
7	Рецензування завершеної роботи. Захист	28.01-29.01 2026

Здобувач

(Ігор Забелло)

Керівник роботи

(Ігор Младецький)

АНОТАЦІЯ

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена розробці та обґрунтуванню заходів із підвищення якості магнетитових концентратів в умовах ПрАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат». Актуальність дослідження зумовлена зростанням вимог металургійних підприємств до якості залізорудної сировини, насамперед до вмісту заліза та допустимого рівня діоксиду кремнію, а також необхідністю забезпечення стабільних якісних показників концентрату за мінливих властивостей вихідної руди.

У роботі проаналізовано геолого-мінералогічні особливості магнетитових кварцитів Інгулецького родовища, що характеризуються тонкою та дуже тонкою вкрапленістю магнетиту, високим вмістом кварцу та значною мінералогічною неоднорідністю. Розглянуто діючу технологічну схему збагачення на рудо-збагачувальній фабриці № 1 ІНГЗК, виконано аналіз якісно-кількісної та водно-шламової схем збагачення, визначено зниження якості та підвищення вмісту пустої породи магнетитового концентрату.

Особливу увагу приділено впливу процесів подрібнення та класифікації на ступінь розкриття магнетиту, утворення тонкодисперсних шламів і селективність мокрої магнітної сепарації. Обґрунтовано роль стабілізації гранулометричного складу живлення, густини пульпи та якості оборотної води у формуванні кінцевих показників якості концентрату. У спеціальній частині роботи запропоновано технологічні заходи з удосконалення режимів магнітної сепарації та знешламлення, спрямовані на зниження вмісту діоксиду кремнію та підвищення вмісту заліза у готовому продукті.

Виконано розрахунок і вибір основного технологічного обладнання з урахуванням мінералогічних особливостей руд та вимог до якості магнетитового концентрату. Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості впровадження запропонованих

заходів у виробничих умовах ІнгЗК без суттєвих капітальних витрат, що сприятиме підвищенню якості та стабільності магнетитових концентратів і покращенню техніко-економічних показників збагачувального виробництва.

Ключові слова: магнетитові кварцити, збагачення корисних копалин, магнетитовий концентрат, подрібнення руди, класифікація, мокра магнітна сепарація, знешламлення, водно-шламова схема, якісно-кількісна схема, розкриття магнетиту, Індулецький гірничо-збагачувальний комбінат.

ЗМІСТ

ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1 Загальна характеристика сировини та технології збагачення	13
1.1 Геолого-мінералогічна характеристика магнетитових кварцитів ІНГЗК	13
1.2 Аналіз діючої технологічної схеми збагачення.....	16
1.3 Якісно-кількісна схема збагачення	19
1.4 Водно-шламова схема збагачення	21
РОЗДІЛ 2 Ведення процесу збагачення магнетитових кварцитів в умовах РЗФ-1(ІНГЗК).....	24
2.1 Вимоги до якості продукції, що випускається.....	24
2.2 Вимоги до сировини.....	24
2.3 Технологія виробництва.....	25
2.3.1 Надбункерна ділянка.....	25
2.3.2 Дільниця подачі руди.....	26
2.3.3 Операція попереднього збагачення.....	26
2.3.4 Подрібнення та класифікація.....	30
2.4 Мокра магнітна сепарація та знешламлення.....	35
2.5 Зневоднення концентрату.....	39
РОЗДІЛ 3 Спеціальна частина.....	48

3.1 Причини зниження якості та підвищення вмісту пустої породи у магнетитовому концентраті.....	48
3.2 Вплив процесів подрібнення на розкриття магнетиту	51
3.3 Удосконалення процесів магнітної сепарації	54
3.4 Розрахунок та вибір основного технологічного обладнання	57
3.4.1 Розрахунок та вибір кульових млинів	57
3.4.2 Розрахунок та вибір класифікаційного обладнання	59
3.4.3 Розрахунок та вибір магнітних сепараторів	60
3.4.4 Узагальнення результатів підвищення якості магнетитового концентрату в умовах РЗФ-1 ІнГЗК	62
ВИСНОВКИ	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	67

Перелік умовних позначень символів, одиниць, скорочень і термінів

- АТУ – аспіраційно-технічна установка;
- ВВН – водокільцевий вакуум-насос;
- ВТК УЯ – відділ технічного контролю Управління якості;
- ГАРМіПЗ – група аналізів рудних матеріалів і продуктів збагачення;
- ГРК – насос ґрунтовий корундований;
- ГЦ – гідроциклон;
- ДЗ – дисковий вакуум-фільтр загального призначення;
- ЗБ – збірний конвеєр;
- ЗЩ – щебеновий конвеєр збірний;
- КСН – класифікатор спіральний з незануреною спіраллю;
- КСС – конвеєр стрічковий стаціонарний;
- МД – магнітний дешламатор;
- МКР – млин кульовий з розвантаженням через решітку;
- МКЦ – млин кульовий з центральним розвантаженням;
- ММС – мокре магнітне збагачення;
- МФЗ – магнітно-флотаційне збагачення;
- ОВД – основна виробнича діляниця;
- ПАР – поверхнево-активна речовина;
- ПБКС – сепаратор магнітний барабанний призначений для сухого збагачення мілкоподрібненої руди;
- ПБМ П – сепаратор магнітний (з постійними магнітами) барабанний для мокрого збагачення сильномагнітних руд з протиточною ванною;
- ПБМ ПП – сепаратор магнітний (з постійними магнітами) барабанний для мокрого збагачення сильномагнітних руд з напівпротиточною ванною; РЗФ-1 – рудо-збагачувальна фабрика № 1;

РЗФ-2 – рудо-збагачувальна фабрика № 2;
СІОП – Свердловський інститут охорони праці;
СМС – суха магнітна сепарація;
СТП – стандарт підприємства;
ТІ – технологічна інструкція;
ТУ – технічні умови;
ТП – турбокомпресор повітряний;
ЦВП – циклон з водяною плівкою;
ЦП – циклон з похилим патрубком;
Щ – щебеневий конвеєр;
Fe заг – залізо загальне;
Fe магн – залізо магнетитове.

ВСТУП

Актуальність теми.

У сучасних умовах розвитку гірничо-металургійного комплексу України підвищення якості залізорудної сировини є одним із ключових чинників забезпечення конкурентоспроможності продукції на світовому ринку. Металургійні підприємства висувають жорсткі вимоги до хімічного складу концентратів, насамперед до вмісту заліза, а також до допустимого рівня шкідливих домішок, серед яких провідне місце займає діоксид кремнію. Зниження якості залізорудних концентратів призводить до зростання витрат коксу, флюсів та енергії у доменному та сталеплавильному виробництві, що негативно впливає на економічні показники металургійних підприємств.

ПрАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат» є одним із найбільших виробників магнетитового концентрату в Криворізькому залізорудному басейні та входить до складу гірничо-металургійної групи «Метінвест». Сировинна база комбінату представлена магнетитовими кварцитами складної мінералогічної будови, які характеризуються тонкою та дуже тонкою вкрапленістю магнетиту, значною неоднорідністю та підвищеним вмістом кремнезему. Такі особливості руд зумовлюють складність процесів їх збагачення та створюють передумови для коливання якісних показників готового концентрату.

У процесі експлуатації збагачувальних фабрик ІнГЗК виникає проблема підвищеного вмісту пустої породи у концентраті, що проявляється у зростанні масової частки SiO_2 та зниженні вмісту заліза у кінцевому продукті. Основними причинами цього є нестабільність складу вихідної руди, недосконалість режимів подрібнення та магнітної сепарації, а також надлишкове утворення тонкодисперсних шламів. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває розробка комплексу

технологічних заходів, спрямованих на підвищення якості магнетитового концентрату без суттєвого ускладнення технологічної схеми та зростання собівартості продукції.

Метою магістерської роботи є розробка та обґрунтування заходів із підвищення якості магнетитових концентратів в умовах ПрАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат» на основі аналізу мінералогічних особливостей руди, діючої технологічної схеми збагачення та режимів роботи основного обладнання.

Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно вирішити такі завдання:

- дослідити геолого-мінералогічні та технологічні особливості магнетитових кварцитів ІНГЗК;
- проаналізувати діючу технологічну схему збагачення та виявити фактори, що негативно впливають на якість концентрату;
- визначити основні причини підвищення вмісту пустої породи у концентраті;
- обґрунтувати вплив процесів подрібнення та класифікації на розкриття магнетиту;
- розробити технологічні заходи з удосконалення магнітної сепарації;
- виконати розрахунок та вибір основного технологічного обладнання з урахуванням вимог до якості концентрату.

Об'єктом дослідження є процеси збагачення магнетитових кварцитів на збагачувальних фабриках ПрАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат».

Предметом дослідження є технологічні режими подрібнення, класифікації та магнітної сепарації, що визначають якісні показники магнетитового концентрату.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання запропонованих заходів для підвищення стабільності та якості магнетитових концентратів у виробничих умовах ІлГЗК без суттєвих капітальних витрат.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЗБАГАЧЕННЯ

1.1 Геолого-мінералогічна характеристика магнетитових кварцитів ІнгЗК

Магнетитові кварцити Інгuleцького родовища належать до метаморфічних залізорудних формацій Криворізького басейну та є основною сировинною базою ПрАТ «Інгuleцький гірничо-збагачувальний комбінат». Рудні тіла характеризуються значною протяжністю, складною тектонічною будовою та різноманітністю мінералогічних різновидів, що суттєво впливає на технологічні показники збагачення.

Основним корисним мінералом руд ІнгЗК є магнетит, вміст якого у вихідній руді коливається у широких межах залежно від геологічних умов залягання та ступеня метаморфізму порід. Магнетит, як правило, перебуває у тісному зростанні з кварцом, польовими шпатами, амфіболами та іншими силікатними мінералами. Для більшості магнетитових кварцитів характерна тонка та дуже тонка вкрапленість корисного мінералу, при якій розміри зерен магнетиту становлять від кількох десятків до кількох мікрометрів. Мінералогічний склад руди ІнгЗК наведено в табл.1.1.

Пустою породою магнетитових кварцитів є переважно кварц, який зумовлює підвищений вміст діоксиду кремнію у вихідній руді. Наявність кварцу у вигляді тонких включень та зростків із магнетитом значно ускладнює процес розкриття корисного мінералу та негативно впливає на селективність магнітної сепарації. Саме цим пояснюється тенденція до підвищення вмісту пустої породи у концентраті за недостатнього або нерівномірного подрібнення.

Таблиця 1.1 – Мінералогічний склад руди ІлГЗК(на наступній сторінці)

Найменування різновидів залізистих кварцитів	Назва мінералів								
	магнетит	гематит	гідро-окисли	силікати	карбонати	кварц	сульфіди	апатит	сума мінералів
	Вміст мінералів, %								
Магнетитові	46,2	3,0	-	5,8	4,7	40,3	сл.	сл.	100
Силікат-магнетитові	36,5	0,3	-	24,9	4,4	33,6	0,2	0,1	100
Магнетит-силікатні	19,6	-	-	40,0	3,8	35,7	0,6	0,1	100
Гематит-магнетитові	41,3	10,4	-	9,2	4,0	31,1	сл.	сл.	100
Мартитові	3,6	42,9	2,1	-	-	51,4	-	-	100
Залізнослюдові	4,6	37,9	2,3	3,6	2,6	49,1	-	-	100

Хімічний склад магнетитових кварцитів ІлГЗК за мінеральними різновидностями наведено в табл. 1.2. Він характеризується вмістом загального заліза на рівні 28–32 %, при цьому значна частина заліза перебуває у магнітній формі, доступній для вилучення методом магнітної сепарації. Вміст діоксиду кремнію, як правило, перевищує 45 %, що зумовлює необхідність застосування багатостадійних схем збагачення з тонким подрібненням і переміщенням магнітного продукту.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад магнетитових кварцитів за мінеральними різновидностями

Різновидності	Компоненти %								
	Feзаг.	Feмагн.	FeO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P	S	CO ₂
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Магнетит-силікатні	29,07	17,67	20,58	19,01	2,63	45,60	0,09	0,25	2,67
Силікат-магнетитові	32,94	23,50	20,42	23,77	1,59	43,24	0,08	0,16	3,09
Гематит-магнетитові	37,86	29,14	14,55	38,36	0,31	37,93	0,03	0,07	2,75
Магнетитові	37,98	33,57	17,99	33,11	0,71	39,20	0,05	0,08	2,46
Залізнослюдко-матринові, мартинові	35,0	1,8	1,15	48,78	1,04	47,86	0,01	0,02	сл.
Мартит-залізнослюдкові, залізнослюдкові	35,2	0,6	0,35	49,89	0,83	47,64	0,01	0,01	сл.

