

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

ННІ/факультет	Навчально-науковий технологічний інститут
Кафедра	Інжинірингу з галузевого машинобудування
Спеціальність	133 Галузеве машинобудування
Форма навчання	Заочна

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКЛАВРА

Сітанський Дмитро Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему

Розробка двокамерного вібротлима для подрібнення концентрату крупної фракції РЗФ-2 ГД ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

(повна назва теми)


за матеріалами

РЗФ-2 ГД ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

(повна назва бази дослідження)

науковий керівник к.т.н., доцент

(наук. ступінь, вчене звання)



(підпис)

Пополов Д. В.

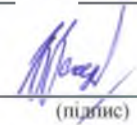
(прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від 14 червня 2025 р. № 14

Завідувач кафедри



(підпис)

д.т.н., професор

(наук. ступінь, вчене звання)

В. Й. Засельський

(ініціали, прізвище)

Кривий Ріг – 2025

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра Інжинірингу з галузевого машинобудування

Рівень вищої освіти Перший (бакалаврський)

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІГМ


(підпис)

проф., д.т.н., Засельський В. Й.
(посада, вчене звання, прізвище ініціали)

« 14 » квітня 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА ЗДОБУВАЧА(КИ)

Сітанський Дмитро Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра

Розробка двокамерного вібротлима для подрібнення концентрату крупної фракції РЗФ-2 ГД ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

керівник кваліфікаційної роботи бакалавра Пополов Д. В., к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «04» квітня 2025 р. № 243-ст

2. Строк подання здобувачем кваліфікаційної роботи до кафедри 07.06.2025

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи бакалавра

Умови виробництва РЗФ-2 ГД ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Конструкція та технічна характеристика двокамерного вібротлима, інформація про недоліки конструкції.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

4.1 Аналітична частина;


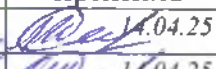



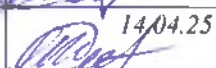
4.2 Основна частина;

4.3 Організація безпечного виробництва

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

2 аркуша формату А1 креслення загального вигляду вібротлима.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналітична частина	Пополов Д. В., доцент	 14.04.25	 14.04.25
Основна частина	Пополов Д. В., доцент	 14.04.25	 14.04.25
Організація безпечного виробництва	Пополов Д. В., доцент	 14.04.25	 14.04.25

7. Дата видачі завдання 14 квітня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
	Аналітична частина	28.04.2025	вик.
	Основна частина	16.05.2025	вик.
	Організація безпечного виробництва	21.05.2025	вик.
	Оформлення пояснювальної записки	26.05.2025	вик.
	Виконання графічної частини	04.06.2025	вик.
	Подання роботи до кафедри	07.06.2025	вик.
	Захист роботи в ЕК	17-18.06.2025	вик.

Здобувач (ка)


(підпис)

Сітанський Д. В.

(прізвище та ініціали)




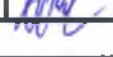
Керівник кваліфікаційної роботи


(підпис)

Пополов Д. В.

(прізвище та ініціали)

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кількість	№ екз	Примітки
1						
2			<u>Документація загальна</u>			
3						
4			<u>Знов розроблена</u>			
5						
6	A1	КРБ.133.25.15.00.000 ЗВ	Креслення загального вигляду	2		
7	A4	КРБ.133.25.15.ПЗ	Пояснювальна записка	59		
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						

					133.25.15.КРБ		
Ізм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Відомість кваліфікаційної роботи бакалавра		
Розробив		Сітанський		04.06.25			
Перевірив		Пополов		04.06.25	Лист	Аркцв	Аркцшв
Н.контр.		Пополов		03.06.25	5		1
Затвердив		Засельський		14.06.25	ННТІ ДУЕТ кафедра ІГМ гр. ЗМО-22ск Формат А4		
					Коплював		

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи бакалавра: 59 стор., 13 рис., 4 табл., 2 додатка, 24 джерел.

Об'єкт розробки - вібромлин для подрібнення крупної фракції концентрату.

