

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ГІРНИЧО - МЕТАЛУРГІЙНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ЗБАГАЧЕННЯ КОРИСНИХ КОПАЛИН І ХІМІЇ

Пояснювальна записка
до випускної магістерської роботи

зі спеціальності 184 «Гірництво»

Тема роботи: «Розробка схеми збагачення окиснених марганцевих руд із застосуванням технології «Модуль кускового сортування»»

Виконав магістрант групи ЗКК-23м	_____/Терентьев А.С. /
Керівник випускної роботи	_____/Скляр Л.В./
Нормоконтролер	_____/ Мельниченко Н.П. /
Завідувач кафедри	_____/ Олійник Т.А. /

Кривий Ріг
2024 рік

Криворізький національний університет

Факультет: гірничо - металургійний

Кафедра: Збагачення корисних копалин і хімії

Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр

Спеціальність: 184 Гірництво

Спеціалізація Збагачення корисних копалин

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою _____

“ _____ ” _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ МАГІСТРА СТУДЕНТУ

Терентьєву Андрію Святославовичу

1. Тема «Розробка схеми збагачення окиснених марганцевих руд із застосуванням технології « Модуль кускового сортування»»
керівник роботи Скляр Людмила Василівна, кандидат технічних наук, доцент
затверджені наказом вищого навчального закладу від “28” лютого 2024 року №
184 с
2. Строк подання студентом проекту 12.12.2024
3. Вихідні дані по роботі: «Розробити схему збагачення окиснених марганцевих руд із застосування технології « Модуль кускового сортування»»
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1. Досвід застосування попередньої сепарації марганцевих руд із застосуванням сучасних сенсорних методик 2. Сировинна база родовищ «Акжар-Саритума» та «Улькенжол». 3. Методи дослідження корисних копалин. 4. Лабораторні дослідження з проведення дослідно-промислових випробувань (ДПВ) технології “Модуль кускового сортування”, Мп руди родовища «Акжар-Саритума» та «Улькенжол». 5. Рекомендована технологічна схема збагачення марганцевих кварцитів . 6. Безпека праці. 7. Техніко-економічна доцільність впровадження технології “Метод кускового сортування”. Загальні висновки. Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу: матеріали виконані у форматі А4 в редакторі Microsoft Office Power Point

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали, та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-5	Скляр Л.В., к.т.н., доцент		
6	Швагер Н.Ю., к.т.н., доцент		
7	Скляр Л.В., к.т.н., доцент		

7. Календарний план:

№ з/п	Етапи роботи	Термін виконання
1.	Вступ. Досвід застосування попередньої сепарації марганцевих руд із застосуванням сучасних сенсорних методик	28.02.2024-22.04.2024
2.	Дані геолого-технологічного вивчення родовища .	22.04.2024 - 15.05.2024
3.	Методика виконання досліджень.	15.05.2024 -25.05.2024
4.	Лабораторні дослідження з проведення випробувань технології “Модуль кускового сортування”, Mn руди родовища «Акжар-Саритума» та «Улькенжол»	25.05.2024-18.06.2024
5.	Рекомендована технологічна схема збагачення окиснених марганцевих руд	18.06.2024-28.09.2024
6.	Безпека праці. Загальні висновки	28.09.2024-10.10.2024
7.	Виконання економічної частини	10.10.2024-21.11.2024
8.	Подання на рецензію	05.12.2024-9.12.2024
9.	Передзахист	10.12.2024 – 14.12.2024
10.	Захист	22.12.2024

Дата видачі завдання 28 лютого 2024 р.

Студент _____ / А. С. Терентьєв

Керівник роботи _____ / Л. В. Скляр

Формат	Зона	Поз.	Позначення		Кількість	Примітка
				<u>Документація</u>		
		1	КНУ. РМ. 184.24.184с-13.00.ПЗ	Пояснювальна записка		
		2	КНУ. РМ. 184.24.184с-13.00.ПЗ	Тема диплому		
		3	КНУ. РМ. 184.24.184с-13.00.ПЗ	Актуальність роботи		
A4		4	КНУ. РМ. 184.24.184с-13.00.ПЗ	Мета, предмет та об'єкт дослідження		
		5	КНУ. РМ. 184.24.184с-13.00.ПЗ	Задачі досліджень		
A4		6	КНУ. РМ. 184.24.184с-13.00.ПЗ	Мінеральний та хімічний склад марганцевих руд		
A4		7	КНУ. РМ. 184.24.184с-13.00.ПЗ	Результати лабораторних та промислових досліджень		
A4		8	КНУ. РМ. 184.24.184с-13.00.ПЗ	Рекомендована схеми збагачення		
A4		9	КНУ. РМ. 184.24.184с-13.00.ПЗ	Характеристика кінцевих концентратів		
A4		10	КНУ. РМ. 184.24.184с-13.00.ПЗ	Загальні висновки		

					КНУ. РМ. 184.24.184с-13. 00.ПЗ. ВО						
№	Арк	№докум.	Підпис	Дата							
Розроб					ВІДОМІСТЬ ОБ'ЄМУ РМ	Лис		Арк.	Аркушів		
Перев.						н	1	1	4	1	
Нконтр		Мельниченко				Кафедра ЗКК і Х ЗКК-23м					
Затверд											

РЕФЕРАТ

Магістерська робота складається з пояснювальної записки та креслень, які виконано за допомогою програми Microsoft Office Power Point. Пояснювальна записка містить 99 сторінок, 22 таблиці, 33 рисунка, - 34 використаних джерела.

Предмет дослідження – марганцеві окиснені руди, родовище Акжар-Саритума та Улькенжол (Казахстан).

Об'єкт дослідження – Розробка технологічної схеми збагачення марганцевих окиснених руд із застосуванням метода “Модуль кускового сортування”.

Мета наукової роботи – Впровадження технологічної схеми збагачення марганцевих окиснених руд за допомогою технології “Модуль кускового сортування” для отримання кінцевих концентратів які відповідають технічним вимогам до товарної продукції.

У першому розділі виконано кон'юктурний огляд марганцевої сировини, приведена інформація щодо досвіду застосування сучасних сенсорних методик, надана характеристика сортувально-сенсорного обладнання.

У другому розділі надана характеристика сировинної бази родовища Акжар – Саритума та Улькенжол зазначені їх особливості.

У третьому розділі зазначено методику проведення досліджень згідно зі стандартами України.

У четвертому розділі виконані лабораторні дослідження з проведення випробувань технології «Модуль кускового сортування», Мп руди родовища «Акжар-Саритума» та «Улькенжол» Приведені вимоги до концентрату збагачення.

У п'ятому розділі надана технологічна схема збагачення та її обґрунтування. Розрахована якісно - кількісна схема, обрано обладнання та надані його характеристики.

У шостому розділі описані заходи щодо безпеки при роботі у шкідливих та небезпечних умовах, при експлуатації технологічного обладнання, протипожежні заходи.

У сьомому розділі виконано економічний розрахунок впровадження технології “Модуль кускового сортування”, внутрішня норма прибутку (IRR) складає 18,74%, чистий прибуток складає 33899000 \$ на рік, термін окупності складає 5,5 років.

ЗБАГАЧЕННЯ, МАРГАНЦЕВІ РУДИ, МОДУЛЬ КУСКОВОГО СОРТУВАННЯ, ГРАНУЛОМЕТРИЧНИЙ СКЛАД, КОНЦЕНТРАТ, ХВОСТИ, СЕНСОРНА СЕПАРАЦІЯ, ДРОБАРКА, ГРОХОТ.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
Розділ 1 Застосування попередньої сепарації марганцевих руд із застосуванням сучасних сенсорних методик	10
1.1 Кон'юнктурний огляд марганцевої сировини:	10
1.2 Всесвітній досвід застосування сучасних сенсорних методик.....	18
1.3. Сутність процесу попередньої сепарації із застосуванням сенсорних методів.....	24
1.4 Характеристика сортувально-сенсорного обладнання	28
1.4.1 Обладнання типу «TOMRA Sorting».....	33
1.4.2 Обладнання типу « Circle Series».....	38
1.4.3 Обладнання типу «МКС» (Модуль кускового сортування).....	44
Розділ 2 Сировинна база родовищ «Акжар-Саритума» та «Улькенжол»	49
2.1 Мінерологічний та хімічний склад руд родовищ «Акжар-Саритума» та «Улькенжол».....	52
Розділ 3 Методи дослідження корисних копалин.....	57
Розділ 4 Лабораторні дослідження з проведення випробувань технології «Модуль кускового сортування» , марганцевої руди родовища «Акжар-Саритума» та «Улькенжол».....	63
4.1 Наукове обґрунтування технології сенсорного сортування.....	63
4.2 Результати розсіву та дослідно-промислових випробувань проб -80+40мм, -40+20мм, -20+0мм.....	67
4.3 Результати випробувань вихідної руди крупності -80+40 мм.....	69
4.4 Результати випробувань вихідної руди у крупності -40+20 мм.....	73
4.5 Результати з довилучення марганцю з хвостів.....	76
4.6 Технічні вимоги до якості концентрату.....	78

Розділ 5 Рекомендована технологічна схема збагачення марганцевих руд...	80
5.1 Обґрунтування технологічної схеми збагачення руди.....	80
5.2 Розрахунок якісно-кількісної схеми збагачення	81
5.3 Вибір обладнання	82
Розділ 6 Безпека праці	85
Розділ 7 Техніко-економічна доцільність впровадження технології “Метод кускового сортування”.....	91
Загальні висновки.....	Ошибка! Закладка не определена. 95
Список використаних джерел.....	Ошибка! Закладка не определена. 97

ВСТУП

Актуальність питання. Сьогодні Світ стоїть на порозі актуальних проблем, щодо раціонального використання природних ресурсів. В багатьох галузях промисловості спостерігаються зміни, спрямовані на збереження цих ресурсів. Так, гірничодобувна галузь, і зокрема такий широкий її напрям як збагачення мінеральної сировини, також проходить свою еволюцію. Загальносвітова тенденція до виснаження багатих мінеральних ресурсів призводить до необхідності залучення до переробки бідних та некондиційних руд. В результаті, у підприємств виникає необхідність проведення модернізації основного технологічного процесу, пов'язаного з глибоким збагаченням сировини. А це, у свою чергу, пов'язано з великими економічними витратами або буває просто неможливо. Рішенням даної ситуації найчастіше стає використання сухого методу попереднього збагачення сировини. Попереднє збагачення передбачає використання спеціального обладнання (наприклад сортувальника сировини), яке з некондиційної руди дозволяє отримати багату руду, за рахунок скидання порожньої породи у відвал, ще на етапі видобутку сировини.

Ключовим моментом тут є впровадження технологій попереднього збагачення руд. Застосування таких технологій стає дедалі актуальніше, через суттєве поліпшення економіки підприємства після їх впровадження, а також через екологічні аспекти та інші причини.

Мета і завдання дослідження. Збільшення масової частки марганцю та спрощення технологічної схеми при збагаченні марганцевих руд родовища Акжар-Саритума за рахунок впровадження технології “Модуль кускового сортування” у стадії рудо-підготовки.

Завдання досліджень:

- Зробити теоретичний аналіз ефективності збагачення марганцевих руд із застосуванням методів сенсорного сортування;
- Розглянути принцип дії та конструкцію обладнання (Модуль кускового сортування);
- Провести лабораторні дослідження з використання технології “Модуль кускового сортування”.
- Розробити технологічну схему збагачення марганцевих окиснених руд із застосуванням технології “Модуль кускового сортування”.
- Обґрунтувати техніко-економічні показники розробленої схеми;
- Провести застосування заходів щодо безпеки праці

Методи досліджень. У ході роботи над даною магістерською роботою було виконано хімічний, мінеральний, гранулометричний аналізи.

Наукове обґрунтування отриманих рішень. Обґрунтовано метод завдання багатокомпонентної суміші постійного складу з випадковим вмістом відповідних компонентів, обумовлений тим, що багатокомпонентна суміш розглядається як бінарна суміш, що дозволяє за рахунок використання роздільної ознаки складової компонентів підвищити надійність розділення та збільшити вилучення корисного компоненту.

Практичне значення отриманих результатів. Полягає у збільшенні масової частки марганця у вихідній руді з 13,1% до 45,1% у концентраті за рахунок впровадження у технологічну схему модуля кускового сортування.

Особистий внесок. Автором проведено дослідження науково-технічної літератури за темою роботи, обґрунтована мета досліджень, виконано аналіз досліджень згідно з отриманими результатами.

Структура і обсяг роботи. Робота складається зі вступу, 7 розділів і висновків, списку літератури, що включає 34 джерела. Робота викладена на 99 сторінках машинописного тексту і містить 22 таблиці і 33 рисунка.

РОЗДІЛ 1 ЗАСТОСУВАННЯ ПОПЕРЕДНЬОЇ СЕПАРАЦІЇ МАРГАНЦЕВИХ РУД ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СУЧАСНИХ СЕНСОРНИХ МЕТОДИК

1.1 Кон'юнктурний огляд марганцевої сировини

Марганець має широке застосування у сучасній промисловості. За способом використання цього виду промислової сировини марганцеві руди ділять на хімічні та металургійні.

Перші містять щонайменше 80% MnO_2 . Їх використовують у гальванічних елементах (двоокис марганцю – відмінний деполяризатор), у виробництві скла, кераміки, мінеральних барвників, марганцівки ($KMnO_4$) та деяких інших продуктів хімічної промисловості.

Руди, що містять менше 80% піролюзиту, використовуються в чорній металургії. У загальному видобутку марганцевих руд їй припадає понад 90%.

Загальні запаси марганцю у світі становлять 8,5 млрд.т, підтверджені – 3,5 млрд.т. Основні родовища зосереджені у десяти країнах – ПАР та Україні (сумарно 50% світових), Казахстані, Габоні, Грузії, Австралії, Бразилії, Китаї, Болгарії, Індії. Найвищі сортові руди (концентрації оксидів марганцю – 40–45%) встановлені в ПАР, Габоні, Австралії та Бразилії, однак у світовому балансі багаті руди становлять не більше третини. У розпорядженні інших держав знаходиться сировина середньої та низької якості (зміст марганцю – 20–30%) [1].

Таблиця 1.1 - Найбільші країни-виробники марганцевої руди

Країна	Область видобутку	Споживання
1	2	3
ПАР (50% загальних та 30% підтверджених запасів)	Рудне поле Калахарі є найбільшим у світі скупченням руд, вміст марганцю – 38–50,5%. У Постмасбурзькому полі вміст марганцю в руді сягає 30-32%.	Близько чверті руди, що видобувається в країні, переробляється на місцевих феррозаводах, решта вивозиться у вигляді руди. Провідні постачальники – компанії Anglovaal, Assmang (2,33 млн.т марганцевої руди у 2006–07 рр.) та Samancor (4 млн.т), яка є спільним підприємством BHP та Anglo American..т).

Продовження табл.1.1

1	2	3
Габон	Родовище Моанда поблизу Франсвіля, технологія ведеться відкритим способом. Середній вміст марганцю в рудах – 48%, сірки – 0,03–0,09%, фосфору – 0,04–0,13, SiO ₂ – 3–4%. Висока якість сировини дозволяє використовувати її без збагачення	Місцева Comilog у 2006 році видобула 2,9 млн.т руди. Більшість сировини експортується до США
Австралія	Родовище Грут-Айленд. Зміст: марганцю – 37–52% (середнє – 41%); заліза - 2-11,5%; кремнезему - 3-13%; фосфору – 0,07–0,09%; сірки - 0,07-0,08%. Руди легко збагачуються. Відробіток ведеться відкритим способом. Відомі також дрібніші родовища в Західній Австралії (Вуді-Вуді, Майк)	ВНР Billiton видобуває понад 7 млн.т руди
Бразилія	Родовища Урукум (шт. Мату-Гросу-ду-Сул), Азул та Бурітірама (шт. Пара), Серра-ду-Навіу (територія Амапа), Мігель-Конгу та інші в штаті Мінас-Жерайс	На світовий ринок щорічно відвантажується 1,5–2 млн.т марганцевої руди з вмістом марганцю понад 39%. Провідний продуцент та експортер – CVRD (у 2006 році видобула понад 11 млн.т)
Індія (15% від світового видобутку)	Більшість родовищ розташовані в штатах Гуджарат, Мадхья-Прадеш, Орісса та Махараштра. Зміст марганцю – 31–55,5%; заліза - 2-7,5%; кремнезему - 2-19%; фосфору – 0,07–0,35%. Руди легкозбагачувані (при необхідності), розробляються кар'єрами	

Продовження табл.1.1

1	2	3
Китай	Дрібні, але численні поклади марганцю, хоча 70% їх представлено низькосортними і важкозбагачувальними карбонатними рудами. Найбільші родовища розташовані в Гуансі-Чжуанському автономному районі (37% підтверджених запасів), у провінціях Хунань (17%), Гуйчжоу (15%), а також Ляоніні, Сичуані та Юньнані. Середній вміст у рудах – 20–40%	КНР є світовим лідером з валового видобутку марганцевих руд, але через низьку їхню якість посідає лише п'яте місце з випуску товарних руд стандартної (48–50% Mn) якості.
Україна	Друге місце у світі (650 млн.т загальних та 630 млн.т розвіданих запасів) за запасами. Основні поклади марганцевих руд знаходяться у Южно-Українському басейні. Це родовища Нікопольської групи та Великотокмакське, що містять 33 та 67% підтверджених запасів країни.	Середній вміст високоякісних оксидних руд марганцю, що залягають на території України та Грузії, варіюють у межах 23–30%, а в отриманих концентратах – 68–78%.
Грузія	Понад 90% запасів марганцю зосереджено у Чіатурському родовищі. Тут переважають карбонатні руди із середнім вмістом марганцю 16,5%. Розвідані запаси "Чіатурмарганцю" оцінюються на рівні 160 млн.т	
Казахстан	Загальні запаси – до 100 млн. тонн. Більше 90% з них знаходиться в Центральном-Казахстанському регіоні в родовищах Західний Каражал, Ушкатын I, Ушкатын-III, Жомарт та ін. сірки (0,10,3%)	

За запасами марганцевих руд, що числяться на Держбалансі, Казахстан займає третє місце у світі, але за їх якістю поступається основним світовим продуцентам. За даними Геологічної служби США, Казахстан у 2023 році посідав 9 місце у світі за обсягами видобутку марганцю. Лідерами з видобутку були ПАР (4700 тис. т), Китай (3200), Австралія (3100). Світовий видобуток протягом року збільшилася на 6,5 % і становить 18 млн. т. [2].

Таблиця 1.2 - Видобуток марганцю у світі

Країна	Середній рівень виробництва, млн. т	Середній вміст Mn, %
Китай	11	22
Габон	3	50
Австралія	2,9	40
Україна	2,2	23
ПАР	2,1	45
Гана	2	31
Індія	1,7	36
Бразилія	1	40
Казахстан	0,5	25

Основна частина запасів марганцевих руд (92,5%) зосереджена в Атасуйском рудному районі Карагандинської області, де здійснюється близько 99 % їх видобутку. Інші виявлені запаси знаходяться в Мангістауській, Акмолінській, Жамбильській, Актюбінській, Алматинській та Східно-Казахстанській областях.

Провідним геолого-промисловим типом марганцевих родовищ є вулканогенно-осадовий (атасуйський). Для нього характерні низькі вмісти в марганцевих рудах фосфору (0,02-0,08%), сірки (0,08-0,1%) та тісний просторовий та генетичний зв'язок марганцевих руд із рудами заліза, свинцю та цинку. Переважним розвитком користуються первинні карбонат-силікат-окисні (91% запасів), значно меншою мірою окислені, окисно – карбонатні та залізо-марганцеві руди. Середній вміст марганцю у первинних рудах становить 21-23%.

Державним балансом Республіки Казахстан на 01.01.2023 р. враховано запаси по 39 об'єктах (36 родовищ та 3 ТМО), з них у п'яти лише позабалансові руди. З 37 балансових об'єктів 24 із запасами 634,8 млн. т (93 % від запасів РК) передано для експлуатації та розвідки надрокористувачам (розподілений фонд). У 2014 році ними було залучено до розробки 8 об'єктів з балансовими запасами 196,3 млн. т (28,8 % від запасів РК). На решті об'єктів проводилися геологорозвідувальні роботи та підготовка до експлуатації. Крім того, 13 об'єктів із запасами 47,6 млн. т (близько 7 % від запасів РК) перебували у резерві (нерозподілений фонд) [2].

Видобуток марганцевих руд у Казахстані на початку аналізованого періоду збільшився у 2007 році до 3,6 млн. т. У наступні 3 роки він скоротився (у зв'язку з кризою) до 2,4 млн. т. У 2013 році зростання видобутку відновилося, а у 2016 році видобуток досяг 3,8 млн. т. У 2022 році видобуток скоротився в 1,5 раза (щодо попереднього року).

Усього за період 2005-2023 років було видобуто 29,87 млн. т марганцевих руд. У результаті проведення геологорозвідувальних робіт у аналізованій період було отримано приріст запасів за категоріями А+В+С1+С2 у кількості 75,90 млн.т, що дозволило як компенсувати всі запаси, погашені при видобутку, а й отримати реальний приріст запасів марганцевих руд. Приріст запасів у 2023 році становив 147,3 тис.т (за родовищем Східний Комис). [3]

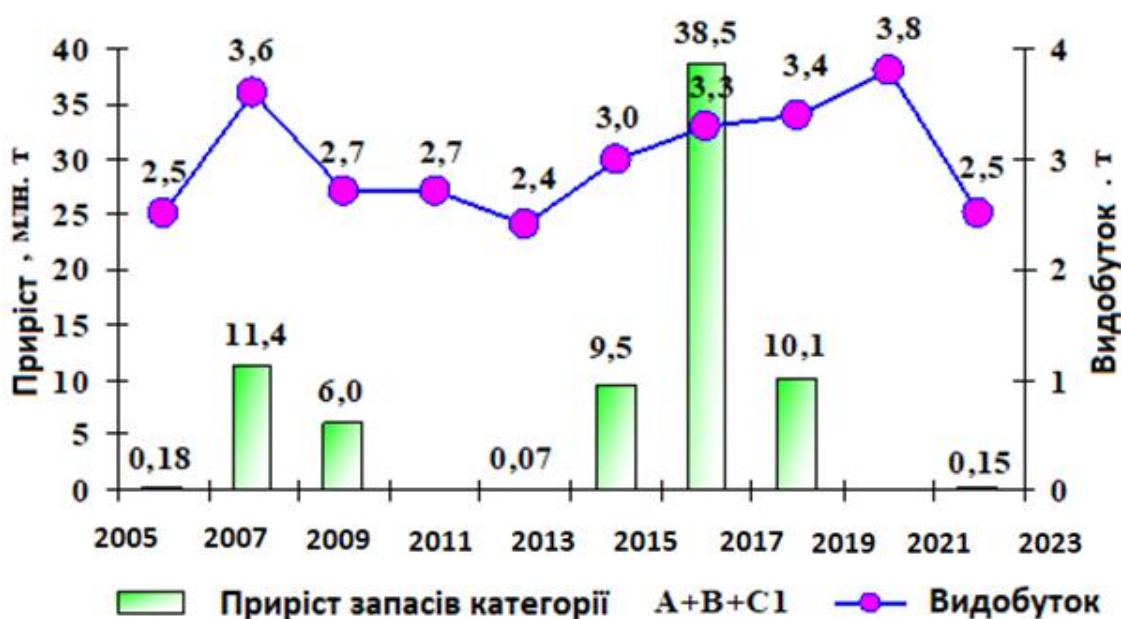


Рис.1.1 - Динаміка видобуття марганцевих руд і прироста їх запасів у 2005-2023 роках, млн. т

Основними надрокористувачами у 2023 році були три компанії, які володіли 6 родовищами із запасами 220,9 млн. т (32,4 % від запасів РК) та забезпечили 95,6 % видобутку марганцю. Провідними постачальниками сировини на світові ринки є Австралія, ПАР, Габон, Бразилія, Намібія, Гана, Індонезія, Індія та В'єтнам. Близько 13 млн.т марганцевої руди йде на експорт, причому 76% поставок припало лише на чотири країни – Австралію, Бразилію, Габон та ПАР.

Основні споживачі марганцевої сировини – країни, що мають розвинену феросплавну промисловість, – Китай, ПАР, Україна, Казахстан, Японія, Бразилія, Індія та Норвегія. Найбільшим імпортером руди останніми роками став Китай, власних ресурсів якого замало задоволення різко зростаючого феропродукції. Країна має в своєму розпорядженні свою видобуток руди, проте через її низькосортність воно використовує суміш вітчизняних руд з високоякісною сировиною з Австралії та Африки [4].

Видобуті марганцеві руди у Казахстані, після відповідної переробки на збагачувальних комплексах видобувних підприємств, поставляються споживачам у країни (Карметкомбінат, Аксуський і Актюбинський заводи феросплавів). Провідними імпортерами казахстанських марганцевих руд та концентратів у 2011 – 2023 роках, за даними Комітету зі статистики, був Китай. Експорт протягом останнього періоду повільно, але стійко зростав і 2009 року збільшився до рівня 2005 року на 51,1 %. У 2013 році відбулося скорочення обсягів експорту, а з 2015 року розпочалося підвищення. На початку 2021 року експорт зріс до 754,2 тис. т, а 2023 року становив 649,8 тис. т, тобто скоротився на 104,4 тис. т.

Обсяги внутрішнього споживання марганцевої сировини до 2009 року безперервно збільшувалися, а за наступні чотири роки, за оперативними даними комітету зі статистики, відбулося їх суттєве скорочення (до мінімуму за 8 років). У 2023 році обсяг внутрішнього споживання досяг 2,62 млн. т (на 19,4 % більше, ніж попереднього року) [5].



