

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

Гірничо-металургійний факультет

Кафедра гірничої справи

«Допущено до захисту»  
Гарант ОПП

Костянтин ЛЕВЧЕНКО

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання освітньо-професійної програми

«Технології збагачення корисних копалин»

за спеціальністю 184 Гірництво

**на тему: «Удосконалення технології збагачення магнетитових кварцитів на АТ «ПІВДГЗК»**

Керівник роботи

Костянтин ЛЕВЧЕНКО

Консультант від  
бази практики

Григорій НОТОВИЧ

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

Здобувач

Євген БУДІН

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

Голова ЕК

Андрій РТИЩЕВ

Запоріжжя 2024

## 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

\_\_\_\_\_ Костянтин ЛЕВЧЕНКО

03.04.2024 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

\_\_\_\_\_ Будін Євген Іванович  
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Удосконалення технології збагачення магнетитових кварцитів на АТ «ПІВДГЗК»

керівник роботи Левченко Костянтин Анатолійович, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету від 14.10.2024  
№238/14.10.2024

2. Термін подання роботи  
10.02.2025

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, методична література з дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики збагачення магнетитових кварцитів, літературні джерела, технологічні інструкції, дані АТ «ПІВДГЗК» м. Кривий Ріг, результати власних експериментів та досліджень тощо.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань)

Анотація. Зміст. Вступ. 1. Технологічний розділ 2. Спеціальний розділ Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): кількісно-якісна схема збагачення.

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

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1	
2	

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Здобувач

(Євген БУДІН)

Керівник роботи

(Костянтин ЛЕВЧЕНКО)

## АНОТАЦІЯ

Будін Євген Іванович. Удосконалення технології збагачення магнетитових кварцитів на АТ «ПівДГЗК». – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

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

Об'єктом дослідження є технологія збагачення магнетитових кварцитів.

Предметом дослідження є залежність збільшення масової частки заліза в концентраті від умов роботи гідроциклонів.

У першому розділі проаналізована сировинна база гірничозбагачувального комбінату, умови видобутку та транспортування руди на збагачувальну фабрику, технологія збагачення магнетитових кварцитів, вимоги до концентрату.

В другому розділі надано аналіз рішень щодо підвищення якості концентратів магнітного збагачення магнетитових руд. Наведені їх переваги та недоліки. Приведені результати випробування впровадження другого прийому магнітної сепарації першої стадії, контрольної гідравлічної класифікації пісків магнітних дешламаторів на концентраті магнітного збагачення Південного ГЗК, що дало змогу розрахувати прогнозовані показники збагачення.

В результаті показана можливість в умовах ПівдГЗК підвищити вміст заліза в магнетитовому концентраті до 68,0%.

Робота складається із: 44 с., 4 рис., 20 табл., 17 джерел у переліку посилань.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА** Магнетитові руди, збагачення, гідравлічна класифікація, прогнозовані показники збагачення.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
<b>1. Технологія збагачення магнетитових кварцитів.....</b>	<b>8</b>
1.1 Загальні відомості про Південний гірничо-збагачувальний комбінат.....	8
1.2 Характеристика сировини.....	10
1.3 Опис технологічних схем збагачення.....	16
1.4 Системи контролю та регулювання технологічних процесів.....	21
1.5 Метрологічне забезпечення технологічного процесу.....	23
1.6 Метрологічне забезпечення контролю.....	24
1.7 Контроль якості продукції. Об'єкти контролю ВТК.....	25
<b>2. Обґрунтування удосконаленої технологічної схеми збагачення магнетитових кварцитів.....</b>	<b>27</b>
2.1 Аналіз шляхів удосконалення технологічної схеми в умовах АТ «ПІВДГЗК».....	
2.2 Програма і методика виконання досліджень.....	30
2.3 Результати промислових випробувань.....	32
Висновки.....	41
Список використаних джерел.....	43

## ВСТУП

### **Актуальність теми дослідження**

Україна займає одну з ключових позицій на світовому ринку з переробки залізорудної сировини. У контексті до світової кон'юнктури збуту залізорудної продукції питання підвищення вмісту заліза загального в концентраті є виключно актуальним для виробників. Це дозволяє їм залишатися конкурентоспроможними, підтримувати рентабельність і прибутковість навіть за умов коливання ринкових цін.

У порівнянні з рудами інших гірничо-збагачувальних комбінатів магнетитові кварцити Південного ГЗК мають підвищене значення показників міцності, та характеризуються дуже високою абразивністю і тонко- та мілкокристалічною структурою. Це пов'язано із наявністю складних форм зростання рудних (магнетит, гематит) та нерудних (кварц, карбонати, силікати) зерен, що впливає на низьке розкриття рудних мінералів і відносить вказані руди до важкозбагачувальних та важкоподрібнювальних. Магнетитові кварцити Південного ГЗК різних ділянок одного і того ж родовища характеризуються значними відмінностями у речовинному складі, мають велике різноманіття текстурно-структурних особливостей та нерівномірну тонку вкрапленість рудних та нерудних мінералів. Це обумовлює зростання витрат електроенергії на подрібнення 1 т руди у порівнянні з іншими гірничо-збагачувальними комбінатами і цей показник один із найбільших в галузі [2].

Вказані особливості призводять до ускладнення умов видобутку та збагачення магнетитових кварцитів АТ «ПівдГЗК», що впливає на підвищення якості залізорудних концентратів і їх конкурентоспроможності на світовому ринку.

**Об'єкт дослідження** – технологія збагачення магнетитових кварцитів.

**Предметом дослідження** – шляхи удосконалення технологічної схеми збагачення магнетитових кварцитів.

**Мета роботи** – обґрунтування параметрів та умов роботи гідроциклонів задля підвищення вмісту загального заліза в концентраті.

**Наукове обґрунтування.** Визначено, що якість залізорудного концентрату, а саме вміст заліза та кремнезему залежать від умов подрібнення, ступеня розкриття мінеральних зерен, ефективності класифікації в циклах подрібнення. Зниження вмісту крупних класів в кінцевому концентраті за рахунок використання відкритої гідрокласифікації дозволяє значно підвищити його якість.

## 1. ТЕХНОЛОГІЇ ЗБАГАЧЕННЯ МАГЕТИТОВИХ КВАРЦИТІВ

### 1.1 Загальні відомості про Південний гірничо-збагачувальний комбінат

АТ «Південний гірничо-збагачувальний комбінат» (далі – АТ «ПівдГЗК») є одним з основних виробників залізорудної сировини в Україні. Він видобуває та збагачує бідні магнетитові кварцити та отримує залізорудний концентрату із вмістом заліза загального до 68,0%.

Комбінат контролює група "МЕТІНВЕСТ".

Кінцевий продукт збагачення РЗФ-2 АТ «ПівдГЗК» використовується для виробництва агломерату та обкотишів.

До складу рудо-збагачувальної фабрики №2 АТ «ПівдГЗК» входять чотири секції (№1-4) продуктивністю за вихідною рудою 340-350,0 т/год і чотири секції (№11-14) продуктивністю за вихідною рудою 180-185,0 т/год. Збагачення вихідної руди здійснюється за технологією мокрого тристадійного кульового подрібнення і класифікації, двох стадій контрольної класифікації, чотирьох стадій мокрої магнітної сепарації, двох прийомів знешламлення та зневоднення (фільтрування) концентрату [8].

З метою інтенсифікації процесу зневоднення під час виробництва концентрату марки КЗ у період травень-вересень, під час виробництва концентрату марки КЗВ упродовж усього року використовується ПАР (поверхнево-активна речовина) [8].

Вимірювання густини пульпи зливів I-III стадій класифікації здійснюється за допомогою радіоізотопних густиномірів ПМК-2 з блоками «Berthold» LG7440D [8].

Високі техніко-економічні показники процесу збагачення забезпечуються суворим дотриманням оптимальних технологічних

параметрів під час рудо-підготовки за масовою часткою заліза загального і магнетитового у вихідній руді, а також гранулометричним складом подрібненої руди (СТП 275-03.01-2016 «Руди залізні кар'єра комбінату») [8].

Товарний концентрат, що відвантажується споживачам, відповідає вимогам ТУ У 07.1-00191000-001:2019 «Концентрат залізорудний агломераційний», ДСТУ 3704:2013.

Масова частка діоксиду кремнію не є показником браку і встановлюється для марки КЗ - не більше 10,8%, марки КЗВ - не більше 6,5%. Масова частка фосфору не є показником браку і встановлюється - не більше 0,06%. Масова частка сірки не є показником браку і встановлюється - не більше 0,06% [8].

У відвал із кар'єру вивозяться залізничним транспортом вскришні породи та складуються. Руда залізничним транспортом направляється до корпусу крупного дроблення, що знаходиться на борту кар'єру. З кар'єру частково системою конвеєрів (350-0мм) або залізничним транспортом направляється на склад руди, після чого – в корпус середнього та дрібного дроблення [2].