Фізико-механічні властивості руд, зокрема висока міцність і абразивність, призводять до підвищених енергетичних витрат на стадії подрібнення та інтенсивного зносу робочих органів обладнання. Разом із тим, висока магнітна сприйнятливість магнетиту створює сприятливі умови для його ефективного вилучення за умови правильного вибору режимів магнітної сепарації.

Таким чином, мінералогічні та фізико-хімічні особливості магнетитових кварцитів ІнГЗК визначають складність процесів збагачення та потребують застосування технологічних заходів, спрямованих на забезпечення повного розкриття магнетиту і зниження вмісту кремнезему у готовому концентраті.

1.2 Аналіз діючої технологічної схеми збагачення магнетитових кварцитів ІнГЗК

Збагачення магнетитових кварцитів на ПрАТ «Інгuleцький гірничо-збагачувальний комбінат» здійснюється за багатостадійною технологічною схемою, яка включає операції дроблення, подрібнення, класифікації, магнітної сепарації, знешламлення та зневоднення. Така схема сформувалася з урахуванням мінералогічних особливостей руд та спрямована на поетапне розкриття зерен магнетиту з подальшим відокремленням пустої породи.

На стадії рудопідготовки виконується багатостадійне дроблення, у результаті якого крупність руди знижується до розмірів, придатних для подальшого подрібнення у кульових млинах. Дроблення здійснюється, як правило, у декілька стадій, що дозволяє зменшити енергетичні витрати на подальше подрібнення та знизити зношування млинів. Разом із тим, уже на цьому етапі формується початковий гранулометричний склад матеріалу, який впливає на ефективність наступних операцій.

Подрібнення магнетитових кварцитів на ІНГЗК здійснюється у кульових млинах мокрого подрібнення з використанням замкнених циклів класифікації. Основною метою подрібнення є досягнення такого гранулометричного складу, за якого забезпечується максимальне розкриття зерен магнетиту при мінімальному утворенні надлишкових шламів. Однак через значну мінливість властивостей вихідної руди стабільність гранулометричного складу продуктів подрібнення часто порушується, що негативно впливає на якість концентрату.

Класифікація продуктів подрібнення виконується за допомогою спіральних класифікаторів та гідроциклонів, які забезпечують розділення матеріалу за крупністю та повернення недорозкритих частинок у цикл подрібнення. Ефективність роботи класифікаційного обладнання значною мірою визначає стабільність живлення магнітних сепараторів. Порушення режимів класифікації призводить до надходження у збагачувальні операції як крупних недорозкритих зерен, так і надлишкової кількості тонкодисперсних частинок.

Основним збагачувальним процесом у технологічній схемі ІНГЗК є магнітна сепарація, яка здійснюється у декілька стадій із перечисткою магнітного продукту. На першій стадії магнітної сепарації відбувається відокремлення основної маси магнетиту від пустої породи. Отриманий магнітний продукт направляється на подальші стадії перечистки, де відбувається поступове зниження вмісту кремнезему та підвищення вмісту заліза у концентраті.

Разом із тим, ефективність магнітної сепарації значною мірою залежить від гранулометричного складу живлення, густини пульпи та напруженості магнітного поля. За наявності значної кількості шламів у живленні сепараторів селективність процесу знижується, а немагнітні частинки пустої породи механічно захоплюються магнітним продуктом. Це є однією з основних причин підвищеного вмісту пустої породи у магнетитовому концентраті в умовах ІНГЗК.

Для зменшення негативного впливу шламів у технологічній схемі передбачені операції знешламлення, які здійснюються перед окремими стадіями магнітної сепарації. Знешламлення дозволяє частково видалити тонкодисперсні фракції, однак його ефективність значною мірою залежить від стабільності режимів подрібнення та класифікації. За порушення цих режимів кількість шламів у системі зростає, що ускладнює отримання концентрату високої якості.

Зневоднення магнетитового концентрату здійснюється на згущувачах та фільтрах, де відбувається видалення надлишкової води та формування готового продукту, придатного для транспортування і подальшого використання у металургійному виробництві. Хоча операції зневоднення безпосередньо не впливають на хімічний склад концентрату, вони відіграють важливу роль у забезпеченні стабільності технологічного процесу та ефективності водно-шламового господарства.

Аналіз діючої технологічної схеми збагачення магнетитових кварцитів ІНГЗК свідчить, що основними чинниками, які обмежують підвищення якості магнетитового концентрату, є:

- нестабільність складу вихідної руди та її мінералогічна неоднорідність;
- коливання гранулометричного складу продуктів подрібнення;
- надлишкове утворення шламів;
- недостатня селективність магнітної сепарації за нестабільних режимів роботи обладнання.

У зв'язку з цим подальше підвищення якості магнетитового концентрату в умовах ІНГЗК можливе лише за умови комплексного підходу, який передбачає оптимізацію режимів подрібнення, класифікації, знешламлення та магнітної сепарації. Розробка таких заходів є предметом подальших розділів магістерської роботи.

1.3 Якісно-кількісна схема збагачення магнетитових кварцитів Інгuleцького ГЗК

Якісно-кількісна схема збагачення є важливим інструментом аналізу ефективності технологічного процесу та дозволяє оцінити розподіл корисного компонента і пустої породи між окремими продуктами збагачення. Для магнетитових кварцитів ПрАТ «Інгuleцький гірничо-збагачувальний комбінат» така схема відображає закономірності зміни вмісту заліза і кремнезему на різних стадіях технологічного процесу та дає змогу виявити основні джерела втрат магнетиту і підвищення вмісту пустої породи у концентраті.

Вихідна руда, що надходить на збагачувальну фабрику, характеризується відносно низьким вмістом заліза та значною часткою пустої породи. У середньому масова частка загального заліза у руді становить 28–32 %, тоді як вміст діоксиду кремнію перевищує 45 %. За таких умов отримання концентрату, що відповідає вимогам металургійного виробництва, можливе лише за рахунок багатоетапного збагачення з високим ступенем вилучення корисного компонента.

На стадії дроблення та подрібнення відбувається лише перерозподіл матеріалу за крупністю без істотної зміни хімічного складу продуктів. Однак уже на цьому етапі закладаються передумови для подальшого підвищення або зниження ефективності збагачення. Нерівномірність подрібнення призводить до формування двох небажаних фракцій: крупних недорозкритих зростків магнетиту з кварцом та надлишкової кількості тонкодисперсних шламів.

У процесі первинної магнітної сепарації відбувається вилучення основної маси магнетиту з подрібненої руди. Магнітний продукт цієї стадії характеризується підвищеним вмістом заліза, однак ще містить значну кількість пустої породи у вигляді механічно захоплених кварцових частинок. Немагнітний продукт, або хвости, містить основну

частину пустої породи, проте у ньому також зосереджена певна частка магнетиту, втрати якого зумовлені неповним розкриттям зерен і недостатньою ефективністю сепарації тонких класів.

Подальші стадії перечистки магнітного продукту спрямовані на поступове зниження вмісту кремнезему та підвищення якості концентрату. На кожній стадії перечистки відбувається додаткове видалення пустої породи, при цьому маса магнітного продукту зменшується, а вміст заліза зростає. Разом із тим, на кожній наступній стадії перечистки зростає ризик втрат корисного компонента з проміжними та немагнітними продуктами, що потребує ретельного вибору кількості стадій і режимів роботи сепараторів.

Згідно з якісно-кількісною схемою збагачення ІНГЗК, загальне вилучення заліза у магнетитовий концентрат становить у середньому 85–88 %. При цьому близько 70–75 % усіх втрат магнетиту припадає на хвости первинної магнітної сепарації та операції знешламлення. Це свідчить про вирішальну роль початкових стадій процесу у формуванні кінцевих показників збагачення.

Особливістю якісно-кількісної схеми магнетитових кварцитів ІНГЗК є значний вплив шламової фракції на розподіл корисного компонента. Тонкодисперсні частинки магнетиту частково переходять у шлами та виводяться з процесу разом із водою, що призводить до прихованих втрат заліза. Водночас шлами пустої породи можуть повторно залучатися до магнітного продукту внаслідок механічного захоплення, що підвищує вміст пустої породи у концентраті.

Аналіз якісно-кількісної схеми дозволяє зробити висновок, що основними резервами підвищення якості магнетитового концентрату в умовах ІНГЗК є:

- зменшення втрат магнетиту з хвостами первинної магнітної сепарації;

- обмеження утворення та винесення тонкодисперсних шламів;
- підвищення селективності процесу переміщення магнітного продукту;
- стабілізація режимів подрібнення та класифікації.

Таким чином, якісно-кількісна схема збагачення магнетитових кварцитів ІНГЗК чітко демонструє взаємозв'язок між мінералогічними властивостями руди, режимами роботи обладнання та якістю кінцевого концентрату. Результати аналізу цієї схеми слугують підґрунтям для розробки технологічних заходів, спрямованих на зниження вмісту пустої породи та підвищення вмісту заліза у магнетитовому концентраті.

1.4 Водно-шламова схема збагачення магнетитових кварцитів

Водно-шламова схема є невід'ємною складовою технологічного процесу збагачення магнетитових кварцитів та відіграє важливу роль у забезпеченні стабільності роботи збагачувальної фабрики, якості кінцевого концентрату та раціонального використання водних ресурсів. Для умов ПрАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат» організація водно-шламового господарства має особливе значення у зв'язку з великими обсягами перероблюваної руди та значною кількістю тонкодисперсних продуктів, що утворюються у процесі подрібнення.

У процесі збагачення магнетитових кварцитів вода використовується практично на всіх стадіях технологічної схеми: при мокрому подрібненні у кульових млинах, класифікації продуктів подрібнення, магнітній сепарації, знешламленні та зневодненні концентрату. Вода виконує функцію транспортного середовища для мінеральних частинок, забезпечує ефективність розділення за крупністю та магнітними властивостями, а також сприяє зменшенню пилоутворення і зносу обладнання.

У результаті інтенсивного подрібнення магнетитових кварцитів утворюється значна кількість тонкодисперсних частинок, які формують шламову фракцію. До складу шламів входять як частинки пустої породи, так і тонкі зерна магнетиту, що не були повністю вилучені у процесі магнітної сепарації. Наявність такої фракції у технологічному циклі негативно впливає на селективність процесів збагачення та є однією з причин підвищеної вмісту пустої породи у концентраті.

Водно-шламова схема ІНГЗК передбачає відведення шламових вод у систему згущення, де відбувається осадження твердих частинок та освітлення оборотної води. Освітнена вода повертається у технологічний цикл та використовується повторно, що дозволяє зменшити споживання свіжої води та знизити екологічне навантаження на навколишнє середовище. Згущені шлами, у свою чергу, направляються у шламосховища для подальшого складування.

Ефективність роботи згущувачів значною мірою визначає стабільність водного режиму збагачувальної фабрики. За недостатньої ефективності згущення у технологічний цикл повертається вода з підвищеним вмістом твердих частинок, що призводить до накопичення шламів у системі, погіршення умов магнітної сепарації та зростання вмісту пустої породи у концентраті. У таких умовах особливо важливим є контроль за концентрацією твердого у оборотній воді та своєчасне коригування режимів роботи згущувачів.

Особливу роль у водно-шламовій схемі відіграють операції знешламлення, які застосовуються для видалення надлишкових тонкодисперсних частинок перед магнітною сепарацією. Знешламлення дозволяє зменшити механічне захоплення пустої породи магнітним продуктом і підвищити селективність розділення. Проте надмірне знешламлення може призводити до втрат тонких зерен магнетиту, що негативно позначається на загальному вилученні заліза.