Рис.1.2 - Динаміка експорту та внутрішнього споживання марганцевих руд і концентратів у 2005-2023 роках, млн.т

Ціни на марганцеві руди протягом 2005-2007 років перебували в інтервалі 127,6 – 173,6 дол./т. Потім, після різкого збільшення у 2008 році до 699 дол./т, вони знизилися до 268,6 дол./т і далі перебували у період з 2010 року до 2014 року в діапазоні 218,5 – 383,9 дол./т.

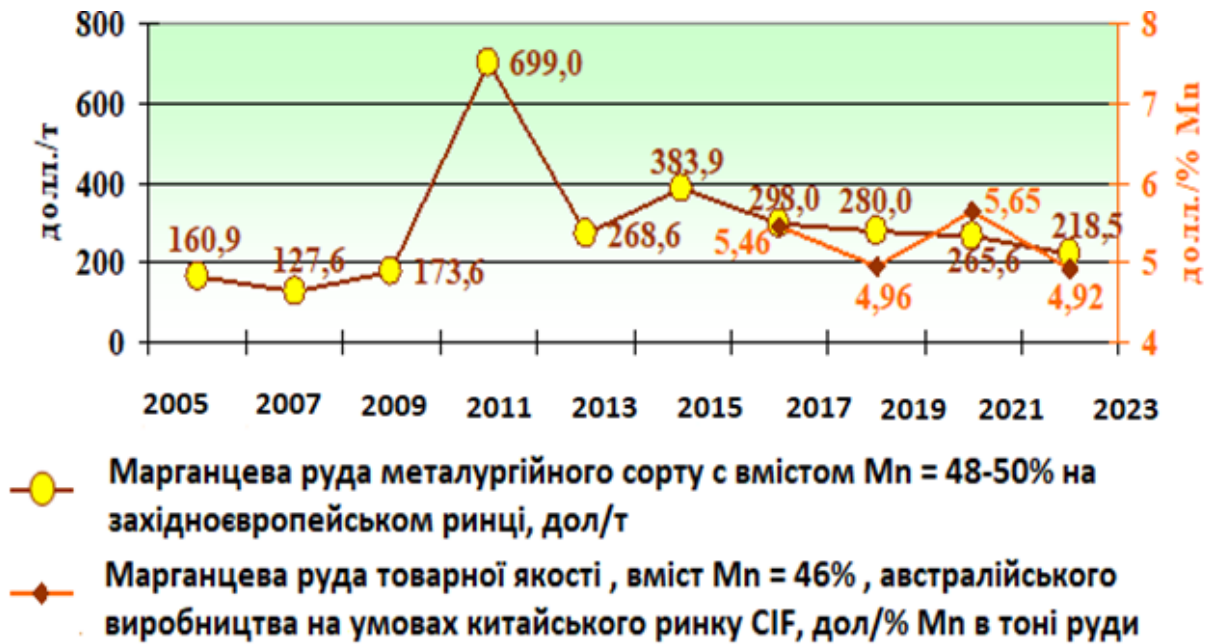


Рис.1.3 - Динаміка середньорічних цін на марганцеву руду

У 2023 році Казахстан мав балансові запаси марганцю 682,4 млн. т.

В цілому по Республіці Казахстан, в результаті проведення геологорозвідувальних робіт, переоцінки (з урахуванням видобутку та втрат при видобутку) запаси марганцевих руд зменшилися до рівня 2021 року на 1,7 млн. т.[6]

Товарними продуктами переробки марганцевих руд є сплави феромарганцю, силікомарганцю, феросилікомарганцю та металевий марганець. Основна сфера їх застосування – чорна металургія: марганець входить до складу майже всіх сортів чавуну та сталі. Власне виробництво феромарганцю в Казахстані вперше налагоджено 1997 року.

Казахстан входить до числа провідних виробників силікомарганцю.

На Таразському металургійному заводі з 2007 року ведеться випуск феросилікомарганцю, який необхідний для виплавлення високоміцної сталі. У 2008 році тут почали виробляти марганцеві котуни з відвалів марганцевмісних низькосортних руд, які використовуються для виплавки феросилікомарганцю. Таким чином, процес одержання цього сплаву є безвідходним. З урахуванням високого попиту з боку України, Білорусі, Литви, куди завод експортує більшу частину продукції, планується виробництво феросплавів збільшити до 300 тис. т на рік [7].

При збагаченні марганцевої руди доцільно застосовувати розділення на сенсорних сортувальниках завдяки різним фізичним і хімічним властивостям марганцевої руди, які виділяють її серед інших мінералів та пустих порід. Основні властивості, які використовуються при сенсорному сортуванні марганцевої руди, включають:

1. Колір і оптичні характеристики : Марганець і його з'єднання часто мають темний колір, наприклад, чорний, темно-коричневий або темно-сірий, що відрізняє їх від навколишньої пустої породи. Оптичні сортувальники з камерами високої роздільності та спектральним аналізом можуть виділяти руду на основі цих візуальних характеристик.
2. Щільність : Марганцева руда має велику щільність у порівнянні з більшістю пустих порід. Рентгенотрансмисійні сортувальники (XRT) дозволяють відрізняти руду по щільності, так як рентгеновське вилучення проходить скрізь матеріали з різною щільністю по-різному. Це дає можливість відокремити руду від більш легких матеріалів.
3. Хімічний склад : Рентгенофлуоресцентні сортувальники (XRF) використовують хімічний аналіз для ідентифікації марганцевих мінералів. Рентгеновське випромінювання викликає флуоресценцію, характерну для атомів марганця, що дозволяє виявити їх навіть у незначних кількостях. Це особливо корисно, коли необхідно підвищити точність виділення марганцевої руди з високою концентрацією елемента.
4. Структура поверхні : Лазерні та інфрачервоні сенсори можуть аналізувати текстуру та структуру поверхні руди. Марганцеві руди часто мають специфічну мікротекстуру, яка відрізняється від пустої породи, і ця різниця може бути використана для їх сортування.
5. Магнітні властивості : Деякі типи марганцевої руди мають слабкі магнітні властивості, які можна враховувати в комплексі з іншими сенсорними методами. Хоча цей метод менший, він може бути корисним у визначених умовах сортування.

Використання даних властивостей дозволяє отримати високу точність сортування, зменшити обсяг пустої породи на раніх етапах обробки та знизити витрати на подальшу стадію збагачення. Сенсорні сортувальники дозволяють підвищити економічність і екологічність видобутку, що робить їх популярними в марганцевій промисловості.

1.2. Всесвітній досвід застосування сучасних сенсорних методик

Загальносвітова тенденція до виснаження багатих мінеральних ресурсів призводить до необхідності залучення до переробки бідних та некондиційних руд. В результаті, у підприємств виникає необхідність проведення модернізації основного технологічного процесу, пов'язаного з глибоким збагаченням сировини. А це, у свою чергу, пов'язано з великими економічними витратами або буває просто неможливо. Рішенням даної ситуації найчастіше стає використання сухого методу попереднього збагачення сировини. Попереднє збагачення передбачає використання спеціального обладнання (сортувальника сировини), яке з некондиційної руди дозволяє отримати багату руду, за рахунок скидання порожньої породи у відвал.

Попереднє сепарування руд являє собою процес видалення окремих шматків пустих порід і некондиційних бідних руд з великодробленої гірничої маси. Метою застосування методів попереднього сепарування є отримання збагаченого продукту, який направляється на подальше збагачення, і крупнокускового матеріалу з невеликими концентраціями корисних компонентів, який направляється у відвали.

Застосування попередньої сепарації призводить до зменшення об'єму руди для подрібнення і подальшого збагачення, що знижує загальні експлуатаційні витрати на збагачення. Зменшений обсяг матеріалу, що підлягає обробці, дозволяє використовувати більш компактне обладнання, завдяки чому зменшуються розміри збагачувальної фабрики, що також призводить до зниження капітальних витрат. Помітне покращення якості сепарованої руди сприяє підвищенню вилучення корисних компонентів у основних процесах збагачення, що часто призводить до підвищення загального коефіцієнта вилучення.

Також, низька собівартість процесу сепарування може призвести до залучення у переробку бідних руд (або перегляду міжбалансових руд через зниження граничного вмісту корисних компонентів), а отже, до підвищення продуктивності гірничого підприємства, збільшення строку експлуатації рудника та чистого доходу підприємства.

Наразі існує багато методик попередньої сепарації, заснованих на фізико-механічних характеристиках руди:

- За густиною (наприклад, відсадка, важкосерединне збагачення вугілля, алмазної сировини, хроміту, бариту та інших матеріалів).
- За магнітною сприйнятливістю (суха магнітна сепарація подрібненої залізної руди та інших руд).
- За формою частинок (збагачення азбесту, слюди та інших матеріалів).
- За розміром частинок (промивка та інші операції класифікації сировини).

Окрім того, існує безліч методів, заснованих на реєстрації спектральних характеристик руди, що відносяться до сенсорних методів. Останніми роками сенсорні методи сортування привертають все більше уваги, оскільки розглядаються як універсальні методи попередньої сортування та концентрації руди. Гірничодобувна промисловість споживає близько 2–3 % світових енергоресурсів. Виробники обладнання стверджують, що використання сенсорних сортувальних установок може знизити енергоспоживання до 15 % та скоротити витрати води на 3–4 м³ на кожен тону руди. Це робить сенсорне сортування не лише економічно вигідною, але й більш екологічно стійкою технологією.

Досвід застосування попередньої сепарації марганцевих руд із застосуванням сучасних сенсорних методик демонструє значний прогрес у гірничодобувній промисловості, спрямований на підвищення ефективності та економічності процесів видобутку і збагачення руди [9].

Основні аспекти досвіду:

1. Оптимізація обсягів оброблюваного матеріалу: У разі видобутку марганцевих руд сенсорні методики дозволяють проводити попередню сепарацію, відокремлюючи пусту породу ще до основного подрібнення та збагачення. Це дає можливість знизити обсяг матеріалу, що йде на подальшу обробку, що, в свою чергу, зменшує витрати на подрібнення та використання хімікатів для збагачення.
2. Сучасні сенсорні методики: Для попередньої сепарації марганцевих руд найчастіше застосовують такі технології:
 - Рентгенівська сепарація: Завдяки різниці в щільності між марганцем та пустою породу, рентгенівські сенсори можуть точно визначити, які частинки містять цінний мінерал. Це дозволяє підвищити ефективність сортування і зменшити кількість відходів.
 - Ближній інфрачервоний спектр (NIR): Сенсори NIR використовуються для розпізнавання різниць у хімічному складі руд, що допомагає ідентифікувати частинки, які містять марганець, на основі їх спектральних характеристик.
 - Лазерна технологія: Використовується для оцінки оптичних властивостей мінералів, таких як прозорість і відбиття світла, що дозволяє відокремлювати марганцеві руди з високою точністю.
3. Економічні переваги: Попередня сепарація з використанням сенсорних методик дозволяє зменшити загальну кількість руди, що підлягає подрібненню та збагаченню, що веде до зниження витрат на електроенергію та використання обладнання. Крім того, скорочується кількість хімічних реагентів, що використовуються у процесі флотації, а також знижується обсяг відходів, які потребують утилізації.

4. Підвищення якості кінцевого продукту: Сенсорна сепарація дозволяє покращити якість марганцевих концентратів за рахунок більш точного видалення пустої породи на ранніх етапах. Це сприяє збільшенню виходу корисних компонентів у процесі подальшого збагачення, що підвищує рентабельність підприємств.
5. Екологічні переваги: Використання сенсорних методик знижує обсяг енергії та води, що використовується під час збагачення руди, а також зменшує кількість відходів, що утворюються в процесі видобутку. Це робить виробництво більш екологічно стійким та знижує негативний вплив на довкілля.

Сенсорне сортування дійсно є перспективним рішенням для гірничодобувної галузі, особливо з огляду на ключові виклики, такі як зростання витрат на енергію та воду, а також посилення екологічних вимог. Технологія сенсорного сортування працює, використовуючи різні типи датчиків (наприклад, рентгенівські, інфрачервоні, лазерні, спектральні), які дозволяють визначати склад руди на рівні окремих частинок. Це дозволяє більш ефективно відокремлювати високоякісну руду від пустої породи на ранніх етапах обробки.

Основні переваги сенсорного сортування:

1. Економія енергії та зниження витрат. Завдяки тому, що руду можна відсортувати до етапу дроблення та подрібнення, суттєво скорочуються енергетичні витрати, оскільки до обробки надходить тільки руда з високим вмістом корисних компонентів.
2. Зменшення використання води. Традиційні методи збагачення руди вимагають великого об'єму води, тоді як сенсорне сортування може скоротити або навіть повністю виключити цей етап.
3. Підвищення екологічної стійкості. Зниження об'єму викидів вуглекислого газу та відходів досягається за рахунок зменшення енергоспоживання та кількості оброблюваної пустої породи.

У харчовій промисловості сенсорні системи сортування вже давно використовуються для підвищення якості продукції, і їх адаптація в гірничодобувну галузь показує значний потенціал для покращення ефективності виробництва.

1. Фактори для оцінки доцільності використання технології:
 - Мінералогічний та хімічний склад руди.
 - Гранулометричний склад руди.
 - Неоднорідність
 - Кліматичні умови
 - Наявність у вільному доступі електроенергії.

2. Вимоги та підготовка: Для ефективної роботи сенсорного сортування необхідно:
- Підготовка матеріалу: Зазвичай це подрібнення та просіювання руди для досягнення оптимального розміру частинок.
 - Організація процесу: Частинки повинні надходити рівним шаром на транспортер, знаходячись на достатній відстані одна від одної.
 - Налаштування обладнання: Датчики повинні бути налаштовані на правильну чутливість, а іжектори (пристрої для видалення породи) повинні працювати без затримок.

Сенсорне сортування вимагає великого досвіду та ретельного налаштування процесів, однак воно значно підвищує економічну ефективність і екологічну стійкість гірничодобувних операцій.

Якість сортування

Кожен матеріал має унікальні властивості. Якість сортування для будь-якого родовища залежить від неоднорідності його руди. Для успішного сортування матеріали повинні відрізнитися своїми властивостями. Такими властивостями можуть бути колір, густина або електромагнітні якості. Різні руди також можна розділяти на основі спектрів у ближній інфрачервоній області та на основі відмінностей у кристалічній структурі.

У деяких випадках розсіяний метал у малих кількостях не може бути визначений жодним датчиком, тоді сортування виконується на основі властивостей асоціацій мінералів або індикаторів. Це особливо актуально для родовищ золота, де частинки золота всередині породи майже завжди менші за роздільну здатність установки (пікселі < 1 мм). Щоб перевірити взаємозв'язок властивостей та якості металу, перед початком робіт необхідно провести випробування для кожного типу сортування.

Деякі гірничодобувні компанії вже успішно застосовують сенсорні методи попередньої сепарації марганцевих руд. Наприклад, на ряді підприємств в Африці та Австралії, де видобувають значні обсяги марганцю, впровадження рентгенівської сепарації дозволило підвищити ефективність видобутку і зменшити витрати на подальше збагачення.

Застосування сенсорних методів збагачення марганцю на прикладі Африки та Австралії демонструє значні досягнення у гірничодобувній промисловості, де новітні технології підвищують ефективність видобутку та зменшують витрати на подальшу обробку руди. Африка та Австралія є провідними виробниками марганцевих руд у світі, і впровадження сенсорних методів збагачення на цих континентах дозволило досягти суттєвих успіхів у зниженні витрат і підвищенні продуктивності [9].

Приклади застосування сенсорних технологій в Африці:

1. Південна Африка: Південна Африка є одним із найбільших виробників марганцю у світі. На марганцевих шахтах у регіонах, таких як Калахарі, впроваджено сучасні системи сенсорної сепарації, зокрема рентгенівські та ближні інфрачервоні (NIR) датчики.
 - Рентгенівська сепарація: Використовується для точного розпізнавання часток руди на основі їхньої щільності. Завдяки тому, що марганцеві руди мають більшу атомну щільність, рентгенівські сенсори дозволяють відокремлювати їх від пустої породи ще на ранніх етапах збагачення. Це знижує витрати на подрібнення та подальше хімічне збагачення.
 - Інфрачервоні сенсори: У місцях, де розбіжності в щільності руди і пустої породи менш виражені, використовуються (NIR)-сенсори для оцінки спектральних характеристик руд. Ця технологія дозволяє розпізнавати різні типи мінералів навіть за незначними оптичними відмінностями.
2. Габон: У Габоні, де знаходяться значні поклади марганцевих руд (шахта Моанда), також активно використовують сенсорні методики для покращення процесів видобутку. Тут впровадження лазерних сенсорів дозволило більш точно відокремлювати корисну руду від пустої породи, покращуючи якість збагачення та знижуючи загальні витрати [8].

Приклади застосування сенсорних технологій в Австралії:

1. Регіон Пілбара: В Австралії, на великих марганцевих шахтах, таких як шахта в регіоні Пілбара, сенсорна сепарація допомагає підвищити ефективність видобутку та зменшити витрати. Тут використовуються рентгенівські та інфрачервоні технології для розпізнавання та сортування руд на основі їх фізичних та хімічних властивостей.
 - Завдяки сенсорним методикам, шахти Пілбари змогли скоротити обсяг руди, що підлягає подальшій обробці, що призвело до економії на енергоспоживанні та зниженні кількості хімічних реагентів, необхідних для подальшого збагачення.
2. Шахти у регіоні Гроот-Айленд: Відоме родовище марганцю на Гроот-Айленді також використовує лазерні сенсори для сортування руди. Лазерна технологія дозволяє точно розпізнавати марганцеву руду на основі її прозорості та властивостей світлового розсіювання. Це дозволяє підвищити якість концентратів та знизити витрати на подальше подрібнення і збагачення [8].

Таблиця 1.3 - Застосування різних сенсорних технологій у марганцевій промисловості Африки та Австралії

Країна/Шахта	Тип сенсорної технології	Переваги використання	Зниження енергоспоживання (%)	Підвищення якості руди (%)
Південна Африка	Рентгенівська сепарація	Точне розділення руди за щільністю	15-20%	10-12%
Габон (Моанда)	Лазерна сепарація	Висока точність сортування	10-15%	8-10%
Австралія (Пілбара)	Інфрачервона сепарація	Оптичне розпізнавання мінералів	12-18%	9-11%
Австралія (Гроот-Айленд)	Лазерна сепарація	Оцінка прозорості та розсіювання світла	13-17%	11-14%

Таблиця 1.4 - Порівняння впливу на зниження витрат і покращення екологічної стійкості

Параметр	Південна Африка	Габон	Австралія (Пілбара)	Австралія (Гроот-Айленд)
Зниження витрат на енергію (%)	15-20%	10-15%	12-18%	13-17%
Зниження використання хімікатів (%)	10-12%	8-10%	9-11%	11-14%
Скорочення обсягів відходів (%)	10-15%	12-15%	10-13%	12-16%
Підвищення продуктивності (%)	10-12%	9-11%	11-14%	10-13%

Застосування сенсорних методів збагачення марганцю в Африці та Австралії демонструє величезний потенціал для підвищення ефективності та екологічної стійкості гірничодобувних підприємств. Ці технології дозволяють не лише знижувати витрати на видобуток та обробку руди, але й покращувати якість продукції, що має велике значення для глобального ринку марганцю [8].

1.3 Сутність процесу попередньої сепарації із застосуванням сенсорних методів

Сутність процесу попередньої сепарації із застосуванням сенсорних методів полягає в тому, щоб відокремити корисну руду від пустої породи на ранніх етапах обробки за допомогою спеціальних датчиків. Це сучасний процес, який використовується для розділення матеріалів або руд перед основною стадією збагачення. Сенсорні методи дозволяють визначати властивості кожної частки матеріалу, такі як колір, густина, магнітні чи електричні властивості, і на основі цих даних виконувати сортування. Цей процес дозволяє знизити обсяги руди, що підлягає подальшому подрібненню та збагаченню, тим самим підвищуючи ефективність та економічність гірничодобувних операцій.

Основні етапи та принципи:

1. Сканування та аналіз: Руда проходить через систему сенсорів, які сканують її властивості. В залежності від застосованих датчиків, руду оцінюють за різними параметрами, такими як:
 - Щільність (рентгенівські сенсори).
 - Колір (кольорові датчики).
 - Інфрачервоне випромінювання (сенсори ближнього інфрачервоного діапазону).
 - Лазерне розсіювання (лазерні датчики).
2. Оцінка та розподіл: На основі зібраної інформації система визначає, чи є кожен шматок матеріалу корисною рудою або пустою породою. Частинки, які відповідають критеріям, відправляються на подальше збагачення, а решта відсіюється як хвости.
3. Оптимізація процесу: Застосування сенсорної сепарації дозволяє скоротити витрати на подальші етапи обробки (подрібнення, збагачення) за рахунок зменшення обсягу матеріалу, що потребує переробки. Це знижує енергетичні витрати, кількість використовуваних хімічних речовин і обсяг хвостів, які залишаються після збагачення.

Сенсорна сепарація є інноваційним та ефективним рішенням для попередньої обробки руди, що дозволяє підвищити продуктивність гірничодобувних підприємств і зменшити їхній екологічний вплив [9,10].

Для більш детального розуміння процесу попередньої сепарації із застосуванням сенсорних методів, нижче наведені додаткові таблиці, які охоплюють специфічні характеристики сенсорів, етапи процесу та приклади застосування для різних галузей.

Таблиця 1.5 - Характеристики основних сенсорів для попередньої сепарації

Тип сенсора	Принцип дії	Параметри, що вимірюються	Сфери застосування
Оптичні сенсори	Аналіз відбитого світла	Колір, текстура, форма	Метали, пластик
Лазерні сенсори	Вимірювання відбиття лазера	Поверхнева структура, форма	Скло, мінерали
Рентгенівські сенсори	Рентгенівське випромінювання	Щільність матеріалу	Металеві руди, коштовні камені
Інфрачервоні сенсори	Інфрачервоний спектр	Хімічний склад	Нерудні копалини, вторинні матеріали
Електромагнітні сенсори	Електромагнітне поле	Магнітні властивості	Залізні руди, метали

Типи датчиків та технології

У гірничодобувній промисловості найпоширенішою технологією сортування є рентген, за якою слідує кольорове сортування, технологія ближнього інфрачервоного діапазону та лазерна.

Рентген

Використання рентгенівських променів може бути хорошим рішенням, якщо порода має відмінності в густині, зумовлені різницею в атомній густині. Сенсор вимірює, скільки рентгенівських променів проходить через частинку, тому що, проходячи через різні мінерали, виявляються відмінності у їхньому загасанні. Якщо мінерал дуже щільний, він більше затримує променів, тоді як менш щільний мінерал пропускатиме частину променів. Це можна пояснити так само, як працює медичний рентген: кістки більше затримують промені, ніж м'язи, тому на знімку видно контраст між ними.

Сортування за кольором

Якщо частинки породи мають різні кольори, кольоровий сенсор може бути найкращим варіантом. Під правильним освітленням кольоровий детектор аналізує частинки (подібно до людського ока чи камери) і визначає, які частинки слід видалити або пропустити далі на основі їхнього кольору. Кольорове сортування є дуже поширеним і широко застосовується в харчовій промисловості.

Сенсори ближнього інфрачервоного діапазону

Інфрачервоні сортувальники є оптичними пристроями, які аналізують світлові хвилі більшої довжини, ніж може бачити людське око. Інфрачервоні детектори здатні бачити відмінності в мінералах, які не видимі для нас. Вони використовують схожу технологію до кольорового сортування, але працюють з довшими електромагнітними хвилями. Інфрачервоний випромінювач може оцінювати різні типи каменів, тому він може бути ефективним у сортуванні.

Лазерні сенсори

Лазерні сортувальники є монохроматичними джерелами збудження, що можуть працювати з будь-якою довжиною хвилі. Коли лазер світить на напівпрозорий мінерал, світло розсіюється. Детектори вимірюють розсіяне світло і визначають, чи є цей мінерал задовільняє заданим умовам і може бути цікавим для подальшої обробки [10,11].

Таблиця 1.6 - Етапи процесу попередньої сепарації з використанням сенсорних методів

Етап процесу	Опис	Можливі технології	Приклад застосування
Подача матеріалу	Подача руди або матеріалу на транспортери	Вібраційні живильники	Гірнична промисловість, переробка відходів
Збір даних сенсорами	Аналіз частинок за допомогою сенсорів	Оптичні, рентгенівські, інфрачервоні	Попередня оцінка якості матеріалу
Обробка та аналіз даних	Комп'ютерний аналіз отриманих даних	Програмне забезпечення для керування сортуванням	Розділення за фізичними властивостями
Сортування матеріалів	Розподіл матеріалів на корисні та відходи	Механічні або повітряні сепаратори	Вугілля, метали, пластик

Сучасні сортувальні машини мають конструкцію стрічкового або жолобного типу.

- Стрічковий тип: У цій системі матеріал подається на матрицю датчиків, що розташовані в фіксованому положенні на стрічці. Довжина стрічки розрахована так, щоб частинки мали достатньо часу для рівномірного розміщення на стрічці перед оцінкою сенсорами.
- Жолобний тип: У цій системі матеріал ковзає по нахиленому жолобу та оцінюється сенсорами під час вільного падіння.