Мета розробки - підвищення ефективності подрібнення.

Метод досліджень - аналітичний - аналіз виявлених технічних рішень з метою можливості їх застосування для розробки конструкції вібромлина.

Запропоновано шляхи підвищення ефективності подрібнення концентрату, за рахунок застосування для подрібнення млина із двома камерами для вібраційного подрібнення.

Запропонована конструкція вібромлина, яка дозволяє зменшити розміри млина, знизити енерговитрати і витрати тіл, що подрібнюють за рахунок застосування двох камер для вібраційного подрібнення.

ВІБРОМЛИН, ДВІ КАМЕРИ, АМПЛИТУДА, КОМПАКТНІСТЬ, ДЕБАЛАНС, ЕФЕКТИВНІСТЬ ПОДРІБНЕННЯ, ЕНЕРГОВИТРАТИ.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Призначення та область застосування обраної для вдосконалення машини	9
1.2 Технічна характеристика машини-прототипу	10
1.3 Опис конструкції машини-прототипу	10
1.4 Аналіз недоліків	13
1.5 Передбачувані причини недоліків	14
1.6 Постановка мети та задач	15
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	17
2.1 Літературно-патентний огляд	17
2.2 Пропозиції по модернізації	40
2.3 Переваги пропонованої конструкції	43
2.4 Розрахунки по модернізації	43
2.4.1 Визначення продуктивності	43
2.4.2 Розрахунок потужності привода	46
3 ОРГАНІЗАЦІЯ БЕЗПЕЧНОГО ВИРОБНИЦТВА	48
3.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих чинників	48
3.2 Заходи по зниженню і усуненню шкідливих і небезпечних чинників	52
ВИСНОВКИ	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	56
ДОДАТКИ	59

ВСТУП

Велика частина корисних копалин проходить процеси дроблення та подрібнення перед їх збагаченням. Зростання хімічної, будівельної, гірничодобувної та інших промислових галузей спричиняє постійне збільшення обсягів виробництва дрібнодисперсних матеріалів. Це, в свою чергу, призводить до зростання витрат електроенергії, футерувальної сталі та металевих тіл для подрібнення. Підвищені витрати енергоресурсів і матеріалів створюють додаткове навантаження на довкілля: зростає споживання вугілля та газу, збільшується кількість відходів у вигляді золи й шкідливих газових викидів. Видобуток, збагачення та використання ресурсів для здійснення подрібнювальних процесів також негативно впливають на екологічний стан економічно розвинених регіонів. У такій ситуації виникає потреба у всебічному аналізі та вдосконаленні технологій подрібнення, а також у створенні новітніх високотехнологічних машин і методів контролю за роботою їх енергоємних елементів.

Підвищення якості концентрату залишається одним із найактуальніших завдань у переробці корисних копалин.

Протягом останніх років великі гірничо-збагачувальні комбінати країн СНД реалізують програми модернізації цехів підготовки руди та збагачення. Ці програми спрямовані на покращення якості кінцевої продукції, зокрема шляхом застосування тонкого грохочення концентрату.

Впровадження цього методу стало можливим завдяки розробці високочастотних вібраційних грохотів таких компаній, як Derrick, які дозволяють досягати ефективного розподілу часток за класами крупності 0,07–0,05 мм у межах 70–80% і більше.

Застосування технології тонкого грохочення на підприємствах з мінімальними капіталовкладеннями забезпечило підвищення вмісту заліза в магнетитовому концентраті на 1,7–2,7%. Наприклад, реконструкція секції №10 РЗФ-2 ГД ПАТ "АМКР" передбачає обробку концентрату на грохотах

Derrick із наступним подрібненням непросіяного продукту в існуючому кульовому млині [1].

Однак робота млина в режимі замкнутого циклу з високим циркулюючим навантаженням призводить до ряду негативних наслідків: падає продуктивність млина у переробці основного матеріалу, що порушує технологічний процес збагачувальної фабрики. Також зростає навантаження на привід машини і додатково витрачаються елементи для подрібнення.