Для умов ІНГЗК характерною є необхідність пошуку компромісу між зниженням вмісту пустої породи у концентраті та мінімізацією втрат магнетиту зі шламами. Це вимагає оптимізації режимів подрібнення, класифікації та знешламлення з урахуванням мінералогічних особливостей руди та поточного стану водно-шламового господарства.

Аналіз водно-шламової схеми збагачення магнетитових кварцитів ІНГЗК свідчить, що основними напрямками її удосконалення є:

- підвищення ефективності згущення шламових вод;
- зниження надходження надлишкових шламів у технологічний цикл;
- стабілізація якості оборотної води;
- раціональне поєднання операцій знешламлення та магнітної сепарації.

Таким чином, водно-шламова схема збагачення є одним із ключових факторів, що визначають якість магнетитового концентрату та ефективність роботи збагачувальної фабрики ІНГЗК в цілому. Її оптимізація створює необхідні передумови для реалізації заходів із підвищення якості концентрату, які будуть детально розглянуті у спеціальній частині магістерської роботи.

РОЗДІЛ 2

ВЕДЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗБАГАЧЕННЯ МАГНЕТИТОВИХ КВАРЦИТІВ В УМОВАХ РЗФ-1 (ІНГЗК)

2.1 Вимоги до якості продукції, що випускається

Подрібнення руди, яка подається на РЗФ-1, здійснюється до крупності не менше 95 % класу мінус 0,05 мм. Така крупність подрібнення та збагачення за схемою з режимами, за умови подачі шихти рекомендованої якості забезпечує виробництво концентрату з масовою часткою заліза не менше 63,7 % і вологістю не вище 10,5 % відповідно до технічних умовами. Відхил від базового значення масової частки заліза мінус 1,1 та масової частки води плюс 1,1 %. [1]

2.2 Вимоги до сировини

На збагачувальну фабрику № 1 з кульовим подрібненням подається руда, що пройшла чотири стадії дроблення у відкритому циклі. Вміст класу плюс 20 мм – до 12,0 %, масова частка заліза магнетитового у вихідній руді від 20,0 % до 23,5 %. [1]

Сировиною для збагачення є залізисті кварцити Інгuleцького родовища, які представляють собою наступні мінеральні різновиди: гематито-магнетитові, магнетитові, силікатно-магнетитові та магнетито-силікатні кварцити. Основним рудним мінералом є магнетит, що має сильні магнітні властивості. Нерудними мінералами являються кварц та залізовмісні силікати. Незначний обсяг становлять гематит, гідроксиду заліза (до 5,0 %) та карбонати (до 6,0 %), у вигляді рідкісних включень присутні апатити та сульфід.

2.3 Технологія виробництва

До складу рудо-збагачувальної фабрики № 1 кульового подрібнення входить десять технологічних секцій та надбункерна дільниця. Технологічна схема кожної секції включає: операцію попереднього збагачення (суха магнітна сепарація), три стадії подрібнення, три стадії класифікації, п'ять стадій мокрої магнітної сепарації, два прийоми знешламлення та зневоднення.

2.3.1 Надбункерна ділянка

Дроблена руда крупністю до 12,0 % класу плюс 20 мм з дробильної фабрики надходить на конвеєра О-3 (права сторона) та О-4 (ліва сторона) надбункерної ділянки корпусу РЗФ-1. Розподіл руди по бункерах здійснюється самохідними візками (автостелами) по два на кожен конвеєр. Загальна місткість бункера дробленої руди – 150 253 тонни, об'єм мобільної руди – 130 022 тонни. Заповнення бункерів здійснюється до 85% їх ємності. Технічна характеристика конвеєрів О-3, О-4 наведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічна характеристика конвеєрів О-3, О-4

Параметри	О-3	О-4
Довжина конвеєра, м	580	580
Ширина стрічки, мм	1600	1600
Швидкість руху стрічки, м/с	2,0	2,0
Продуктивність, т/год	3500	3500
Електродвигун асинхронний АКЗ-13-37-6 із фазовим ротором закритого виконання:		
- потужність, кВт	500	500
- напруга, В	6000	6000
- частота обертання, об/хв	985	985

2.3.2 Дільниця подачі руди

З бункерів надбункерної дільниці подрібнена руда самопливом через живильники надходить на конвеєра (КСС) дільниці подачі руди для транспортування на операцію попереднього збагачення (СМС).

Технічна характеристика конвеєрів КСС наведена у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічна характеристика конвеєрів КСС

Параметри	Конвеєр КСС горизонтальний	Конвеєр КСС похилий
Довжина конвеєра, м	20,3	16,224
Ширина стрічки, мм	1000	1000
Швидкість руху стрічки, м/с	0-0,3	0,6
Продуктивність, т/год	0-125	125
Потужність електродвигуна, кВт	14	18,5
Тип електродвигуна	П - 62	AIP-180M6Y3
Тип редуктора	ЦДН-35	1ЦЗУ-250-63-21
Тип приводу	регульований	Нерегульований

2.3.3 Операція попереднього збагачення

Операцію попереднього збагачення мілкодробленої руди здійснюють методом сухої магнітної сепарації на сепараторах типу ПБКС-90/120 (два на секцію). Магнітні сепаратори розташовані у схемі безпосередньо перед млинами першої стадії подрібнення.

Магнітний продукт сепараторів надходить до млинів першої стадії, а хвости через проміжні бункери, що накопичують, вивантажуються на конвеєри Щ-1 (секції № 1-4), Щ-2 (секції № 5-8) та Щ-3 (секції № 9-10), звідки через збірний конвеєр 3Щ транспортують на склад відходів СМС [1].

Технічна характеристика конвеєрів СМС наведена у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічна характеристика конвеєрів сухої магнітної сепарації Щ-1, Щ-2, Щ-3, 3Щ.

Параметр	Щ-1	Щ-2	Щ-3	3Щ
Довжина конвеєра, м	95,0	186,0	130,5	186,0
Ширина стрічки, мм	1200,0	1200,0	1000,0	1200,0
Швидкість руху стрічки, м/с	2,0	2,0	1,12	2,0
Продуктивність, т/год	300	200	80	300
Потужність електродвигуна, кВт	75	37	30	132
Тип електродвигуна	4AMHY 250M6Y3	4AMHY 25OS8	4МУ- 225M8	4A315M6
Тип редуктора	PM-1000	КЦ1- 500-25- 42Ц	КЦ1- 500-28- 42	КЦ2 1300

Технічна характеристика сепаратора ПБКС-90/120 наведена у табл. 2.5.

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 роботи сухої магнітної сепарації за вмістом магнетитового заліза: до 21,5 %, від 21,6 % до 23,5 %, понад 23,5 %.

Таблиця 2.5 – Технічна характеристика сепаратора ПБКС-90/120

Параметр	Сепаратор ПБКС-90/250
Розмір барабану: - діаметр робочої частини, мм - довжина барабану з ребордами, мм	900 1270
Число барабанів, шт.	1
Магнітна індукція на поверхні барабану, Тл	0,13-0,14
Частота обертання барабану, об/хв	45,0
Номінальна потужність електродвигуна, кВт	5,5
Кут охопту магнітної системи, градус	102

Для кожного режиму умовно визначено положення ділянки хвостів при постійних обертах барабану та положенні магнітної системи. Режим роботи сепараторів ПБКС-90/120 наведено у табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Режим роботи сепараторів ПБКС-90/120

Найменування технологічних показників і технічних параметрів	Режими вмісту магнітного заліза		
	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 барабана, об/хв	45,0	45,0	45,0
Положення магнітної системи, градус	10–15	10–15	10–15
Продуктивність секції за вихідною рудою, т/год	225-235	215-225	205-215
Густина зливу класифікатора, г/л	1900–2000	1800–1900	1600–1700
Хвости СМС: вихід, % Фезаг: Фемагн:	понад 10 15,95–18,55 3,4–5,0	7–10 15,00–17,5 5,0–7,0	5–7 16,0–20,65 7,0-9,0
Приріст магнетитового заліза в зливні класифікатора, %	1,5–1,55	1,0–1,05	0,8–0,75

2.3.4 Подрібнення та класифікація

2.3.4.1 На першу стадію подрібнення надходить магнітний продукт сухої магнітної сепарації. Подрібнення руди здійснюється у кульових млинах МКР-3,6×5,0 з робочим об'ємом 45 м³ (дві на секцію), що працюють у замкнутому циклі з двоспіральним класифікатором 2 КСН 2,4×12,5А. Густина пульпи у млинах першої стадії підтримується в межах від 2,5 кг/л до 2,7 кг/л (від 85 % до 88 % твердого). Така густина забезпечується витратою води на 1 тону руди, що переробляється, в кількості від 0,09 м³ до 0,23 м³. Густина зливу класифікатора підтримується в межах від 1,6 кг/л до 2,0 кг/л.

Продуктивність млина становить від 112,5 т/год до 117,5 т/год та визначається за допомогою конвеєрних ваг. Вміст класу мінус 0,05 мм у зливі класифікатора від 38,0 % до 45,0 %. Циркуляційне навантаження при цьому становить від 60,0 % до 120,0 %.

Заданий режим роботи першої стадії подрібнення визначається стабільним кульовим завантаженням та водним режимом. Первинне кульове завантаження млина МКР-3,6×5,0 складає 90 т з наступним гранулометричним складом:

а) кулі, що були у вжитку, але не втратили форму: - діаметром 120 мм – 57,0 т ± 5,0 %; - діаметром 60 мм – 9,0 т ± 5,0 %;

б) нові кулі діаметром 120 мм – 24 т ± 5,0 %. Довантаження млинів здійснюється кулями діаметром 120 мм (можливе довантаження кулями діаметром 120 мм, що були у вжитку, але не втратили форму). Ступінь заповнення млинів кулями від 43 % до 45 % робочого об'єму млинів.

Питома продуктивність млинів за класом мінус 0,05 мм становить від 0,817 т/(м³ · год) до 1,06 т/(м³ · год).

Технічну характеристику млинів МКР-3,6×5,0 наведено у табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Технічна характеристика млинів МКР -3,6×5,0

Тип млина	МКР-3,6×5,0
Розмір барабану, м	3,6×5,0
Робочий об'єм, м ³	45
Швидкість обертання барабану, с ⁻¹ , (об/хв)	0,302, (18,12)
Потужність двигуна, кВт	1250
Кульове завантаження, т	90

Технічна характеристика спірального класифікатора 2 КСН 2,4×12,5А наведена в табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Технічна характеристика спірального класифікатора

Довжина спіралі, м не більше	12,5
Діаметр спіралі, м	2,4
Кут нахилу ванни, градус	17
Частота обертання спіралі, с ⁻¹ , (об/хв)	0,059, (3,54)
Потужність електродвигуна, кВт	28-30
Частота обертання двигуна, с ⁻¹ , (об/хв)	16,33, (968)

2.3.4.2 Друга стадія подрібнення приймає проміжний продукт I та II стадій мокрої магнітної сепарації та здійснюється у млинах МКЦ-4,0×5,5 (по одному на секцію) з робочим об'ємом від 60 м³ до 63 м³ (з урахуванням зносу футерування), працюючих у замкнутому циклі з гідроциклонами другої стадії класифікації діаметром 710 мм.

Подрібнення в циклі млин-гідроциклон ведеться до крупності від 75 % до 85 % класу мінус 0,05 мм. Така крупність подрібнення

досягається за рахунок дотримання робочих параметрів гідроциклонів і насосів, оптимального заповнення кулями від 45 % до 50 % робочого об'єму млинів, підтримання заданого водного режиму.

Густина пульпи в млині становить від 2,5 кг/л до 2,7 кг/л або від 79 % до 82 % твердого, густина зливу гідроциклону від 1,15 кг/л до 1,18 кг/л або від 16 % до 21 % твердого. Такий водний режим підтримується системою автоматичного регулювання рівня зумпфу. У роботі має бути два гідроциклони, кожен з яких задіяний від насосів ГРК 400/40 та VASA 507-150. Первинне кульове завантаження млинів $130 \text{ т} \pm 5,0 \%$. Гранулометричний склад куль первинного завантаження:

- кулі діаметром 60 мм – $45,0 \text{ т} \pm 5,0 \%$;
- кулі діаметром 40 мм – $45,0 \text{ т} \pm 5,0 \%$;
- кулі, що були у вжитку, але не втратили форму діаметром від 30 мм до 60 мм – $40,0 \text{ т} \pm 5,0 \%$.