Таблиця 1.7 - Застосування сенсорних методів у різних галузях

Галузь	Тип матеріалу	Основні сенсорні методи	Очікувані результати
Гірнична промисловість	Металеві руди (залізо, мідь)	Рентгенівські, електромагнітні	Видалення пустої породи, збільшення вмісту корисних металів
Переробка відходів	Пластик, скло, метал	Оптичні, лазерні сенсори	Розділення відходів за матеріалом, очищення для переробки
Енергетична промисловість	Вугілля	Інфрачервоні, рентгенівські сенсори	Підвищення якості палива, зменшення забруднень
Виробництво будівельних матеріалів	Нерудні корисні копалини	Оптичні, інфрачервоні сенсори	Очищення матеріалів для виробництва цементу та скла

Таблиця 1.8 - Переваги та недоліки сенсорних методів попередньої сепарації

Переваги	Недоліки
Висока точність розділення	Висока вартість обладнання
Економія води та енергії	Необхідність регулярного обслуговування сенсорів
Можливість обробки великих обсягів	Залежність від якості сенсорних даних
Екологічна безпека	Вимагає високої кваліфікації персоналу

1.4 Характеристика сортувально-сенсорного обладнання

Сортувально-сенсорне обладнання для попереднього збагачення корисних копалин — це спеціалізовані пристрої, які використовують різні сенсорні технології для розділення руди або інших матеріалів на основі фізичних і хімічних властивостей. Це обладнання дозволяє автоматизувати та оптимізувати процеси збагачення, підвищуючи ефективність видобутку корисних копалин [12, 32-34].

Основні характеристики сортувально-сенсорного обладнання:

1. Типи сенсорів

Сортувальні машини використовують різноманітні сенсори для визначення характеристик матеріалів:

- Оптичні сенсори — аналізують колір, блиск, текстуру часток для сортування руд за візуальними параметрами. Використовуються для кольорових металів і вторсировини.
- Рентгенівські сенсори — дозволяють ідентифікувати щільність та внутрішню структуру матеріалу. Ефективні для розділення металевих руд, де візуальні відмінності мінімальні.
- Інфрачервоні сенсори (NIR)— аналізують хімічний склад поверхні матеріалу. Підходять для сортування вугілля, мінералів та органічних матеріалів.
- Електромагнітні сенсори — визначають магнітні властивості матеріалу. Використовуються для сортування руд, що містять залізо.

2. Механізми сортування

Механізми сортування на основі сенсорних даних можуть працювати різними способами:

- Повітряне відхилення (пневматичне сортування) — після аналізу сенсорами, стиснене повітря вибиває окремі частинки у відповідні контейнери.
- Механічне сортування — матеріал розподіляється за допомогою стрічкових конвеєрів та інших механічних пристроїв.
- Електромагнітне сортування — магнітні властивості частинок використовуються для розділення матеріалів.

3. Продуктивність

- Швидкість обробки — сучасні сортувальні машини можуть обробляти до кількох сотень тонн матеріалу на годину. Ця характеристика залежить від типу матеріалу та складності сортування.

- Точність сортування — досягається за рахунок високочутливих сенсорів і ефективного алгоритму обробки даних. У більшості систем точність сортування перевищує 90%.

4. Автоматизація та контроль

Більшість сортувально-сенсорного обладнання оснащено програмним забезпеченням, яке автоматично аналізує дані, отримані сенсорами, і контролює процес сортування в режимі реального часу. Оператори можуть налаштовувати параметри через інтерфейси для досягнення оптимальної продуктивності.

Принцип дії сортувально-сенсорного обладнання для попереднього збагачення корисних копалин заснований на застосуванні сенсорних технологій для аналізу властивостей частинок матеріалу, автоматичного прийняття рішення щодо їх сортування і подальшого механічного або пневматичного розділення [13].

Етапи та принцип дії обладнання:

1. Подача матеріалу на сортувальну систему

Матеріал, що потребує сортування (руда, вугілля, вторинні ресурси тощо), подається на транспортер або вібраційний живильник. Це забезпечує рівномірний розподіл частинок і їх подачу в сенсорну зону для подальшого аналізу.

2. Збір даних сенсорами

Сенсорні системи проводять аналіз кожної частки матеріалу у реальному часі. Основні типи сенсорів, що використовуються:

- Оптичні сенсори: вимірюють колір, блиск, текстуру матеріалу через аналіз світла, що відбивається. Наприклад, оптичні сенсори можуть використовувати спектрометрію для ідентифікації різних металів за кольором.
- Рентгенівські сенсори (X – ray): використовують рентгенівське випромінювання для визначення щільності та внутрішньої структури часток. Це дає можливість ідентифікувати частки різної щільності, наприклад, відокремлювати металеву руду від пустої породи.
- Інфрачервоні сенсори (NIR): аналізують матеріал на основі інфрачервоного спектра для визначення хімічного складу або органічних речовин.
- Електромагнітні сенсори: використовують електромагнітне поле для виявлення матеріалів з магнітними властивостями. Це дозволяє розділяти, наприклад, залізну руду від немагнітних матеріалів.

Таблиця 1.9 - Характеристика основних видів сортувально-сенсорного обладнання

Тип обладнання	Використовувані сенсори	Основні матеріали	Продуктивність (тонн/год)	Точність сортування (%)
Оптичні сортувальні машини	Оптичні, спектрометричні сенсори	Пластик, кольорові метали, скло	100–300	90–95
Рентгенівські сортувальні машини	Рентгенівські сенсори (X – ray)	Залізна руда, дорогоцінні метали	50–200	92–97
Інфрачервоні сортувальні машини	NIR-сенсори	Вугілля, мінерали, нерудні копалини	150–400	85–90
Магнітні сортувальні машини	Електромагнітні сенсори	Залізні руди, метали	200–500	90–98

3. Обробка та аналіз даних

Дані, зібрані сенсорами, обробляються спеціальним програмним забезпеченням. Воно аналізує отримані параметри (колір, щільність, хімічний склад тощо) і приймає рішення про сортування кожної частки. Процес аналізу та сортування відбувається дуже швидко — за доли секунди.

Програмне забезпечення може бути налаштоване для оптимізації сортування залежно від типу руди або інших матеріалів. Оператори можуть вносити корективи в налаштування системи для досягнення максимальної точності.

4. Розділення матеріалів

Після обробки та аналізу даних система керування відправляє команду на механізми сортування. Залежно від типу обладнання, використовується один із кількох методів:

- Пневматичне сортування: струмінь стисненого повітря відхиляє матеріал у відповідний контейнер або конвеєр. Цей метод часто використовується для легких матеріалів або матеріалів із різною щільністю.
- Механічне сортування: конвеєрна стрічка спрямовує різні частки у різні напрямки на основі аналізу, виконаного сенсорами. Це може бути зроблено за допомогою відбійників або спеціальних механічних засобів.

- Електромагнітне сортування: магнітні елементи відділяють магнітні частки (наприклад, залізну руду) від немагнітних.

5. Виведення кінцевого продукту та відходів

Після сортування матеріал розділяється на декілька фракцій: корисний продукт (руда з високим вмістом металу) і відходи. Ці фракції відправляються до різних конвеєрів або контейнерів для подальшої обробки чи транспортування [14,15].

Принцип дії на прикладі рентгенівського сортування

1. Рентгенівські промені проникають через частки матеріалу.
2. Сенсори зчитують інтенсивність променів, що проходять через матеріал, і на основі цього визначають щільність часток.
3. Комп'ютерна система аналізує дані і розпізнає, які частки мають достатню щільність (містять метали) і які є пустою породою.
4. Після цього пневматичні форсунки спрямовують потік повітря, щоб відокремити частки з високою щільністю від решти матеріалу.



Рис 1.4 - Схематичне зображення процесу

Важливо:

- Визначити конкретні властивості руди, що будуть використовуватись для сортування.
- Вибрати відповідний тип сортувально-сенсорного обладнання.
- Налаштувати обладнання для ефективного сортування.

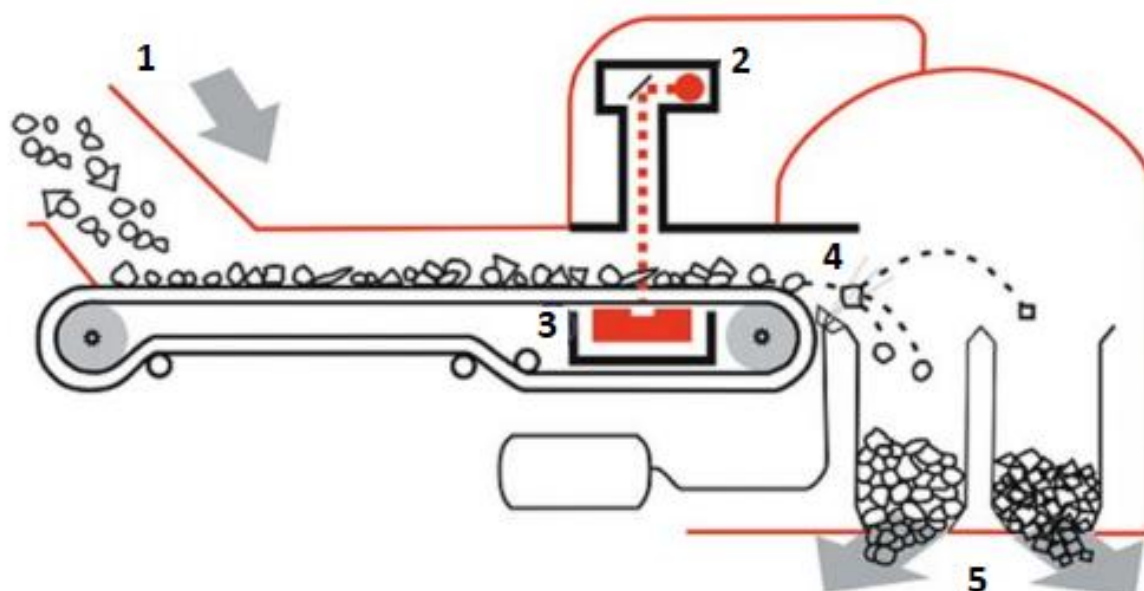


Рис 1.5 – Принципова схема дії сортувально-сенсорного обладнання для попереднього збагачення корисних копалин на прикладі сепаратора "TOMRA COM Tertiary XRT"

У ній представлені основні етапи:

1. Подача матеріалу.
2. Збір даних за допомогою сенсорів (оптичних, рентгенівських, інфрачервоних).
3. Аналіз даних комп'ютерною системою.
4. Сортування за допомогою повітряних струменів або механічних механізмів.
5. Розділення корисного матеріалу та відходів.

1.4.1 Обладнання типу «TOMRA Sorting»

TOMRA Sorting solutions – провідні технології що, використовуються в різних галузях, таких як гірничодобувна промисловість, переробка відходів, виробництво харчових продуктів та інші. TOMRA пропонує рішення для точного і ефективного сортування, які дозволяють зменшити витрати, підвищити продуктивність і знизити вплив на довкілля. [16].

Основні характеристики та принцип дії обладнання TOMRA Sorting

1. Сенсорні технології

TOMRA використовує широкий спектр сенсорних технологій для сортування корисних копалин:

- Оптичні сенсори: вимірюють світлові характеристики матеріалів для їх сортування за кольором, формою та текстурою. Підходять для сортування кольорових металів, пластиків та скла.
- Рентгенівські сенсори (XRT): дозволяють виявити матеріали на основі їх щільності та атомної структури. Цей метод ідеально підходить для сортування металевих руд, коштовних каменів або відокремлення пустої породи.
- Інфрачервоні сенсори (NIR): використовуються для сортування матеріалів на основі їх хімічного складу. Ці сенсори дозволяють розрізняти органічні та неорганічні компоненти.
- Електромагнітні сенсори: виявляють магнітні властивості часток, що дає змогу ефективно сортувати залізні руди та інші метали.

2. Принцип роботи

Обладнання TOMRA Sorting працює за наступним принципом:

- Подача матеріалу: матеріал подається на транспортер або вібраційний живильник, де забезпечується рівномірний потік частинок до зони аналізу.
- Сканування сенсорами: сенсори проводять аналіз часток у реальному часі. Система може одночасно використовувати кілька видів сенсорів (оптичні, рентгенівські, інфрачервоні).
- Аналіз даних: отримані дані обробляються програмним забезпеченням, яке визначає, чи відповідає частка вимогам для подальшої обробки.

- Сортування: система приймає рішення щодо сортування. Це може відбуватися за допомогою стисненого повітря (пневматичне сортування) або механічних пристроїв (стрічкові конвеєри, магнітні системи).
- Виведення матеріалів : корисні матеріали відправляються на подальшу обробку, тоді як відходи відсіюються.

3. Типи обладнання TOMRA для гірничої промисловості

- TOMRA COM Tertiary XRT: рентгенівська система сортування для розділення руд на основі щільності. Використовується для сортування вугілля, алмазів, залізних та інших руд.
- TOMRA PRO Secondary NIR: інфрачервона система для сортування мінералів та нерудних копалин.
- TOMRA AUTOSORT: універсальна платформа для сортування руд на основі різних фізичних та хімічних характеристик, із застосуванням оптичних, інфрачервоних і рентгенівських сенсорів.

Переваги обладнання TOMRA Sorting:

- Висока точність сортування: завдяки сенсорним технологіям можна точно розділяти матеріали на основі різних характеристик, таких як щільність, колір, хімічний склад тощо.
- Економічність: зменшується необхідність у воді, енергії та хімікатах, що робить процес більш екологічним і економічно вигідним.
- Швидкість та продуктивність: TOMRA Sorting здатне обробляти великі об'єми матеріалу зі збереженням високої якості сортування.
- Гнучкість налаштувань: обладнання можна налаштувати для різних типів матеріалів і видів корисних копалин, залежно від потреб користувача.

Приклади застосування TOMRA Sorting у гірничій промисловості:

1. Залізорудні кварцити: TOMRA Sorting використовується для сортування залізорудних кварцитів за допомогою рентгенівських сенсорів, які дозволяють відокремити корисний компонент від супутніх матеріалів.
2. Вугілля: завдяки інфрачервоній спектроскопії, TOMRA здатна відокремлювати чисте вугілля від непотрібних домішок, що підвищує якість кінцевого продукту.
3. Золото: рентгенівські системи сортування використовуються для відділення золотоносних часток від порожньої породи, що підвищує ефективність видобутку.

На прикладі сепаратора **TOMRA COM Tertiary XRT** розберемо детальніше конструкцію та принцип дії

TOMRA COM Tertiary XRT — це один із ключових рішень компанії, що використовує рентгенівську технологію для сортування руд та корисних копалин. Система базується на аналізі рентгенівських зображень, що дозволяє ефективно розділяти матеріали за щільністю та внутрішньою структурою, навіть якщо на вигляд частинки майже ідентичні. [16,17].

Характеристики та принцип роботи **TOMRA COM Tertiary XRT**:

1. Призначення та основні можливості

- Сортування за щільністю: Система здатна розділяти матеріали на основі їх атомної щільності, що дозволяє відокремити коштовні метали (наприклад, золото, срібло, мідь) від пустої породи.
- Ефективне сортування металевих руд: TOMRA COM Tertiary XRT ідеально підходить для роботи з рудними матеріалами, такими як залізна руда, марганцева руда, вугілля, алмази та інші коштовні копалини.
- Висока продуктивність: Машина здатна обробляти великі обсяги матеріалу з високою точністю, забезпечуючи високу пропускну здатність.

Конструкція сепаратора **TOMRA COM Tertiary XRT**

Сепаратор TOMRA COM Tertiary XRT використовує рентгенівську технологію для сортування матеріалів за щільністю. Його конструкція складається з декількох ключових модулів:

1. Подаючий транспортер

Це вібраційний живильник або стрічковий конвеєр, який забезпечує рівномірний потік матеріалу до сенсорної системи. Транспортер призначений для подачі руди або іншого матеріалу у вигляді тонкого шару, щоб кожна частинка могла бути окремо проаналізована сенсорами.

2. Рентгенівський сенсорний блок (XRT)

Основний модуль сепаратора. Він включає рентгенівське джерело та приймач, які сканують частинки, що проходять через цей блок. Рентгенівські промені проходять через матеріал, і на основі рівня поглинання радіації визначається щільність кожної частинки. Цей модуль дозволяє відрізнити важкі цінні частки (метали, коштовне каміння) від легкої пустої породи.

3. Комп'ютерна система аналізу

Отримані рентгенівські дані від сенсорів надходять до комп'ютерної системи, яка обробляє інформацію в реальному часі. Система аналізує зображення і визначає, які частинки мають високу щільність і можуть бути цінними, а які є відходами. Це програмне забезпечення налаштовується для різних матеріалів і вимог до сортування.

4. Пневматична система сортування (повітряні форсунки)

Після аналізу матеріал проходить до сортувального модуля. Тут за допомогою пневматичних форсунок відбувається розділення частинок. Стиснене повітря спрямовується на певні частинки залежно від їх щільності. Цінні частки відхиляються у напрямку одного вихідного конвеєра, тоді як відходи йдуть по іншому шляху.

5. Вихідні транспортери

Після сортування матеріал потрапляє на різні вихідні транспортери або в контейнери:

- Перший конвеєр: для цінних частинок (метали, корисні копалини).
- Другий конвеєр: для відходів (порожня порода, непотрібні матеріали).

Опис процесу

1. Матеріал рівномірно подається на транспортер.
2. В рентгенівському блоці скануються частинки, і дані передаються до комп'ютерної системи.
3. Комп'ютерна система аналізує щільність частинок і визначає їхню цінність.
4. За допомогою пневматичної системи частинки розподіляються на різні конвеєри.
5. Вихідні транспортери забезпечують подальший рух матеріалу для обробки або утилізації.

SOM Tertiary XRT має дуже точне виявлення та викид, особливо для менших розмірів частинок. Механічна установка спеціалізована для цього матеріалу та оснащена високопродуктивними клапанами з низьким енергоспоживанням і точним випуском повітря. Власна обробка зображень забезпечує унікальну швидкість відновлення.

Цей сортувальник використовує технологію передачі рентгенівського випромінювання DUOLINE®, щоб забезпечити незалежне від товщини, гнучке, стабільне та надійне сортування в середовищі переробки корисних копалин. COM Tertiary XRT поєднує різноманітні передові апаратні та програмні функції з гнучкими конфігураціями завдань сортування, які відповідають викликам динамічного ринкового ландшафту. Більше того, COM Tertiary XRT поставляється з можливістю підключення до нашої безпечної хмарної платформи моніторингу даних. TOMRA Insight — це додаткова служба, яка цифровим способом об'єднує сортувальні одиниці для надання високоцінних даних, які допомагають максимізувати продуктивність заводу та підвищити якість продукції.

Таблиця 1.10 – Технічні характеристики обладнання COM Tertiary XRT

COM Tertiary XRT	
Діапазон розмірів сортувального матеріалу	4-60 мм
Продуктивність	До 150 т\год
Співвідношення розмірів	1:3
Робоча ширина конвеєра	1200мм
Кількість іжекторів	192
Кількість використовуваної електроенергії	15 кВА
Вага обладнання	7670

Принципова схема обладнання надана на рис 1.5

Обладнання TOMRA Sorting є передовим рішенням для сенсорного сортування корисних копалин, яке дозволяє значно підвищити ефективність виробництва, зменшити витрати та вплив на навколишнє середовище. Використання різних сенсорних технологій робить це обладнання універсальним і продуктивним в умовах різних типів руд та корисних копалин.

Основні недоліки обладнання TOMRA Sorting

1. Висока вартість обладнання та обслуговування : Сенсорні сортувальники TOMRA вимагають значущих початкових вкладень, що може бути проблемою для підприємств з обмеженим бюджетом. До того ж обслуговування таких систем, включаючи калібрування і заміна деталей, також є дорогоцінним процесом.
2. Чутливість до якості подачі матеріалу : Сенсорні сортувальники працюють ефективно тільки при якісно підготовленій сировині. Якщо матеріал поданий із сильними забрудненнями, нерівномірною крупністю або злипшимися частинками, це може знизити точність сортування і навіть привести до помилок.

3. Обмеження за розміром частинок : TOMRA Sorting може працювати тільки з матеріалом певної крупності. Наприклад, занадто дрібні частинки можуть не розпізнаватися сенсорами, а занадто великі — блокувати систему. Це вимагає ретельної попередньої підготовки матеріалу.
4. Обмеження в розпізнаванні деяких типів мінералів : Хоча сенсорні системи TOMRA Sorting застосовують кілька типів датчиків (оптичні, рентгенофлуоресцентні, рентгенотрансмисійні та ін.), не всі види мінералів можна чітко розділити. В залежності від властивостей конкретної руди або приміщень, обладнання може давати неправильні результати або вимагати додаткових параметрів, щоб забезпечити оптимальну роботу.
5. Необхідність регулярної очистки сенсорів : Під час роботи датчики забруднюються пилом і частинками руди, що може знизити їх точність. Процес вимагає регулярного очищення і може загальмувати виробничий процес.
6. Енергоспоживання : Сенсорні сортувальники, особливо з рентгеновськими та лазерними датчиками, вимагають значної кількості енергії, що може збільшити операційні витрати та знизити загальну енергоефективність підприємства.
7. Залежність від програмного забезпечення : TOMRA Sorting використовує складне програмне забезпечення для обробки даних із сенсорами, і його необхідно регулярно оновлювати та налаштовувати. Помилки або збої в програмному забезпеченні можуть приводити до простоїв і необхідності втручання спеціалістів.

Хоча TOMRA Sorting і володіє високотехнологічними перевагами, його недоліки слід враховувати при плануванні бюджету та операційних процесів на виробництві.

1.3.2 Обладнання типу « Circle Series »

Сенсорне сортування « Circle Series » дозволяє досягати значних покращень у якості продукції гірничої промисловості, знижуючи вартість обробки та підвищуючи ефективність видобутку. Використання технологій на основі інфрачервоного та рентгенівського аналізу дозволяє забезпечити високу точність сортування та зменшити негативний вплив на довкілля.

Circle Series — це серія сенсорних сепараторів, розроблених для сортування матеріалів у гірничодобувній промисловості, переробці відходів і збагаченні корисних копалин. Системи Circle Series поєднують передові сенсорні технології, такі як інфрачервоне, рентгенівське та оптичне сортування, для забезпечення максимальної точності та ефективності в різних галузях промисловості.

Серія Circle дозволяє заощадити місце для обладнання та витрати на інфраструктуру, що значно скорочує інвестиції. Більше того, залежно від складу руди замовника, є можливість вибору одноенергетичного або двоенергетичного рентгенівського сенсора відповідно до його вимог.

Серія Circle має надвелику продуктивність: 300 т/год, що на 330% більше порівняно з традиційними моделями. Призначена для надмалих приміщень: найменша машина займає лише 14,8–32 м², що дозволяє скоротити використання простору на 70%. Діапазон класу крупності обробки: +5–90 мм (нижня межа — 5 мм) [19].

Велика продуктивність і широкий діапазон класу крупності

- Швидко: Високоєфективна система промислового управління з часом відгуку 1 мс, обробляючи до 10 000 руд за секунду.
- Точно: Завдяки використанню високоточної багатопарової системи повітряних струменів на 360°, руда та відходи можуть бути точно відсортовані шляхом розпилення руди стисненим повітрям.
- Сумісно: Потрапивши всередину машини, руда падає вільно, що усуває обмеження за розміром частинок. Серія Circle може визначати та сортувати руду розміром лише 5 мм.

Висока точність розпізнавання

- Унікальна подача: Вібраційна система подачі має переваги рівномірного розподілу матеріалу, більшої площі подачі та більшого обсягу подавання.
- Зображення: Унікальна система аналізу у вільному падінні підвищує якість зображення на 30% порівняно з традиційними машинами сортування руди. Точність сортування може досягати 99%.
- Аналіз: Використання машинного навчання та активного навчання оптимізує сортування та дозволяє машині з часом покращувати свої можливості розпізнавання і точність.

Точна система повітряних струменів

- Інтелектуальна: Синтезує струмені на основі розміру частинок.
- Швидко і стабільно: Час реакції повітряних струменів становить менше 1,5 мс.
- Точно: Діаметр одного сопла становить лише 2 мм, що дозволяє точно потрапляти в центр частинки розміром лише 5 мм.

Маленький розмір, простота в експлуатації та обслуговуванні

- **Маленький розмір:** На 75% менший порівняно з традиційним обладнанням для сортування руди, що знижує витрати на інфраструктуру та розширення, пов'язані з встановленням більшого обладнання для сортування руди на збагачувальному заводі.
- **Простота в експлуатації:** Оснащений системою HPU Cloud, яка використовує управління великими даними, що дозволяє дистанційне управління та легке обслуговування.

Основні характеристики обладнання **Circle Series**

1. Типи сенсорів

Circle Series використовує кілька видів сенсорних технологій для аналізу різних властивостей матеріалів:

- **Оптичні сенсори:** Застосовуються для сортування матеріалів за кольором, текстурою і блиском. Вони дозволяють розрізнити матеріали, такі як метали, пластик, скло, на основі їхніх візуальних характеристик.
- **Інфрачервоні сенсори (NIR):** Інфрачервона технологія дозволяє визначати хімічний склад частинок на основі їх поглинання інфрачервоного випромінювання. Це дає можливість ефективно відокремлювати органічні та неорганічні матеріали, наприклад, вугілля або мінерали.
- **Рентгенівські сенсори (XRT):** Рентгенівські сенсори використовуються для аналізу щільності частинок. Це особливо корисно для розділення рудних матеріалів і відокремлення корисних копалин від пустої породи.
- **Електромагнітні сенсори:** Використовуються для сортування магнітних матеріалів, таких як залізна руда або інші ферромагнітні речовини.