Зважаючи на викладене, розвиток та впровадження нових конструкцій млинів із зниженим енергоспоживанням і підвищеною питомою продуктивністю є актуальним завданням.

Аналіз сучасних розробок дозволяє відзначити перспективність використання вібромлинів. За даними зарубіжних досліджень, їх питома продуктивність значно перевищує продуктивність кульових млинів – вони мають у 4–5 разів меншу металоемність і в 2–3 рази компактніші при однаковій потужності [2].

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Призначення і область застосування обраної для вдосконалення машини

Станом на сьогодні, великі фракції концентрату після грохочення спрямовуються назад у млин для повторного подрібнення. У зв'язку з цим за базову модель-прототип обрано кульовий барабанний млин МШЦ-4500×6000.

Барабанний млин [3] призначені для подрібнення різноманітних матеріалів до частинок розміром 0,05 мм і менше. Вони широко використовуються в галузях, таких як гірничорудна, будівельна, металургійна та інших.

Залежно від будови барабана, виділяють млини циліндричної та циліндроконічної форми. На збагачувальних фабриках і в рудопідготовчих підрозділах металургійних підприємств переважно застосовують циліндричні барабанні млини.

Барабанний кульовий млин з ґратчастим розвантаженням типу МШР використовуються для подрібнення дрібнозернистої дробленої сировини (30...5 мм) в одностадійних подрібнювальних системах. Як правило, вони функціонують у замкнутому циклі разом із класифікаційними апаратами.

Кульовий млин з центральним розвантаженням типу МШЦ застосовуються як в одно-, так і у багатостадійних установках для подрібнення сировини крупністю 30...5 мм до частинок розміром до 0,05 мм.

При цьому такі млини можуть працювати як у замкнутому, так і у відкритому циклі. Головна відмінність млина типу МШЦ від типу МШР полягає в конструктивних особливостях розвантажувального пристрою.

Кульові млини із центральним розвантаженням моделі МШЦ-4500×6000, який експлуатується на РЗФ-2, призначений для мокрого подрібнення продуктів другої та третьої стадій магнітної сепарації. На секції

№ 10 цей млин також використовується для замкнутого циклу подрібнення великих фракцій концентрату після їх грохочення на грохотах виробництва компанії Dertik.

1.2 Технічна характеристика машини-прототипу

Технічні характеристики кульового млина МШЦ-4500х6000 приведені в таблиці 1.1 [3].

Таблиця 1.1.

Технічна характеристика кульового млина МШЦ 4500×6000

Найменування параметру	Значення
Діаметр барабана внутрішній (без футерування), мм	4500
Діаметр барабану робочий (з футеруванням), мм	4260
Довжина барабана, мм	6000
Робочий об'єм барабана, м ³	85
Товщина футеровки, мм	120
Частота обертання барабана, об/хв % від критичної	16,5
Маса, т	
– кульового завантаження (максимальна)	165
– частин, що обертаються (з кулями)	420
– млина (без електродвигуна і куль)	355
Електродвигун приводу барабана	
– тип	СДС-19-56-40УХЛ4
– потужність, кВт	2500
– частота обертання, об/хв	150
Габаритні розміри млина в зборі, мм	
– довжина	16000
– ширина	9100
– висота	6800

Джерело: розроблено із використанням [3]

1.3 Опис конструкції машини-прототипу

Кульовий млин з центральним розвантаженням МШЦ-4500х6000 (рис. 1.1) складається з основних елементів: циліндричного барабана 1 та двох торцевих кришок 2 і 3, які оснащені порожнистими цапфами 5. За допомогою

цих цапф барабан спирається на опорні підшипники 6 і 7. Внутрішня поверхня барабана та кришок захищена сталевими футеровочними плитами. Усередину барабана завантажуються кулі з діаметром від 40 до 120 мм.

Привід обертання барабана здійснюється від електродвигуна через систему передач, яка включає проміжний вал, вал-шестерню та зубчастий вінець 8, розташований на самому барабані.