Місцезнаходження промислової площадки - південний район Криворізького басейну. Рельєф південного району рівний зі слабким нахилом до сходу – південно-сходу. Глибина кар'єру коливається за абсолютними відмітками від 320 до 110 метрів. Ґрунт представлений скально-окисленими кварцитами.

Амплітуда сезонних коливань рівня ґрунтових вод складає в середньому 5м. Клімат району помірно континентальний з середньо річною температурою +8,3°C, зимою від +5 до -25 і літом від +18 до +38°C. Середньорічна кількість опадів від 400-500°мм, переважаючий напрямок вітру переважно східно-, півенно-східний [2].

Джерелами постачання технічної і питної води є річки Інгулець і Саксагань (Карачунівське і Кресівське водосховища). Джерелом

електроенергії є Запрізька атомна електростанція.

## 1.2 Характеристика сировини

Скелеватське родовище розробляється відкритим способом з використанням екскаваторів з місткістю ковша 8 та 10<sup>о</sup>м<sup>3</sup>, максимальний розмір руди складає 1200<sup>о</sup>мм. Продуктивність Південного ГЗК за сирою рудою становить 32 млн тонн, за концентратом 13 млн тонн [2].

Потужність рудних прошарків коливається від 0,01 до 5 мм, змішаних – від 00,1 до 44 мм, нерудних – від 0,1 до 22 мм. Розміри зерен магнетиту коливаються від 0,005 до 0,01 мм [2].

Мінералогічні різновиди об'єднані залежно від вмісту заліза у концентраті у три технологічні сорти руд та поділяються на:

- 1) важкозбагачувані;
- 2) середньозбагачувані;
- 3) легкозбагачувані.

Різноманітна вкрапленість магнетиту у багатьох шарах не знижує міцності кварцу і вимагає подрібнення до крупності -0,05мм (95%), що дозволяє виконати розкриття магнетиту.

Вміст сірки в рудах і концентратах, що використовуються для виробництва агломератів та окотишів, не перевищує 0,6%, а в товарній руді – 0,15%. Допустимий вміст фосфору в руді, агломераті та обкотишах – 0,07 – 0,15% [2].

У зв'язку із зазначеними обставинами більше 80% видобутих корисних копалин піддається збагаченню.

Хімічний мінералогічний склад та фізико-механічні властивості магнетитових кварцитів у межах кар'єру ПівдГЗК за різновидам наведено у таблицях 1.1 – 1.3 [2].

Таблиця 1.1 – Хімічний склад магнетитових кварцитів

Різновиди	$Fe_{заг}$	$Fe_{маг}$	$Fe_2O_3$	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$CaO$	$MgO$	$P$	$S$	$CO_2$	п.п.п.
гематит-магнетитові	34,6	25,6	30,2	37,3	0,5	1,6	2,8	0,04	0,036	4,8	5,6
магнетитові	35,8	27,3	31,8	39,0	0,72	2,0	3,1	0,055	0,045	5,6	6,3

Таблиця 1.2 – Фізико-механічні властивості руди

№ з/п	Типи руд	Природна вологість, %	Коефіцієнт міцності	Щільність, кг/м <sup>3</sup>	Опір по одновісному зжат., кг/см <sup>3</sup>	Дробимість, см <sup>3</sup>	Абразивність
1	Магнетитові кварцити	1,0	19-20	3540	2580	3,12	0,0184
2	Окислені кварцити	0,5	16-18	3100	2922	1,81	0,0324
	Силікати	1,5	16-18	3080	1522	2,34	0066

Таблиця 1.3 – Мінеральний склад магнетитових кварцитів

Різновиди	Магнетит		Магнетит-гематит		Залізисті карбонати		Залізисті силікати		$SiO_2$	Інші мін.	Сума оксид	$Fe_{заг}$
	$M$	$Pe$	$M$	$Pe$	$M$	$Pe$	$M$	$Pe$				
гематит-магнетитові	39,07	28,19	70,1	4,9	5,19	2,07	8,68	2,02	40,05	0,074	100	37,28
магнетитові	49,26	30,6	3,13	2,19	2,94	7,17	11,93	3,94	3,57	0,048	100	39,9
силікато-магнетитові	29,9	21,65	2,27	1,59	6,84	2,43	23,53	6,03	37,48	0,18	100	38,8

Фізико–механічні властивості:

- 1) густина дійсна –  $(3,4–3,8) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ;
- 2) густина середня –  $(3,3–3,6) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ;
- 3) пористість – 0–10%;
- 4) межа міцності при здавлюванні –  $(1000–2500) \cdot 10^5 \text{ Па}$ ;
- 5) природня вологість – 0,5%.

При використанні магнітної схеми збагачення найбільш важкозбагачуваними являються наступні різновиди: силікат-магнетитові, магнетит-силікатні кварцити; силікат-магнетитові та магнетит-силікатні брекчовані кварцити; силікат-магнетитові, магнетит-силікатні брекчовані кварцити, силікат-магнетитові, магнетит-силікатні кварцити [2].

Найвищу магнітну сприйнятливість і діелектричну проникність має основний рудний мінерал магнетит при мінімальній питомій провідності і досить значній щільності і твердості. Контури зерен рудних та нерудних матеріалів в рудах, що незачеплені натрієвим метасоматозом, за величиною рівні. Інколи зерна магнетиту не містять включень нерудних мінералів.

Залізисті силікати і карбонати мають близьку щільність, магнітну сприйнятливість, діелектричну проникність і твердість та при переробці переважно потрапляють в хвости збагачення [2].

Руда, що поставляється кар'єром на збагачувальну фабрику відповідає СТП 275-03.01-2016 (табл. 1.4). Руда має коефіцієнт міцності за шкалою професора Протодьяконова від 16 до 20 одиниць і вище. Масова частка вологи у початковій руді становить 1,0% [8].

Технічна вода, що надходить на збагачувальні фабрики, має бути освітленою і концентрація механічних домішок не перевищує 200 мг/л [8].

Таблиця 1.4 – Основні різновиди типів руд ПівдГЗК

№ з/п	Найменування різновидів типів руд	Масова частка заліза, %		Використання руди
		загального	магнітного	
1.	Кварцити неокислені: магнетитові; гематит-магнетитові; силікат-карбонат-магнетитові та їх частково окислені різниці.	34,7	27,55	Спрямовується на збагачення шляхом магнітної сепарації.
2.	Кварцити окислені: мартитові; гематит-мартитові; гетит-мартитові; гематитові	Більше 28,0	Менше 18,0	Прямують для складування в відокремлені відвали окислених руд
3.	Сланцеві породи скельної розкрити: кварц-хлоритові, кварц-амфіболові, біотитові сланці II, III, IV, V сланцевих горизонтів)	не нормовані	Менше 18,0	Прямують у відвали порожніх порід

Крупність руди, що надходить з УДТК на збагачувальну фабрику, повинна відповідати нормам СТП 275-03.01-2016 (табл. 1.5) [8].

Таблиця 1.5 – Крупність руди, що надходить на збагачення

УДТК	Середній вміст класу +20 мм у подрібненій руді, %, не більше	Допустимі відхилення за перші дві години роботи зміни, %
Цех № 1	9,67	+ 1,2
Цех № 2	13,28	+ 1,2

Готовою продукцією збагачувальної фабрики є залізорудний концентрат, із вмістом заліза загального 67,5%+ та вологи – 9,8%. Основними споживачами продукції являються металургійні комбінати [8].

Металургійна цінність залізних руд і концентратів визначається не лише вмістом заліза загального, а також іншими мінералами: корисними, що вміщують, марганець, нікель, хром, ванадій, титан;

шкідливими – сірку, фосфор, мишяк, цинк, свинець, калій, натрій та шламоутворюючих домішок – кремній, кальцій, магній, алюміній. Тому продукція має відповідати технічним умовам, в яких регламентується крупність, вміст вологи, корисних мінералів та шкідливих домішок. При складанні технічних умов враховуються реальні можливості технології, але якість продуктів не повинна бути нижчою від передбаченою ДСТУ.

На вартість концентрату безпосередньо впливають витрати виробництва та якість отриманого продукту.

Розвиток збагачення магнетитових кварцитів направлений на використання більш потужного устаткування із розробкою нових екологічно безпечних технологічних процесів, всебічного використання обчислювальної техніки в процесі експлуатації та проектування, створенням проектів збагачувальних фабрик великої потужності із безвідходним виробництвом та реконструкцією старих діючих фабрик.

Для освоєння нових ринків збуту залізорудної продукції гірничо-збагачувальним комбінатам необхідно підвищити якісні показники концентрату до значень, що наведені у табл. 1.6,1.7 [2].