Довантаження здійснюється кулями діаметром 60 мм і 40 мм по черзі, дотримуючись залежності 50 % на 50 % куль кожного діаметра.

2.3.4.3 На третю стадію подрібнення надходить проміжний продукт III та IV стадій мокрої магнітної сепарації. Подрібнення здійснюється у млинах МКЦ-4,0×5,5 об'ємом 60-63 м³ (по одному на секцію), що працюють у замкнутому циклі з гідроциклонами третьої стадії класифікації діаметром 710 мм.

Подрібнення у циклі млин-гідроциклон ведеться до крупності не менше 95 % класу мінус 0,05 мм. Така крупність подрібнення досягається за рахунок підтримки заданого водного режиму, оптимального заповнення млина кулями діаметром 40 мм, 30 мм, 25 мм від 33 % до 49 % робочого об'єму млинів та дотримання робочих параметрів гідроциклонів.

Густина пульпи в млині становить від 2,0 кг/л до 2,4 кг/л або від 64 % до 72 % твердого. Густина зливу гідроциклонів складає від 1,12 кг/л до 1,17 кг/л або від 14 % до 18 % твердого.

Такий водний режим підтримується системою автоматичного регулювання рівня зумпфу. У роботі має бути два гідроциклони, кожен з яких задіяний від насосів ГРК 400/40 та VASA 507-150.

У разі застосування куль діаметром 40 мм ступінь заповнення має становити 47-49 %. Первинне завантаження складає 137 т $\pm$ 5,0%. Гранулометричний склад куль первинного завантаження:

- кулі діаметром 40 мм нові – 90,0 т $\pm$ 5,0 %;
- кулі діаметром 40 мм, що були у вжитку, але не втратили форму – 47,0 т $\pm$ 5,0 %.

У разі застосування куль діаметром 30 мм ступінь заповнення має становити 38-40 %. Первинне завантаження складає 111,0 т $\pm$ 5,0 %. Гранулометричний склад куль первинного завантаження:

- кулі діаметром 30 мм нові – 73,0 т $\pm$ 5,0 %;
- кулі діаметром 30 мм, що були у вжитку, але не втратили форму – 38,0 т $\pm$ 5,0 %.

У разі застосування куль діаметром 25 мм ступінь заповнення має становити 33-35 %. Первинне завантаження складає 97,0 т $\pm$ 5,0 %. Гранулометричний склад куль первинного завантаження:

- кулі діаметром 25 мм нові – 64,0 т $\pm$ 5,0 %;
- кулі діаметром 25 мм, що були у вжитку, але не втратили форму – 33,0 т $\pm$ 5,0 %.

Технічну характеристику кульового млина МКЦ-4,0×5,5 наведено у табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Технічна характеристика млинів МКЦ-4,0×5,5

Тип млина, стадія подрібнення	II стадія МКЦ-4,0×5,5	III стадія МКЦ-4,0×5,5
Розмір барабана, м не більше	4,0×5,5м	4,0×5,5
Робочий об'єм барабана, м ³	60-63	60-63
Швидкість обертання барабану, с ⁻¹ (об/хв)	0,287 (17,2)	0,287 (17,2)
Потужність двигуна, кВт	2000	2000
Завантаження тілами, що мелють, т	130 ± 0,5 %	137 ± 0,5 % 111 ± 0,5 % 97 ± 0,5 %

Режими та технологічні показники роботи гідроциклонів наведені в табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Технічна характеристика гідроциклонів ГЦ-710

Стадія	II ГЦ-710	II ГЦ-710
Розмір насадок, мм:		
- живлення	100×180	100×180
- зливна	150	150
- піскова	90	76
Тиск на вході ГЦ, кгс/см ²	1,8-2,0	1,8-2,0
Густина продукту:		
- зливу, кг/л (% твердого)	1,15-1,18 (16-21)	1,12-1,17 (14-18)
- пісків, кг/л (% твердого)	2,5-2,7 (79-82)	2,0-2,4 (64-74)
Вміст класу мінус 0,05 мм, %:		
- у зливі	75-85	95-97
- у пісках	12-20	60-74

Технічні характеристики насосів ГРК 400/40 наведено у табл. 2.11.

Таблиця 2.11 – Технічні характеристики насосів ГРК 400/40

Параметри	Значення
Продуктивність, м ³ /год	400
Подача, м	40
Частота обертання, об/хв	1000
Допустимий кавітаційний запас, не більше м	5,0
Потужність, не більше кВт	132
ККД, не менше %	56
Діаметр робочого колеса, мм	515
Габаритні розміри насоса, мм	
- довжина	1750
- ширина	965
- висота	930
Маса насоса, кг	1147

Технічні характеристики насосів VASA 507-150 та VASA 455-100 наведено у табл. 2.12.

2.4 Мокра магнітна сепарація та знешламлення

2.4.1 Магнітне збагачення здійснюється на сепараторах типу:

- ПБМ П 90/250 – I стадія I прийом мокрої магнітної сепарації;
- ПБМ ПП 90/250 – I стадія II прийом, III стадія I та II прийоми, V стадія, I та II прийоми мокрої магнітної сепарації;
- ПБМ П 120/300 – I, II та IV стадії мокрої магнітної сепарації.

Технічна характеристика сепараторів ПБМ наведена у табл. 2.13.

Таблиця 2.12 – Технічні характеристики насосів VASA 507-150 та VASA 455-100

Параметри	VASA 507-150	VASA 455-100
	Значення	
Продуктивність, м ³ /год	350	110
Подача, м	28,7	14,2
Частота обертання, об/хв	879	641
Питома густина, кг/л	1,998	1,761
Потужність, не більше кВт	80,2	11,7

Таблиця 2.13 – Технічна характеристика сепараторів ПБМ

Стадія	I (I прийом)	I (II прийом)	III, V	I, II, IV
Тип сепаратора	ПБМ П 90/250	ПБМ ПП 90/250	ПБМ ПП 90/250	ПБМ П 120/300
Тип ванни	протиточна	напів- протиточна	напів- протиточна	протиточна
Розмір барабану, м не більше	0,9 x 2,5	0,9 x 2,5	0,9 x 2,5	1,2 x 3,0
Магнітна індукція на поверхні футерування барабану, Тл не менше	0,1482	0,1319	0,1319	0,1319
Частота обертання барабану, об/хв	22-26	22-26	22-26	18-24
Робочий зазор, мм	30-35	30-35	30-35	30-35

2.4.2 Перша стадія магнітної сепарації здійснюється на чотирьох сепараторах у два прийоми з перечисткою магнітного продукту та отриманням промпродукту і відвальних хвостів (допускається комбінована схема роботи сепараторів ПБМ П 120/300 та ПБМ ПП 90/250). Живленням першої стадії магнітної сепарації є злив класифікатора. Оптимальна густина живлення першої стадії магнітної сепарації від 1,35 кг/л до 1,50 кг/л (від 37 % до 47 % твердого). Така щільність живлення підтримується подачею додаткової води в пульпозподільювачі першої стадії магнітної сепарації.

2.4.3 Друга стадія магнітної сепарації здійснюється на двох сепараторах в один прийом з отриманням промпродукту та відвальних хвостів. Живленням другої стадії магнітної сепарації є злив млина II стадії подрібнення. Оптимальна густина живлення другої стадії магнітної сепарації від 1,6 кг/л до 1,8 кг/л. Така щільність живлення підтримується подачею додаткової води в пульпозподільювач другої стадії магнітної сепарації.

2.4.4 Третя стадія магнітної сепарації здійснюється на чотирьох сепараторах у два прийоми з перечисткою магнітного продукту та отриманням промпродукту і відвальних хвостів. Живленням третьої стадії магнітної сепарації є знешламлений у дешламаторах МД-9А злив гідроциклонів II стадії. Оптимальна густина живлення сепараторів від 1,35 кг/л до 1,40 кг/л (від 33 % до 38 % твердого). Така щільність живлення підтримується подачею додаткової води в перший промпродуктовий зумпф.

2.4.5 Четверта стадія магнітної сепарації здійснюється на двох сепараторах в один прийом з отриманням промпродукту та відвальних хвостів. Живленням четвертої стадії магнітної сепарації є злив млина III стадії подрібнення. Оптимальна густина живлення від 1,45 кг/л до 1,60 кг/л (від 41 % до 45 % твердого). Така щільність живлення підтримується

подачею додаткової води в пульпозподілювач четвертої стадії магнітної сепарації.

2.4.6 П'ята стадія магнітної сепарації здійснюється на чотирьох сепараторах у два прийоми з перечисткою магнітного продукту та отриманням промпродукту і відвальних хвостів. Живленням п'ятої стадії магнітної сепарації є знешламлений у дешламаторах МД-9А злив гідроциклонів III стадії класифікації. Оптимальна густина живлення сепараторів від 1,25 кг/л до 1,33 кг/л (від 26 % до 30 % твердого). Така щільність живлення підтримується подачею додаткової води в другий промпродуктовий зумпф.

2.4.7 Ефективність операції мокрої магнітної сепарації забезпечується за рахунок:

- рівномірного розподілу води змивних пристроїв по всій довжині барабанів сепараторів;
- точної установки кутів нахилу магнітних систем; - підтримання встановленого даною інструкцією режиму густини живлення сепараторів; - контролю за геометричними розмірами піскових насадок;
- цілісності футерування барабанів сепараторів.

2.4.8 Перший прийом знешламлення здійснюється в одному дешламаторі МД-9А. На знешламлення надходить злив гідроциклонів II стадії класифікації. В результаті дешламації виділяється проміжний продукт (піски) та відвальні хвости (злив). Питоме навантаження на 1 м² становить від 1,8 т/год до 2,0 т/год. Густина живлення від 1,180 кг/л до 1,11 кг/л або від 10 % до 13 % твердого. Густина пісків від 1,7 кг/л до 1,8 кг/л або від 55 % до 60 % твердого. Напруженість магнітного поля у зазорі між шайбами повинна становити не менше $55,0 \pm 3$ кА/м.

2.4.9 Другий прийом знешламлення здійснюється в одному дешламаторі МД-9А. На знешламлення надходить злив гідроциклонів III стадії класифікації. В результаті дешламації виділяється проміжний продукт (піски) та відвальні хвости (злив). Питоме навантаження на 1 м²

становить від 1,5 т/год до 1,85 т/год. Густина живлення від 1,050 кг/л до 1,080 кг/л або від 6 % до 11 % твердого. Густина пісків від 1,6 кг/л до 1,8 кг/л або від 48 % до 57 % твердого. Напруженість магнітного поля у зазорі між шайбами повинна становити не менше $55,0 \pm 3$ кА/м.

Технічна характеристика дешламаторів МД-9А наведена в табл. 2.14.

Таблиця 2.14 – Технічна характеристика дешламаторів МД-9А

Параметри	Значення
Продуктивність по вихідному твердому, не менше т/год	220
Внутрішній діаметр чану, мм	9000 ± 30
Площа осадження, м ²	63
Потужність двигуна приводу, кВт	3,0
Габаритні розміри, мм не більше:	
- довжина	9440
- ширина	9200
- висота	8300
Маса, не більше кг	33970
Напруженість магнітного поля у середині робочого зазору, не менше кА/м	55 ± 3
Частота обертання граблів, об/хв	0,78

2.5 Зневоднення концентрату

Процес зневоднення включає операції згущення та фільтрування.

2.5.1 На згущення надходить магнітний продукт п'ятої стадії мокрої магнітної сепарації. Згущення здійснюється у дешламаторах типу МД-5А – по два на секцію (на секціях № 6, № 8 та № 9 встановлено по

одному дешламатору). В результаті згущення отримується згущений продукт (піски), що надходить на ділянку фільтрування, а злив повертається до технологічного процесу.