Сировина для подрібнення подається в млин через ліву порожнисту цапфу 10, обладнану змінною завантажувальною воронкою. Подрібнений матеріал виводиться через праву порожнисту цапфу, яка оснащена спеціальною розвантажувальною воронкою.

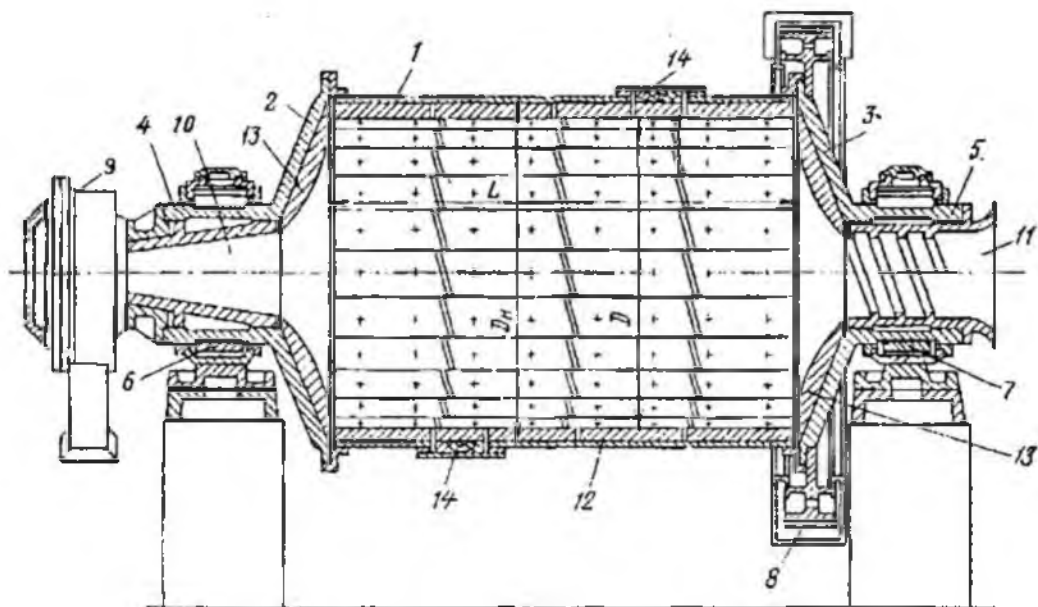


Рис. 1.1. Кульовий млин з центральним розвантаженням

МШЦ-4500x6000:

1 - барабан; 2 - завантажувальна кришка; 3 - розвантажувальна кришка;

4, 5 - порожнисті цапфи; 6, 7 - підшипники;

8 - вінцева шестерня; 9 - комбінований живильник;

10, 11 - захисні завантажувальна і розвантажувальна втулки;

12 - футеровка циліндричної частини барабана;

13 - футеровка кришки барабана; 14 – люк

Джерело: розроблено із використанням [3]

Барабан виготовляється шляхом зварювання або клепання із товстого листового металу, зазвичай сталі. До обох кінців барабана прикріплюються сталеві фланці, які можуть бути приварені або приклепані, для подальшого кріплення торцевих кришок. Деколи барабан може виконуватись литим зі сталі або чавуну, причому фланці також інтегруються на обох кінцях.

У менших за розміром млинах, де діаметр розвантажувальної цапфи недостатній для зручного встановлення футерування всередину, на корпусі барабана розташовується один або два люки, розміщені діаметрально. Торцеві кришки з порожніми цапфами відливаються з матеріалів, таких як чавун або сталь, залежно від специфічних розмірів обладнання.

Кріплення торцевих кришок до фланців барабана здійснюється за допомогою болтів. Щоб забезпечити надійне ущільнення місць з'єднання і мінімізувати навантаження на болти, передбачений кільцевий виступ у конструкції. Розвантажувальна цапфа має більший діаметр у порівнянні із завантажувальною. Це забезпечує необхідний нахил для руху пульпи всередині млина. Зовнішня частина цієї цапфи оснащена кільцевим виступом для захисту підшипника від потрапляння пульпи. Корінні підшипники мають значну опорну поверхню. Часто використовуються підшипники кочення з функцією саморегуляції або підшипники ковзання з бабітовими вкладишами, які опираються на кульову основу всередині корпусу.