2. Принцип роботи

Обладнання Circle Series працює за таким алгоритмом:

1. **Подача матеріалу:** Видобутий матеріал подається на транспортер або вібраційний живильник, який рівномірно розподіляє його на стрічці для аналізу.
2. **Аналіз сенсорами:** Частинки, що рухаються по стрічці, проходять через сенсорний блок, де аналізуються різними типами сенсорів (оптичними, рентгенівськими, інфрачервоними або магнітними). Кожен сенсор зчитує конкретні параметри матеріалу, такі як колір, текстура, щільність або магнітні властивості.

3. Обробка даних: Зібрані дані надходять у комп'ютерну систему, яка обробляє інформацію в режимі реального часу і визначає, які частинки є корисними, а які слід відсіяти як відходи.
4. Сортування: На основі аналізу даних відбувається сортування частинок. Це може бути зроблено за допомогою:
 - Пневматичних форсунок, які спрямовують струмінь стисненого повітря на частинки і відхиляють їх у відповідний контейнер.
 - Механічних відбійників, які переміщують матеріал до відповідного вихідного потоку.
5. Виведення матеріалу: Після сортування матеріал розділяється на кілька потоків: корисний матеріал і відходи. Кожен потік направляється на окремий транспортер або до контейнера для подальшої обробки.

3. Моделі обладнання Circle Series

- Circle OPT Series: Спеціалізується на оптичному сортуванні матеріалів. Підходить для сортування кольорових металів, пластику, скла та інших матеріалів на основі їхніх візуальних характеристик.
- Circle XRT Series: Використовує рентгенівські сенсори для сортування матеріалів за щільністю. Найбільш підходить для сортування руд, дорогоцінних металів і мінералів.
- Circle NIR Series: Інфрачервоні сенсори, які дозволяють розділяти матеріали за хімічним складом. Використовується для сортування вугілля, мінералів і органічних матеріалів.

На прикладі сепаратора Circle XRT Series розберемо детальніше конструкцію та принцип дії

Circle XRT Series — це високотехнологічне обладнання для сенсорного сортування, яке використовує рентгенівські сенсори для аналізу та сортування матеріалів на основі їх щільності. Ця серія призначена для використання в гірничодобувній промисловості, де важливо відокремлювати цінні корисні копалини від пустої породи. Circle XRT Series спеціалізується на сортуванні руд, дорогоцінних металів і мінералів, що мають різні щільності [20].

Основні характеристики **Circle XRT Series**

1. Рентгенівська технологія (XRT)

Рентгенівські сенсори, які використовуються в Circle XRT Series, дозволяють сканувати частинки матеріалів і визначати їх щільність на основі рентгенівського випромінювання. Перевага цієї технології полягає в тому, що вона дозволяє виявити цінні матеріали навіть тоді, коли вони візуально не відрізняються від пустої породи.

- Принцип роботи: Рентгенівські промені проходять через матеріал, а детектори вимірюють інтенсивність променів, що проходять через кожену частинку. Щільніші матеріали поглинають більше рентгенівських променів, що дозволяє відокремити їх від легших частинок порожньої породи.
- Точність: Це обладнання забезпечує точність сортування понад 95%, що робить його ефективним для роботи з рудою та дорогоцінними металами, де навіть невелика кількість цінного матеріалу має значення.

2. Модульний дизайн

Обладнання Circle XRT Series побудоване за модульним принципом, що дозволяє адаптувати його для різних типів руд і вимог користувачів. Це дає можливість масштабувати систему залежно від обсягів виробництва або специфічних потреб збагачувального підприємства.

3. Основні компоненти обладнання

- Подаючий модуль (транспортёр): Забезпечує рівномірну подачу матеріалу до сенсорної зони. Це критично важливо для точності сортування, оскільки сенсори повинні отримати чіткий потік матеріалу.
- Рентгенівський сенсорний блок (XRT): Основний модуль, який проводить сканування частинок матеріалу за допомогою рентгенівських променів. Сенсори фіксують інтенсивність випромінювання, яке проходить через матеріал, і передають ці дані для подальшого аналізу.
- Аналітичний блок: Комп'ютерна система обробляє дані, зібрані рентгенівськими сенсорами, і визначає, які частинки є цінними, а які потрібно відсіяти. Аналіз виконується в режимі реального часу, що дозволяє ефективно відокремлювати корисні копалини від пустої породи.
- Сортувальний механізм: На основі результатів аналізу матеріал сортується за допомогою пневматичних форсунок або механічних систем. Цінні частки направляються в один контейнер, а порожня порода — в інший.

5. Переваги Circle XRT Series

- Висока точність сортування: Завдяки рентгенівським сенсорам система може з високою точністю відокремлювати цінні метали від пустої породи, що мінімізує втрати корисних компонентів.
- Продуктивність: Система здатна обробляти великі обсяги матеріалу за короткий час, що робить її ефективною для великих підприємств гірничодобувної промисловості.

- Зниження витрат: Завдяки точному сортуванню на ранніх етапах процесу знижується потреба в дорогих методах подальшого збагачення та переробки.
- Екологічність: Технологія не вимагає використання хімічних реагентів або великої кількості води, що робить її екологічно безпечною.

Таблиця 1.11 – Технічні характеристики обладнання Circle XRT Series

Параметр	Значення
Пропускна здатність	100 - 300 тон на годину
Швидкість транспортування	1 – 4 метри на секунду
Тип сенсорів	Рентгенівські сенсори для аналізу щільності (XRT)
Електрична потужність	15 – 40 кВт
Живлення	400 – 480 В, 50/60 Гц
Точність сортування	Понад 95%
Розмір часток	5 мм – 90 мм
Механізм сортування	Пневматичні форсунки (сортування стисненим повітрям)
Габарити обладнання	Довжина: 6 – 12 м, ширина: 2 – 4 м, висота: 3 – 5 м
Вага	10 – 25 тонн
Енергоспоживання	15 – 40 кВт
Програмне забезпечення	Інтегрований інтерфейс для управління та діагностики
Робочі матеріали	Залізна руда, мідь, золото, вугілля, дорогоцінні камені
Екологічність	Без використання води і хімічних реагентів

Circle XRT Series — це передова технологія для сортування корисних копалин, яка поєднує високу точність та продуктивність в порівнянні з конкурентами завдяки широкому діапазону визначення класу крупності матеріалу, високій точності розпізнавання, високоточної системи повітряних струменів. Ця система дозволяє знижувати витрати на подальшу обробку руди, підвищує економічну ефективність підприємства і сприяє екологічній безпеці. [20].

Основні недоліки обладнання Circle Series

1. Висока початкова вартість : Обладнання серії Circle Series вимагає значних інвестицій на етапі придбання та встановлення. Висока вартість може бути виправдана високим показником технологічності.

2. Затрати на обслуговування і навчання персоналу : Для правильної експлуатації обладнання та його обслуговування необхідна команда спеціалізованих фахівців. Це вимагає додаткових витрат на навчання персоналу та періодичне технічне обслуговування, щоб обладнання працювало на оптимальному рівні.
3. Обмежена гнучкість у налаштуванні під різні типи руди : Circle Series може бути адаптована для різних типів руди, але переналаштування на новий матеріал часто потребує часу та додаткових технічних знань. У разі зміни умов виробництва або необхідності сортування інших видів мінералів, може значно ускладнити використання обладнання.
4. Обмеження за розміром і складом матеріалу : Як і багато сенсорних сортувальників, Circle Series має обмеження за розміром частинок. Якщо надана сировина має невідповідні розміри або текстуру (флокульовані частинки, наявність дрібних пиловидних частинок), обладнання може працювати менш ефективно або надавати неточні результати.
5. Енергоспоживання : Сенсорні сортувальники, особливо ті, що використовують рентгеновські та лазерні датчики, потребують великого використання електроенергії. Для деяких продуктів збагачення високе енергоспоживання може істотно підвищити операційні витрати і збільшити собівартість готового продукту.
6. Чутливість до запилення і вологості : В умовах підвищеної запиленості або зниженої температури, у датчиків Circle Series значно знижується точність. Пил і волога можуть осідати на сенсорах, ефективність розділення також зменшується.
7. Складність програмного забезпечення та залежність від його оновлень : Circle Series оснащена просунутим програмним забезпеченням для аналізу даних, що надходять із сенсорами. Це програмне забезпечення вимагає регулярного оновлення і може бути складним для користувачів без спеціальних навиків.

Ці недоліки слід враховувати при виборі обладнання серії Circle Series, особливо якщо підприємство обмежено в бюджеті або працює з різноманітними типами руди.

1.3.3. Обладнання типу «МКС» (Модуль кускового сортування)

Технологія МКС (Модуль кускового сортування мінеральної сировини та техногенних відходів) – це унікальна, інноваційна технологія сортування руд. Це високотехнологічне обладнання для збагачення руд і шлаків феросплавного виробництва. Технологія, по суті, є інструментом, з високою роздільною здатністю, що дозволяє отримувати попередні концентрати товарної якості з бідних або некондиційних руд.

В основі технології Модуль кускового сортування (МКС) – визначення фізичних параметрів (геометричних розмірів) та властивостей сировини (питома магнітна сприйнятливості) за допомогою інформаційного методу із застосуванням сенсорних технологій. Найсучасніший метод, який потребує мінімального залучення додаткових ресурсів в роботі.

Сутність технології МКС полягає у визначенні фізичних параметрів окремих шматків руди за допомогою сенсорних методів контролю, з подальшим їх сортуванням з використанням програмних продуктів.

Технологія МКС належить до класу інформаційних методів сортування сировини. Використовуваний метод сортування має свою історію становлення. У процесі розробки технології МКС, було прийнято раціональне рішення взяти за основу вже існуючий метод сортування сировини (назвемо його базовим методом). Також, обов'язковою умовою було визначено, що базовий метод повинен бути заснований на вимірі об'ємного вмісту корисного компонента в куску руди, а не тільки частини компонента, видимого лише на поверхні куска руди.

Такими методами могли стати : рентгеноабсорбційний (ХРТ) метод, тепловий метод інфрачервоної спектроскопії (TIR), електромагнітний (ЕМ) та інше. Однак, вибір був зроблений на користь ЕМ методу, як найбільш перспективного, який має найбільший потенціал для розвитку, якщо його використовувати у комплексі із сучасними ІТ-технологіями.

Визначившись із базовим методом, подальші зусилля були спрямовані на досягнення однієї мети – радикальне підвищення якості вимірювальної сенсорної системи за двома параметрами: чутливість та точність. Ця складна задача була вирішена за рахунок розробки власного методу сортування, який ми називаємо «3D-ЕМ» метод. Цей метод – консолідоване функціонування “3D системи”, як керуючої та “ЕМ системи індукційних датчиків”, як керованої. Саме цей метод сортування закладено в основу технології МКС [21].

Практична реалізація цього рішення здійснена на основі програмних продуктів з використанням оригінальних алгоритмів цифрової обробки сигналів. Досягнуті результати представлені на прикладі результатів сортування парамагнітних руд. В даному випадку, чутливість магнітної сприйнятливості склала до $\chi = 1 \cdot 10^{-6}$ од. СІ., а точність виміру забезпечила високу роздільну здатність (контрастність $\geq 2,5$ відносних одиниць – це відношення більшого значення до меншого значення, для мінералів, що розділяються). Абсолютні значення магнітної сприйнятливості мінералів знаходяться на гранично низькому рівні, порівнянному з інструментальними вимірами.

Сортований клас крупності для будь-якої руди визначається за параметрами розкриття мінералів. Тут важливо витримати оптимальний баланс між якістю продуктів сортування та продуктивністю технологічного обладнання. Тому вибір робочої фракції є оптимізаційним завданням.

Зі збільшенням фракції зростає продуктивність МКС, але знижується якість концентрату, через гірше розкриття мінералів у куску руди. Справедлива й зворотна залежність.

Технічні можливості МКС дозволяють працювати у широкому діапазоні фракцій сировини від 10 мм до 80 мм. Проте, зазвичай, сортування здійснюється на класах крупності від 20 до 60 мм.

МКС може працювати в будь-яких кліматичних зонах, що передбачає його використання в широкому діапазоні температур, незалежно від пори року.

Що відрізняє Технологію МКС від інших магнітних сепараторів :

Екологічність - технологія МКС відноситься до класу сухих методів сортування. Вона не пов'язана із забрудненням вод, утворенням шламів, процесами запиленості. У технології не використовуються вузли з радіоактивними елементами.

Мобільність - обладнання МКС випускається в комплектно-блочному виконанні та монтується в морських 20-футових контейнерах, що значно спрощує питання релокації обладнання.

Швидкий старт - конструктивне виконання МКС дозволяє розпочати експлуатацію обладнання без попереднього виконання складних проектних робіт, пов'язаних із капітальним будівництвом.

Таблиця 1.12 – Технічні характеристики обладнання МКС

Параметр	Значення
Ширина зони сортування	850-1430мм
Швидкість стрічки	2-3 м/с
Крупність матеріалу, що сортується	20-80мм
Продуктивність	15-100т/ч
Габаритні розміри обладнання	6*2,4*2,7м
Вага	9,8т
Електроспоживання	До 30кВт

Технологія МКС переважно використовується для вирішення таких задач, як:

- Отримання концентратів товарної якості або хвостів з необхідним вмістом корисного компонента.
- Залучення в переробку руд низької якості (забалансових руд).
- Підвищення ККД родовища, за рахунок переробки приконтатних зон рудних тіл.
- Отримання крупнокускових кондиційних концентратів.

- Видалення породної маси у великокусковому виді.
- Поділ вихідної гірничої маси на технологічні типи та руди за їх сортами.
- Видалення шкідливих та небажаних домішок (порід та мінералів) у гірській масі.
- Стабілізація якості вихідної сировини для збагачувальної фабрики.

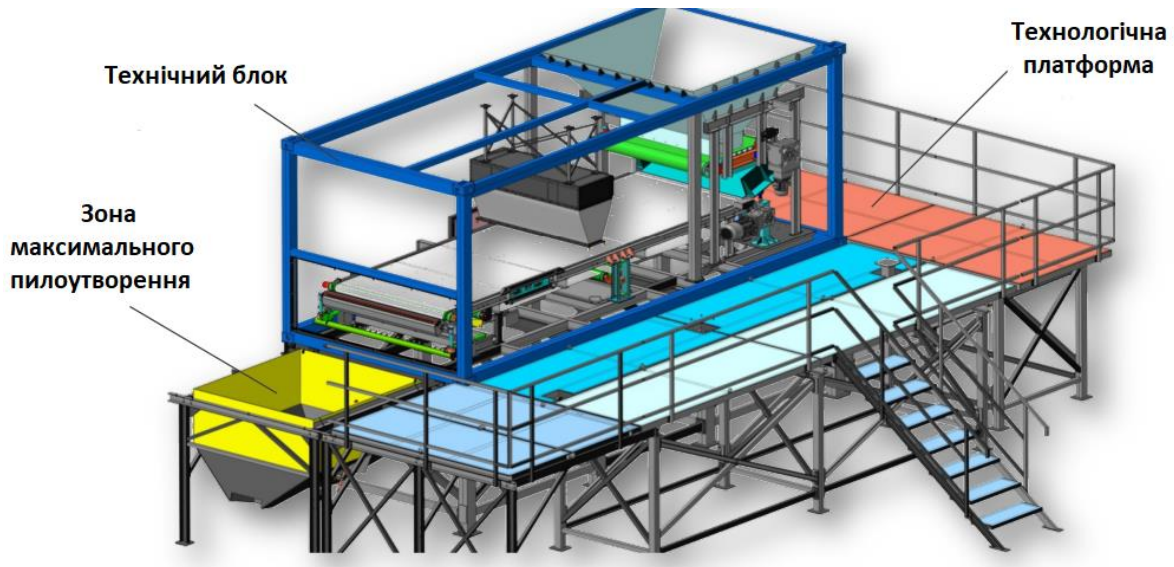


Рис 1.6 – Принципова схема технологічного блоку МКС

Модуль кускового сортування — це важливий елемент сучасного гірничодобувного обладнання, що забезпечує попередню обробку руд шляхом сенсорного аналізу і сортування. Він дозволяє підвищити якість видобутої руди, знизити витрати на подальшу переробку та оптимізувати використання ресурсів. Також немало важливою перевагою МКС в порівнянні з конкурентами є те, що обладнання виробляється в Україні і має значно меншу вартість.

До недоліків МКС можна віднести всі ті ж самі недоліки що наявні у попередніх сортувальниках, що наявні у будь-яких сортувальниках де розділення відбувається за допомогою сенсорних датчиків. Різниця між сортувальниками буде заключатися у продуктивності, констукції та габаритних розмірах та у вартості обладнання [21].

Висновки до розділу 1

Марганцева руда є значним ресурсом для сучасної промисловості, особливо для чорної металургії, де вона використовується для виробництва різних феросплавів. Інноваційні підходи, такі як сенсорне сортування, дозволяють ефективніше збагачувати марганцеву руду, використовуючи її фізичні та хімічні характеристики для підвищення якості кінцевого продукту. Ці технології забезпечують екологічну безпеку та підвищують ефективність виробничих процесів, виробляючи марганцеву галузь більш конкурентоспроможною на світовому ринку.

Загальносвітова тенденція до виснаження багатих мінеральних ресурсів стимулює активне впровадження технологій попереднього збагачення для обробки бідних і некондиційних руд. Сучасні сенсорні методи сортування є одним із найперспективніших підходів у цій галузі, що дозволяє виділяти корисні компоненти на ранніх етапах, зменшуючи подальшу обробку та скорочуючи витрати на експлуатацію та капітальні інвестиції. Досвід показує, що застосування сенсорного сортування сприяє підвищенню продуктивності гірничих підприємств, скороченню витрат енергії та води, що робить цей метод більш екологічно стійким та економічно вигідним рішенням для гірничодобувної промисловості.

Сортувально-сенсорне обладнання стає важливим елементом сучасної гірничовидобувної промисловості, оскільки воно дозволяє суттєво підвищити ефективність видобутку та збагачення корисних копалин.

У питанні вибору обладнання, головним питанням є лише питання його ефективності для використовуваної сировини. Тому не існує у світі універсальних сортувальників і кращим сортувальником буде той, який буде максимально ефективно працювати на той чи іншій конкретній сировині. Виходячи із умов наданих в магістерській роботі для розробки технологічної схеми збагачення окиснених марганцевих руд найоптимальнішим варіантом буде сортувальник типу МКС. Сортувальник МКС добре зарекомендував себе на залізо-марганцевих родовищах Казахстану, має велику клієнтську базу та багаторічний досвід використання, найменшу вартість та найвигідніше положення для транспортування з точки зору логістики, так як МКС виробляється в Україні

РОЗДІЛ 2 СИРОВИННА БАЗА РОДОВИЩ «АКЖАР-САРИТУМА» ТА «УЛЬКЕНЖОЛ»

Сировинну базу комбінату складають родовища Акжар-Саритума та Улькенжол.

Родовища марганцю Акжар-Саритума та Улькенжол розташовані в Карагандинській області в єдиній контрактній площі. Обидва об'єкти знаходяться в межах Акжар-Саритумської синклінальної структури, що простягається на захід від озера Балхаш. Марганцеві поклади на родовищах простягаються до конгломерат-піщаникової світки верхнього турне.

Перше з описуваних родовищ відкрито у 1946 р. під час проведення у Західному Прибалхаші геологічної зйомки 1:500 000 масштабу, друге виявлено 2006 р. під час здійснення у цій районі геологічного довивчення масштабу 1:200 000.

На родовищі Акжар-Саритума за результатами проведених пошукових робіт у 1947 р. було підраховано запаси марганцевих руд у кількості 114,373 тис.т із середнім вмістом марганцю 17,12%. У 2006 р. ТОВ «Інтеренергобуд» було здійснено перерахунок запасів, які у кількості 1015,0 тис.т руди із середнім вмістом марганцю 21,71% та поставлені на Держбаланс. Однак згадані запаси родовища були отримані лише за даними канав та шурфів через відсутність пробурених тут свердловин. Одночасно такі роботи здійснювалися надрокористувачем на родовищі Улькенжол, де раніше у ньому буріння не вироблялося і запаси його оцінювалися. Поверхня району представлена слабопогорбленою рівниною. Абсолютні позначки окремих пагорбів коливаються від 490 до 664 м (м. Карабас). Крім них у рельєфі виділяються делювіально-пролювіальні долини, луки та численні западини. У цілому нині рельєф знижується у південно-східному напрямі до озера Балхаш

Гідрографічна мережа поблизу родовища Акжар-Саритума представлена двома сухими руслами тимчасових потоків, які мають назву В.Шахмагайли, інше Караунгул. За їхніми руслами зустрічаються плеси, що зберігаються часто влітку. [22].

На родовищі Улькенжол річкова мережа відсутня. Навесні поверхневі води, що утворюються за рахунок танення снігів, накопичуються в численних неглибоких заглибленнях, які потім висихають. Іншими джерелами води можуть бути джерела та колодязі, дебіт яких не перевищує 2,5 л/сек. Мінералізація змінюється від 0,6 до 23,0 г/л.

Клімат району різко континентальний, посушливий, з вітряною та холодною зимою (мінімальна температура - 40 ° С), з таким же вітряним спекотним літом (максимальна температура +45 -47 ° С). Середня температура влітку +20 -28 ° С, взимку -15 -20 ° С). Кількість річних опадів становить 100–120 мм

Район родовищ Акжар-Саритума та Улькенжол розташовується в області зчленування зони регіонального Минаральського розлому двох структурно-формаційних зон (СФЗ) - Бурунтауського мегантиклінорія та Західно-Балхаського мегасинклінорія. Марганцеві поклади відносяться до основи фамен-кам'яновугільних мульд, що налягають на гетерогенну основу палеозойського фундаменту, у складі якого виділяються 17 світ і 10 інтрузивних комплексів. Усі елементи протерозойсько-палеозойських утворень перекриваються континентальними теригенними породами кайнозойської епіплатформної моласи, потужність яких коливається від часток метра до кількох десятків метрів. Основними структурними елементами, що визначають просторове розташування марганцевих руд, є накладені брахісинклінальні складки (мульди), що тяжіють до зони мінаральського регіонального розлому. Родовище Акжар-Саритума локалізовано у північному крилі однойменної мульди, родовище Улькенжол – у південно-західному борту Улькенжолської мульди. [22].

Корисні копалини району

У даному районі відомо кілька родовищ та проявів різноманітних корисних копалин. Найбільш значущими є руди марганцю, заліза, поліметалів, золота і олова.

Залізо-марганцеве родовище. Простягається до зони Минаральського регіонального розлому та до крайових частин накладених мульд. У ній практичний інтерес представляють родовища Акжар-Саритума і Улькенжол. Руди родовищ брауніт-псиломеланові із середнім вмістом марганцю (20% і більше). Нерідко марганцева мінералізація у вигляді тонких прожилок відокремлюється в кислих вулканітах девону, іноді в пісковиках, на деякому віддаленні від контакту з накладеними мульдами.

Залірудна мінералізація представлена окремими дрібними кварц-гематитовими тілами з вмістом до Fe_2O_3 20-40%, до різних за віком геологічним утворенням. Найбільші скупчення залізних руд встановлені на родовищі Караунгур.

Це магнетитові скарни та скарновані вапняки, розвинені в контакті із сублужними аляскитовими гранітами. Рудні тіла мають довжину від десятків до сотень метрів. Вміст заліза у рудах сягає 45-50%. Склад мартитовий руд з реліктами магнетиту.

Поліметалеві поклади представлені в 28 рудних об'єктів. Найбільш значущими є два родовища стратиформного гідротермально-осадового типу (Георгіївське I і II). Вони присвячені мульдам фамен-кам'яновугільного віку. Руди в них переважно галенітового складу.

Структурні особливості родовища Акжар-Саритума та Улькенжол.

Воно простягається по північному крилу великої однойменної брахискладки, орієнтованої в широтному напрямку. Весь комплекс осадових відкладень, що у його будові, включаючи марганцеворудні тіла, моноклінально падає на південь під різними кутами. У східній частині родовища кути круті. З глибиною відзначається деяке викладання горизонтів (до 50-60 °). На західному фланзі залягання крила складки 10-25 °, а на заході воно викладаються до горизонтального.

Залягання порід дещо ускладнене пострудними тектонічними порушеннями, зсувного характеру з різною амплітудою, що розбивають окремі горизонти на самостійні блоки. Зсувний характер порушення встановлюється по горизонтальному положенню борозен ковзання. Площини порушень мають круте (до вертикального) падіння, що переважає простягання їх. Крім того, трапляються пошарові порушення, зокрема в площині рудних тіл, які встановлюються по зонах дроблення потужністю до 10-15 см. Ці порушення бувають як скиданнями, так і зсувами.

Родовище Улькенжол простягається до південно-західного крила дрібної (3,4 x 0,5 км), майже повністю еродованої Улькенжолської мульди, що є ерозійно-тектонічним, відірваним, південно-східним фрагментом великої Кизилкенгірської мульди.

На північному сході мульда обмежена розривним порушенням північно-західного простягання, а її північно-західним кордоном служить північно-східне порушення. На південному сході та південному заході відкладення турнейського ярусу налягають на окислі вулканити угуздауської грунту. Залягання ускладнене системою коротких (від десятків до сотень метрів) порушень як субзгодних контакту, так і посічених. До зон цих порушень, що супроводжуються брекчення порід, приурочена марганцева мінералізація родовища Улькенжол. Падіння рудовмісних порушень північно-східне, кути нахилу коливаються від 50-60 ° до 90 °. Крім порушень зсувного характеру в районі ПР 4-8, за даними свердловини №3, встановлено пологий (15-20°) насув з амплітудою зміщення до 120 м [22,23].