Технічна характеристика дешламаторів МД-5А наведена в табл. 2.15.

Таблиця 2.15 – Технічна характеристика дешламаторів МД-5А

Параметри	Значення
Продуктивність по вихідному твердому, т/год не менше	60
Внутрішній діаметр чану, мм	5000
Площа осадження, м ²	19,6
Потужність двигуна приводу, кВт	1,5
Габаритні розміри, мм не більше	
- довжина	5400
- ширина	5250
- висота	5250
Питома витрата електроенергії, кВт г/т не більше	0,025
Маса, кг не більше	8200
Напруженість магнітного поля у середині робочого зазору, кА/м не менше	55 ± 3

2.5.2 Для зневоднення концентрату встановлено чотири вакуум-фільтри типу ДЗ-100 (на секції № 8 – три вакуум-фільтри).

Для створення вакууму в магістралі використовують водокільцеві вакуумнасоси ВВН-300.

Для створення тиску повітря в системі віддувки застосовують повітрорудки типу ТП-80

Технічна характеристика вакуум-фільтрів наведена у табл. 2.16.

Таблиця 2.16 – Технічна характеристика вакуум-фільтрів ДЗ-100

Параметри	Значення
Площа поверхні фільтрування, м ²	100
Діаметр дисків, м	2,5
Встановлена потужність, кВт	4,75
Робочий тиск, МПа	0,085
Число дисків, шт.	12
Кількість секторів, шт.	144
Число розподільних головок, шт.	2
Витрата фільтрувальної тканини на екіпірування одного вакуум-фільтра, м ²	158,76
Питома продуктивність концентрату, т/м ²	0,25-0,4
Габаритні розміри, мм	
- довжина	7400
- ширина	4000
- висота	4100
Маса (без приводів), кг	15180

Технічна характеристика вакуум-насосів наведена у табл. 2.17.

Для ефективної роботи вакуум-фільтрів необхідно підтримувати:

- величину вакууму у магістралі не менше 0,078 МПа, не більше 0,081 МПа;

- величину вакууму на вакуум-фільтрі від 0,076 МПа до 0,081 МПа (допускається зниження вакууму під час припрацювання тканини після заміни від 0,05 МПа до 0,06 МПа);

- тиск повітря на віддувку кека від 0,035 МПа до 0,04 МПа;

- витрата повітря від 1,3 м³ /хв на 1 м² поверхні фільтрування;

- густина живлення від 1,5 кг/л до 1,8 кг/л або від 48 % до 54 % твердого;

- задовільний стан фільтрувальної тканини, час роботи якої до наступної заміни має становити: жовтень-березень 650 (± 50) годин, без застосування реагенту, та квітень-вересень 400 (± 50) годин із застосуванням ПАР.

Таблиця 2.17 – Технічна характеристика вакуум-насосів ВВН-300

Параметри	Значення
Тип водокільцевої вакуумної установки	ВВН-300
Габаритні розміри:	
- довжина, мм	3200
- ширина, мм	1800
- висота, мм	1950
Електродвигун:	
- потужність, кВт	630
- напруга, В	6000
Число оборотів, об/хв	250
Продуктивність, м ³ /год	340
Тиск:	
-початковий, МПа	0,02
-кінцевий, МПа	0,1013
Витрата води, л/с	13,27
Маса, кг	12600

Технічна характеристика повітродувок наведена у табл. 2.18.

Таблиця 2.18 – Технічна характеристика повітродувки ТП-80

Параметри	Значення
Тип устаткування	Турбокомпресор повітряний ТП-80-1,6
Об'ємна продуктивність на вході, м³/с	1,67
Кінцевий абсолютний тиск на виході, МПа	0,163
Початковий абсолютний тиск повітря, МПа	0,1
Початкова температура повітря, °С	20
Частота обертання ротора, об/хв	3000
Споживча потужність, кВт	128
Електродвигун: 4AMH280S2 – потужність, кВт	160
Габаритні розміри:	
- довжина, мм	2870
- ширина, мм	1450
- висота, мм	1530
Вага без електродвигуна, кг	4390

2.5.3 На секціях з виробництва товарного концентрату № 1, № 2, № 3, № 4, № 5, № 6, № 7, № 8, № 9, № 10 у технологічну схему фільтрації можлива подача реагенту Clearon S 954 (або іншого аналога, який пройшов випробування). Точки подачі – дешламатор МД-5А та концентратний зумпф. Витрата поверхнево-активної речовини від 65 г/т до 72 г/т забезпечує зниження вологості в товарному концентраті до 10,0 %. Зневоднений концентрат розвантажується на стрічковий конвеєр (ЗБ). Технічна характеристика збірних конвеєрів наведена у табл. 2.19 .

Таблиця 2.19 – Технічна характеристика збірних конвеєрів ЗБ-1, ЗБ-2, ЗБ-3, ЗБ-4, ЗБ-5

Параметри	Значення
Довжина, м	92,5
Ширина стрічки, мм	1000
Номінальна продуктивність, т/год	300
Тип стрічки	гумово-тканинна
Швидкість руху стрічки, м/с	2,0
Тип електродвигуна	АО 82-6
Потужність електродвигуна, кВт	28
Частота обертання, об/хв	950
Тип редуктора	КЦ1-500-28-41
Передаточне число	28

Технологія збагачення магнетитових кварцитів з масовою часткою заліза загального до 31,8 % і магнетитового до 23,5 % (рис. 2.1, 2.2, 2.3) продуктивності секції від 216 т/год до 235 т/год за вихідною рудою забезпечує отримання концентрату з наступними показниками:

- масова частка заліза у концентраті не менше 64,8%;
- масова частка вологи у концентраті не більше 10,0%;
- масова частка класу мінус 0,05 мм не менше 95,0%.

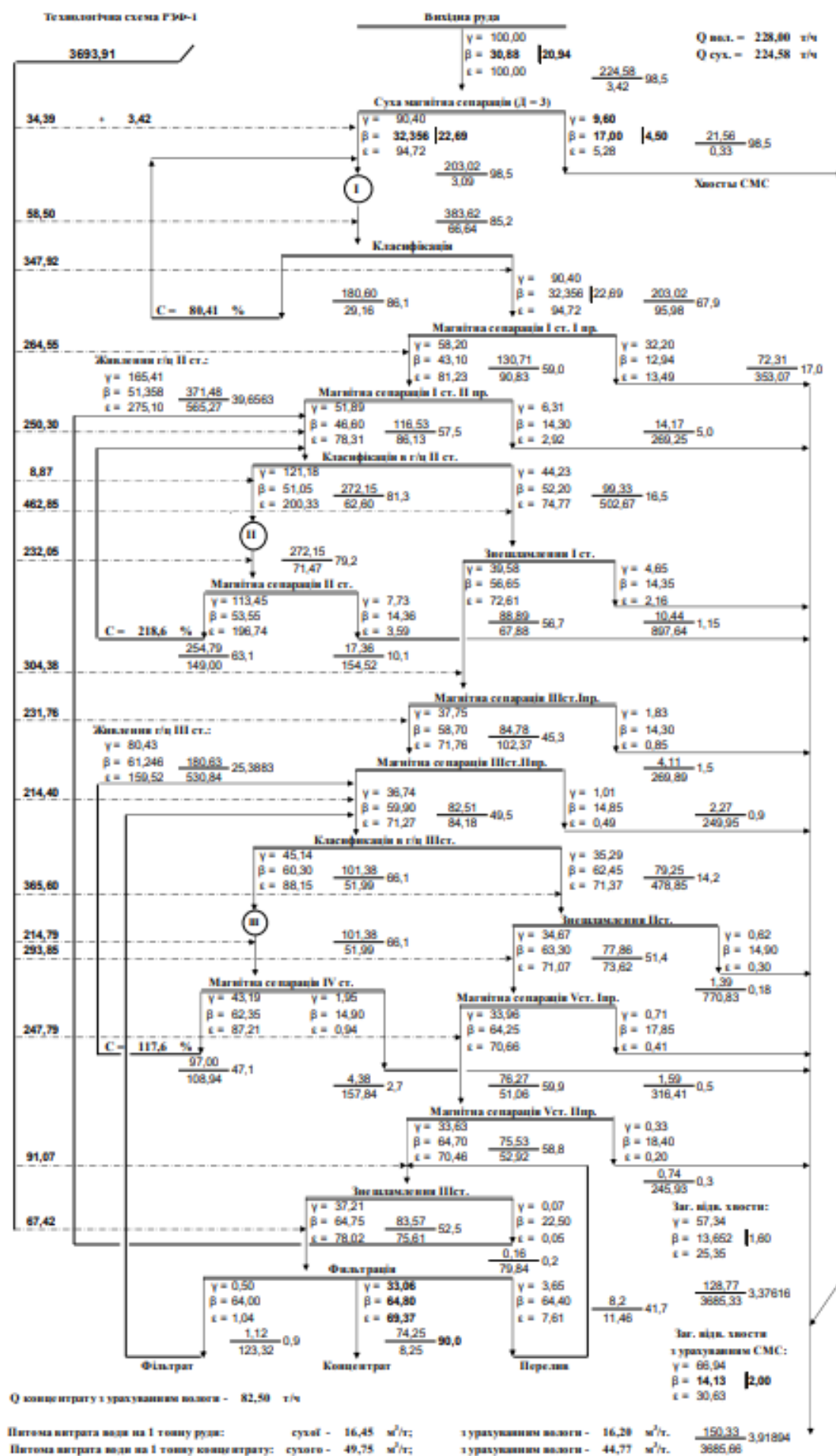


Рисунок 2.1 – Технологічна схема РЗФ-1

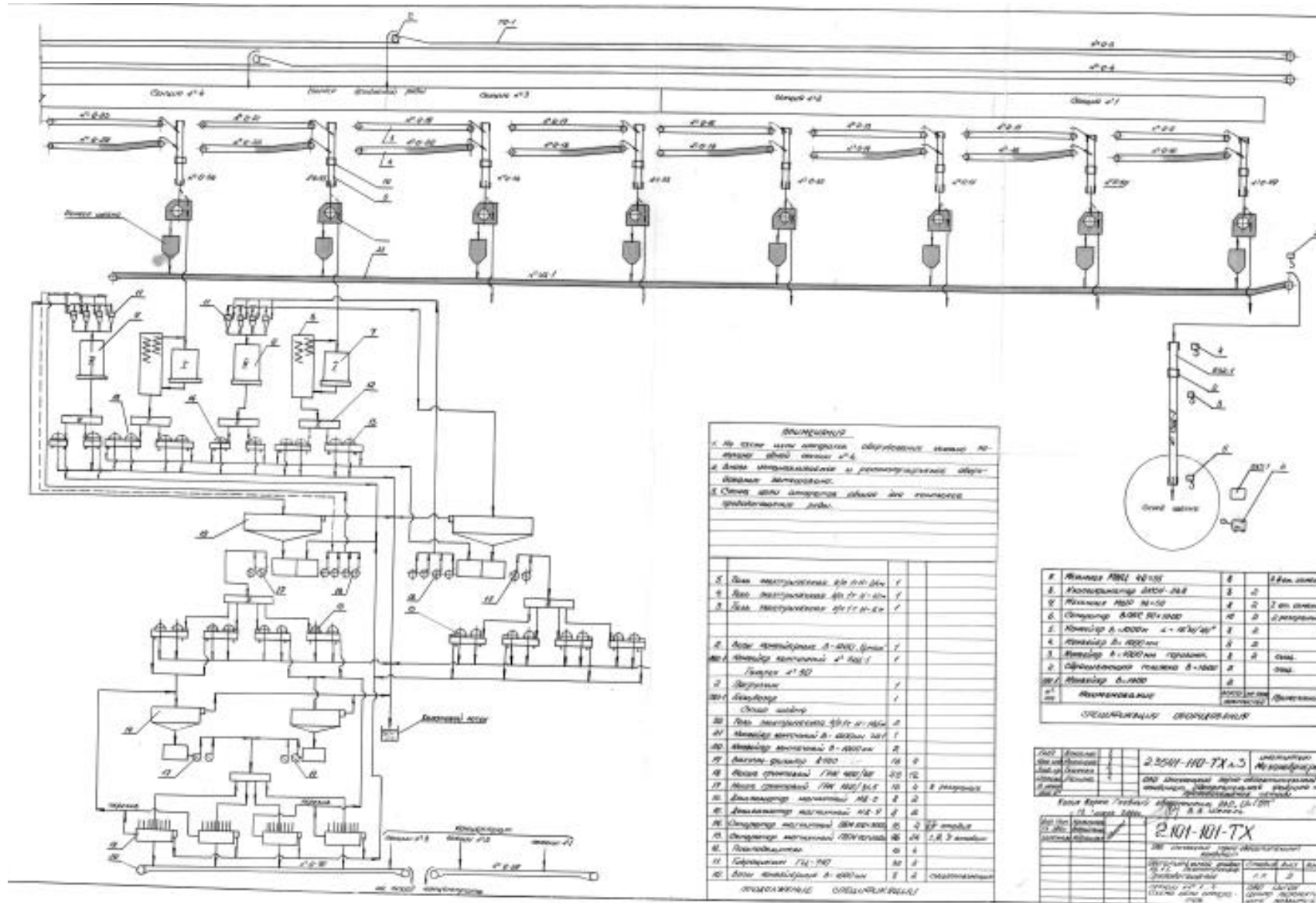


Рисунок 2.2 – Схема ланцюгів апаратів РЗФ-1 (1 частина)