Таблиця 1.6 – Якісні показники концентрату

Марка концентрату	Вміст заліза загального, %	Вміст кремнезему, %	Вміст вологи, %
A-1	Не менше 68,5	Не більше 5,0	Не більше 9,5
A-0	70,5	Не більше 2,0	Не більше 9,0

Важкозбагачувані руди Південного ГЗК представлені, в основному, тонко- і неясно-смугастими магнетитовими роговиками (вміст: заліза загального – 25-42,5%, оксиду заліза – 16,5-20,5%, магнітного заліза – 25-36%) і гематит-магнетитовими роговиками, червоно-синьо-сіро-смугастими (вміст: заліза загального – 32-38,5%, оксиду заліза – 15-20%, магнітного заліза – 26,5-36%, гематитового заліза – 4-12%), тобто рудами II і III типу. Магнетит у рудних і рудно-

роговикових шарах представлений, в основному, у вигляді гіллястих стрічкових і суцільних зростків, що мають звивисті нерівні контури. У зернах магнетиту спостерігається інтенсивна тонка кварцова вкрапленість (0,01-0,02 мм і менше), зерна магнетиту мають ситовидну структуру. Також із погіршенням якості руд за вкрапленістю збільшується міцність руд, що вимагає поліпшення подрібнювального режиму. Згідно з нормами технологічного проектування гірничодобувних підприємств з відкритим способом розробки корисних копалин, класифікацію залізних руд за збагачуваністю наведено в таблиці 1.8 [18].

Таблиця 1.7 – Технічні вимоги на концентрат

№ З/П	Хімічний склад	Вміст, %	Допустиме відхилення
1	$Fe_{заг}$	65,80	-1,3
2	$FeO$	27,07	(±)0,53
3	$Fe_2O_3$	63,53	(±)0,60
4	$SiO_2$	7,94	(±)0,33
5	$Al_2O_3$	0,13	(±)0,03
6	$CaO$	0,24	(±)0,06
7	$MgO$	0,44	(±)0,04
8	$P$	0,006	(±)0,003
9	$S$	0,037	(±)0,006
10	$Na_2O$	0,128	(±)0,04
11	$K_2O$	0,065	(±)0,03
12	$TiO_2$	0,009	(±)0,006
13	$nO$	0,032	(±)0,015
14	$CO_2$	0,444	
Фізичні властивості			
1	Вміст води, %	10	(+)1,5
2	Вміст класу -56мкм	97,0	(±)1,0
3	Питома поверхня см <sup>2</sup> /г	1850	(±)100

Таблиця 1.8 – Класифікація залізних руд за збагачуваністю

Тип (метод) збагачення		Тип руди	Індекс	Вміст класів крупності в подрібненій руді	Вміст заліза в концентраті, %					
					68	68-	66-	64-	62-	мен
Найменування	Індекс									
Магнітний	М	Дуже легко збагачувальні	1	$\frac{65-75}{50-60}$	+					
		Легкозбагачувальні	2	$\frac{75-85}{60-70}$		+				
		Середньо-збагачувальні	3	$\frac{85-97}{70-85}$			+			
		Важко-збагачувальні	4	$\frac{97-100}{85-97}$				+		
		Дуже важкозбагачувальні	5; 6	$\frac{100}{>97}$					+	+

Враховуючи структурні особливості руд II і III типу, які виражені в неправильних обрисах рудних зростків, тонкому вкрапленні кварцу в магнетиті та магнетиту в кварці, необхідно виконувати дуже тонке подрібнення згідно табл. 1.9 [17] для забезпечення задовільного розкриття магнетиту та отримання планових показників якості концентрату [8].

### 1.3. Опис технологічних схем збагачення

На секціях №№1,3,4 РЗФ-2 АТ «ПВДГЗК» застосовується технологічна схема збагачення магнетитових кварцитів, що включає три стадії кульового подрібнення в млинах МШЦ 4500х6000, три стадії

гідравлічної класифікації в циклах подрібнення, контрольні класифікації в гідроциклонах типу ГЦ-500А пісків першої стадії знешламлення та в гідроциклонах типу ГЦМ-350 пісків другої стадії знешламлення, чотири стадії мокрої магнітної сепарації в магнітних сепараторах типу ПБМП(ПП)-120/300 і дві стадії магнітного знешламлення в дешламаторах МД-9А. Схема ланцюга апаратів наведена на рис. 1.1, кількісно-якісна – на рис. 1.2 [8].

Таблиця 1.9 – Класифікація процесів подрібнення руди

Подрібнення	Вміст розрахункового класу у продукті подрібнення, %
Крупне	До 6% класу < 0,070 мм
Середнє	До 85% класу < 0,070 мм
Тонке	До 95% класу < 0,070мм или до 80% класу < 0,040мм
Дуже тонке	Більше 80% класу < 0,040 мм

Зневоднення концентрату здійснюється на вакуум-фільтрах типу ДОО-100/2,5 з поєднаним вакуумом, при створенні розрядження вакуум-насосами типу ВВН2-300. Співвідношення млинів за стадіями та обсягами: 2:1:1. Продуктивність секції з переробки подрібненої руди складає – 330,0-340,0 т/год [8].

Дроблена руда з бункерів фабрики стрічковими конвеєрами і похилими конвеєрами надходить в кульові млини I стадії з центральним розвантаженням МШЦ 4500x6000 (2 шт., об'ємом 82,0 м<sup>3</sup> кожен), що працюють в замкнутому циклі з двоспіральними класифікаторами 2КСН 2,4x14,5 (2 шт.).

Злив класифікаторів надходить на мокре збагачення I стадії в один прийом на магнітних сепараторах з протиточною ванною ПБМП-120/300 [8].

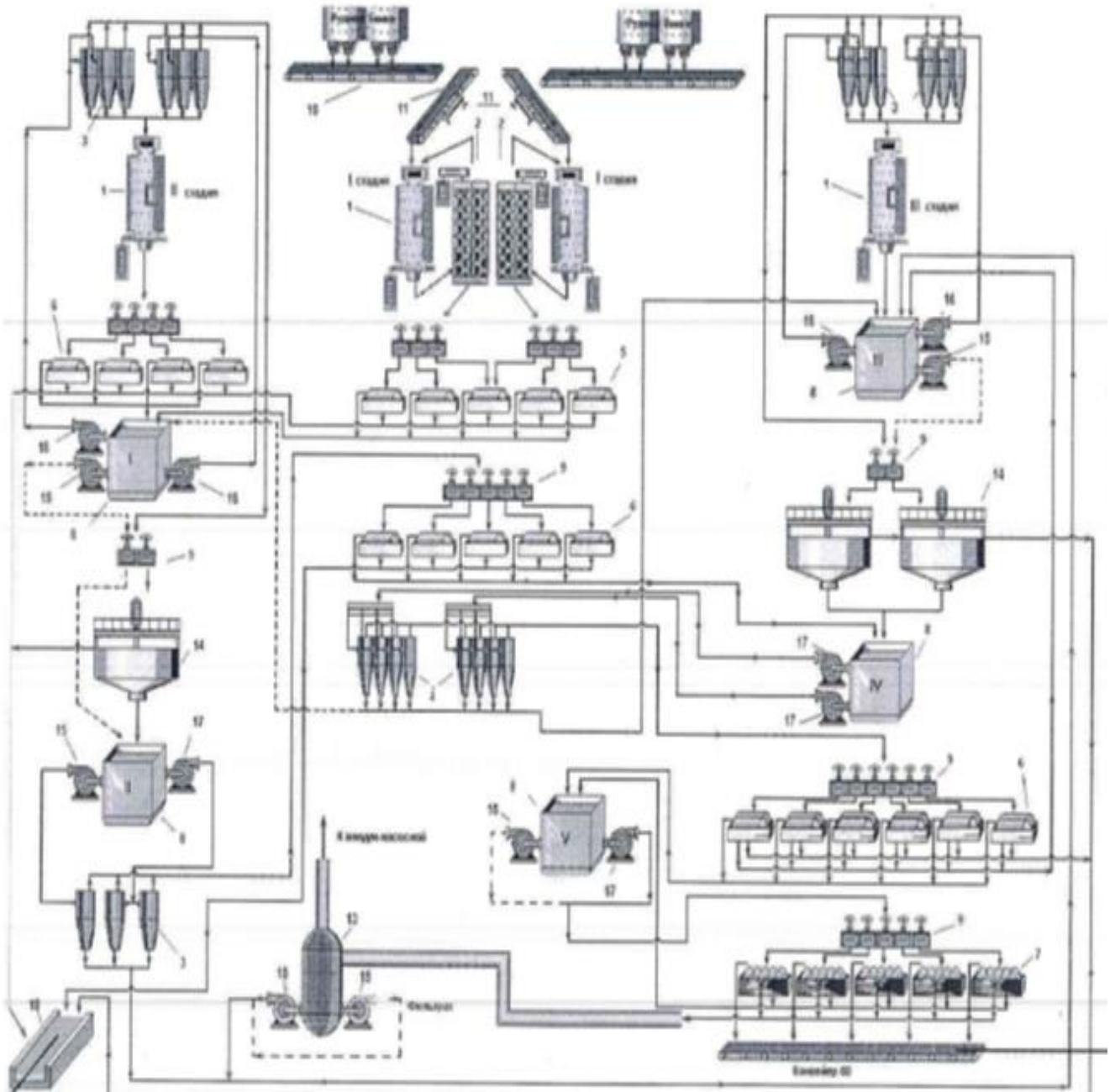


Рисунок 1 – Схема ланцюга апаратів секцій №№1,3,4 РЗФ-2 АТ «ПВДГЗК»