Всі породи, що складають родовище, тріщинуваті, в близьких поверхнях до глибини 1-5 м вивітрені до щебеневої і глинисто-щебеневої кори вивітрювання. На глибинах 5-15 м тріщинуватість не знижується; переважають тріщини субпаралельні контактам та зонам тектонічних порушень

2.1 Мінерологічний та хімічний склад руд родовищ «Акжар-Саритума» та «Улькенжол»

Речовинний склад рудовміщуючих порід родовища Акжар-Саритума та Улькенжол досить одноманітний. У будові їх беруть участь:

Конгломерати - цегляно-червоного та коричневого кольору, складаються з добре окатаної гальки пісковиків, сланців та піщано-кремнистого або піщано-карбонатного цементу.

Гравеліти та гравілісті пісковики - складаються із слабо окатаних і погано відсортованих уламків мінералів та вулканогенних порід, укладених у кремністо-залізистому цементі.

Піщаники – тонко і дрібнозернисті, алевроліти червонувато-сірого кольору, з кремністо-залізистим цементом.

Вапняки – приховано-кристалічні, пелітоморфні, часто окремі.

Мінерологічний склад руд. За мінералогічним складом руди родовищ поділяються на два типи:

1. Марганцеві руди.
2. Залізні руди.

Обидва ці типи утворюють самостійні, але просторово зближені рудні тіла.

Марганцеві руди родовищ Акжар-Саритума та Улькенжол мають близьку подібність у мінералогічному складі. Текстури руд масивні, плямисті та прожилкові.

З рудних мінералів встановлені: брауніт, псиломелан, піролюзит, гаусманіт, гематит та гідрогематит.



Рис 2.1 – Рудні мінерали у пробі

Нерудні представлені кварцем, баритом, карбонатом, серицитом та дуже рідко флюоритом.

Брауніт є основним корисним мінералом. У технологічній пробі середній вміст його становить близько 21% (з глибиною частка брауніту серед марганцевих мінералів збільшується). Він зустрічається у переважній кількості порівняно з іншими мінералами марганцю та присутній у всіх рудних тілах. Брауніт є раннім, первинним мінералом. Переважно брауніт присутній у вигляді численних зернистих агрегатів, роз'єднаних найтоншими прожилками, виконаними псиломеланом і орієнтованим у різних напрямках. Брауніт зустрічається також у вигляді вкрапленості і дрібних (від часток мм до декількох см) жилок, що січуть уламки.

У масивних рудах брауніт утворює разом із криптомеланом і піролюзитом суцільні поля великої протяжності, а також зустрічається у вигляді тонкозернистих агрегатів зрощення з іншими марганцевими та нерудними мінералами. [23,24].



Рис 2.2 – Брауніт з характерною кристалічною структурою 1

Бідні марганцеві руди, представлені осадовими породами червоного кольору з прожилками та вкрапленнями брауніту чорного кольору та карбонатів білого кольору



Рис 2.3 – Бідні марганцеві руди

Піролюзит вторинний оксид марганцю. Розвивається, як за псиломеланом, так і за браунітом.

Піролюзит виділяється у вигляді двох різновидів:

- а. Добре розкристалізованого з ясною кольоровою анізотропією різнозернистого агрегату;
- б. Метаколоїдного слабо розкристалізованого агрегату, що утворює зрощення з браунітом та криptomеланом.

Піролюзит першої генерації формується до відкладення псиломелану другої генерації. Псиломелан другої генерації у вигляді жилок січе брауніт і піролюзит першої генерації і, у свою чергу, січеться піролюзитом другої генерації. [24].



Рис 2.4 – Мінерал піролюзит

Кварц встановлюється у всіх типах марганцевих руд, утворюючи як самостійні прожилки так і скупчення в рудах, що досягають розмірів 20 см, які зазвичай замінюють цемент. Найчастіше зустрічається він разом із баритом, у різних співвідношеннях із ним, і рідше із кальцитом. Він має молочно-білий або світло-сірий колір і іноді забарвлений окислами заліза. Спостерігається два різновиди кварцу: дрібнозернистий та крупнозернистий. З дрібнозернистим кварцем часто асоціюють рудні мінерали, утворюючи з ним зрощення. Крупнозернистий кварц часто зустрічається у вигляді жилок, що чітко січуть рудні мінерали.

Пуста порода представлена осадовими, вміщуючими породами – пісковиками цегляно-червоного кольору. За словами геолога на родовищі абсолютно пустих порід немає, так чи інакше зустрічається невеликий вміст марганцю [25].



Рис 2.5 – Пісковик цегляно-червоного кольору

Таблиця 2.1 - Фізико-механічні властивості проби руди

Показники	Одиниця виміру	Значення
Щільність	г/см ³	3,26
Насипна вага	г/см ³	1,96
Пористість	%	40,0
Вологість	%	1,0
Міцність за шкалою Протодьяконова	Од.	7

Висновки до розділу 2

В даному розділі було розглянуто сировину базу комбіната родовищ «Акжар-Саритума» та «Улькенжол». Корисні копалини району та структурні особливості родовищ. Мінералогічний склад та фізико механічні властивості руди. Рудовміщуючі породи родовищ «Акжар-Саритума» та «Улькенжол» характеризуються однорідним складом і включають конгломерати, гравеліти, пісковики та вапняки, що містять основну масу рудоносних порід. За мінералогічним складом руди виділяються на два типи: марганцеві та залізні. Основним корисним мінералом марганцевих руд є брауніт, середній вміст якого становить близько 21%. Додатковими мінералами є псиломелан, піролюзит, гаусманіт та гематит. Нерудні мінерали представлені кварцем, баритом, карбонатами та серицитом. Однією з характерною особливістю родовища є те, що обидва родовища мають такий же мінералогічний склад із домінуванням марганцевих руд і присутністю залізних мінералів, що передбачає їх високу цінність для подальшого отримання та використання в промисловості.

РОЗДІЛ 3 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Дослідження на збагачуваність корисних копалин є важливим етапом у гірничо-збагачувальній промисловості, який визначає, наскільки ефективно можна відокремити корисні мінерали від пустої породи за допомогою різних методів. Це дозволяє визначити найбільш економічно доцільні технології збагачення і вибрати оптимальні умови для подальшої переробки руд

Гранулометричний метод заснований на визначенні кількісного розподілу зерен концентрату який виконували згідно ДСТУ 3210-95 «Руди залізні і марганцеві, концентрати, агломерати і окатиші. Для цього використовується сухе розсіювання на ситах з наступним розсівом на МКС Після розсіювання ми зважуємо отримані класи розмірів і розраховуємо їх відсоток від загальної маси проби.

Для розсіву на ситах використовуємо сита розмірами 80,40,20мм, які встановлюємо у інерційний грохот послідовно, у наступному порядку: - 80+40мм, -40+20мм, -20+0мм. Розсіювання відбувається на інерційному грохоті за декілька етапів

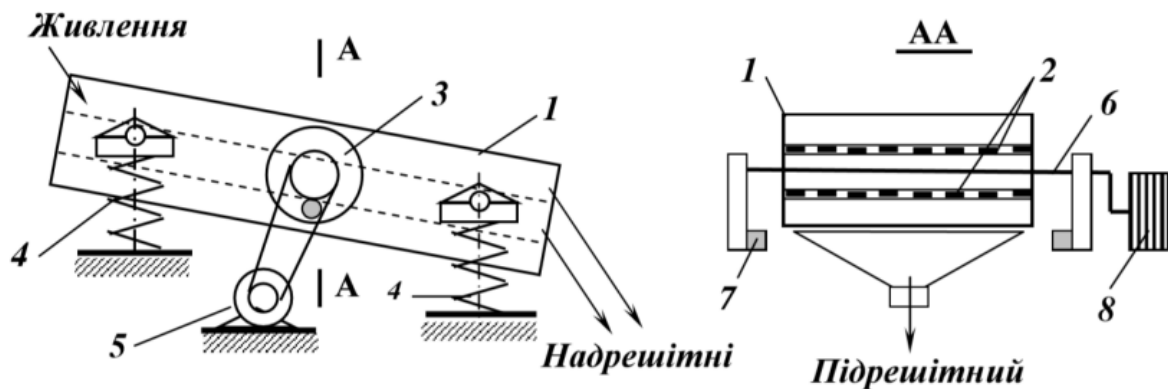


Рис 3.1 – Схема інерційного грохота

1 – короб; 2 – просіюючі поверхні; 3 – вібробудувач; 4 – пружинні опори; 5 – електродвигун; 6 – вал; 7 – дебаланси; 8 – шків



Рис 3.2 – Сита розміром $-80+40\text{мм}$, $-40+20\text{мм}$, $-20+0\text{мм}$

По завершенню розсіювання на ситах грохота на класи крупності, матеріал направляєтся на подальше розділення за допомогою сортувальника МКС

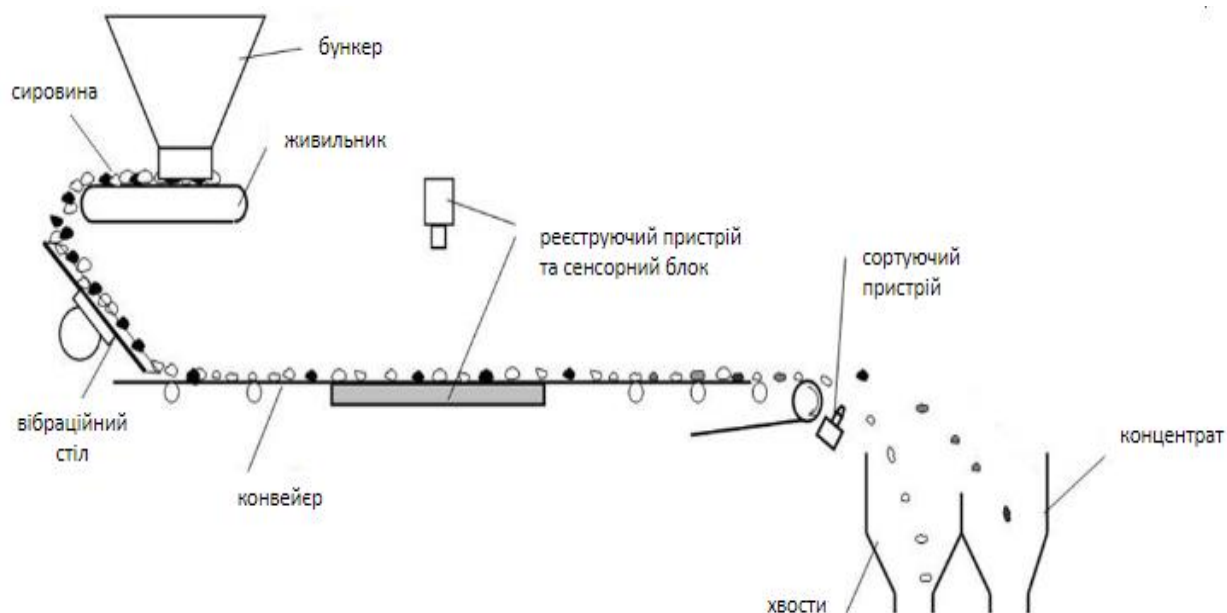


Рис. 3.3 - Схема технології сенсорного сортування МКС

Початкова сировина завантажується в бункер. У бункері сировина акумулюється та подається живильником на вібростол. Вібростол формує моношар матеріалу та подає його на стрічку транспортного конвеєра. При переміщенні сировини на конвеєрі відбувається контроль, фіксація та аналіз параметрів окремих шматків матеріалу. За допомогою спеціального програмного продукту процесор обробляє дані і формує керуючий сигнал для пневматичного сортуючого пристрою. Сортуючий пристрій відбиває повітряними струменями, виділені в результаті аналізу шматки матеріалу. Таким чином, формується два потоки матеріалу: «хвост» та «концентрат».

Модуль кускового сортування застосовує електромагнітний метод (ЕМ) розділення, що є сучасним інструментом для автоматизованого розділення сировини на основі її електромагнітних властивостей. Це технологічне рішення спрямоване на підвищення ефективності переробки руд і мінімізацію втрат корисних компонентів, особливо при збагаченні великих фракцій сировини.

Технологія МКС, за допомогою певного набору вимірювальних систем, отримує різну інформацію про фізичні властивості кусків руди, а також про їх розмір та форму. На підставі даної інформації та її кореляції з концентрацією корисного компонента задаються певні режими програмним продуктом МКС, які використовуються на етапі аналізу обробки отриманих даних. Після чого здійснюється сортування сировини за заданими вимогами до якості одержуваних продуктів. [21,27].

Фізичні основи ЕМ-сортування

ЕМ-метод збагачення є сучасною технологією, що базується на використанні фізичних властивостей матеріалів, таких як електропровідність і магнітна сприйнятливність. Цей метод широко використовується для розділення мінеральної сировини, зокрема металевих і неметалевих мінералів. ЕМ-метод використовує взаємодію електромагнітного поля з матеріалом для визначення його властивостей, таких як:

- Електропровідність;
- Магнітна сприйнятливність;
- Діелектрична проникність.

Принцип дії ЕМ-методу

ЕМ-метод використовує властивості матеріалів, які впливають на їх поведінку в електромагнітному полі. Основні етапи процесу:

1. Створення електромагнітного поля : Генерується змінне електромагнітне поле, яке впливає на матеріали, які знаходяться в зоні сортування.

2. Сканування та аналіз : Мінерали з відмінними характеристиками (наприклад, магнітними чи провідними) по-різному реагують на це поле. Сенсори фіксують зміни і передають дані системі обробки.
3. Класифікація : На основі зібраних параметрів матеріал автоматично розподіляється на корисні компоненти (концентрат) і пусті породи (хвости).

Мінерали з відмінними характеристиками (наприклад, брауніт - слабкий магнітний мінерал, який виявляє слабку магнітну сприйнятливність через домішки, або кварц – який є діамагнетиком, тобто відштовхується магнітним полем.) по-різному впливають на електромагнітне поле. Це дозволяє ідентифікувати шматки матеріалу, які відрізняються за своїми магнітними властивостями. Після чого задати МКС певний режим для розділення в залежності від поставлених умов.

Переваги ЕМ-методу збагачення

1. Висока точність : Дозволяє розділяти навіть частки з мінімальними відмінностями в електромагнітних властивостях.
2. Екологічність : Відсутність використання хімічних реагентів зменшує вплив на навколишнє середовище.
3. Ефективність для різних типів сировини :
 - Залізні руди (магнетит, гематит);
 - Руди кольорових металів (мідь, нікель, цинк);
 - Вторинна сировина (металобрухт).
4. Гнучкість у налаштуваннях : ЕМ-метод можна адаптувати до різних типів сировини шляхом зміни параметрів електромагнітного поля.

Недоліки методу

- Обмеження у роботі з немагнітними та низькопровідними матеріалами.
- Високі початкові витрати на обладнання.

ЕМ-метод збагачення є перспективною технологією, яка дозволяє суттєво підвищити ефективність та екологічність переробки корисних копалин і вторинної сировини.

Конструктивні особливості модуля

Сканувальний блок : Включає генератор електромагнітного поля та датчики для фіксації параметрів матеріалу. Аналізуються зміни поля при проходженні кусків сировини через сканер.

Живильна система : Забезпечує рівномірну подачу сировини на стрічку конвеєра чи вібростіл для формування моношару, що є критичним для точного аналізу.

Реєструючий пристрій: За допомогою спеціалізованого програмного забезпечення процесор аналізує сигнали, отримані від датчиків спеціального програмного продукту і формує керуючий сигнал (в залежності від геометричних розмірів кожного мінералу) для пневматичного сортуючого пристрою .

Механізм сортування : Після класифікації на реєструючому пристрої шматки матеріалу направляються до пневматичних клапанів, в залежності від показників магнітної сприйнятливості мінералів та вибраного режиму розділення , відбувається розділення на 2 потоки, ті шматки матеріалу, які задовільняють вибраному режиму МКС за допомогою пневматичних клапанів відбиваються повітряними струменями через шиберну заслонку у другий відсік, а інші шматки які не задовільняють вибраному режиму МКС, під дією сили тяжіння скочуються у перший відсік.

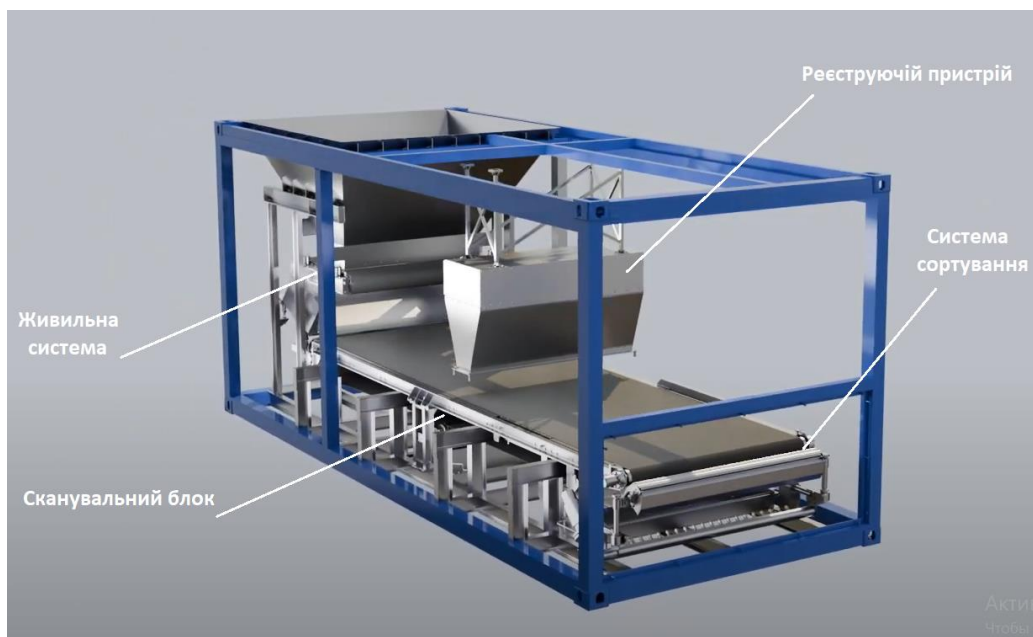


Рис. 3.4 - Конструктивні особливості модуля

Класи крупності сортуємої сировини $-80+40\text{мм}$, $-40+20\text{мм}$, $-20+0\text{мм}$
Вологість, запиленість сировини не впливають на якість сортування.
Результати сортування представлені у розділі 4.

Висновок до розділу 3

Дослідження збагачуваності корисних копалин є ключовим процесом у гірничо-збагачувальній промисловості, що забезпечує ефективне розділення корисних мінералів від пустої породи. Гранулометричний метод дозволяє точно визначити розподіл зерен за розмірами, використовуючи поетапне розсіювання сировини на ситах різного розміру. Після цього матеріал сортується за допомогою технології МКС, яка аналізує параметри шматків, і розділяє на «хвости» і «концентрат». Ця технологія є ефективною незалежною від вологості та запиленості сировини, що робить її універсальною та надійною для промислового застосування.

РОЗДІЛ 4 ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ ТЕХНОЛОГІЇ «МОДУЛЬ КУСКОВОГО СОРТУВАННЯ», МАРГАНЦЕВОЇ РУДИ РОДОВИЩА «АКЖАР- САРИТУМА» ТА «УЛЬКЕНЖОЛ»

4.1 Наукове обґрунтування та моделювання речовинного складу заданої суміші

Параметри завдання суміші визначають межі зміни щодо вмісту кожного компоненту. Значення цих параметрів мають бути коректними та задовольняти низку умов. Моделювання речовинного складу заданої суміші полягає в тому, щоб за допомогою моделі отримати статистичну вибірку всіляких одиничних проб будь-якого кінцевого розміру, що сукупно відповідає завданням суміші. Модель суміші адекватна завданням буде тоді, коли значення відносного змісту кожної компоненти в будь-якій моделі точкової проби не виходитиме за межі, визначені завданням суміші з відповідними цим завданням законами розподілу. Метою моделювання є отримання статистичних параметрів розподілу та статистичних вибірок для заданої суміші у всьому діапазоні значень відносних вмістів компонентів заданої суміші та отримання статистичних параметрів умовних розподілів та умовних статистичних вибірок відносних вмістів окремих компонентів при заданих умовах та обмеження значень відносних вмістів інших компонентів.

Така модель дозволить при заданому значенні змісту однієї або декількох компонентів розрахувати прогнозовані значення або математичні очікування інших компонентів заданої суміші. Для моделювання речовинного складу заданої статистичної суміші можна використовувати різні типи моделей. Принципи моделювання речовинного складу суміші засноване на використанні методу Монте-Карло, що дозволяє отримати велику кількість реалізацій стохастичного (випадкового) процесу, який формується так, щоб його імовірнісні характеристики відповідали умовам розподілу випадкових вмістів компоненту заданої суміші [30,31].

Як вихідні дані використовуються:

1. Форма завдання суміші.
2. Домінуюча компонента.
3. Контрольовані компоненти.
4. Домінантна функція.
5. Вид закону розподілу суміші.

б. Розрахункові параметри суміші для моделювання.

Форма завдання суміші може бути будь-якою - або у вигляді нормальної форми, або у вигляді граничної форми завдання суміші. Домінуюча компонента визначається виходячи з незалежних зовнішніх факторів, що визначаються технологічними або іншими особливостями суміші.

Як правило, у технологічних процесах вміст домінуючої компоненти вимірюється спеціальними методами або приладами, але вміст інших компонентів суміші може контролюватись частково або в повному обсязі. Якщо потрібний контроль вмісту інших компонентів, то вони повинні бути зазначені як вихідні дані. Вказівка у вихідних даних контрольованих компонентів суміші визначає завдання та результатами моделювання. У тих випадках, коли з точки зору технологій або інших особливостей заданої суміші домінуючих компонентів кілька, то для встановлення ступеня важливості кожної компоненти необхідно їх ранжувати за деяким параметром для кожної компоненти заданої суміші, який може бути обчислений як значення деякої домінуючої функції, аргументами якої є параметри компонент у завданні суміші. Надалі будуть досліджені варіанти завдання та використання домінуючих функцій заданої суміші.

Вибір виду закону розподілу заданої суміші може визначатися на підставі теоретичних передумов особливостей заданої суміші, на підставі експериментальних досліджень заданої суміші або на підставі досвіду технологічного використання та дослідження заданої суміші. Як показують дослідження, як вид закону розподілу заданої суміші можуть використовуватися логнормальний, гіперлогнормальний або бета розподіл. Найбільш універсальним розподілом вмісту компонент заданої суміші є гіперлогнормальний (ГЛН) розподіл, на який в основному орієнтована справжня магістерська робота. Розрахункові параметри суміші для моделювання визначаються, виходячи з вибраних вихідних даних моделі, зазначених вище, і можуть включати: ранги компонент заданої суміші (R); коефіцієнт ширини відхилень від середнього (K); параметри розподілу виду закону розподілу заданої суміші (m ; σ ; μ ; α ; β і т.д.). Тут можуть використовуватися інші додаткові і проміжні розрахункові параметри моделі заданої суміші в залежності від способу моделювання, завдань і результатів моделювання [30,31].

Модель речовинного складу заданої суміші будується на основі послідовних розіграшів вмісту кожної компоненти заданої суміші, які повинні забезпечити обмеження завдання суміші, безумовні, умовні та взаємно-умовні закони розподілу кожної компоненти заданої суміші. Моделювання починається з вибору значення вмісту першої компоненти із взаємно умовним розподілом вмісту, який визначається на підставі безумовного розподілу вмісту першої компоненти за умови, що вміст попередньої, так званої «нульової» компоненти дорівнює нулю.

Модель повного речового складу заданої суміші.

Модель повного речового складу заданої суміші передбачає статистичне моделювання вмісту кожної компоненти заданої суміші. Якщо як вид закону розподілу суміші прийнятий ГЛН закон, то розіграш вмісту компоненти суміші можна отримати за виразом:

$$Q_{b_i a_i} = R_i \times e^{\mu_i} \times \left[\frac{1 + S(b_i a_i)}{1 - S(b_i a_i)} \right]^{\frac{a_i \sqrt{\pi}}{2}} - \frac{R_1 - 1}{2};$$

$$\partial e, S(b_i a_i) = Si_{0,1} \{th[T(b_i)] - th[T(a_i)]\} + th[T(a_i)];$$

$Si^{-0.1}$ – значення генеруємої випадкової величини в діапазоні від нуля до одиниці з рівномірним законом розподілу;

R^i – ранг компоненту;

μ^i – перший параметр ГЛН розподілу, см;

a^i – другий параметр ГЛН розподілу, см;

α^i – нижня границя взаємно-умовного розподілу компонента;

b^i – верхня границя взаємно-умовного розподілу компонента;

Визначення взаємно-умовних обмежень кожної компоненти α_i та b_i можна задати через проміжні взаємно-умовні межі компонентів:

$$q_{max_j} = 1 - \sum_{i=j+1}^{N+1} q_{min_i} - \sum_{i=0}^{j-1} q_i;$$

$$q_{min_j} = 1 - \sum_{i=j+1}^{N+1} q_{max_i} - \sum_{i=0}^{j-1} q_i;$$

При цьому параметри фіктивних компонентів приймаємо:

$$q_0 = q_{max_{N+1}} = q_{min_{N+1}} = 0;$$

Тоді взаємно-умовні обмеження кожної компоненти будуть:

$$b_j = \min(q_{max_j}; q_{Max_j});$$

$$a_j = \max(q_{min_j}; q_{Min_j});$$

Для першої компоненти умовних обмежень α_i і b_i збігатимуться з межами зміни вмісту першої компоненти відповідно до завдання суміші. Таким чином, найбільшим діапазоном взаємно-умовних обмежень буде мати перша компонента, що обирається. Взаємно-умовний діапазон обмежень вмісту конкретної компоненти на конкретному кроці вибору віднесений до діапазону зміни вмісту цієї компоненти в заданій суміші будемо називати ступенем свободи компоненти на даному кроці вибору. Очевидно, що ступінь свободи першої компоненти дорівнюватиме одиниці, тоді як ступінь свободи останньої компоненти дорівнюватиме нулю. Рівність нуля ступеня свободи останньої компоненти означає, що взаємно умовний діапазон обмежень вмісту останньої компоненти дорівнює нулю [30,31].