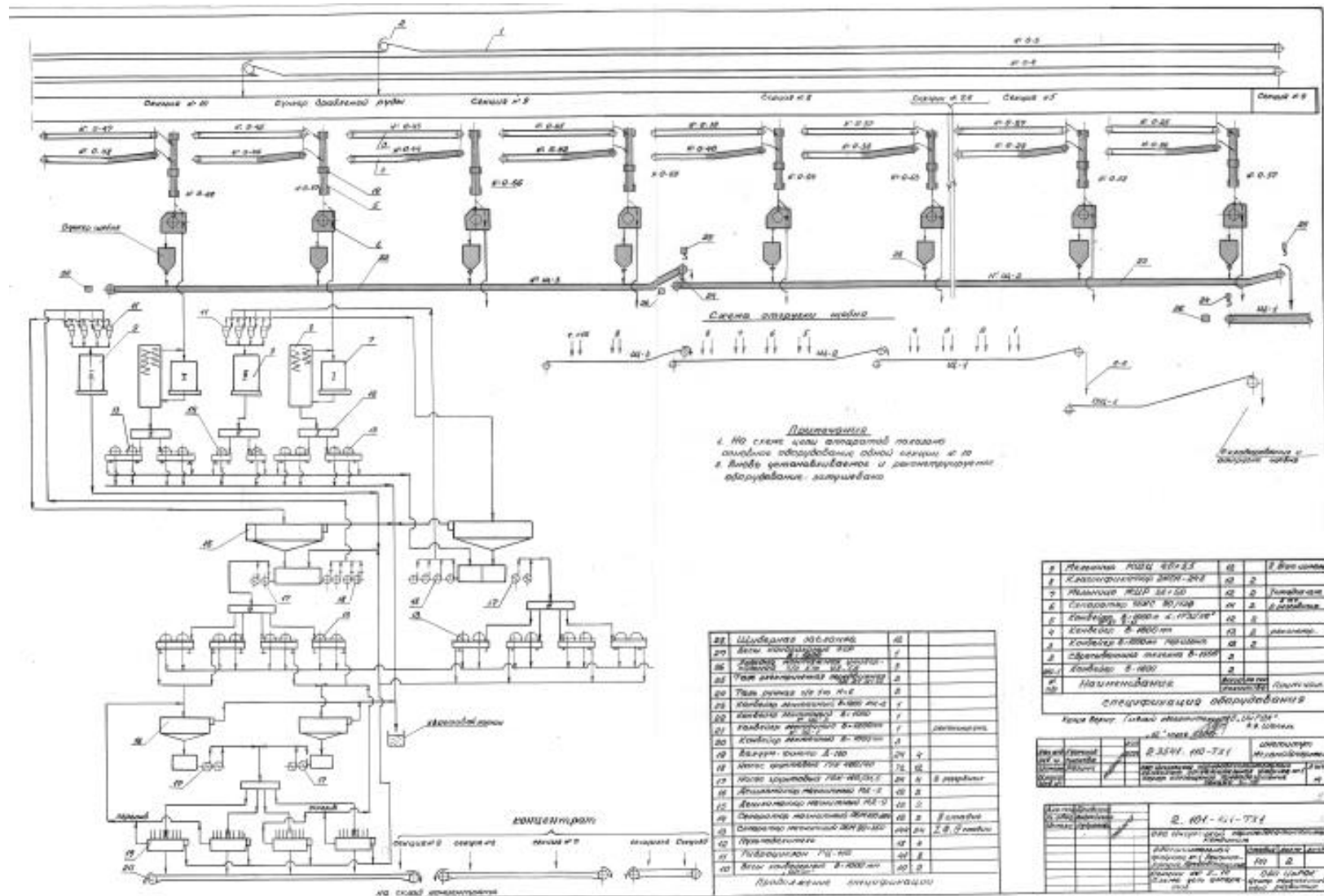


Рисунок 2.3 – Схема ланцюгів апаратів РЗФ-1 (2 частина)

РОЗДІЛ 3

СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Причини зниження якості та підвищення вмісту пустої породи у магнетитовому концентраті

Якість магнетитового концентрату, що отримується в умовах ПрАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат», формується під впливом здійснюється в два прийоми з перечисткою магнітного продукту і отриманням комплексу взаємопов'язаних факторів мінералогічного, технологічного та експлуатаційного характеру. Підвищення вмісту пустої породи концентрату, яка проявляється у зростанні вмісту діоксиду кремнію та зниженні масової частки заліза, є наслідком дії не одного окремого чинника, а сукупності причин, що реалізуються на різних стадіях технологічного процесу збагачення.

Однією з основних причин зниження якості концентрату є мінералогічна неоднорідність магнетитових кварцитів ІНГЗК. Як було показано у розділі 1, руди характеризуються тонкою та дуже тонкою вкрапленістю магнетиту, при якій значна частина зерен корисного мінералу перебуває у складних зростках із кварцом та іншими силікатами. За таких умов повне розкриття магнетиту можливе лише за тонкого подрібнення, що, у свою чергу, супроводжується утворенням значної кількості шламів.

Важливим мінералогічним чинником є також різноманітність форм зростання магнетиту з пустою породою. Частина зерен магнетиту має чіткі межі розділення з кварцом і добре розкривається вже на середніх ступенях подрібнення. Водночас інша частина представлена тонкодисперсними включеннями у кварцовій матриці, які практично не піддаються повному розкриттю без інтенсивного переподрібнення. Такі

особливості зумовлюють неоднорідність продуктів подрібнення та ускладнюють забезпечення стабільної якості концентрату.

Суттєвий вплив на якість магнетитового концентрату має процес подрібнення. Недостатній ступінь подрібнення призводить до збереження зростків магнетиту з кварцом, які не вилучаються у процесі магнітної сепарації та переходять у хвости. З іншого боку, надмірне подрібнення сприяє утворенню тонкодисперсних шламів, які негативно впливають на селективність магнітної сепарації та спричиняють механічне захоплення пустої породи магнітним продуктом.

Коливання гранулометричного складу продуктів подрібнення є характерною проблемою для умов ІНГЗК. Вони зумовлені як мінливістю властивостей вихідної руди, так і нестабільністю режимів роботи млинів та класифікаційного обладнання. У результаті на магнітну сепарацію надходить пульпа зі змінним співвідношенням крупних і тонких фракцій, що ускладнює підтримання оптимальних режимів збагачення.

Однією з ключових технологічних причин підвищеної вмісту пустої породи у концентраті є надлишкове утворення та накопичення шламів у технологічному циклі. Шлами, що містять тонкі частинки кварцу і магнетиту, мають високу питому поверхню та схильні до агрегації. У процесі магнітної сепарації вони можуть механічно захоплюватися магнітним продуктом, утворюючи своєрідні «шлакові обростання» на зернах магнетиту. Це призводить до зростання вмісту кремнезему у концентраті навіть за достатньо високої напруженості магнітного поля.

Ефективність магнітної сепарації також істотно залежить від густини пульпи та швидкості її руху у робочій зоні сепаратора. За підвищеної густини пульпи зростає ймовірність механічного захоплення немагнітних частинок, тоді як за надмірного розбавлення пульпи знижується продуктивність процесу та зростають втрати магнетиту з хвостами. Умови ІНГЗК характеризуються значними коливаннями

густини живлення сепараторів, що негативно впливає на стабільність якості концентрату.

Важливою причиною зниження якості магнетитового концентрату є нестабільність режимів роботи магнітних сепараторів. Коливання напруженості магнітного поля, швидкості обертання барабанів та витрати пульпи призводять до зміни характеру взаємодії магнітних і немагнітних частинок у зоні сепарації. У результаті за одних і тих самих мінералогічних умов якість концентрату може істотно змінюватися протягом часу.

Окремо слід відзначити вплив операцій знешламлення на якісні показники концентрату. З одного боку, знешламлення сприяє зниженню вмісту тонкодисперсних частинок пустої породи у живленні магнітних сепараторів і підвищує селективність процесу. З іншого боку, надмірне знешламлення призводить до втрат тонких зерен магнетиту, що негативно впливає на загальне вилучення заліза. Недостатня узгодженість режимів знешламлення з режимами подрібнення та магнітної сепарації є однією з причин нестабільності якості концентрату в умовах ІнгЗК.

Слід також враховувати вплив оборотної води на процеси збагачення. Підвищений вміст твердих частинок у оборотній воді сприяє накопиченню шламів у системі та погіршує умови магнітної сепарації. За відсутності належного контролю якості оборотної води негативний вплив цього чинника з часом посилюється, що проявляється у поступовому підвищенню вмісту пустої породи концентрату.

Таким чином, аналіз причин зниження якості та підвищення вмісту пустої породи магнетитового концентрату в умовах ПрАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат» свідчить, що ключовими чинниками є:

- складна мінералогічна будова магнетитових кварцитів;
- нестабільність процесів подрібнення та класифікації;

- надлишкове утворення та накопичення шламів;
- недостатня селективність магнітної сепарації за нестабільних режимів;
- вплив якості оборотної води та операцій знешламлення.

Виявлені причини зумовлюють необхідність розробки комплексу технологічних заходів, спрямованих на оптимізацію режимів подрібнення, класифікації та магнітної сепарації, що буде детально розглянуто у наступних підрозділах спеціальної частини магістерської роботи.

3.2 Вплив процесів подрібнення на розкриття магнетиту та якість концентрату

Процес подрібнення є однією з найбільш енергоємних і водночас технологічно визначальних операцій у схемі збагачення магнетитових кварцитів. Саме на стадії подрібнення створюються умови для розкриття зерен магнетиту, від ступеня якого безпосередньо залежить ефективність подальшої магнітної сепарації та якість кінцевого концентрату. Для умов ПрАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат» оптимізація процесів подрібнення має особливе значення у зв'язку зі складною мінералогічною будовою руд і тенденцією до підвищеної вмісту пустої породи у концентраті.

Магнетитові кварцити ІНГЗК характеризуються різноманітністю форм вкрапленості магнетиту. Частина зерен магнетиту має відносно великі розміри та чіткі межі контакту з пустою породою, що забезпечує їх розкриття вже на середніх ступенях подрібнення. Водночас значна частина магнетиту представлена тонкими включеннями у кварцовій матриці, для розкриття яких необхідне більш інтенсивне подрібнення. Така неоднорідність зумовлює складність вибору єдиного оптимального режиму подрібнення для всієї маси руди.

Недостатній ступінь подрібнення призводить до збереження зростків магнетиту з кварцом, які у процесі магнітної сепарації поводяться як немагнітні або слабкомагнітні частинки. У результаті такі зростки переходять у хвости, що супроводжується втратами корисного компонента та зниженням загального вилучення заліза. При цьому підвищення напруженості магнітного поля не завжди дозволяє компенсувати втрати, оскільки магнітна складова сили є недостатньою для відокремлення магнетиту, міцно з'єданого з пустою породою.