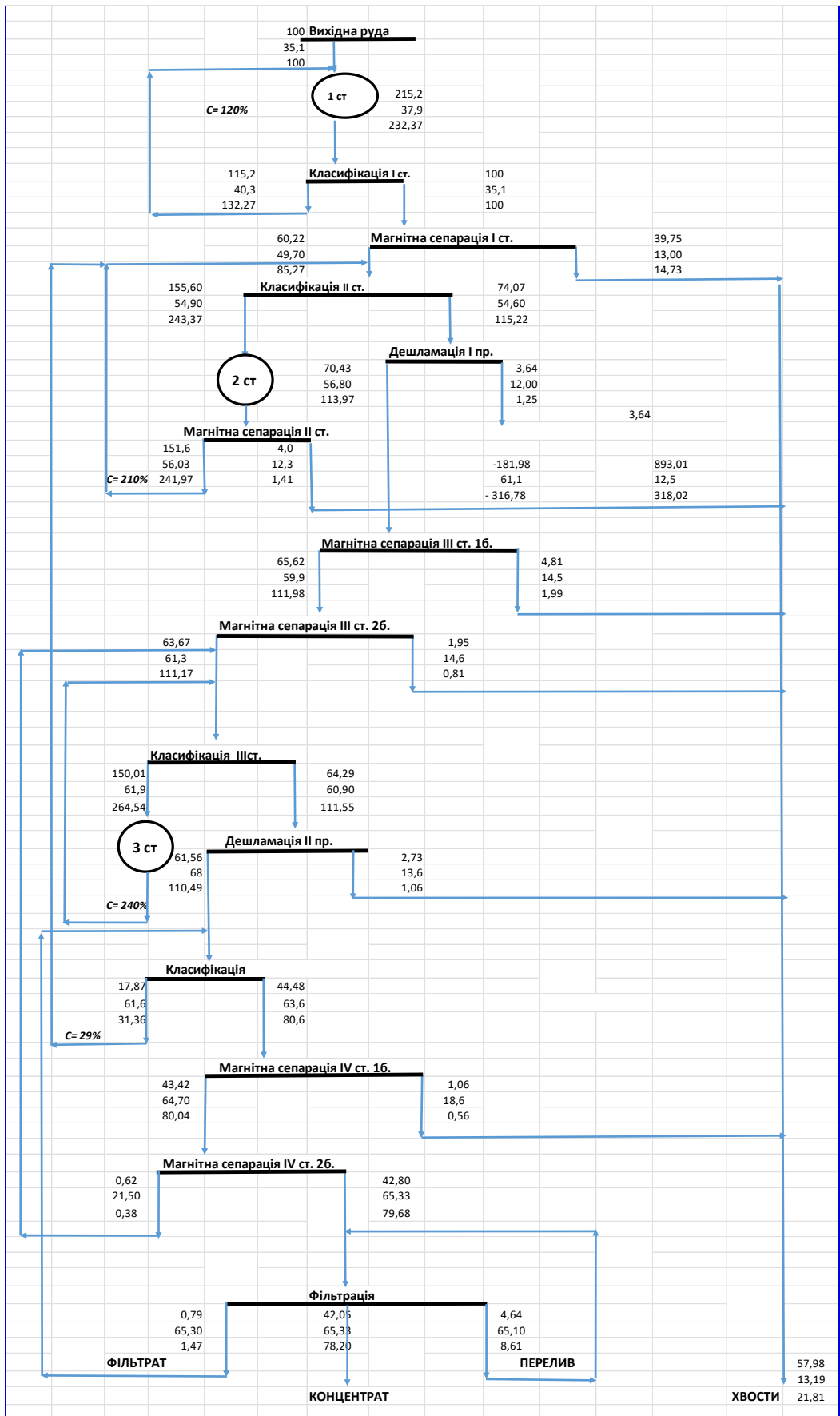


Рисунок 2 – Кількісно-якісна схема збагачення (базова) РЗФ-2

Магнітний продукт I стадії самопливом надходить в технологічний зумпф №1, звідки насосами типу VASA HD 7010-200 направляється в гідроциклони другої стадії класифікації ГЦМ-500. Піски гідроциклонів самопливом розвантажуються в млин II стадії подрібнення МШЦ 4500x6000 об'ємом 82,0 м<sup>3</sup>. Розвантаження млина через чотирьох-струменевий пульпорозподілювач надходить самопливом на II стадію магнітного збагачення в один прийом на сепараторах з протиточною ванною ПБМП-120/300 [8].

Магнітний продукт II стадії магнітного збагачення самопливом надходить в технологічний зумпф №1, де об'єднується з магнітним продуктом I стадії збагачення [8].

Злив гідроциклонів самопливом надходить на I стадію магнітного знешламлення у дешламаторі МД-9А. Піски дешламатора розвантажуються в зумпф №2, звідки насосами типу 8ГР-8М і VASA HD 7010-200 подаються на контрольну класифікацію КК1 в гідроциклонах ГЦ500А [8].

Піски контрольної класифікації КК1 самопливом надходять в технологічний зумпф № 1. Злив контрольної класифікації КК-1 самопливом надходить в п'яти – струменевий пульпорозподілювач і розподіляється на магнітні сепаратори ПБМ-ПП-120/300 III стадії.

Магнітний продукт III стадії магнітної сепарації самопливом надходить в технологічний зумпф №3, звідки насосами типу VASA HD 7010-200 перекачується в гідроциклони III стадії класифікації ГЦ-500А (дві батареї по 3 шт.). Піски гідроциклонів самопливом надходять в млин III стадії подрібнення МШЦ 4500x600 об'ємом 82,0 м<sup>3</sup>, а злив гідроциклонів – на II стадію магнітного знешламлення в дешламатори МД-9А [8].

Піски II стадії магнітного знешламлення розвантажуються в зумпф №4, звідки насосами типу 8ГР-8М і VASA 507-150 спрямовується на контрольну класифікацію в гідроциклонах ГЦМ350 (3 батареї по чотири

гідроциклона в батареї). Один насос качає на одну батарею гідроциклонів. Піски гідроциклонів контрольної класифікації надходить в технологічний зумпф №3. Злив гідроциклонів контрольної класифікації через шести-струменевий пульпорозподільувач подається на IV стадію магнітного збагачення на двобарабанних магнітних сепараторах ПБМ-ПП-120/300 [8].

Магнітний продукт другого прийому IV стадії збагачення надходить самопливом в зумпф №5, звідки насосами типу 8ГР-8М і VASA 507-150 через п'яти-струменевий пульпорозподільувач надходить на дискові вакуум-фільтри ДОО-100/2,5. Для інтенсифікації процесу зневоднення концентрату в осінньо-літний період року застосовують ПАР (поверхнево активна речовина).

Хвости (немагнітний продукт) другого прийому IV стадії збагачення надходять в технологічний зумпф №3. Хвости магнітного збагачення всіх стадій магнітної сепарації і зливи магнітних дешламаторів самопливом транспортуються по збірним хвостовим лоткам і хвостоканаві в пульпонасосну станцію і перекачуються в хвостосховище.

Зневоднений концентрат (кек) по системі конвеєрів надходить на склад концентрату [8].

Технологічна схема секцій дозволяє при крупності зливу контрольних гідроциклонів 90,0-92,0 % класу мінус 0,050 мм виробляти концентрат з масовою часткою заліза загального 65,0 - 65,2 % [8].

#### **1.4 Системи контролю та регулювання технологічних процесів**

Основними параметрами процесів подрібнення і класифікації, що підлягають контролю це: продуктивність млинів I стадії за початковою рудою, ступінь заповнення барабана млинів тілами для подрібнення,

щільність продуктів гідравлічної класифікації (спіральний класифікатор, гідроциклони), а також водний режим операцій подрібнення, класифікації, магнітного збагачення і знешламлення. На ділянці зневоднення концентрату контролюється щільність живлення фільтрації, продуктивність вакуум-фільтрів, величина вакууму на голівках фільтрів і у фабричній магістралі, тиск стисненого повітря і вологість концентрату. Для визначення вмісту заліза в промпродуктах і кінцевому концентраті відбираються проби відповідно до схеми випробування управління технічного контролю і експрес-аналізів центральної аналітичної лабораторії [8].

За показаннями електронних конвеєрних ваг контролюється продуктивність секцій за початковою рудою.