Розвантаження пульпи у млинах типу МШЦ здійснюється методом вільного зливу через отвір в розвантажувальній цапфі. Просування пульпи уздовж осі млина обумовлено різницею висот між отворами завантажувальної та розвантажувальної цапф (Δh). Параметри заповнення барабана пульпою залежать від діаметра отвору у розвантажувальній цапфі.

Для збереження достатньої кількості куль у барабані використовується діафрагма з отворами, яка встановлюється в патрубках розвантажувальної цапфи, або застосовується патрубок зі зворотною спіраллю. У другому випадку залишки металу (зношені кулі та уламки) накопичуються в млині, тому необхідно періодично замінювати подрібнювальне середовище.

Кінематичну схему приводу барабану млина представлено на рисунку 1.2.

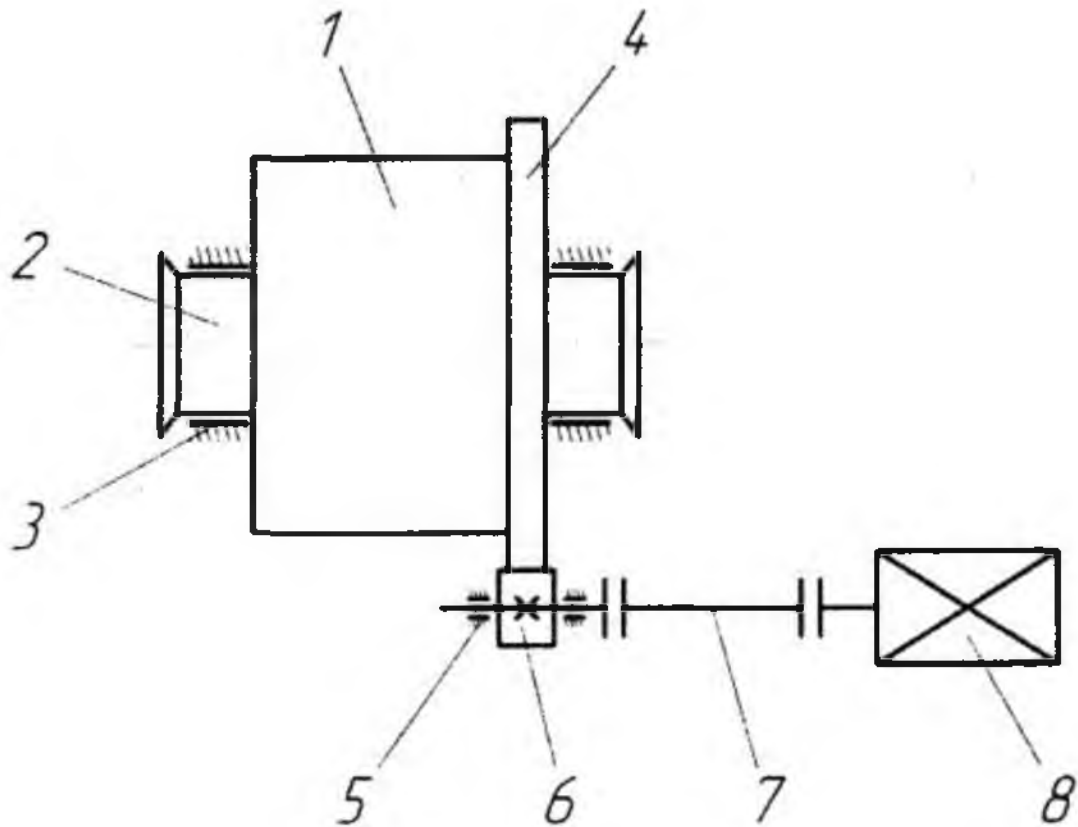


Рис. 1.2. Кінематична схема приводу барабану млина:

- 1 - барабан; 2 - порожниста цапфа; 3 - підшипник барабана; 4 - зубчатий вінець; 5 - підшипник шестерні; 6 - шестерня; 7 - проміжний вал; 8 - тихохідний електродвигун

Джерело: розроблено із використанням [3]

Одноступенева відкрита зубчаста передача з прямозубим зачепленням складається з зубчастого вінця 4, що закріплений на корпус барабана 1, та шестерні 6, розташованої у підшипниковій опорі 5. Для передачі обертального моменту проміжний вал 7 обладнаний зубчастими муфтами.