З іншого боку, надмірне подрібнення руди супроводжується інтенсивним утворенням тонкодисперсних фракцій, зокрема класів менше 0,044 та 0,020 мм. Такі частинки формують шламову фракцію, яка має негативний вплив на процеси магнітної сепарації. Тонкі частинки пустої породи легко залучаються до магнітного продукту внаслідок механічного захоплення, що призводить до зростання вмісту кремнезему та підвищення вмісту пустої породи концентрату.

Особливе значення має гранулометричний склад продуктів подрібнення, що надходять на магнітну сепарацію. Практика експлуатації збагачувальних фабрик показує, що для магнетитових кварцитів оптимальним є такий режим подрібнення, за якого вміст класу мінус 0,05 мм становить не менше 95 %. Саме за таких умов досягається достатній ступінь розкриття магнетиту при обмеженому утворенні надлишкових шламів. Відхилення від цього оптимуму в будь-який бік негативно відображається на якісних показниках концентрату.

Важливу роль у формуванні гранулометричного складу відіграє організація замкнених циклів подрібнення з класифікацією. Класифікаційне обладнання забезпечує повернення недорозкритих крупних частинок у млини та обмежує надходження надмірно подрібненого матеріалу у збагачувальні операції. Порушення режимів класифікації призводить до нестабільності гранулометричного складу

пульпи, що ускладнює підтримання оптимальних режимів магнітної сепарації.

Для умов ІнгЗК характерними є коливання навантаження на кульові млини, зумовлені нерівномірною подачею руди та зміною її фізико-механічних властивостей. Такі коливання призводять до нестабільності крупності зливу млинів та збільшення частки як недорозкритих зростків, так і надлишкових шламів. У результаті якість магнетитового концентрату зазнає коливань, що ускладнює виконання вимог споживачів.

Суттєвий вплив на процес подрібнення має густина пульпи у млинах. За підвищеної густини знижується ефективність подрібнення через погіршення умов руху куль та матеріалу, тоді як за надмірного розбавлення зростають енергетичні витрати та інтенсивність утворення шламів. Оптимальний вибір густини пульпи є важливим чинником забезпечення стабільного гранулометричного складу продуктів подрібнення.

У контексті підвищення якості магнетитового концентрату особливу увагу слід приділяти запобіганню переподрібненню магнетиту. Тонкі зерна магнетиту, що переходять у шламову фракцію, мають знижену ефективність вилучення у процесі магнітної сепарації та частково виносяться з хвостами або зі шламовими водами. Це призводить не лише до втрат заліза, але й до погіршення якісних показників концентрату внаслідок накопичення пустої породи.

Таким чином, процес подрібнення відіграє вирішальну роль у формуванні якості магнетитового концентрату в умовах ІнгЗК. Оптимізація ступеня подрібнення, стабілізація гранулометричного складу продуктів та узгодження режимів роботи млинів і класифікаційного обладнання є необхідними умовами для підвищення вмісту заліза та зниження вмісту пустої породи у концентраті. Отримані висновки є базою для подальшого удосконалення процесів магнітної

сепарації, що розглядається у наступному підрозділі спеціальної частини магістерської роботи.

3.3 Удосконалення процесів магнітної сепарації магнетитових кварцитів ІнгЗК

Магнітна сепарація є основним збагачувальним процесом у технологічній схемі переробки магнетитових кварцитів ПрАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат», оскільки саме на цій стадії формується хімічний склад і якість кінцевого концентрату. Удосконалення магнітної сепарації є найбільш ефективним шляхом підвищення вмісту заліза та зниження вмісту пустої породи у концентраті без суттєвих змін загальної схеми збагачення.

Ефективність магнітної сепарації визначається комплексом факторів, серед яких вирішальну роль відіграють напруженість магнітного поля, швидкість руху пульпи в робочій зоні сепаратора, густина пульпи, гранулометричний склад живлення та кількість стадій перечистки магнітного продукту. Нестабільність будь-якого з цих параметрів призводить до зниження селективності розділення та погіршення якості концентрату.

Одним із ключових параметрів магнітної сепарації є напруженість магнітного поля. За недостатньої напруженості поля тонкі зерна магнетиту та зростки магнетиту з пустою породою не утримуються в зоні дії сепаратора та переходять у немагнітний продукт, що супроводжується втратами заліза. Водночас надмірне підвищення напруженості поля призводить до захоплення немагнітних частинок кварцу та силікатів, що механічно притягуються до магнітного продукту, викликаючи зростання вмісту пустої породи у магнетитовому концентраті.

Для умов ІНГЗК оптимізація напруженості магнітного поля повинна здійснюватися з урахуванням гранулометричного складу живлення та стадії збагачення. На первинних стадіях доцільним є використання відносно високих значень напруженості поля для забезпечення максимального вилучення магнетиту, тоді як на стадіях перечистки необхідно знижувати напруженість поля з метою підвищення селективності процесу та видалення пустої породи з магнітного продукту.

Важливим напрямом удосконалення магнітної сепарації є оптимізація кратності перечистки магнітного продукту. Багатостадійна схема збагачення дозволяє поетапно знижувати вміст кремнезему у концентраті та підвищувати вміст заліза. Разом із тим, збільшення кількості стадій перечистки супроводжується зростанням втрат магнетиту з проміжними продуктами та підвищенням енерговитрат. У зв'язку з цим кількість стадій перечистки повинна визначатися на основі техніко-технологічного аналізу з урахуванням вимог до якості концентрату.

Суттєвий вплив на ефективність магнітної сепарації має швидкість руху пульпи в робочій зоні сепаратора. За підвищеної швидкості зменшується час контакту частинок з магнітним полем, що призводить до зниження вилучення тонких зерен магнетиту. За надто низької швидкості зростає ймовірність механічного захоплення пустої породи та погіршення селективності процесу. Тому стабілізація витрати пульпи та швидкості її руху є важливою умовою підвищення якості концентрату.

Густина пульпи також істотно впливає на результати магнітної сепарації. За підвищеної густини зростає взаємодія між частинками, що сприяє агрегації та механічному захопленню немагнітних мінералів магнітним продуктом. За надмірного розбавлення пульпи знижується продуктивність сепараторів і зростають втрати магнетиту з хвостами.

Оптимальний вибір густини пульпи повинен забезпечувати баланс між продуктивністю процесу та його селективністю.

Особливу увагу при удосконаленні магнітної сепарації необхідно приділяти стабільності режимів роботи обладнання. Для умов ІНГЗК характерними є коливання навантаження на сепаратори, зумовлені нестабільністю подачі пульпи та змінами її властивостей. Такі коливання призводять до періодичного погіршення якості концентрату. Впровадження систем автоматичного регулювання витрати пульпи, густини та напруженості магнітного поля дозволяє зменшити вплив людського фактора та забезпечити стабільні результати збагачення.

Ефективність магнітної сепарації тісно пов'язана з операціями знешламлення. Зменшення вмісту тонкодисперсних частинок у живленні сепараторів підвищує селективність процесу та сприяє зниженню вмісту пустої породи у концентраті. Разом із тим, знешламлення повинно здійснюватися вибірково, з урахуванням можливих втрат тонких зерен магнетиту. Узгодження режимів знешламлення з режимами магнітної сепарації є важливою умовою підвищення якості концентрату.

На основі проведеного аналізу доцільними заходами з удосконалення магнітної сепарації магнетитових кварцитів ІНГЗК є:

- оптимізація напруженості магнітного поля на різних стадіях збагачення;
- обґрунтований вибір кількості стадій перечистки магнітного продукту;
- стабілізація швидкості руху та густини пульпи;
- підвищення ефективності операцій знешламлення;
- впровадження елементів автоматизованого контролю технологічних параметрів.

Таким чином, удосконалення процесів магнітної сепарації створює реальні передумови для підвищення якості магнетитового концентрату

в умовах ПрАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат» та є ключовим елементом розроблюваного комплексу технологічних заходів.

3.4 Розрахунок та вибір основного технологічного обладнання для підвищення якості магнетитового концентрату

Реалізація запропонованих заходів із підвищення якості магнетитового концентрату в умовах ПрАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат» потребує обґрунтованого вибору та розрахунку основного технологічного обладнання. Параметри млинів, класифікаційних апаратів і магнітних сепараторів повинні відповідати мінералогічним особливостям магнетитових кварцитів і забезпечувати стабільні режими роботи, за яких досягається оптимальне співвідношення між якістю концентрату та продуктивністю збагачувальної фабрики.

3.4.1 Розрахунок та вибір кульових млинів

Подрібнення магнетитових кварцитів на ІНГЗК здійснюється у кульових млинах мокрого подрібнення, що працюють у замкненому циклі з класифікацією. Основним завданням цієї стадії є забезпечення такого ступеня подрібнення, за якого досягається максимальне розкриття зерен магнетиту при обмеженні утворення надлишкових шламів.

Продуктивність кульового млина визначається необхідною продуктивністю фабрики за рудою та заданим гранулометричним складом зливу. Орієнтовна продуктивність млина може бути визначена за залежністю:

$$Q = V \cdot \rho \cdot k,$$

де Q – продуктивність млина, т/год; V – робочий об'єм млина, м^3 ; ρ – середня густина пульпи, $\text{т}/\text{м}^3$; k – коефіцієнт використання об'єму млина.

Для магнетитових кварцитів ІнгЗК доцільним є використання кульових млинів середнього та великого діаметра, що забезпечують стабільні умови подрібнення та зменшують коливання гранулометричного складу продуктів. Оптимальна крупність зливу млинів повинна відповідати вмісту класу мінус 0,05 мм не менше 97.8-99%, що забезпечує достатній ступінь розкриття магнетиту.

Важливим параметром є густина пульпи у млині, яка впливає як на ефективність подрібнення, так і на утворення шламів. Для умов ІнгЗК доцільним є підтримання густини пульпи на рівні, що забезпечує інтенсивну взаємодію куль і матеріалу без переподрібнення магнетиту. Стабілізація цього параметра дозволяє зменшити коливання якості концентрату.

Перша стадія подрібнення

Подрібнення здійснюється у кульових млинах типу МКР-3,6×5,0 з розвантаженням через решітку, робочим об'ємом 45 м^3 . Млини працюють у замкненому циклі з двоспиральними класифікаторами 2КСН-2,4×12,5А. Основне призначення стадії – попереднє подрібнення магнітного продукту сухої магнітної сепарації та підготовка матеріалу до подальшого розкриття магнетиту.

Друга стадія подрібнення

Подрібнення здійснюється у кульових млинах типу МКЦ-4,0×5,5 з центральним розвантаженням, робочим об'ємом 60–63 м^3 (з урахуванням зносу футерування). Класифікація продуктів подрібнення виконується в замкненому циклі з гідроциклонами ГЦ-710. На цій стадії досягається крупність 75–85 % класу –0,05 мм, що забезпечує ефективне вилучення магнетиту на наступних стадіях магнітної сепарації.

Третя стадія подрібнення

Подрібнення здійснюється у кульових млинах типу МКЦ-4,0×5,5, аналогічних млинам другої стадії, які працюють у замкненому циклі з гідроциклонами ГЦ-710. Метою третьої стадії є доведення крупності матеріалу до не менше 97.8-99 % класу –0,05 мм, що забезпечує повне розкриття тонковкрапленого магнетиту та підвищення селективності магнітної сепарації.

3.4.2 Розрахунок та вибір класифікаційного обладнання

Класифікаційне обладнання відіграє ключову роль у забезпеченні стабільного гранулометричного складу живлення магнітних сепараторів. Для умов ІНГЗК застосовуються спіральні класифікатори та гідроциклонні установки, які працюють у замкненому циклі з кульовими млинами.

Основними параметрами класифікації є гранична крупність розділення, витрата пульпи та ефективність відокремлення тонких і крупних фракцій. Недостатня ефективність класифікації призводить до надходження у збагачувальні операції як недорозкритих зростків магнетиту з кварцом, так і надлишкової кількості тонкодисперсних шламів.