Автоматичний контроль щільності пульпи зливів апаратів класифікації здійснюється за допомогою радіоізотопних пристроїв.

Аналізатор втрат магнетиту використовується для автоматичного експресного контролю втрат заліза магнітного у хвостовій пульпі.

На секціях №№1-14 впроваджено автоматизовану систему управління технологічним процесом (АСУ ТП), яка дозволяє контролювати, регулювати і підтримувати в автоматичному режимі наступні технологічні параметри [8]:

- стабілізація заданої витрати води в млини;
- робота контуру контролю забивання рудних течок;
- стабілізація підтримки заданої щільності зливів класифікаторів;
- щільність зливів гідроциклонів 2,3 стадій класифікацій;
- контроль режиму роботи обладнання (ручний/автомат);
- робота контуру контролю рівня пульпи в зумпфах;
- робота контуру контролю рівня фільтрату в ресивері;
- контроль роботи/зупинки технологічного обладнання;
- контур стабілізації рівня магнетиту в дешламаторах.

Використання АСУ ТП регламентується нормами і вимогами відповідної інструкції із застосування автоматизованої системи управління технологічним процесом.

Управління технологічним процесом виконується на базі мікропроцесорного контролера персонального комп'ютера та аналогових регуляторів, датчиків і т.п. Інформація надається у вигляді таблиць, графіків, трендів, лог-файлів. Збір інформації проходить в диспетчерській оператора-технолога на персональному комп'ютері.

Система забезпечує візуальне відображення основного технологічного процесу, роботи устаткування із пдаванням діагностичних сигналів у разі його аварійної зупинки, забезпечує технологічний персонал миттєвою інформацією про технічний стан устаткування та параметри технологічного процесу, що призводить до зниження ризиків [8].

### **1.5 Метрологічне забезпечення технологічного процесу**

Контроль технології виробництва концентрату і стану технологічного устаткування здійснюється постійно робітниками, інженерно-технічними працівниками фабрики, працівниками ВТК, рудно-випробувальної лабораторії, центральною лабораторією КВП і М.

Якість відвантаженого товарного концентрату визначається і контролюється УТК АТ «ПІВДГЗК».

Об'єкти контролю:

- параметри вихідної сировини, продуктів збагачення, пульпи, кінцевої (готової) продукції, відвальних хвостів (хімічний склад, крупність, щільність тощо);
- комплектність обладнання та схем;

- режими роботи технологічного обладнання (заповнення млинів помольними тілами, густинні режими роботи обладнання; тиск технічної води, пульпи в гідроциклонах, стисненого повітря; вакуум тощо);
- параметри стану обладнання (розміри насадок і патрубків гідроциклонів, напруженості магнітного поля сепараторів і дешламаторів, робочих коліс насосів тощо); параметри роботи обладнання
- комплектність схем і апаратів контролю та регулювання [8].

## **1.6 Метрологічне забезпечення контролю**

Підготовка проб для хімічного аналізу та визначення вмісту вологи виконується згідно з ДСТУ 3195-2015, ДСТУ 3196-2015, ДСТУ 3201-95.

Метод визначення заліза магнітного здійснюється відповідно до прийнятої на підприємстві методики.

Повний хімічний аналіз проводиться на підставі ГОСТ 22772.0-96 (ISO 4297-78), фазовий аналіз за ДСТУ 3792-98.

Контроль кількості переробленої руди та отриманого концентрату здійснюється за показниками електронних конвеєрних ваг із наступним коригуванням за результатами маркшейдерського вимірювання.

Кількість відвантаженого товарного концентрату визначається на вагонних вагах. Продукція зважується із точністю відповідно до ДСТУ 7273:2012

Поточна витрата тіл для подрібнення контролюється вагонними вагами під час процесу приймання на фабриці і зважуванням перед завантаженням у млини.

Витрата тепла, технічної та господарсько-питної води, електроенергії контролюється відповідними приладами згідно до методів контролю, прийнятих на комбінаті.

На всіх секціях збагачувальної фабрики для визначення вмісту заліза загального та магнетитового в пульпі відвальних хвостів виконується автоматичний відбір проб вакуумними пробовідбірниками.

Завдяки впровадженій системі АСОДУ, інформація за всіма вимірами й аналізами доводиться до оператора пульта управління РЗФ-2 та інших користувачів і використовується для оперативного контролю стану технології [8].

### **1.7 Контроль якості продукції. Об'єкти контролю ВТК**

Відділом технічного контролю із метою стабілізації технологічного процесу та оперативного коригування показниками збагачення контролюються наступні параметри:

1. Вміст класу +20 мм в дробленій руді шляхом візуального огляду збірних конвеєрів дробильної фабрики, відбирання наважки руди, ручний розсів наважки.
2. Вміст заліза загального і магнітного у початковій руді шляхом відбору наважок зливів класифікаторів за ДСТУ 3195-2015.
3. Вміст заліза загального і вологи в концентраті секцій шляхом відбору наважок кеку з усіх вакуум-фільтрів, що працюють.
4. Вміст заліза загального і магнітного в хвостовій канаві секцій № 1-14.
5. Кожну годину знімаються показники, щодо кількості переробленої руди за кожним млином.

## **Висновки до першого розділу**

Наведені загальні відомості про підприємство, а саме стосовно характеристики та особливостям початкової сировини, опису технологічної схеми збагачення, існуючої системи контролю та регулювання технологічних процесів. Також проаналізований порядок метрологічного забезпечення контролю, в т.ч. контролю якості продукції.

На АТ «ПівдГЗК» складні умови збагачення магнетитових кварцитів, що обумовлені наступними параметрами:

- високі показники міцності та абразивності магнетитових кварцитів;
- нерівномірна тонка вкрапленість рудних та нерудних мінералів;
- велике різноманіття текстурно-структурних особливостей;
- значні відмінності речовинного складу магнетитових кварцитів різних ділянок.

Все це в цілому ускладнює процес підвищення якості концентрату ПівдГЗК.

## **2. ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ЗБАГАЧЕННЯ МАГНЕТИТОВИХ КВАРЦИТІВ**

Наявна схема збагачення спроектована на виробництво концентрату з масовою часткою заліза 65,2 – 65,8%. Це досягається в тому числі технологією з трьохстадіальним мокрим шаровим подрібненням, чотирьохстадіальним сепараційним магнітним збагаченням, двохстадіальною схемою магнітної дешламації.

### **2.1 Аналіз шляхів удосконалення технологічної схеми в умовах АТ «ПІВДКЗК»**

Суттєвим мінусом вищезазначеної технології збагачення є те, що вона розділяє матеріал за швидкістю вільного руху та за рахунок ефекту рівнопадіння: а саме те, що маленькі частинки більш важкого мінерального складу мають таку саму швидкість як і мінерали великих розмірів та одночасно легких (кварц). Це призводить до часткового виділення в злив розкритих нерудних зростків кварцу великої крупності.

Якщо видалити класи крупності більше 0,09 мм - слідує збільшення масової частки заліза на 1,2% [2].

Рекомендовану схему збагачення магнетитової руди наведено на рис. 2.1

Вміст у класах -0,072+0,015мм концентратів магнітного збагачення великої кількості бідних зростків зумовлено ефектом в тому числі:

- бідні зростки уходять в зливний продукт поза операцією подрібнення;
- флокуляція зливів ГЦ із захватом у флокули породних частинок і бідних зростків [2].