При цьому значення вмісту останньої компоненти не вимагає розіграшу, а визначатиметься як детермінована величина відразу після розіграшу вмісту передостанньої компоненти. У зв'язку з цим на результати моделювання речовинного складу заданої суміші може надавати порядок вибору вмісту компонентів суміші. Порядок вибору компонента суміші визначимо порядком розташування компонентом суміші у формі завдання таким чином, що першою компонентою буде ліва компонента у формі завдання суміші. Враховуючи те, що перша обираєма компонента має найбільший ступінь свободи, як такий, очевидно, слід вибирати домінуючу компоненту суміші і розташовувати її першою у формі завдання суміші. Розташування інших компонентів у формі завдання суміші (крім першої домінуючої компоненти), яке визначає черговість розіграшу вмісту інших компонентів суміші, також має певні закономірності.

Для визначення порядку вибору компонентів суміші можна представити кілька стратегій, а саме: стратегія постійного порядку (постійної послідовності) вибору вмісту компонентів суміші; стратегія рівномірно розподіленого порядку вибору вмісту компонентів суміші. За будь-якої стратегії домінуюча компонента повинна обиратися першою. Інші компоненти повинні обиратися у порядку відповідно до прийнятої стратегії [30,31].

Стратегія постійного порядку вибору вмісту компонентів суміші

Стратегія постійного порядку вибору вмісту компонентів суміші передбачає вибір такого порядку вибору компонентів, що визначається впорядкованою послідовністю значень деякої домінантної функції для кожної компоненти заданої суміші. Домінантна функція є функцією параметрів завдання суміші та повинна мати кінцеві значення для всіх компонентів заданої суміші. Вигляд домінантної функції повинен бути таким, щоб значення її для домінуючої компоненти було екстремальним серед інших значень цієї функції для інших компонентів. Як відомо, параметрами завдання суміші є максимальне значення вмісту q_{max} , мінімальне значення вмісту q_{min} та ранг R для кожної компоненти суміші.

Тому домінуючу функцію в загальному вигляді можна представити: $Dom_f(q_{max}, q_{min}, R)$. Стратегія рівномірно розподіленого порядку вибору вмісту компонентів суміші передбачає для кожного чергового кроку моделювання речовинного складу заданої суміші, порядок вибору компонентів для цього кроку також обирається за рівномірним законом розподілу. Виняток становить домінуюча компонента, яка (як зазначалося вище) обирається першою. Порядок вибору компонентів можна визначити за наступним алгоритмом [30,31]:

1. Для кожної компоненти (крім першої) у вихідній формі завдання суміші генерується відповідне довільне число з рівномірним законом розподілу.

2. Спільне сортування компонентів (крім першого) та відповідних згенерованих випадкових чисел за зростанням (або за зменшенням) випадкових чисел.

Таким чином, в результаті отримуємо порядок вибору компонентів для конкретної реалізації моделі речовинного складу заданої суміші. Метод моделювання речовинного складу та завдання статистичних сумішей можуть бути впроваджені у технологічні процеси видобутку та переробки корисних копалин.

4.2 Результати розсіву та дослідно-промислових випробувань проб - 80+40мм, -40+20мм, -20+0мм

Для проведення дослідно-промислових випробувань (ДПВ) отримано дві проби Мп руди родовища «Акжар-Саритума»:

- клас -80+40 мм вагою 3580 кг;
- клас -40+20 мм вагою 1910 кг.

Зазначені класи отримані розсіванням проби товарної руди інерційному грохоті на родовищі «Акжар-Саритума». В результаті розсіву отримано також клас -20+0 мм, який у подальшому брав участь у випробуваннях, так як модулі МКС неспроможні переробляти руду крупністю менше 20 мм. На рис. 4.2 наведена діаграма результатів ситового розсіву руди класи крупності. З яких випливає, що кількість класу крупністю -20+0 мм (не підлягає збагаченню на модулях МКС) становить 28,1 %.



Рис. 4.1 - Результати розсіву руди на класи крупності

Кожна проба класу -80+40 мм та класу -40+20 мм була розділена на три частини, які надалі використовувалися при переробці на одному модулі МКС у різних технологічних налаштуваннях (режимах). Режими задаються програмним продуктом МКС і застосовуються на етапі аналізу обробки отриманих даних.

Всі три частини кожної проби є сировиною з різним вмістом Mn в досить широких діапазонах:

- для класу -80+40 мм: від 13,12% до 20,07%; (Таблиця 4.1)
- для класу -40+20 мм: від 14,45 до 22,42%. (Таблиця 4.2)

Результати дослідно-промислових випробувань на марганцевій руді

- для класу -80+40 мм середній вміст Mn (в %) - 16,0%; вміст Mn (в %) в концентраті 32,3 - 39,8; в хвостах 7,2-15,3. Вихід концентрату від класу 16,8-30%; вихід в хвості 70-83,2%. Вилучення Mn (в %) в концентрат від класу змінювалось в діапазоні 38,5-66, а у хвостах 19,45-33,33.

- для класу -40+20 мм середній вміст Mn (в %) - 18,6; вміст Mn (в %) в концентраті 40,1-45,1; в хвостах 10,1-15,1. Вилучення Mn (в %) в концентрат від класу змінювалось в діапазоні 27,5-54,5, в хвостах 5,89-11,66.

Таблиця 4.1 - Результати випробувань (вихідна руда -80+40 мм)

№ п/п	Концентрат			Хвости			Вихідна руда (баланс)		
	Маса, кг	Вихід, %	Мп, %	Маса, кг	Вихід, %	Мп, %	Маса, кг	Вихід, %	Мп, %
1	284	30	32,34	664	70	7,15	948	100,0	14,70
2	252	19,4	39,84	1050	80,6	15,33	1302	100,0	20,07
3	224	16,8	38,08	1106	83,2	8,07	1330	100,0	13,12
Всього	760	22,59	36,52	2820	79,12	10,56	3580	100,0	16,07

Таблиця 4.2 - Результати випробувань (вихідна руда -40+20 мм)

№ п/п	Концентрат			Хвости			Вихідна руда (баланс)		
	Маса, кг	Вихід, %	Мп, %	Маса, кг	Вихід, %	Мп, %	Маса, кг	Вихід, %	Мп, %
1	226	30,5	40,06	516	69,5	14,69	742	100,0	22,42
2	54	11,3	45,13	422	88,7	15,12	476	100,0	18,52
3	88	12,7	44,25	604	87,3	10,11	692	100,0	14,45
Всього	368	23,43	41,81	1542	81,73	13,01	1910	100,0	18,56

4.3 Результати випробувань вихідної руди крупності -80+40 мм

Оцінюючи ефективність будь-якої технології використовують однорідну сировину, яку сортують щонайменше, ніж у трьох режимах налаштувань для побудови надалі графіків.

Вихід продуктів та хвостів за різних режимів у крупності -80+40 мм наведено на графіку 4.2.

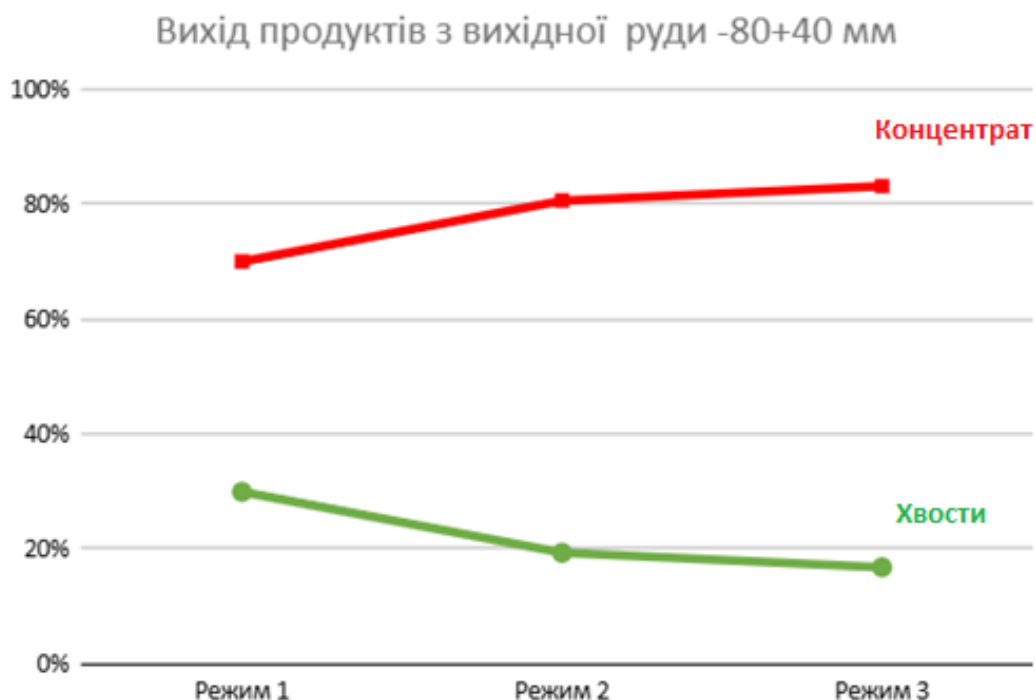


Рис. 4.2 - Вихід продуктів та хвостів при різних режимах у крупності -80+40 мм

Вміст марганцю у продуктах розділення при різних режимах у крупності -80+40 мм наведено у таблиці 4.3 та рис. 4.3.

Таблиця 4.3- вміст марганцю у продуктах розділення при різних режимах у крупності -80+40 мм

Вихідна руда -80+40		
	Mn	Fe
Вихідна руда фракції -80+40 мм	9,810	
Конфігурація 1 Продукт	32,340	2,460
Конфігурація 1 Хвости	7,150	
Баланс Конф 1 по вихідному	14,696	
Конфігурація 2 Продукт	39,840	0,780
Конфігурація 2 Хвости	15,330	
Баланс Конф 2 по вихідному	20,074	
Конфігурація 3 Продукт	38,080	1,680
Конфігурація 3 Хвости	8,070	
Баланс Конф 3 по вихідному	13,124	

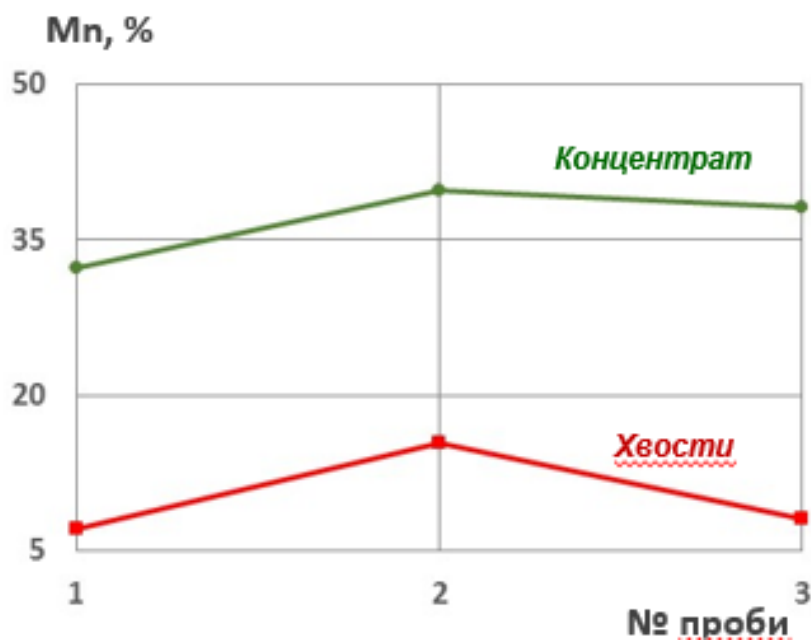


Рис. 4.3 – Масова частка марганцю у продуктах та хвостах при різних режимах у крупності -80+40 мм

Середній вміст масової частки марганцю у продуктах та хвостах у крупності -80+40 мм складає 16% (Рис.4.4).

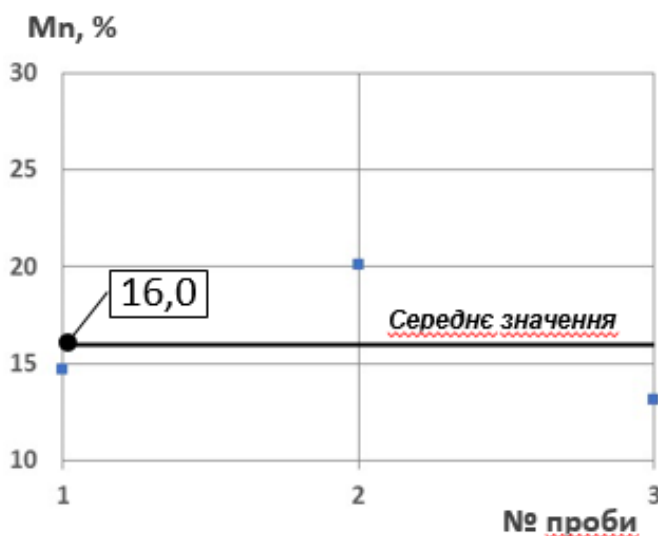


Рис.4.4 - Середній вміст масової частки марганцю у продуктах та хвостах у крупності -80+40 мм

Абсолютне відхилення вмісту Mn в окремих частинах проб (стосовно середнього значення): для -80+40 мм становить +25,7%... -17,8% .

Регульовальна характеристика МКС є основним інструментом налаштування, що дозволяє регулювати співвідношення «якість/вихід» продуктів сортування

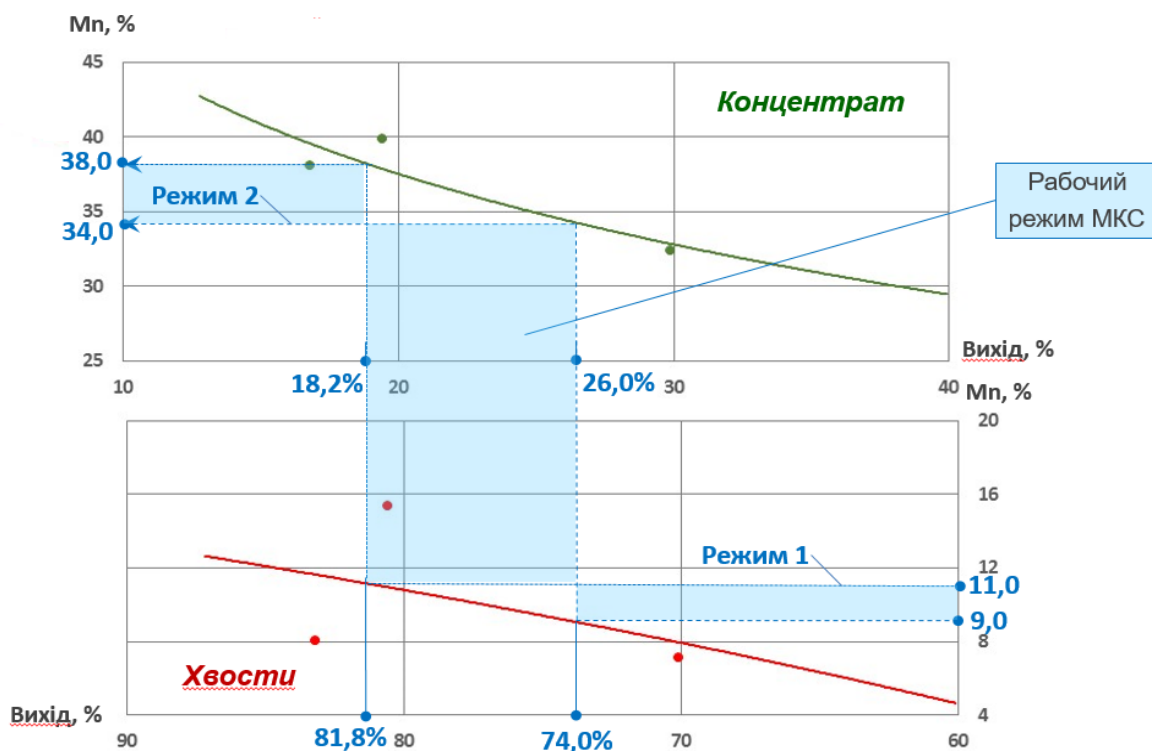


Рис.4.5 – Регульовальна характеристика МКС для фракції -80+40 мм

Практична експрес-оцінка ефективності технології МКС може бути здійснена розрахунком коефіцієнта (К), що дорівнює співвідношенню:

$$K = \text{Mn}\%_{\text{конц.}} / \text{Mn}\%_{\text{хвост.}}, [\text{Віднс.Од}].$$

Середнє значення для фракції -80+40 мм становить 3,95 (рис.4.6)

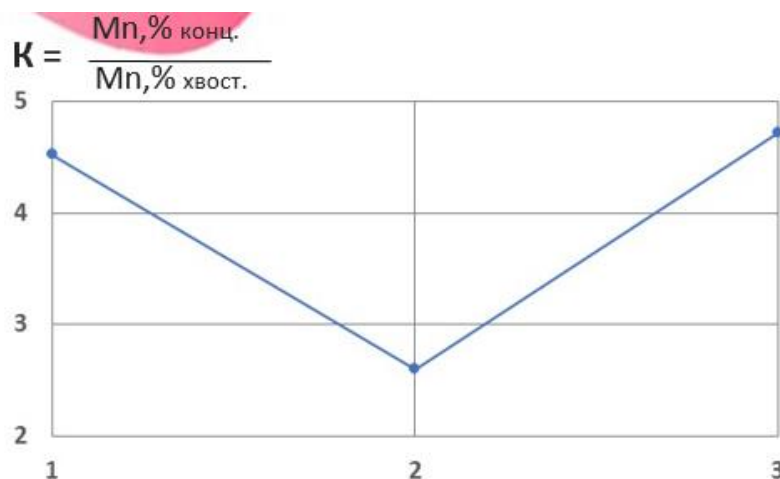


Рис.4.6 – Залежність К від налаштувань МКС для крупності -80+40 мм

4.4 Результати випробувань вихідної руди у крупності -40+20 мм

Для оцінки ефективності технології також використовуємо однорідну сировину, яку сортуємо у трьох режимах налаштувань для побудови надалі графіків. Вихід продуктів та хвостів за різних режимів у крупності -40+20 мм наведено на графіку 4.7.

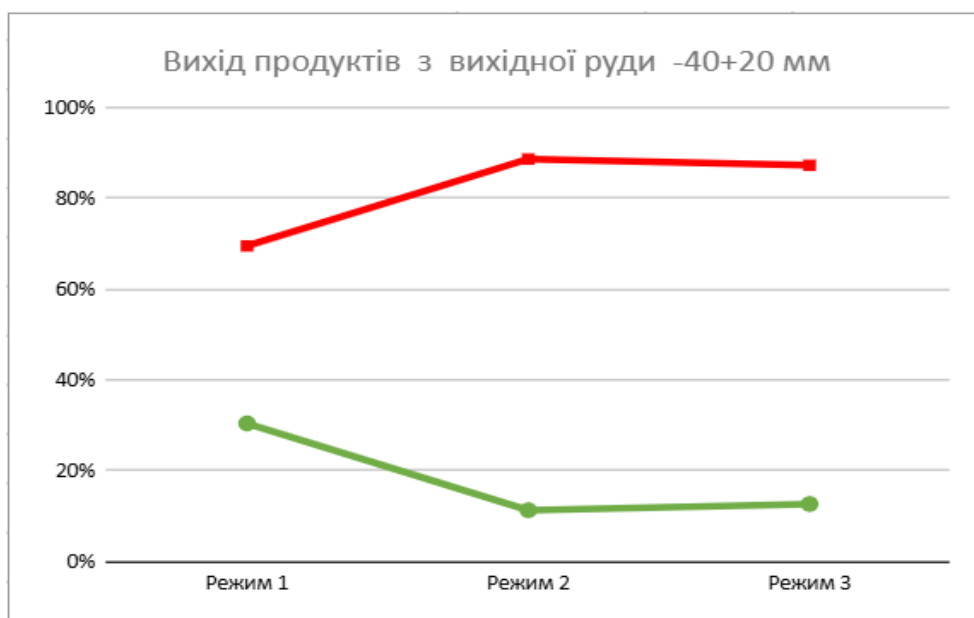


Рис. 4.7 - Вихід продуктів та хвостів при різних режимах у крупності -40+20 мм

Вміст марганцю у продуктах розділення при різних режимах у крупності -40+20 мм наведено у таблиці 4.4. та рис. 4.8.

Таблиця 4.4- вміст марганцю у продуктах розділення при різних режимах у крупності -40+20 мм

-40+20 мм		
	Mn	Fe
Вихідна руда фракції -40+20 мм	20,370	3,290
Конфігурація 1 Продукт	40,060	1,120
Конфігурація 1 Хвости	14,690	4,690
Баланс Конф 1 по вихідному	22,417	
Конфігурація 2 Продукт	45,130	0,780
Конфігурація 2 Хвости	15,120	3,290
Баланс Конф 2 по вихідному	18,936	
Конфігурація 3 Продукт	44,250	0,670
Конфігурація 3 Хвости	10,110	4,800
Баланс Конф 3 по вихідному	14,452	

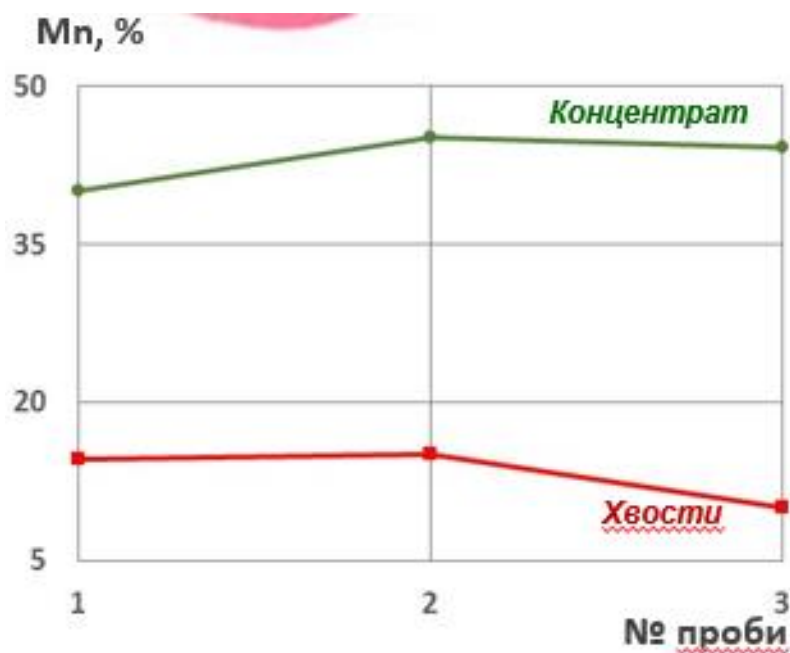


Рис. 4.8 – Масова частка марганцю у продуктах та хвостах при різних режимах у крупності -40+20 мм

Середній вміст масової частки марганцю у продуктах та хвостах у крупності -40+20 мм складає 18,6% (Рис.4.9).