1.4 Аналіз недоліків

Основні недоліки кульових млинів є відносно висока витрата металу на кожну тонну отриманого продукту. Наприклад, при мокрому подрібненні кварцового піску витрата металу складає в середньому 3–4 кг на тонну обробленого матеріалу, тоді як при сухому помелі цей показник становить 1,5–2,5 кг. Через абразивний знос тіл, що застосовуються для подрібнення, після кожних 150–200 годин роботи млина проводять їх дозавантаження. Повна заміна таких тіл зазвичай потрібна приблизно через 1800–2000 годин експлуатації.

Ще одним суттєвим недоліком кульових барабанних млинів є низька інтенсивність подрібнювального впливу на оброблюваний матеріал. Це спричиняє необхідність значного збільшення часу переробки для досягнення бажаних гранулометричних параметрів. Щоб компенсувати недостатню ударну та стираючу дію подрібнювальних тіл і підвищити продуктивність млинів, доводиться збільшувати об'єм барабана. Однак це веде до помітного ускладнення конструкції, підвищення матеріаломісткості та енергоспоживання обладнання. Навіть за умови збільшення об'єму барабана, коефіцієнт заповнення мелючими тілами зазвичай не перевищує 0,35–0,4.

Крім того, при роботі млина в умовах замкнутого циклу з високим циркулюючим навантаженням часто виникає перевантаження обладнання. Це призводить до ряду негативних наслідків, зокрема зниження продуктивності за основним матеріалом, що може спричиняти перебої в роботі збагачувальної фабрики. Також збільшується навантаження на привід і спостерігається підвищена витрата подрібнювальних тіл.

Тим самим, попри широке використання, надійність і простоту експлуатації, кульові барабанні млини не повністю задовольняють вимоги сучасних технологічних розробок.

1.5 Передбачувані причини недоліків

У кульових барабанних млинів коефіцієнт корисної дії зазвичай становить лише 4–6%, тоді як решта енергії неефективно витрачається на тертя, звук, вібрації та виділення тепла. Така низька ефективність пояснюється тим, що процес подрібнення здійснюється кулями у випадковий спосіб. Для досягнення хоча б мінімального результату необхідно значно збільшувати кількість куль, а їхній рух супроводжується відповідним перевитрачанням енергії.

Через хаотичність процесу подрібнення матеріал, який переробляється в кульових млинах, містить велику кількість як надто дрібних частинок, так і тих, які перевищують потрібний розмір. Це негативно впливає на продуктивність роботи млина. Нерівномірність фракцій (поліфракційність) порушує баланс при подальшій обробці порошку, особливо при сухому способі подрібнення, що в результаті негативно впливає на якість отриманого продукту.

1.6 Постановка мети та задач

Основною метою розробки вібраційного млина є підвищення ефективності процесу подрібнення крупнозернистої фракції концентрату після етапу грохочення.

Заплановано інтеграцію вібраційного млина в технологічний ланцюг обробки крупної фракції концентрату, замінюючи його безпосередньо після

операції грохочення та перед основним барабанним кульовим млином типу МЩЦ-4500×6000.

Впровадження даного обладнання орієнтоване на усунення надмірного циркуляційного навантаження на млин МЩЦ-4500×6000, який функціонує у замкнутому циклі з високою інтенсивністю рециркуляції матеріалу.

Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Виконати детальний літературний та патентний аналіз сучасних конструкцій млинів, які характеризуються високою інтенсивністю подрібнення.