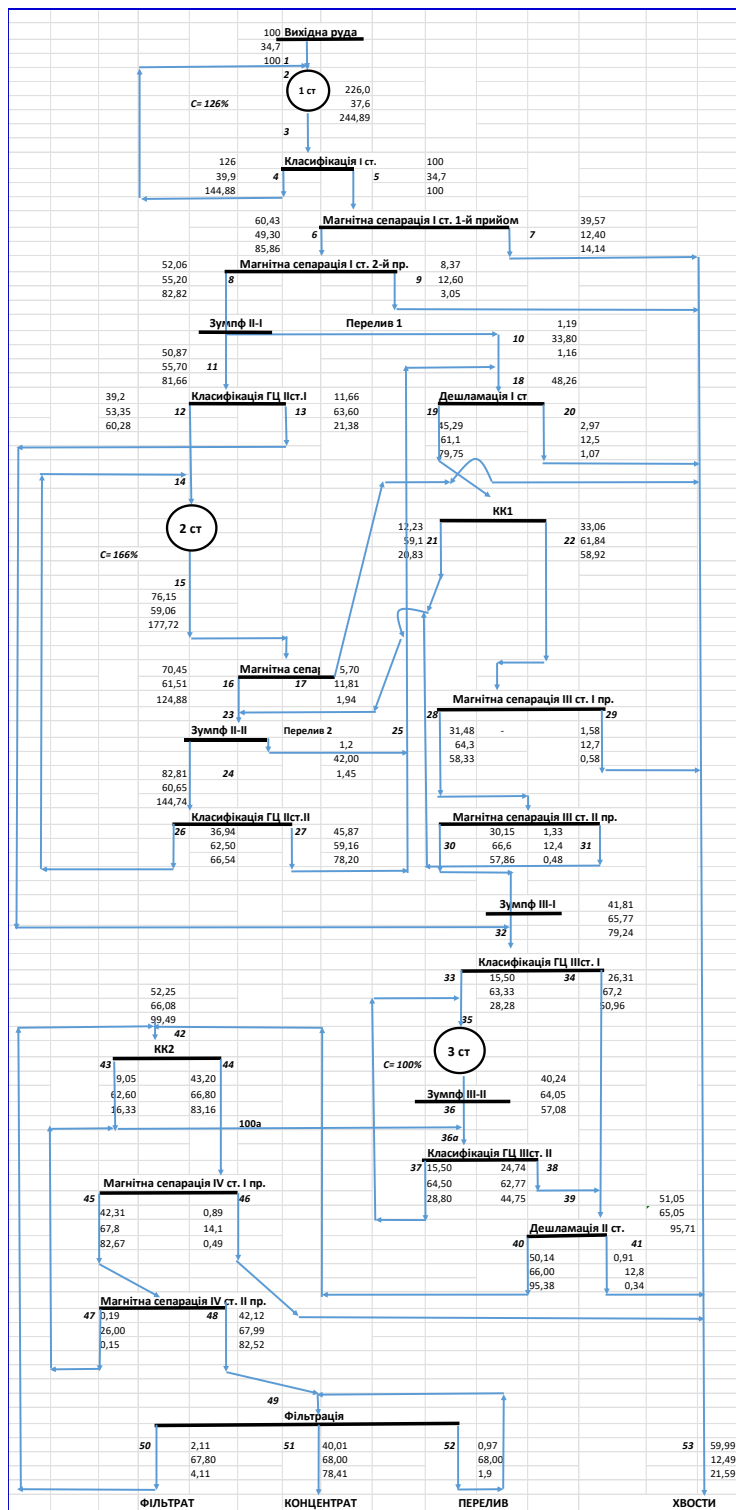


Рисунок 2.1 – Запропонована схема збагачення магнетитової руди

Виробництво високоякісних концентратів з дуже тонкокраплених магнетитових кварцитів можливе за значної кількості стадій подрібнення-збагачення (рисунок 2.2) [2].

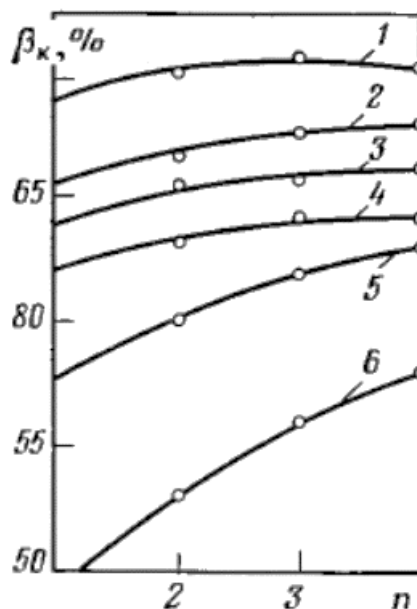


Рисунок 2.2 – Співзалежність вмісту заліза в концентраті  $\beta_k$  від кількості стадій  $n$  подрібнення:

- 1 – тонкокраплені магнетитові кварцити;
- 2 – середньовкраплені магнетитові кварцити;
- 3 – магнетитові руди;
- 4 - тонкокраплені магнетитові кварцити;
- 5 – титаномагнетитові руди;
- 6 – дуже тонкокраплені магнетитові кварцити

Як бачимо, випуск високосортних концентратів можливий тільки при середньо- та тонкокраплених магнетитових кварцитів та скарнових рудах. Проте і при інших різновидах руд хоча і нема можливості отримувати в промислових умовах тільки чисті концентрати, та при чотирьох стадіях подрібнення та збагачення деяку частину можливо вилучати попутно з доменною сировиною [2].

Таблиця 2.1 – Результати роботи I стадії магнітної сепарації в умовах РЗФ-1,2

Фабрика	Прийом сепарації	Живлення		Питома продуктивність, т/п. м. год	Магнітний продукт		Примітки
		масова частка, %			вихід, %	масова частка заліза, %	
		заліза	класу мінус 0,04 (0,05) мм				
РЗФ-1	I	34,7	48,01	11,9	56,86	51,6	ТІ 275-05.03-2016
	II	51,6	33,98	11,3	53,07	54,0	
РЗФ-2 (секції №1-4)	I	34,7	(46,6)	22,2	63,82	47,17	ТІ 275-05.03-2016
РЗФ-2 (секції №11-14)	I	34,7	46,2	19,8	60,38	49,27	ТІ 275-05.03-2016
РЗФ-2 (секція №12)	I	34,7	46,0	19,8	60,47	49,27	Результати опробування РВЛ
	II	49,27	32,1	12,0	54,25	53,5	

Аналіз результатів роботи I стадії магнітної сепарації в умовах РЗФ-1,2 (таблиця 2.1) свідчить про суттєву залежність технологічних показників від продуктивності та кількості прийомів збагачення, перечищення магнітного продукту першого прийому забезпечує підвищення вмісту заліза на 4,23% (з 49,27 до 53,5%) при зниженні кількості матеріалу, що спрямовується в подальші операції збагачення на 6,22% (з 60,47 до 54,25 %) [10].

## 2.2 Методика виконання досліджень

В робочу зміну протягом години (не менше трьох відборів) проводились випробування технологічних показників роботи контрольної класифікації, сепарації. Таку ж серію дослідів виконували

після встановлення на ГЦ піскових насадок Ø15мм, Ø20мм.

Після певного та встановленого режиму роботи секції (діаметр піскових насадок на ГЦ, вихід пісків і вихід концентрату), проводяться випробування техпогнічної секції з відбором по стадіях хвостів магнітної сепарації та дешламації для визначення та розрахунку якісно-кількісної схеми.

При зміні режиму роботи гідроциклонів другої контрольної класифікації (тиск пульпи на вході в гідроциклони, зміна співвідношення діаметрів піскових і зливних насадок, зміни кількості пісків КК-2, що направляються на дозбагачення) можливе збільшення вмісту заліза.

Аналіз гранулометричного складу концентрату магнітного збагачення першої стадії магнітної сепарації (таблиця 2.2) показує високий вміст заліза (69-70%) у тонких класах крупності (-0,044 -0,028 мм) [10].

Таблиця 2.2 – Результати гранулометричного складу концентрату магнітного збагачення четвертої стадії магнітної сепарації

Крупність, мм	Вихід, %	Сумарний за "+", %	Сумарний за "-", %	Вміст Fe загальний, %
-0,075+0,050	1,60	1,60	100,00	46,71
-0,050+0,038	3,50	5,10	98,40	57,57
0,093+0,028	9,30	14,40	94,90	64,49
-0,028+0	85,60	100,00	85,60	69,22
Сума	100,00			68,01

## 2.3 Результати промислових випробувань

У відповідності з результатами виробничих випробувань в умовах технологічної секції №12 РЗФ-2 [9] впровадження другого прийому магнітної сепарації першої стадії (таблиця 2.3) забезпечило: [10].

- додаткове видалення хвосту 6,22% (по виходу) матеріалу з вмістом заліза 12,41% (на рівні хвостів першого першого прийому магнітної сепарації);
- підвищення вмісту заліза загального в промпродукті на 4,23% (з 49,27 до 53,5%);
- зниження кількості матеріалу подрібнення-класифікації, що надходить у другу стадію, на 11,09 т/год (з 107,76 до 96,67 т/год);
- зниження циркуляційного навантаження у другій стадії подрібнення-класифікації на 10% (з 160 до 150%);
- підвищення приросту готового класу (-0,04 мм) у розвантаженні млина другої стадії на 8,0% (з 15,0 до 23,0%).

Порівняльний аналіз результатів роботи I стадії магнітної сепарації РЗФ-1,2 свідчить, що впровадження II прийому забезпечує підвищення масової частки заліза на 2,4% при зниженні кількості матеріалу, що спрямовується в цикл II стадії подрібнення-класифікації на 3,79%.

Однією з причин невисокого вмісту заліза в концентраті є недостатньо ефективна робота II стадії подрібнення-класифікації (а саме - низький вміст готового класу крупності в подрібненому продукті), що обумовлює відносно невисокий приріст готового -25 % класу мінус 0,040 мм) та заліза (10 -15 %) у продуктах збагачення II стадії подрібнення РЗФ-1,2 [10].