Гідроциклонна класифікація є більш гнучкою у регулюванні граничної крупності розділення порівняно зі спіральними класифікаторами. Зміна діаметра гідроциклона, тиску подачі пульпи та геометрії апарата дозволяє оперативно коригувати гранулометричний склад продуктів подрібнення. Для умов ІНГЗК доцільним є застосування гідроциклонів як основного класифікаційного обладнання на завершальних стадіях подрібнення.

I стадія: 2КСН-2,4×12,5А (двоспіральний класифікатор),

II–III стадії: гідроциклон ГЦ-710

3.4.3 Розрахунок та вибір магнітних сепараторів

Магнітні сепаратори є ключовим обладнанням, що визначає якість магнетитового концентрату. Для збагачення магнетитових кварцитів ІНГЗК доцільним є використання барабаних магнітних сепараторів із постійними магнітами або електромагнітних сепараторів, які забезпечують стабільну напруженість магнітного поля.

Продуктивність магнітного сепаратора може бути орієнтовно визначена за залежністю:

$$Q_s = B \cdot v \cdot S,$$

де Q_s – продуктивність сепаратора, т/год; B – індукція магнітного поля, Тл; v – швидкість руху пульпи, м/с; S – площа робочої зони сепаратора, м².

При виборі сепараторів необхідно враховувати гранулометричний склад живлення, густину пульпи та стадію збагачення. На первинних стадіях доцільним є використання сепараторів з підвищеною напруженістю магнітного поля для забезпечення максимального вилучення магнетиту. На стадіях перечистки перевагу слід надавати сепараторам з нижчою напруженістю поля, що забезпечує підвищену селективність процесу та зниження вмісту пустої породи у концентраті.

Особливу увагу необхідно приділяти стабільності режимів роботи магнітних сепараторів. Коливання витрати та густини пульпи призводять до погіршення якості концентрату навіть за правильно підібраних параметрів обладнання. У зв'язку з цим доцільним є впровадження автоматизованих систем контролю та регулювання основних технологічних параметрів.

Суша магнітна сепарація (попереднє збагачення)

Застосовуються барабанні сепаратори типу ПБКС-90/120, які встановлені перед першою стадією подрібнення. Сепарація

виконується в один прийом і спрямована на відокремлення частини магнетиту з мілкодробленої руди.

Перша стадія мокрої магнітної сепарації

Використовуються сепаратори типу ПБМ П-90/250 (протиточна ванна) та ПБМ ПП-90/250 (напівпротиточна ванна). Стадія здійснюється у два прийоми з перечисткою магнітного продукту з отриманням концентрату, промпродукту та відвальних хвостів.

Друга стадія мокрої магнітної сепарації

Застосовуються сепаратори типу ПБМ П-120/300, сепарація проводиться в один прийом. Основне призначення стадії – додаткове вилучення магнетиту з продуктів другої стадії подрібнення.

Третя та п'ята стадії мокрої магнітної сепарації

Використовуються сепаратори типу ПБМ ПП-90/250, робота здійснюється у два прийоми з перечисткою магнітного продукту, що дозволяє суттєво знизити вміст пустої породи у концентраті.

Четверта стадія мокрої магнітної сепарації

Застосовуються сепаратори типу ПБМ П-120/300, сепарація здійснюється в один прийом без перечистки.

У технологічній схемі передбачено два прийоми дешламації, які здійснюються у магнітних дешламаторах типу МД-9А:

- перший прийом – перед третьою стадією мокрої магнітної сепарації;
- другий прийом – перед п'ятою стадією мокрої магнітної сепарації.

Дешламація спрямована на видалення надлишкових тонкодисперсних шламів, зменшення механічного захоплення пустої породи та підвищення селективності магнітної сепарації.

3.4.4 Узагальнення результатів підвищення якості магнетитового концентрату в умовах РЗФ-1 ІнГЗК

Підвищення якості магнетитового концентрату в умовах РЗФ-1 ІнГЗК досягнуто в результаті комплексної оптимізації технологічних режимів основних операцій збагачення. Зміни, реалізовані у режимах подрібнення, класифікації, мокрої магнітної сепарації, знешламлення та фільтрації, забезпечили зменшення вмісту пустої породи у концентраті та підвищення селективності процесів збагачення.

Вплив подрібнення (кількісні зміни)

Оптимізація режимів подрібнення супроводжувалася:

- зниженням продуктивності першої стадії подрібнення з 230–240 т/год до 225–235 т/год, що збільшило час перебування матеріалу у млинах;
- підвищенням вмісту класу $-0,05$ мм з 95,0–97,0 % до 97,8–99,0 %.

Зазначені зміни забезпечили глибше розкриття зерен магнетиту, зменшили кількість недорозкритих зростків магнетиту з кварцом і, відповідно, знизили перехід пустої породи у магнітний продукт.

Вплив класифікації

У результаті коригування режимів спіральної класифікації густина зливу зменшилась:

- з 1900–2000 г/л до 1800–1900 г/л.

Це сприяло:

- стабілізації гранулометричного складу живлення сепараторів;
- зменшенню надходження надлишкових тонкодисперсних шламів у магнітну сепарацію;
- підвищенню селективності розділення магнітних і немагнітних частинок.

Кількісні зміни режимів мокрої магнітної сепарації

Оптимізація густини пульпи на стадіях мокрої магнітної сепарації стала одним з ключових чинників підвищення якості концентрату:

- I стадія: з 1,35–1,50 кг/л до 1,30–1,50 кг/л
- II стадія: з 1,60–1,80 кг/л до 1,50–1,80 кг/л
- V стадія: з 1,25–1,33 кг/л до 1,20–1,30 кг/л

Зменшення густини живлення, особливо на завершальних стадіях, знизило механічне захоплення частинок пустої породи магнітним продуктом, що безпосередньо вплинуло на зменшення вмісту SiO_2 у концентраті.

Підвищення ефективності знешламлення підтверджується збільшенням густини пісків:

- I прийом: з 1,7–1,95 кг/л до 1,8–1,95 кг/л;
- II прийом: з 1,6–1,95 кг/л до 1,8–1,95 кг/л.

Це дозволило ефективніше видаляти тонкодисперсну шламову фракцію, яка є основним джерелом пустої породи у концентраті, та зменшити її повторне залучення у магнітний продукт.

Зміни режимів гідроциклонів

Оптимізація густини зливу гідроциклонів:

- I прийом: з 1,15–1,18 кг/л до 1,10–1,18 кг/л;
- II прийом: з 1,12–1,17 кг/л до 1,11–1,17 кг/л,

забезпечила більш чітке розділення матеріалу за крупністю та зменшила циркуляцію надтонких частинок у системі.

Вплив фільтрації та ПАР

Зміна режимів фільтрації супроводжувалася:

- зниженням вологості концентрату з 10,0 % до 9,5 %;
- збільшенням витрат ПАР з 60–80 г/т до 137–152 г/т.

Це підвищило стабільність фізико-хімічних властивостей концентрату та покращило його товарні характеристики.

Таким чином, підвищення якості магнетитового концентрату з 64,8% до 67,0 % Fe досягнуто за рахунок:

- поглиблення подрібнення (+2,8–4,0 % класу –0,05 мм);
- стабілізації класифікації (зниження густини зливу на ≈ 100 г/л);
- зменшення густини пульпи на завершальних стадіях ММС на 0,05–0,1 кг/л;
- підвищення ефективності знешламлення;
- оптимізації режимів фільтрації.

Комплексний характер зазначених змін забезпечив зменшення вмісту пустої породи, що стало основною причиною зростання масової частки заліза у концентраті.

ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі виконано комплексний аналіз геолого-мінералогічних та технологічних особливостей магнетитових кварцитів Інгuleцького родовища. Встановлено, що тонка та дуже тонка вкрапленість магнетиту, значна мінералогічна неоднорідність руд і високий вміст кварцу зумовлюють підвищену схильність до утворення шламів та механічного захоплення пустої породи у процесі мокрої магнітної сепарації.

Аналіз діючої технологічної схеми збагачення на РЗФ-1 ІНГЗК показав, що основними причинами зниження якості магнетитового концентрату є нестабільність гранулометричного складу продуктів подрібнення, надлишкове шламоутворення, порушення режимів класифікації та зниження селективності магнітної сепарації за коливань густини пульпи і складу живлення.

Встановлено, що поглиблення та стабілізація процесів подрібнення є одним із ключових чинників підвищення якості концентрату. Зменшення продуктивності першої стадії подрібнення з 230–240 т/год до 225–235 т/год забезпечило збільшення часу перебування матеріалу у млинах та підвищення вмісту класу мінус 0,05 мм з 95,0–97,0 % до 97,8–99,0 %, що сприяло більш повному розкриттю зерен магнетиту.

Оптимізація режимів класифікації шляхом зниження густини зливу спіральних класифікаторів з 1900–2000 г/л до 1800–1900 г/л дозволила стабілізувати гранулометричний склад живлення магнітних сепараторів та зменшити надходження надлишкових тонкодисперсних шламів у збагачувальні операції.

Удосконалення режимів мокрої магнітної сепарації, зокрема зменшення густини живлення на завершальних стадіях (V стадія – з 1,25–1,33 кг/л до 1,20–1,30 кг/л), забезпечило підвищення селективності

процесу та зменшення механічного захоплення частинок пустої породи магнітним продуктом.

Посилення ефективності операцій знешламлення підтверджується підвищенням густини пісків у першому та другому прийомах до 1,8–1,95 кг/л, що сприяло більш повному видаленню тонкодисперсної шламової фракції, яка є основним джерелом пустої породи у магнетитовому концентраті.

Оптимізація режимів гідроциклонної класифікації та фільтрації концентрату, зокрема зниження густини зливу гідроциклонів і збільшення витрат поверхнево-активних речовин з 60–80 г/т до 137–152 г/т, забезпечила стабільні умови роботи водно-шламової схеми та зменшення вологості готового концентрату з 10,0 % до 9,5 %.

У результаті комплексної оптимізації технологічних режимів подрібнення, класифікації, мокрої магнітної сепарації та знешламлення досягнуто зменшення вмісту пустої породи у концентраті, що призвело до підвищення масової частки загального заліза з 64,8 % до 67,0 %, тобто на 2,2 %.

Отримані результати свідчать, що підвищення якості магнетитового концентрату в умовах ІНГЗК досягнуто без суттєвої зміни складу технологічного обладнання, виключно за рахунок оптимізації режимів його роботи, що є технологічно доцільним та економічно ефективним для впровадження у виробничих умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологічна інструкція з ведення процесу збагачення магнетитових кварцитів на РЗФ-1 ПрАТ «Інгулецький ГЗК». Кривий Ріг: ІНГЗК, 2024. 156 с. (внутрішній нормативний документ).
2. Стандарт підприємства ПрАТ «Інгулецький ГЗК». Вимоги до якості магнетитового концентрату. Кривий Ріг, 2023. 24 с.
3. Методичні рекомендації до підготовки та захисту кваліфікаційної роботи магістра за освітньо-професійною програмою «Технології збагачення корисних копалин» другого (магістерського) рівня спеціальності 184 Гірництво / Уклад. Левченко К.А., Младецький І.К., Кушнірук Н.В., Глуховеря М.Р. Запоріжжя: ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024. 49 с.
4. Технічні умови на магнетитовий концентрат ТУ У 07.1-00190977-012:2022. Кривий Ріг, 2022. 18 с.
5. В.О. Смирнов, В.С. Білецький Переробка корисних копалин. Львів: Видавництво «Новий Світ-2000», 2020. 607 с.
6. Білецький В.С., Олійник Т.А., Смирнов В.О., Скляр Л.В. Основи техніки та технології збагачення корисних копалин: навч. посібн. Київ: Видавництво Ліра-К 2020. 634 с.
7. В.О. Смирнов, В.С. Білецький Проектування збагачувальних фабрик. Донецьк: Східний видавничий дім, 2008. 269 с.
8. К.А. Разумов, В.А. Перов Проектування збагачувальних фабрик, М.: Недра, 1982. 518 с.
9. Білецький В.С. Процеси збагачення корисних копалин. Донецьк: Східний видавничий дім, 2010. 540 с.