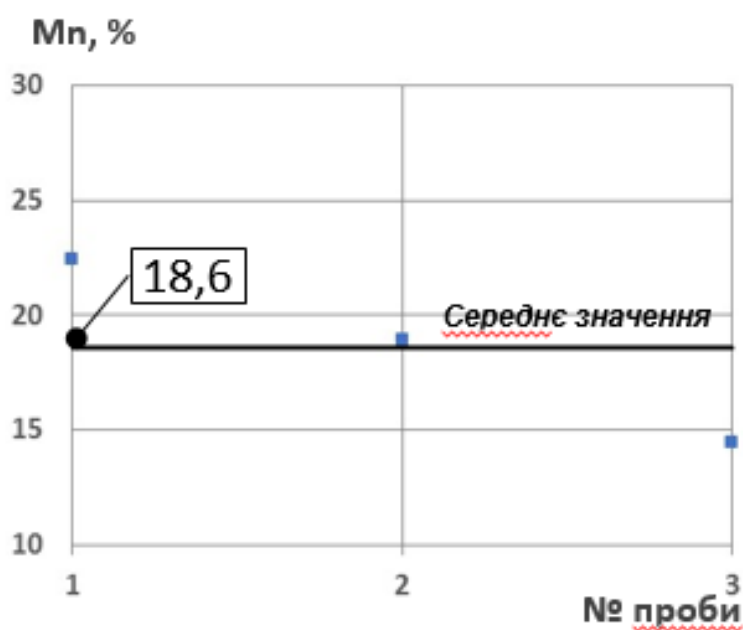


Рис.4.9 - Середній вміст масової частки марганцю у продуктах та хвостах у крупності -40+20 мм

Абсолютне відхилення вмісту Mn в окремих частинах проб (стосовно середнього значення): для -80+40 мм становить +20,5% ... -22,3%

Регулювальна характеристика МКС є основним інструментом налаштування, що дозволяє регулювати співвідношення «якість/вихід» продуктів сортування

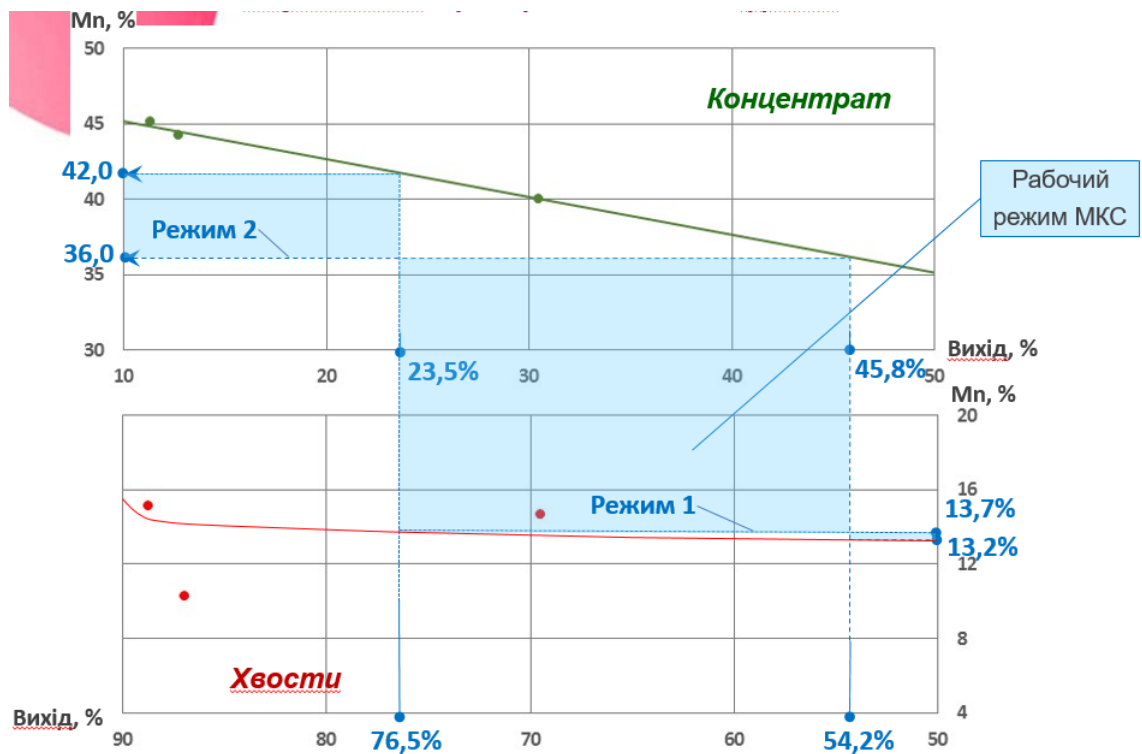


Рис.4.10 – Регулювальна характеристика МКС для фракції -40+20 мм

Практична експрес-оцінка ефективності технології МКС може бути здійснена розрахунком коефіцієнта (К), що дорівнює співвідношенню:

$$K = \frac{Mn\%_{\text{конц.}}}{Mn\%_{\text{хвост.}}}, [\text{Віднс.Од}].$$

Середнє значення для фракції -40+20 мм становить 3,36 (рис.4.11)

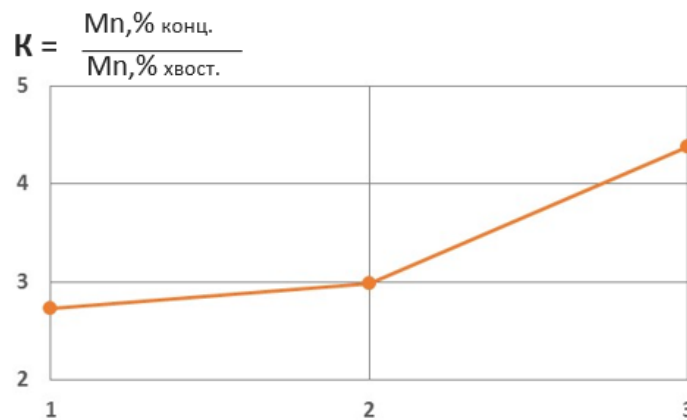


Рис.4.11 – Залежність К від налаштувань МКС для крупності -40+20 мм

4.5 Дослідження з довилучення маргацю з хвостів

Проведено випробування з довилучення Mn руди з хвостів ручної вибірки. Для випробувань надано пробу фракції -80+40 мм, обсягом 3 658 кг. У процесі демонстрації ДПВ було виявлено шматки руди понад 100 мм, що у результаті вплинув якісні результати випробувань.

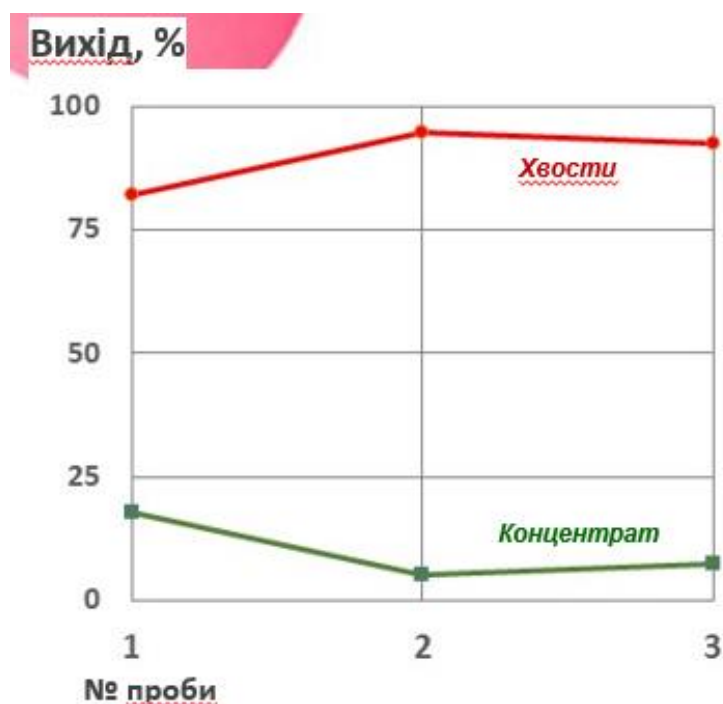


Рис.4.12 – Вихід продуктів сортування

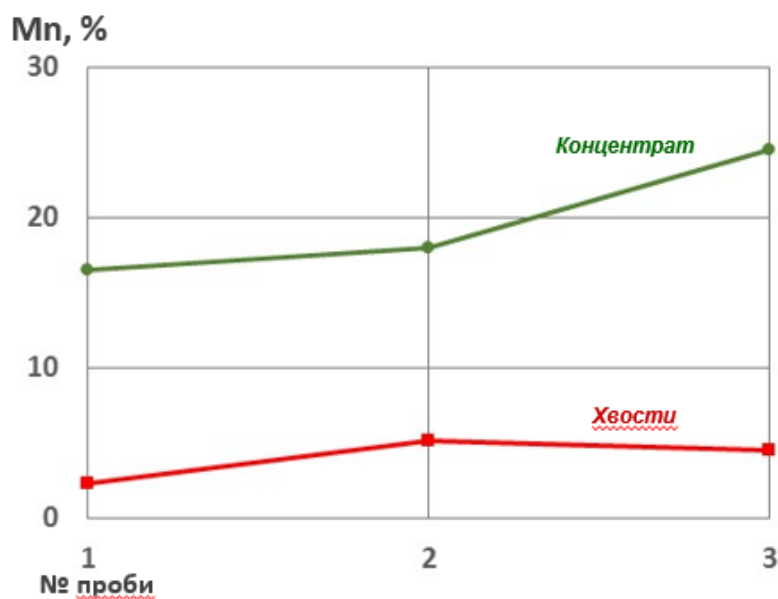


Рис.4.13 – Якість Mn, % продуктів сортування

Результати дослідно-промислових випробувань на марганцевій руді показали:

- для класу -80+40 мм середній вміст Mn (в %) - 16,0%; вміст Mn (в %) в концентраті 32,3 - 39,8 (рис.4.13); в хвостах 7,2-15,3 (Рис.4.14). Вихід концентрату від класу 16,8-30%; у хвостах 8,48-15,2%. Вилучення Mn (в %) в концентрат від класу змінювалось в діапазоні 38,5-66, у хвості 19,45-33,33 .



Рис.4.14 – хвости класу крупності -80+40мм



Рис.4.15 – концентрат класу крупності -80+40мм

- для класу -40+20 мм середній вміст Mn (в %) - 18,6; вміст Mn (в %) в концентраті 40,1-45,1; в хвостах 10,1-15,1. Вилучення Mn (в %) в концентрат от класу змінювалось в діапазоні 27,5-54,5, а у хвості 5,89-11,66.

Виходячи із отриманих даних сортування на МКС при різних режимах можна зробити висновок, що другий режим налаштувань є найкращим варіантом сортування для отримання максимальної якості концентрату. Показники якості концентрату при другому режимі налаштувань та їх відповідність згідно до технічних вимог якості товарної продукції наведено у таблиці 4.5.

4.6 Технічні вимоги до якості концентрату

Таблиця 4.5 - Технічні вимоги до товарної продукції

Найменування показників	Марганцевий концентрат класу - 80+40 мм		Марганцевий концентрат класу - -40+20 мм		Марганцевий концентрат класу -20+0 мм	
	1 сорт	2 сорт	1 сорт	2 сорт	1 сорт	2 сорт
1. Масова частка марганцю, % не менше	38,0	34,0	38,0	34,0	36,0	34,0
2. Масова частка двоокису кремнію, % не більше	21,5	25,0	20,0	25,0	20,0	22,0
3. Масова частка заліза, % не більше	4,0	4,0	4,0	4,0	7,0	8,0
4. Масова частка вологи, % не більше	8,0		10,0		12,0	

Таблиця 4.6 - Хімічний аналіз одержаних марганцевих концентратів

Продукти	Зміст, %						Вологість, %
	Mn	Fe	SiO ₂	P	S	CaO	
Марганцевий концентрат класу -80+40 мм	39,84	0,38	23,74	0,02	0,10	1,12	1,8
Марганцевий концентрат класу -40+20 мм	45,13	0,96	24,39	0,02	0,31	1,45	5,3
Марганцевий концентрат класу -20+40 мм	Не сортуемий клас крупності						

Отримані концентрати за вмістом корисного компоненту та за наявностями домішок відповідають технічним вимогам до марганцевих концентратів замовника.

Висновки до розділу 4

1. При розробці родовища Акжар-Саритума з використанням сухої технології МКС можливе отримання товарних кускових концентратів фракції -80+20 мм з якістю Мп, % - 40,0 з виходом близько 20-23%.

1.1 Концентрат класу крупності -80+40 мм з середньою якістю Мп - 39,84%, відповідає якості першого сорту, згідно з технічними вимогами до якості концентратів.

1.2 Концентрат класу крупності -40+20 мм з середньою якістю Мп - 45,13%, відповідає якості першого сорту, згідно з технічними вимогами до якості концентратів.

2. Вихід товарного концентрату класу крупності -80+40мм може бути збільшений до 40% при зниженні якості концентрату Мп - 35,0%.

3. Процес сухого збагачення супроводжується досить низьким вилученням Мп концентрат (порядку 40-65%), у результаті утворюються досить багаті хвости з вмістом Мп,% 8,0 – 15,0. Дані хвости разом з відсіванням класу крупності -20+0мм можуть бути розглянуті, як перспективна сировина для мокрої сепарації з більш високим ступенем розкриття мінералів.

4. Збагачення хвостів ручної вибірки не призвело до одержання концентратів товарної якості (Мп, % = 16,5 – 24,5). При цьому хвости є більш однорідними (Мп,% = 4,8 – 6,0), що пояснюється вилученням явно багатих шматків руди.

РОЗДІЛ 5 РЕКОМЕНДОВАНА ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ЗБАГАЧЕННЯ МАРГАНЦЕВИХ РУД

5.1 Обґрунтування технологічної схеми збагачення руди

Технологія збагачення марганцевих руд за допомогою технології МКС передбачає дроблення руди на клас крупності $-80+20\text{мм}$, так як із-за конструктивних особливостей модуля, такий клас крупності є найоптимальнішим для сортування. Розсів руди на класи крупності $-80+40$, $-40+20$, $-20+0$. Клас крупності $-20+0$ не може бути відсортований при наявній технології, тому він складається у хвосту коли технологія МКС досягне певного рівня технології для подальшого сортування класу $-20+0\text{мм}$. Класи крупності $-80+40\text{мм}$ та $-40+20\text{мм}$ поступають на подальше на сортування на МКС при трьох різних режимах. Рекомендована технологічна схема збагачення з використанням технології МКС наведена на рис.5.1

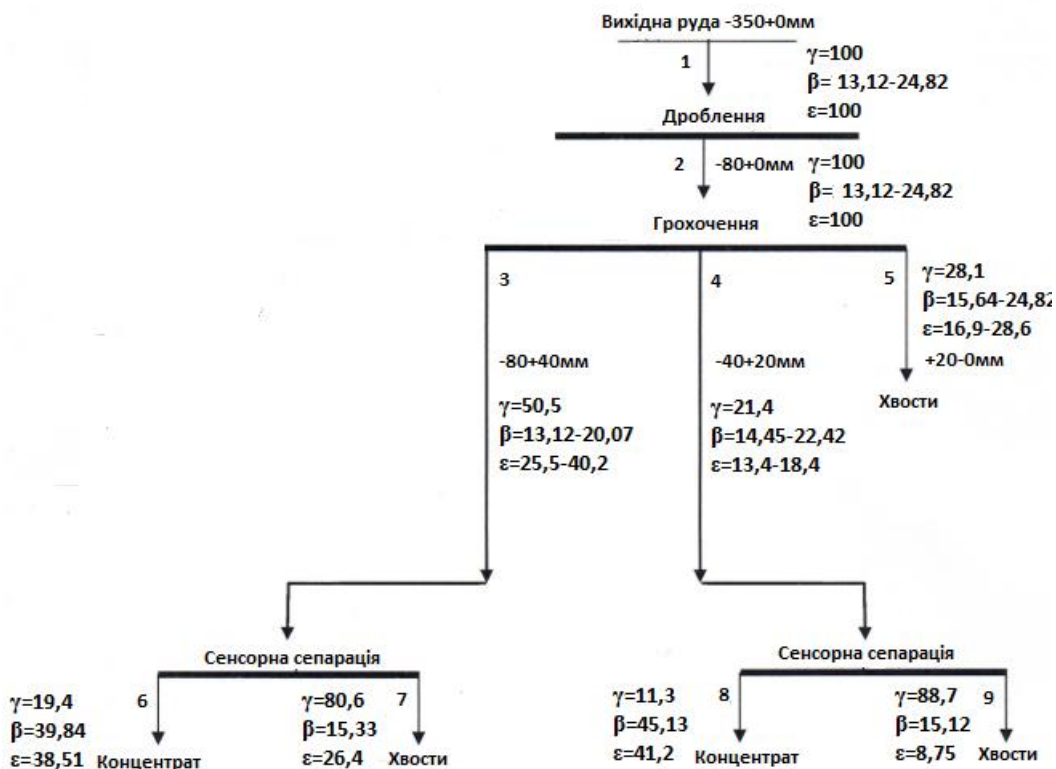


Рис.5.1 – Технологічна схема збагачення з використанням технології МКС

5.2 Розрахунок якісно-кількісної схеми збагачення

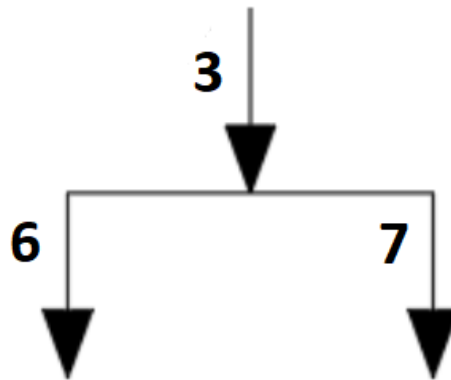
Для всіх продуктів схеми визначаємо числові значення основних технологічних показників:

γ – вихід продуктів (%);

β – масова частка заліза в продуктах (%);

ε – вилучення заліза в продуктах збагачення (%)

Технологічну схему розбиваємо на елементарні типові вузли.



$$\gamma_3 = \gamma_6 + \gamma_7$$

$$\gamma_3 \beta_3 = \gamma_6 \beta_6 + \gamma_7 \beta_7$$

$$\gamma_6 = \frac{\gamma_3(\beta_3 - \beta_7)}{\beta_6 - \beta_7} = \frac{100 * (20,07 - 15,33)}{39,84 - 15,33} = 19,4\%$$

$$\gamma_7 = \gamma_3 - \gamma_6 = 100 - 19,4 = 80,6\%$$

$$\gamma_3 = \gamma_6 + \gamma_7 = 19,4 + 80,6 = 100\%$$

Визначаємо вилучення розрахункового компонента в продукти за формулою

$$\varepsilon = \frac{\gamma_n \times \beta_n}{\beta_1}, \%$$

$$\varepsilon_6 = \frac{\gamma_6 \times \beta_6}{\beta_1} = \frac{19,4 * 39,84}{20,07} = 38,51\%$$

Всю схему розбиваємо на вузли та розраховуємо подібним чином.

5.3 Вибір обладнання

При виборі обладнання необхідно кілька ключових завдань. Це включає визначення типу апарату, його розмірів, розрахунок продуктивності відповідно до заданих умов. Тип апарату вибирається залежно від розміру матеріалу, що збагачується, і його фізичних характеристик. Якщо є можливість використовувати кілька типів апаратів, перевага надається тому, який краще відповідає техніко-економічним критеріям.

Для дроблення руди запропонована щокова дробарка типу С96 (Metso), яка має наступні характеристики :

- Приймальний отвір: 480×930 мм.
- Мінімальний розмір щілини: 70 мм.
- Продуктивність: до 150 т/год.



Рис.5.2 – Дробарка С96 (Metso)

Грохочення руди пропонується здійснювати на грохоті (Metso) CVB, який має наступні характеристики :

- Розміри сит : комбінація сит з отворами 80мм, 40мм та 20мм
- Продуктивність : 80–150 т/год (залежно від матеріалу).
- Кількість ярусів : 3.
- Розмір просіюваного матеріалу : до 80 мм.
- Матеріал сита : метал
- Призначення : класифікація матеріалів середньої крупності.

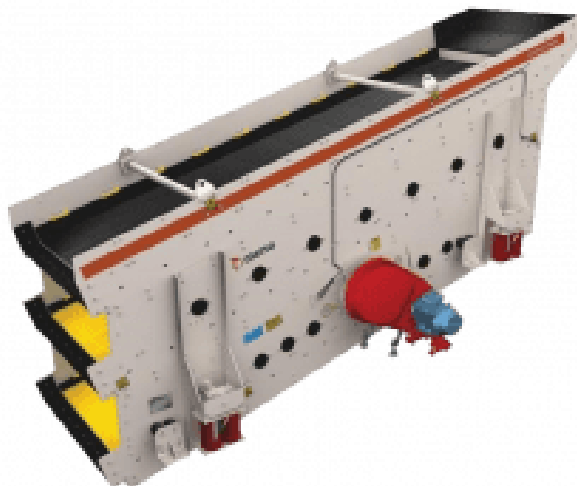


Рис.5.3 – Грохот (Metso) CVB

Для сенсорного сортування використовувати МКС, який має наступні характеристики :

Таблиця 5.1 – Технічні характеристики обладнання МКС

Ширина зони сортування	850-1430мм
Швидкість стрічки	2-3 м/с
Крупність матеріалу, що сортується	20-80мм
Продуктивність	15-100т/ч
Габаритні розміри обладнання	6*2,4*2,7м
Вага	9,8т
Електроспоживання	До 30кВт

Висновки до розділу 5

На основі виконаних лабораторних досліджень була розроблена обґрунтована технологічна схема збагачення марганцевих руд. Розрахована якісно-кількісна схема та обрано обладнання згідно з технологічними умовами. Застосування дроблення до класу $-80+20$ мм забезпечує максимальну ефективність сортування з конструктивними особливостями МКС. Грохочення руди на класи крупності $-80+40$ мм, $-40+20$ мм та $-20+0$ мм дозволяє направляти крупні класи на сортування, тоді як найдрібніший клас ($-20+0$ мм) тимчасово відправляється у хвосту через неможливість подальшого збагачення на МКС.

Використання шокової дробарки типу C96 (Metso) забезпечує високу продуктивність дроблення (до 150 т/год) та оптимальну крупність матеріалу для подальшого грохочення. Грохот Metso CVB із трьома ярусами та металевими ситами дозволяє класифікувати матеріал середньої крупності з продуктивністю до 150 т/год.

МКС демонструє високу точність сенсорного сортування в межах крупності -80+20 мм, забезпечуючи продуктивність до 100 т/год при мінімальному споживанні електроенергії (до 30 кВт). Використання рекомендованої технологічної схеми, показано на рис. 5, дозволяє досягти ефективного збагачення руди з урахуванням техніко-економічних критеріїв. Загалом, дана технологія є перспективною і дозволяє забезпечити раціональне збагачення марганцевих руд в умовах родовища з відсутністю водопостачання, високою продуктивністю та мінімальними витратами енергоспоживання.

РОЗДІЛ 6 БЕЗПЕКА ПРАЦІ

Вимоги безпеки

Вимоги до працівників працюючих з гірничо-збагачувальним обладнанням:

Допускаються до роботи тільки ті працівники, які пройшли навчання, пройшли перевірку знань з охорони праці. До виконання роботи, де на робочих місцях присутні небезпечні та шкідливі фактори технологічних процесів допускаються робітники, які пройшли періодичний, попередній медогляд, та за результатами якого не мають протипоказань щодо виконання робіт.

При прийнятті нових робітників на роботу обов'язковим є навчання, інструктажі с техніки безпеки та обов'язкова перевірка знань щодо вимог нормативних актів з охорони праці.

Всі робітники повинні бути забезпечені спецодягом, засобами індивідуальної безпеки, спецвзуттям відповідно з вимогами безплатної видачі спецодягу , спецвзуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам які працюють в гірничодобувній промисловості.

Працівники, які не пройшли перевірку знань та навчання з охорони праці – до роботи з обладнанням не допускаються . Працівники , які не мають засобів індивідуального захисту, або мають ЗІЗ, які не відповідають вимогам з охорони праці, до роботи бути допущеними не можуть.

Для працівників повинні бути розроблені інструкції з охорони праці в залежності від типу робіт які виконуються робітниками. Для всіх видів ремонтних робіт, робіт з обслуговування устаткування, повинні бути розроблені технологічні карти, проекти організацій робіт, в яких чітко зазначаються підготовчі заходи, необхідне обладнання та інструменти, визначені послідовність робіт, що забезпечують безпеку щодо їх проведення.

Якщо роботи несуть підвищений ризик безпеки, вони повинні виконуватись за наряд-допуском, який визначається наказом підприємства в структурному підрозділі. Якщо обладнання, потребує зупинки, то зупинка повинна бути виконання тільки з використанням биркової системи і системи БМП. У небезпечних зонах приміщень, на робочих місцях, біля агрегатів роблять попереджувальні написи щодо безпеки ведення робіт та застережні заходи.

Робочі місця та проходи завжди повинні бути чистими і впорядкованими, заборонено їх захаращувати. Пересування працівників у виробничих приміщеннях організовується за спеціально відведеними технологічними проходами, сходами та майданчиками. Всі майданчики для обслуговування, перехідні містки і сходи мають бути надійними, стійкими та обладнаними поручнями для безпеки.

Отвори, ями, колодязі та канали, які знаходяться як всередині, так і на території фабрики, повинні бути огорожені поручнями або перекриті настилами на рівні з підлогою. Арматура трубопроводів, що відповідає за регулювання та перекриття потоку, повинна встановлюватися в місцях, доступних і безпечних для обслуговування.

Усі частини обладнання, які можуть бути доступні для випадкового дотику, повинні бути закриті огорожами. Ці огорожі блокуються таким чином, щоб обладнання не могло запуснитися при знятому захисті.

Забороняється проводити ремонт рухомих частин обладнання або огорож під час роботи машин, а також вручну прибирати чи змащувати механізми без спеціальних пристроїв.

Перед початком роботи необхідно перевірити справність огорож, кожухів, пускових та гальмівних пристроїв, заземлення, ізоляцію, а також систему сигналізації та автоблокування. Якщо виявлено несправності або небезпеки, робота на обладнанні негайно припиняється.

Запуск виробничого обладнання здійснюється лише тими працівниками, які його обслуговують. Якщо обладнання запускається з пульта, що знаходиться поза зоною видимості, запуск можливий лише після підтвердження безпеки.

Перед початком роботи обладнання подається короткий звуковий сигнал тривалістю 5-10 секунд, після якого робиться пауза не менше 30 секунд. Безпосередньо перед запуском обладнання подається ще один звуковий сигнал тривалістю 30 секунд. Пускові пристрої обладнання блокуються, щоб дотримуватися цих часових інтервалів. Найважливіше обладнання контролюється за допомогою телекомунікаційних систем.

Основні вимоги щодо безпечного використання обладнання на підприємствах.