Таблиця 2.3 – Характеристика роботи магнітних сепараторів II стадії магнітної сепарації РЗФ-2

Секція	Типороз- мір магніт- них сепарато- рів	Живлення			Питома продуктив- ність сепаратора, т/п. м. год	Вихід хвостів, %	Приріст масової частки заліза в операції, %
		масова частка, %					
		класу мінус, мм		твер- дого			
		0,071	0,05				
№1-4	ПБМ-П- 120/300	45,1	30,0	49,73	42,7	2,52	0,7
№11- 14	ПБМ-П- 120/300	62,9	49	42,5	25,4	8,02	3,1

Основні причини низької ефективності роботи II стадії подрібнення-класифікації:

– підвищена крупність зливу спірального класифікатора, внаслідок порівняно великих крупностей дробленої руди та продуктивності млинів I стадії подрібнення, низький фронт і кількість прийомів збагачення зумовлюють відносно низький вихід хвостів у I стадії магнітної сепарації, подачу великої кількості порівняно бідного за вмістом заліза матеріалу (переважно магнітного продукту I стадії сепарації) в цикл II стадії подрібнення-класифікації;

– порівняно складний гранулометричний склад живлення – у магнітному продукті I стадії магнітної сепарації міститься 42,9-52,3% класу мінус 0,071мм з вмістом заліза (60,0-61,2%) та підвищеною схильністю до ошламування, при цьому великі класи представлені переважно зростками та характеризуються відносно високою міцністю;

– традиційне поєднання попередньої та повірочної класифікацій та, як наслідок, складність оптимізації режимів роботи (розвантажувальних відносин, тиску, щільності живлення та ін.) встановлених у цих операціях гідроциклонів для забезпечення

одночасно високих технологічних (ефективність класифікації) та експлуатаційних (стабільність розвантаження пісків) показників;

– підвищені питомі продуктивності магнітних сепараторів II стадії внаслідок високих циркуляційних навантажень у циклі II стадії подрібнення-класифікації та, як наслідок, відносно низькі вихід хвостів та приріст вмісту заліза в операції магнітної сепарації на розвантаженні млина II стадії подрібнення [2].

Відповідно до результатів виробничих випробувань в умовах технологічної секції №7 РЗФ-1 (таблиця 2.4) розширення фронту I прийому I стадії магнітної сепарації в 1,75 раза (з 4 до 7 агрегатів), впровадження операції контрольної класифікації пісків дешламаторів першого прийому (КК1) з подачею пісків контрольної класифікації до млина II стадії, інтенсифікація процесу знешламлювання за рахунок переходу з примусового розвантаження пісків дешламаторів на самопливну забезпечило підвищення масової частки заліза на 0,75% без зниження вилучення [11].

Періодично ряд дослідників [1] поверталися до ідей, закладених у технології стадіального виділення концентрату, що передбачає, зокрема, виділення після стадії подрібнення частини готового по крупності та вмісту заліза матеріалу з метою зниження кількості матеріалу, що надходить у цикл наступної стадії подрібнення-класифікації.

Випробування в дослідно-промислових умовах технологічної схеми стадіального виділення концентрату (що аналогічно впроваджена в 1955 р. на перших секціях збагачувальної фабрики ПівдГЗК) з використанням сучасного обладнання підтвердили перспективність раніше розроблених технічних рішень та створили передумови для проведення серії випробувань у промислових умовах з елементами даної технологічної схеми [15].

Таблиця 2.4 – Результати промислових випробувань нової технологічної схеми в умовах РЗФ-1 Інгулецького ГЗК

№ з/п	Показники	Одиниці виміру	Технологічна схема	
			нова (секція №8)	Діюча (секція №1-7,9-10)
1	Продуктивність за рудою	т/год	226,2	219,0
	Вихід	%	35,77	37,0
	Масова частка заліза в концентраті	%	65,08	64,08
	Вилучення	%	72,0	73,3
	Масова частка класу мінус 0,050 мм у концентраті	%	96,4	94,4
2	Продуктивність за рудою	т/год	207,2	207,0
	Вихід	%	35,32	36,56
	Масова частка заліза в концентраті	%	65,5	64,3
	Вилучення	%	72,0	73,1
3	Кількість експлуатованих гідроциклонів ГЦ710 (КК1)	од.	2	-
4	Выход слива гидроциклонов КК1	%	32,0-42,0	
5	Масова частка класу мінус 0,050 мм в:			
	Зливі класифікатора		45,7	-
	зливів ГЦ710 (КК1)		95,0	-
	пісках ГЦ710 (КК1)		18,5	-
6	Ефективність класифікації (КК1)	%	70,6	-

На секції №4 РЗФ-2 (таблиця 2.5) виконані промислові випробування технологічної схеми збагачення магнетитових кварцитів, що відрізняються від діючої технології наявністю трьох додаткових стадій контрольної класифікації зливу класифікатора (КК1) та пісків

дешламаторів I-II прийомів (КК2, КК3) подачею магнітного продукту сепарації зливу контрольної класифікації КК2 в операцію контрольної класифікації КК3, минаючи цикл III стадії подрібнення-класифікації.

Таблиця 2.5 – Результати промислових випробувань нової технологічної схеми в умовах РЗФ-2

№ з/п	Показники	Одиниці виміру	Значення
1	Продуктивність за рудою	т/год	339,4
2	Кідькість гідроциклонів ГЦ710, що в роботі	од.	2
3	Масова частка класу мінус 0,050 мм в:	%	
	Зливі класифікатора		47,2
	зливів ГЦ710 (КК1)		86,2
	пісках ГЦ710 (КК1)		17,9
4	Вихід зливу	%	38,85
5	Ефективність класифікації (КК1)	%	67,2

На секціях №11-14 тривалий час експлуатувалися технологічні схеми з додатковою попередньою класифікацією живлення гідроциклонів II стадії класифікації, організованої шляхом спрямованого переливу технологічного зумпфу, що забезпечувала виділення до 1,2 – 1,8% (за виходом) матеріалу (переважно тонких породних частинок та бідних зростків) з масовою часткою заліза до 42,0% і подання їх на операцію дешламації, поза циклом II стадії подрібнення-класифікації [2].

Аналіз результатів промислових випробувань, проведених на ряді підприємств з переробки тонкокраплених залізистих кварцитів (Михайлівський ГЗК, Інгулецький ГЗК, Південний ГЗК), показує:

– можливість виділення у відкритому циклі в гідроциклонах ГЦ360 (Михайлівський ГЗК) і ГЦ710 (Інгулецький ГЗК, Південний ГЗК) з

матеріалу крупності I стадії подрібнення частини продукту (до 35,0% по виходу від операції) відповідної крупності задовільного розкриття рудних мінералів (суттєво тонше крупності стадії подрібнення за існуючими технологічними схемами);

- високу ефективність гідравлічної класифікації у гідроциклонах у відкритому циклі (до 67,2-70,6% для ГЦ360, ГЦ710 при класифікації зливу спірального класифікатора I стадії подрібнення);

- області оптимальних значень продуктивності гідроциклонів різних типорозмірів в режимах виділення матеріалу за крупністю, що відповідає задовільному розкриттю рудних мінералів - до 60,0 т/год, 120 куб. м/год (ГЦ360), до 150,0 т/год, 250 куб. м / год (ГЦ710);

- хороше розкриття тонкої фракції матеріалу після I стадії подрібнення і, як наслідок, відносно високий вміст заліза, що отримується при збагаченні цього продукту (на 1,0-1,5% вище ніж у сумарному концентраті, Михайлівський ГЗК);

- високий вміст заліза (на рівні кінцевого концентрату) у тонких фракціях магнітного продукту III стадії магнітної сепарації;

- позитивний вплив на кінцеві показники збагачення попереднього виділення, перед циклом II стадії подрібнення - класифікації, готового за крупністю матеріалу та подачі його на подальше збагачення (Михайлівський ГЗК, Інгулецький ГЗК);

- позитивні результати досягаються при поєднанні попередньої класифікації (перед стадією подрібнення-класифікації) та контрольної класифікації подрібненого продукту цієї стадії подрібнення (Інгулецький ГЗК);

- виділення у відкритому циклі класифікації частини тонкого матеріалу перед циклом подрібнення сприяє скороченню ризиків істотного підвищення питомої поверхні концентрату при зниженні його крупності [2].

При мокрій магнітній сепарації ( $H_{\text{поля}}=110-120$  кА/м) подрібнених сильномагнітних магнетитових кварцитів та залізних руд має місце неселективність магнітних флокул (агрегатів), які містять розкриті зерна рудних та нерудних мінералів, а також зростки вищевказаних мінералів. Внаслідок остаточної намагніченості зерен магнітних мінералів створюється міцна зовнішня оболонка магнітних флокул, всередині яких міститься доволі багато розкритих зерен кварцу та зростків з малим вмістом заліза. Особливо негативний вплив неселективної магнітної флокуляції при відомому способі збагачення сильномагнітних руд має місце в заключній стадії мокрої магнітної сепарації пісків магнітних дешламаторів. Таким чином, визначним недоліком традиційної технології збагачування сильномагнітних залізних руд та магнетитових кварцитів є явище неселективної магнітної флокуляції розкритих зерен рудних мінералів та мінералів пустої породи, а також їхніх зростків, при мокрій магнітній сепарації ( $H_{\text{поля}} = 110-120$  кА/м) подрібнених сильномагнітних руд в завершальній стадії магнітного збагачення. Це явище впливає на зниження якості концентрату внаслідок залучення в нього розкритих зерен пустої породи (кварцу) та зростків, бідних за вмістом заліза [2].

Крім того, при традиційній технології магнітного збагачення, хвости магнітної сепарації мають більший вміст магнітного заліза, ніж зливи (відходи) магнітних дешламаторів.

Заклучна стадія класифікації, подрібнення, магнітної дешламації та магнітної сепарації доповнюється додатковою операцією контрольної гідравлічної класифікації пісків магнітних дешламаторів, в якій співвідношення діаметрів піскових та зливних розвантажувальних отворів контрольних гідроциклонів дорівнює 0,4 – 0,5, причому зливи контрольних гідроциклонів надходять до заключної (кінцевої) стадії мокрої магнітної сепарації, а піски – повертаються до циклу заключної стадії класифікації та подрібнення [2].

Таблиця 2.6 – Режим і технологічні показники роботи II контрольної класифікації

№ з/п	Найменування показників	Од. вим.	Найменування гідроциклонів
1.	Типорозмір гідроциклона		НС-350-20 (ГЦ 350)
2.	Кількість батарей встановлених/експлуатованих	шт.	3/2
3.	Кількість гідроциклонів у батареї	шт.	4
4.	Розміри: -живильних патрубків - діаметр зливних патрубків - діаметр піскових насадок	мм	50x110 111 30-35
5.	Тиск у колекторі	МПа	0,09-0,135
6.	Масова частка твердого (густина) в: - живленні - зливі - пісках	% (г/літр)	28-30 (1280-1320) 9-11 (1060-1110) 68-70 (2130-2250)
7.	Масова частка класу 0,071 (0,040) мм в: - живленні - зливі - пісках	%	94-97,5 97-99,5 90-93

Виробничі випробування в умовах технологічної секції №11 РЗФ-2 засвідчили, що впровадження операції контрольної класифікації КК-2 дозволять підвищити вміст заліза в концентраті на 0,39% (таблиця 2.6).

Реалізація в умовах збагачувальних фабрик АТ «ПІВДГЗК» ряду організаційно-технічних заходів (використання куль діаметром 40 мм; заміна гідроциклонів ГЦ-710 на ГЦ-500; організація додаткової попередньої класифікації живлення гідроциклонів II стадії класифікації секцій №11-14 РЗФ-2 шляхом спрямованої організації переливу технологічного зумпфу, виділення тонких частинок (переважно породних частинок та бідних зростків) та подачі їх на операцію дешламації, минаючи цикл II стадії подрібнення-класифікації;

впровадження операції контрольної класифікації та інше, забезпечили часткове підвищення ефективності роботи II стадії подрібнення-класифікації [2].

Розробка заходів щодо удосконалення технологічної схеми збагачення магнетитових кварцитів зводиться до наступного:

- збільшення кількості прийомів магнітної сепарації першої стадії;
- роздільні попередні та контрольні класифікації, запровадження операцій класифікації у відкритому циклі з метою підвищення ефективності операції);
- спрямований перелив технологічного зумпфу та подача його в чан дешламатора МД-9 з метою зниження в'язкості живлення гідроциклонів, підвищення ефективності видалення бідних зростків;
- зниження ошламування тонких багатих рудних частинок, зниження кількості матеріалу, що надходить у цикл другої стадії подрібнення – класифікації;
- зниження кількості зростків у живленні III-IV стадій магнітної сепарації;
- зменшення флокулоутворення.

### **Висновки до другого розділу**

Проаналізовані шляхи удосконалення технологічної схеми збагачення. Досліджені результати промислових випробувань запропонованих заходів, в т.ч. на аналогічних підприємствах галузі.

## ВИСНОВКИ

1. Виробництво високоякісного концентрату з тонкокраплених залізистих кварцитів родовища АТ «ПівдГЗК» за прийнятою технологією мокрого кульового подрібнення, класифікації, магнітного збагачення можливе за умови ефективного розкриття рудних мінералів, що зумовлює необхідність тонкого подрібнення концентрату до вмісту класу мінус 0,04 мм 98,0-99,0 % і, як наслідок, високу питому поверхню концентрату (2100-2200 см<sup>2</sup>/кг).

2. Наведені загальні відомості про підприємство, а саме стосовно характеристики та особливостям початкової сировини, опису технологічної схеми збагачення, існуючої системи контролю та регулювання технологічних процесів. Також проаналізований порядок метрологічного забезпечення контролю, в т.ч. контролю якості продукції.

3. На АТ «ПівдГЗК» складні умови збагачення магнетитових кварцитів, що обумовлені наступними параметрами:

- високі показники міцності та абразивності магнетитових кварцитів;
- нерівномірна тонка вкрапленість рудних та нерудних мінералів;
- велике різноманіття текстурно-структурних особливостей;
- значні відмінності речовинного складу магнетитових кварцитів різних ділянок.

Все це в цілому ускладнює процес підвищення якості концентрату ПівдГЗК.

4. Виконувались дослідження щодо визначення режимів роботи секцій з контрольною класифікацією, шляхом зміни діаметрів піскових насадок гідроциклонів.

5. Підвищення якості готової продукції буде за рахунок класифікації продукту на злив і більш крупний матеріал, з подальшим направленням пісків гідроциклонів в млин третьої стадії подрібнення.

6. Впровадження запропонованої схеми збагачення дозволить отримувати збільшений на 2,7% вміст заліза (з 65,3% до концентрату марки КЗВ), при цьому вихід знизиться на 2,04% (з 42,05 до 40,00%), підвищення вилучення на 1,2% (з 78,2 до 79,4%).

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:**

1. Шинкоренко С.Ф. Довідник зі збагачення руд чорних металів. Недра, 1980, С.576.
2. Будін Є.І. Звіт з переддипломної практики ТОВ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА». Запоріжжя, 2024. 14 с.
3. Кармазін В.В., Кармазін В.І. Магнітні та електричні методи збагачення: практ. посіб. Недра, 1988.
4. Ісмагілов Р.І., Козуб А.В. Сучасні напрямки підвищення ефективності переробки залізистих кварцитів на прикладі АТ «Михайлівський ГЗК ім. А.В. Варичева. Гірнича промисловість, 2020.
5. Губін Г.В. Аналітичний огляд напрямів покращення якості магнетитових концентратів. Вісн. НТУ "Дніпровська політехніка", 2016. Вип. №64(105).
6. Будін Є.І. Питання підвищення масової частки заліза загального у залізородному концентраті до 69,0% за рахунок оптимізації топології технологічних схем збагачення руди. *Сучасні аспекти модернізації науки: стан, проблеми, тенденції розвитку*: матеріали XLIV Міжнародної наук.-практ. конф., м. Умео (дистанційно), 07 трав., 2024 р. Ч.7 С. 142.
7. Пелєвін А.Є. Шляхи підвищення ефективності технології збагачення залізородної сировини. Наук. Техн.зб. Збагачення корисних копалин. Період. видання НТУ "Дніпровська політехніка", 2017. Вип.№73(146).
8. Виробництво концентрату залізородного агломераційного. Технологічна інструкція ТІ 275-05.03-2016 АТ «ПІВДГЗК», 2016.
9. Підвищення якості магнетитового концентрату Інгулецького ГЗК. Збірник «Збагачення корисних копалин», 1979. Вип.№25.

10. Акт промислових випробувань технології збагачення неокислених залозистих кварцитів із стадіальним виділенням концентрату. Ін-т Механобрчермет, 1989.

11. Розробка та промислові випробування технології, що забезпечує підвищення якості магнетитових концентратів РЗФ-1 Інгулецького ГЗК (заключний). Механобрчермет, 1998. С.118

12. Анотований «Звіт рудо-випробувальної лабораторії за 2004 рік». Фонди ПівдГЗК, 2005.

13. Звіт та комплексний аналіз проби руди із родовища АТ «ПівдГЗК». Longi, Китай, 2020.

14. Методика виробничих випробувань технологічної схеми секції №14 РЗФ-2 АТ «ПівдГЗК», 2020.

15. Лабораторні технологічні випробування в тестовому режимі гвинтової сепарації на продуктах технологічної схеми збагачення РЗФ АТ «ПівдГЗК». Інформаційна записка ТОВ «Виробнича компанія «Спіріт», 2020.

16. Барський І.А., Плаксін І.І. Критерії оптимізації розділових процесів. Наука, 1967.

17. Фадіна А.В. Енергозбереження у циклах подрібнення. Політехнічний фестиваль для студентів та молодих вчених, 2012. С. 225 – 226.

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