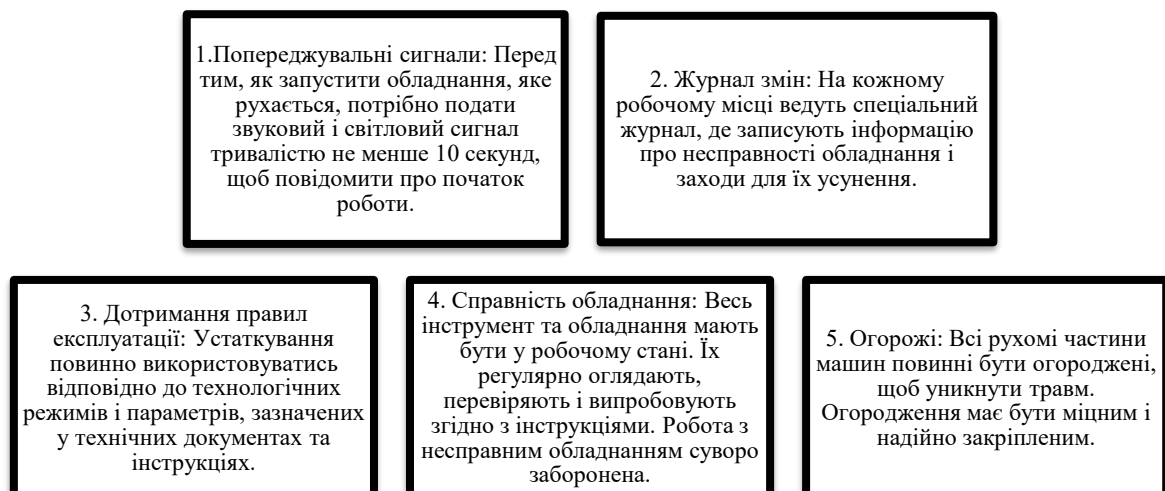


Рис.6.1 – Вимоги щодо безпечного використання обладнання на підприємствах

Правила безпеки під час роботи дробарки та грохота

Правила безпеки при експлуатації дробарок та грохотів спрямовані на захист працівників від можливих небезпек, які виникають під час роботи з важким обладнанням. Нижче наведені основні правила :

1. Огородження робочих майданчиків – майданчики оператора повинні бути захищені металевими огорожами, щоб уникнути травм від викиду шматків руди.
2. Застрявання шматків руди – якщо великі шматки руди застряють у дробарці, вони повинні бути видалені за допомогою підйомних засобів або вибухових робіт, дотримуючись правил безпеки. Ручне видалення чи розбивання молотками забороняється.
3. Спуск у дробарку – при спуску людей у робочу зону дробарки обов'язкове використання запобіжних поясів і тимчасових настилів для захисту від падіння сторонніх предметів.
4. Різка металу – різка металевих предметів, які потрапили в дробарку, повинна виконуватися під наглядом за спеціальним дозволом.
5. Аварійні зупинки – запуск після аварійної зупинки під завалом виконується за спеціальною інструкцією.
6. Вібраційні грохоти – перекриття, де знаходяться грохоти, повинні витримувати вібрації.
7. Захисні пристрої грохотів – повинні бути передбачені захисні пристрої, що запобігають випадковому викиду руди.
8. Огляд кріплень грохотів – перед запуском грохотів необхідно перевіряти всі кріплення.
9. Запобігання викиду руди – дробарки повинні мати спеціальні огороження для запобігання викиду руди.
10. Шурування – допускається лише через спеціальні отвори при працюючих живильниках.
11. Очищення вручну – очищення розвантажувальних воронок вручну дозволяється тільки при вимкнених двигунах і наявності попереджувальних знаків.
12. Електровіброживильники – заборонено проводити очищення під час їхньої роботи або торкатися до них.
13. Робота з вибухонебезпечним пилом – повинні вживатися заходи для попередження вибухів пилу при дробленні.

Дотримання цих правил забезпечує безпеку працівників і зменшує ризик аварій під час роботи з дробарками та грохотами.

Правила безпеки під час роботи сенсорного сортувальника МКС

Для забезпечення безпечної експлуатації сенсорного сортувальника типу МКС необхідно дотримуватися наступних правил:

1. Загальні вимоги безпеки

- Перед початком роботи перевірити справність обладнання, системи електроживлення, вузлів та механізмів.
- Забороняється проводити обслуговування чи ремонт обладнання під час його роботи.
- Всі працівники повинні пройти інструктаж з охорони праці та пожежної безпеки.

2. Вимоги до працівників

- Робота з МКС дозволена лише кваліфікованому персоналу, який має допуск до роботи з електрообладнанням.
- Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту (ЗІЗ): захисні окуляри, рукавички, спецодяг та взуття з антиковзкими підошвами.

3. Підготовка до роботи

- Встановити обладнання на рівні і стійкій поверхні.
- Переконатися у сторонніх предметах у зоні сортування та транспортерної стрічки.
- Перевірити правильність підключення до електромережі (допустима напруга, заземлення).
- Упевнитися, що всі захисні кожухи та бар'єри на своїх місцях.

4. Робота обладнання

- Заборонено перебувати в зоні руху транспортної стрічки та поряд із зонами, де можливий контакт із сортовим матеріалом.
- Не допускається перевантаження обладнання понад зазначену продуктивність (до 100 т/год).
- Слідкувати за рівномірністю подачі матеріалу для уникнення збоїв у роботі сортувальника.
- При виявленні несправностей негайно зупинити обладнання та повідомити відповідальну особу.

5. Обслуговування та ремонт

- Усі ремонтні роботи проводяться тільки при знеструмленому забезпеченні.
- Забезпечити наявність знаків безпеки "Ремонтні роботи – не вмикати".
- Перед повторним запуском обладнання перевірити його справність і наявність усіх захисних елементів.

6. Надзвичайні ситуації

- У разі аварійної ситуації зупинити обладнання за допомогою аварійного вимикача.
- Якщо виникла пожежа, використовуйте відповідні засоби пожежогасіння (вогнегасники типу ВВК або порошкові).
- У випадку ураження електрострумом необхідно надати потерпілому першу допомогу та вилучити медиків.

7. Електробезпека

- Перевірити наявність та справність заземлення перед кожним запуском.
- Не працювати при пошкоджених електричних з'єднаннях, відкритих контактах чи несправних ізоляційних матеріалах.

8. Контроль завершення роботи

- Після закінчення роботи очистити зону сортування від залишків матеріалу.
- Вимкнути обладнання від електромережі.
- Провести огляд усіх елементів на предмет зносу чи пошкодження.

Дотримання цих правил гарантує безпечну роботу сенсорного сортувальника МКС, знижує ризик травматизму та забезпечує тривалу експлуатацію обладнання.

Контроль безпечної експлуатації обладнання:

- Перед початком роботи перевіряють справність огорожень, кожухів, пускових та гальмівних пристроїв, заземлення, сигналізації та автоблокування.
- У разі виявлення несправностей роботу негайно припиняють для усунення проблем.

Ці заходи спрямовані на збереження довкілля, зменшення шкідливих впливів на здоров'я працівників та забезпечення безпечної роботи на підприємстві.

Протипожежні заходи

<p>1. Будівельні матеріали та вогнестійкість – стіни і покриття виробничих приміщень виготовлені з залізобетону та цегли, що забезпечує I та II ступінь вогнестійкості будівель.</p>	<p>2. Обмежене зберігання палива – кількість палива, що зберігається на виробництві, обмежена до добової норми споживання, що зменшує ризик великих пожеж.</p>	<p>3. Пожежне водопостачання: - Зовнішнє – здійснюється через кільцеву систему пожежних гідрантів. - Внутрішнє – через пожежні крани, встановлені у кожній будівлі та приміщенні.</p>
<p>4. Обмеження використання вогню – у пожежно-небезпечних приміщеннях заборонено використання відкритого вогню, електронагрівальних приладів та паління.</p>	<p>5. План евакуації – на випадок пожежі розробляється план евакуації людей і майна. Усі працівники повинні бути ознайомлені з цим планом і знати свої дії у разі пожежі</p>	<p>6. Системи пожежної сигналізації – кожен об'єкт має бути обладнаний системами пожежної сигналізації для оперативного сповіщення про виникнення пожежі.</p>
<p>7. Пожежне обладнання – вогнегасники, бочки з піском та водою, внутрішні пожежні крани з рукавами повинні бути справними і готовими до використання у разі пожежі.</p>	<p>8. Пожежні драбини – передбачені на всіх виробничих спорудах і будівлях для полегшення роботи пожежників.</p>	<p>9. Зв'язок з пожежною частиною – забезпечено безперервний зв'язок з місцевою пожежною частиною для оперативного реагування на будь-які надзвичайні ситуації.</p>

Рис.6.2 – Протипожежні заходи на підприємствах

У разі виникнення пожежі необхідно негайно сповістити оператора фабрики або зателефонувати в пожежну частину.

РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ “МЕТОД КУСКОВОГО СОРТУВАННЯ”

Таблиця 7.1 - Основні техніко-економічні показники відпрацювання запасів марганцевих руд родовищ Акжар-Саритума та Улькенжол

Показники	Од. вимір.	Варіанти бортового вмісту марганцю, %				
		22,0	Приріс т	18,0	Приріс т	14,0
1	2	3	4	5	6	7
Геологічні запаси руди	тис.т	5 339,1	1097,4	6 436,4	1 028,3	7 464,8
Вміст Mn	%	22,42	5,33%	18,45	3,97%	13,2
Втрати	%	7,0%		7,0%		7,0%
Експлуатаційні запаси руди	тис.т	5504,8	1131,4	6636,2	1060,2	7696,5
	тис.м3	1898,2		2288,4		2654,0
Об'ємна вага руди	м3/т	2,9		2,9		2,9
Об'єм гірничої маси	тис.м3	43 001,5		43 001,5		43 001,5
Обсяг вскришних порід	тис.м3	41 328		40 984		40 662
Коефіцієнт вскриши	т/м3	7,51		6,18		5,28
Річна продуктивність з видобутку та переробки руди	тис.т	600		600		600
Термін відпрацювання запасів	років	11		13		14
Вилучення Mn у концентрати						
у тому числі:						
кл. -80+40мм	%	66,0%		52,5%		38,5%

Продовження табл.7.1

1	2	3	4	5	6	7
кл. -40+20 мм	%	54,5%		40,50%		27,5%
Зміст Mn у концентратах	%					
кл. -80+40 мм	%	39,84%		38,08%		32,34%
кл. -40+20 мм	%	45,13%		44,25%		40,06%
Вихід концентратів	%					
кл. -80+40 мм	%	16,8%		19,4%		30%
кл. -40+20 мм	%	11,3%		12,7%		30,5%
Виробництво концентратів		2060,2		2107,1		2013,6
кл. -80+40 мм	тис.т	675,8	-11	664,8	-25	639,6
кл. -40+20 мм	тис.т	1275,4	60	1335,1	-64	1270,9
Ціна за 1% марганцю в концентраті	\$	5,00		5,00		5,00
кл. -80+40 мм	\$	3,90		3,90		3,90
кл. -40+20 мм	\$	3,96		3,96		3,96
Вартість 1 т концентрату:						
кл. -80+40 мм	\$	146,42		146,42		146,42
кл. -40+20 мм	\$	150,22		150,22		150,22
Дохід за весь термін експлуатації	тис. \$	301 297	6 868	308 166	-13 674	294 491
у тому числі за рахунок реалізації концентратів						
кл. -80+40 мм	тис. \$	101 652		100 000		96 200
кл. -40+20 мм	тис. \$	186 483		195 218		185 836

Продовження табл.7.1

Видобувана цінність з 1 т руди	\$	54,73	6,07	46,44	-12,90	38,26
Експлуатаційні витрати на 1 т руди:						
видобуток 1 т руди	\$	1,06		1,06		
виймка 1 т розтину	\$	0,84		0,84		
дроблення 1 т руди	\$	1,00		1,00		
собівартість виробництва 1 т концентратів:	\$					
кл. -80+40 мм	\$	67,66		67,66		67,66
кл.-40+20 мм	\$	16,71		16,71		16,71
Експлуатаційні витрати, всього	тис. \$	213 621	6 406	220 027	2 326	222 353
у тому числі:						
видобуток руди з урахуванням вскриші	тис. \$	106 511		106 873		107 211
дроблення руди	тис. \$	5 505		6 636		7 696
виробництво концентратів:	тис. \$	67 908		68 149		65 335
кл.-80+20 мм	тис. \$	45 725		44 982		43 272
кл.-40+20 мм	тис. \$	21 311		22 310		21 237
Амортизація	тис. \$	30 844		30 514		29 939
Усього відрахувань з доходу	тис. \$	258 730		265 218		266 572
те саме на 1 т руди	\$	47,00		39,97		34,64
Виробничий прибуток	тис. \$	42 567	380	42 947	-15 028	27 919
те саме на 1 т руди	\$	7,73	0,34	6,47	-14,17	3,63

Продовження табл.7.1

Оподатковуваний прибуток з урахуванням перехідних збитків попередніх років	тис. \$	43 343		42 965		27 919
Ставка прибуткового податку на прибуток	%	20%		20,0%		20,00%
Податок на прибуток	тис. \$	8 669	-76	8 593	-3 009	5 584
Чистий прибуток	тис. \$	33 899	455	34 354	-12 019	22 335
те саме на 1 т руди	\$	6,16	0,40	5,18	-11,34	2,90
Інвестиції:	тис. \$	24 844		24 514		23 939
капітальні витрати:	тис. \$	24 844		24 514		23 939
Внутрішня норма прибутку (IRR)	%	18,74%		13,95%		9,92%
Термін окупності, років	років	5,5		6,8		8,5

Висновок до розділу 7

Аналіз результатів виконаних техніко-економічних розрахунків, представлених у таблиці 7.1 показує, що спільне відпрацювання оцінюваних запасів родовищ Акжар-Саритума і Улькенжол відкритим способом та подальшим збагаченням за технологічною схемою є економічно ефективною при двох варіантах бортового вмісту марганцю – 22,0% і 18,0%, внутрішня норма прибутку (IRR) цим варіантам становить відповідно 18,74% та 13,95%. Але оскільки при варіанті 14,0% марганцю забезпечується більш повне вилучення з надр марганцевих руд, цей варіант можна розглядати як оптимальний: порівняно із запасами бортового вмісту 22,0% за рекомендованим 18,0% буде видобуто на 1097,4 т руди більше, а чистий прибуток збільшиться на 455 тис.дол.

РОЗДІЛ 8 ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

При написанні магістерської дипломної роботи було розглянуто і досліджено наступні пункти:

1. Проведено літературний аналіз процесу сенсорного сортування, розглянуто кон'юнктурний огляд марганцевої сировини, види і область застосування. Показано, що використання інновацій, таких як сенсорне сортування, дозволяє підвищувати якість руди, застосовуючи її фізичні та хімічні властивості. Ці технології забезпечують екологічну безпеку й підвищують продуктивність, що робить марганцеву галузь конкурентоспроможною на глобальному ринку. Через виснаження багатих мінеральних ресурсів у світі активно впроваджуються методи попереднього збагачення для обробки бідних руд. Сенсорні технології є одним із найперспективніших рішень, що дозволяють виділяти цінні компоненти ще на початкових етапах переробки, знижуючи витрати на подальшу обробку та інвестиції. Використання спеціалізованих сенсорів (оптичних, рентгенівських, інфрачервоних та електромагнітних) забезпечує високу точність і швидкість сортування, що сприяє ефективності підприємств, знижує споживання енергії й води, виробляючи ці процеси більш екологічними та економічно вигідними.

2. Доведено, що сенсорні сортувальники є невід'ємним елементом при вдосконаленні технології збагачення. При виборі обладнання враховується його ефективність для конкретної сировини. У межах магістерської роботи оптимальним варіантом для окиснених марганцевих руд визначено сортувальник МКС.

3. Розглянуто сировинну базу родовищ «Акжар-Саритума» та «Улькенжол». Корисні копалини цих районів характеризуються однорідністю порід, таких як конгломерати, гравеліти, пісковики та вапняки, що утворюють основну масу рудоносних мінералів. Особливість родовищ виникає в їх мінералогічній однорідності, що забезпечує високу промислову цінність.

4. Проведено дослідження збагачуваності руд, визначено гранулометричний склад, з подальшим збагаченням за технологією МКС, що розподіляє матеріал на «хвости» та «концентрат», зберігаючи ефективність незалежно від вологості та запиленості сировини.

Ключовим етапом збагачення є його результати.

- фракція -80+40 мм: середній вміст Mn - 39,84% (перший сорт);
- фракція -40+20 мм: середній вміст Mn - 45,13% (перший сорт).

При сухом збагаченні на МКС з мінімальною кількістю попередніх операцій отримані концентрати за вмістом корисного компонента та за наявностями домішок відповідають технічним вимогам до марганцевих концентратів замовника

5. Застосовано технологію збагачення марганцевих руд, яка передбачає дроблення до класу -80+20 мм, грохочення на три фракції, використання сенсорного сортування МКС. Обраний та описаний тип обладнання який задовільняє вимогам обраної технологічної схеми.

6. Розглянуті заходи, що необхідно виконувати при експлуатації та ремонтні обладнання. Описаний план ліквідації при аваріях різного рівня.

7. Розраховані економічні показники виробництва марганцевого концентрату з урахуванням технології. Розраховані показники чистого прибутку та терміну окупності підприємства в залежності від бортового вмісту марганця. Чистий прибуток при бортовому вмісту марганцю 22% складає 33 889 тис. доларів. Термін окупності складає 5,5 років.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛЮшибка! Закладка не определена.

1. Корисні копалини України <http://surl.li/igrohl>.
2. UAprom – бізнес-портал про останні новини економіки та промисловості <http://surl.li/bokeug>.
3. UAprom – бізнес-портал про останні новини економіки та промисловості <https://uaprom.info/article/2263-mirovoj-rynok-marganca-cenovoj-shok/>
4. Гірничий енциклопедичний словник <https://esu.com.ua/article-63566>.
5. Мала гірнича енциклопедія: у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. Донецьк : Східний видавничий дім, 2004—2013.
6. Галецький Л. С. Атлас «Геологія і корисні копалини Казахстану» / Галецький Л. С., Чернієнко Н. М., Брагін Ю. М. та ін.; за ред. Л. С. Галецького. Київ : УІЦПТ «Геос-XXI століття», 2001. 168 с.
7. Атлас родовищ Казахстану : у 6 т. / гол. ред. М. М. Іванюта. Львів : Центр Азії, 1998.
8. Єрмошкін Н.М., Єрмошкін Д.М., Курманалієв К.З., Мансуров В.А. Рудопідготовка при потоці балансової, експлуатаційної та товарної руди. Гірська промисловість. 2023; (1): 101-108. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-1-101-108>
9. Robben, C.; Wotruba, H. Sensor-Based Ore Sorting Technology in Mining—Past, Present and Future. *Minerals* 2019, 9, 523.
10. Chelgani, S.C.; Neisiani, A.A. Sensor-Based Separation. In *Dry Mineral Processing*; Springer: Cham, Switzerland, 2022; pp. 125–148.
11. Rutter, J.; Scott, M.; Odiar, N.; Federov, M.; Francois-Bongarcon, D. Quantification of surface sensor representivity of primary crushed ore for bulk ore sorting. In *Proceedings of the Preconcentration Digital Conference 2020*, Online, 17–18 November 2020; pp. 275–286.
12. Kern, M.; Tusa, L.; Leißner, T.; van den Boogaart, K.G.; Gutzmer, J. Optimal sensor selection for sensor-based sorting based on automated mineralogy data. *J. Clean. Prod.* 2019, 234, 1144–1152.
13. Tong, L.; Yan, H.; Klein, B.; Khosaba, B.; Bamber, A.S. Effect of mineralogy on the sensor-based sorting , copper ore using high frequency electromagnetic technology. In *Proceedings of the XXVIII International Mineral Processing Congress*, Quebec City, QC, Canada, 11–15 September 2016.
14. Li, M.; Caushaj, A.; Silva, R.; Lowther, D. A neural network for electromagnetic based ore sorting. *Compel* 2018, 37, 691–703.
- Leiva, C.; Acuña, C.; Castillo, D. Development and Validation of an Online 7. Analyzer for Particle Size Distribution in Conveyor Belts. *Minerals* 2021, 11, 581.

15. Mineral commodity summaries 2019. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey. Reston, Virginia, 2019.
16. GAINnext™, TOMRA. Система сортування на основі сенсорних датчиків з технологією глибокого збагачення. <https://www.tomra.com/en/waste-metal-recycling/products/machines/gainnext>.
17. GAINnext™ AI-powered sorting for waste and metal recycling, TOMRA <http://books.tomra.com/books/mmpf/#p=1>
18. COM Tertiary XRT Brochure, product specifications. <https://www.tomra.com/-/media/project/tomra/tomra/solutions/mining/products/com-tertiary-xrt/documentation/com-tertiary-xrt-product-details.pdf>
19. Circle Series' Economic Benefits: 4.5 million USD per year, <https://hphysorting.com/circle-series>
20. Classic XRT Ore Sorting Machine, <https://hphysorting.com/XRT-series>
21. Інноваційна технологія сортування руд технологія МКС, <https://gamayun.ua/>
22. Звіт «Техніко-економічне обґрунтування оціночних кондицій та підрахунок запасів марганцевих руд родовищ Акжар-Саритума та Улькенжол», Том I кн.1 - 241 стор., 3 них 22 рис.; 65 табл.; 24 бібл. наймен.; 22 текст. дод.; Том II - кн.1 - 259 стор; кн.2 - 175 стор. Том III - папка 1 - 16 гр. дод. на 29 к.с., всі н/с; папка 2-31 гр. дод. на 31 л., всі н/с; компакт-диск – 1 шт. Протокол ДКЗ РК.
23. Гурський Д. С. Металічні корисні копалини // Металічні і неметалічні корисні копалини / Гурський Д. С., Єсипчук К. Ю., Калінін В. І. та ін. ; Наук. ред. М. П. Щербак, О. Б. Бобров. НАН України, Держ. геолог. служба України. Київ : Центр Європи, 2006. Т. 1. 739 с.
24. Гурський Д. С. Неметалічні корисні копалини // Металічні і неметалічні корисні копалини / Гурський Д. С., Єсипчук К. Ю., Калінін В. І. та ін. ; Наук.ред. М. П. Щербак, С. В. Гошовський. НАН України, Держ. геолог. служба України. Київ : Центр Європи, 2006. Т. 2. 551 с.
25. Омельчук О.В., Загнітко В.М., Курило М.М. Пошуки та розвідка родовищ корисних копалин. ННІ «Інститут геології». 2017. 198 с.
26. Білецький В.С., Олійник Т.А., Смирнов В.О., Скляр Л.В. Техніка та технологія збагачення корисних копалин. Частина 1. Підготовчі процеси. – Кривий Ріг: Видавець ФОП. Чернявський Д.О. – 2019 – 200 с. ISBN 978-617-7553-73-0 2. Білецький В.С., Олійник Т.А., Смирнов В.О., Скляр Л.В.
27. Техніка та технологія збагачення корисних копалин. Частина 2. Основні процеси. – Кривий Ріг: Видавець ФОП. Чернявський Д.О. – 2019 – 212 с. ISBN 978-617-7553-80-8 3
28. Білецький В.С., Олійник Т.А., Смирнов В.О., Скляр Л.В. Техніка та технологія збагачення корисних копалин. Частина 3. Заклучні процеси. – Кривий Ріг: Видавець ФОП. Чернявський Д.О. – 2019 – 230 с. ISBN 978-617-7553-97-6 5. Білецький В.С., Олійник Т.А., Смирнов В.О., Скляр Л.В. Основи техніки та технології збагачення корисних копалин – Київ, 2020 – 618с

29. ДСТУ 3210-95. Руди залізні і марганцеві, концентрати, агломерати і окатки. Визначення гранулометричного складу методом ситового аналізу. Чинний від 2000-01-01. Вид. офіц.
30. Зубкевич В.Ю. Анализ закономерностей изменения содержания компонент смесей постоянного состава // Качество минерального сырья: Сборник научных трудов. – Кривой Рог: Дионис. 2014. – С. 367–388 96.
31. Зубкевич В.Ю. Обогащение минерального сырья методом кусковой термографической сортировки // Качество минерального сырья : Сборник научных трудов. – Кривой Рог: Дионис. 2014. – С. 389–402.
32. Пат. UA 79247 C2 України; МПК 20070101CFI20070411RHUA B03B 13/00, 20070101CLI20070411BHUA B07C 5/34. Спосіб термографічної кускової сепарації сировини (варіанти) і пристрій для його здійснення (варіанти) / Винахідники: Зубкевич В.Ю., Волошин В.М.; власники: Зубкевич В.Ю., Волошин В.М. – Заявка №20040604130; заявл. 01.06.2004; опубл. 11.06.2007
33. Patent No. US 7,541,557 82 United States Patent (US007541557B2); Int. CI B07C 5/00 (2006.01); U.S. CI 209/576; 209/552; 209/586; 209/645. Method for thermographic lump separation of raw material (variants) and device for carrying out said method (variants) / Inventors: Volodymyr M Voloshyn., (UA); Viktor Y Zubkevych, (UA); – PCT Pub. No.: WO2005/118148; PCT Pub. Date: Dec. 15, 2005; Date of Patent: Jun. 2, 2009; Foreign Application Priority Data: Jun. 1, 2004.
34. European patent specification EP1 666 151 B1; Date of publication and mention of the grant of the patent: 27.10.2010 Bulletin 2010/43. Method for thermographic lump separation of raw material Verfahren zur thermographischen Klumpentrennung von Rohmaterial procede de separation thermographique de blocs de matieres premieres; Proprietors: Zubkevych, Viktor Yuriiovich Krivoi Rog, 50071 (UA), Voloshyn, Volodymyr Mykhailovich Krivoi Rog, 50093 (UA); Inventors: Zubkevych, Viktor Yuriiovich Krivoi Rog, 50071 (UA); Voloshyn, Volodymyr Mykhailovich Krivoi Rog, 50093 (UA).