2. Сформулювати рекомендації щодо оптимальної конструкції пропонованого вібраційного млина.

3. Провести відповідні інженерні розрахунки для визначення основних параметрів роботи млина.

4. Розробити технічну документацію, включаючи проектні креслення вібраційного млина.

Ці завдання є ключовими для забезпечення надійної та ефективної роботи нової технологічної моделі.

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Літературно-патентний огляд

Останнім часом було розроблено низку методів подрібнення, які базуються на принципово іншому механізмі руйнування гірських порід у порівнянні з барабанными млинами.

Ці методи знайшли застосування у конструкціях таких млинів.

серед яких:

- струменеві;
- планетарні;
- банітові;
- відцентрово-роторні;
- млини інтенсифікованого помелу (МІП);
- млини "МАЯ";
- вібраційні.

****Струменеві млини**.** Дія струменевих млинів заснована на використанні енергії стислого газу, який, розширюючись у соплах, набуває високої швидкості. Ця швидкість використовується для прискорення частинок матеріалу, що подрібнюється. Частинки, набуваючи значного прискорення, руйнуються внаслідок ударів об спеціальну поверхню або зіткнення у потоках, що рухаються з протилежними напрямками.

Основними перевагами струменевих млинів можна вважати низький рівень металоємності, високий ступінь класифікації частинок за розмірами, однорідність крупності та мінімальне забруднення продукту металевими домішками. Крім того, ці пристрої дозволяють поєднувати подрібнення з іншими технологічними процесами, такими як сушка або випалювання, та забезпечують селективність розкриття зростків з меншим формуванням шламових частинок.

Зазначена конструкція [4] також позбавлена рухомих робочих частин. За результатами досліджень, ефективність струменевого подрібнення щодо руд оцінена як висока: досягнуто дрібності до 100% частинок класу менше 44 мкм. Проте, через значні питомі енергетичні витрати — на 1,5–2 рази вищі за традиційне кульове подрібнення — використання струменевих млинів є економічно виправданим лише в тих випадках, коли подальші технологічні переваги покривають додаткові витрати на руйнування руди.

У районах, де спостерігається дефіцит води, газоструменеве подрібнення може стати більш економічною альтернативою мокрому способу у стрижньових млинах [5, 6].

****Планетарні млини****. Цей тип обладнання можна розглядати як кульовий млин, що одночасно обертається навколо своєї осі та рухається по круговій траєкторії. Основною перевагою такого обладнання є значна — на порядок або більше — питома продуктивність у створенні частинок заданої крупності порівняно зі звичайними кульовими млинами. Однак серйозними недоліками планетарних млинів залишаються підвищений знос тіл, що мелють, а також труднощі у забезпеченні безперервного завантаження та розвантаження матеріалу. Через це вони не знайшли широкого промислового застосування і використовуються здебільшого у лабораторних дослідженнях або у процесах металохімічної активації перед гідрометалургійним обробленням. Застосовуються переважно моделі лабораторного чи напівпромислового масштабу [7].

****Баштові млини****. Ця конструкція створена переважно для отримання тонкоподрібнених мінералів з розміром частинок у межах від 1 до 100 мкм. Подрібнення відбувається завдяки діям сил тертя та роздавлювання, що забезпечує отримання високоякісного продукту. Стандартна продуктивність баштових млинів сягає 50 т/год, а для спеціальних моделей цей показник може зрости до 100 т/год [8].

У порівнянні з кульовим млином, баштовий млин вирізняється меншою енергоємністю. Зокрема, споживання електроенергії баштового млина,

продуктивність якого становить 22,5 т/год, при подрібненні вапняку розміром 16...0 мм до часток розміром 95% менше 0,044 мм склало 96,9 кВт·год, тоді як для кульового млина цей показник за аналогічних умов досягав 196,4 кВт·год. Процес подрібнення у баштовому млині здійснюється у вертикальній подрібнювальній камері, оснащений гвинтовою мішалкою та кульовим завантаженням.

У ролі подрібнювального середовища можуть використовуватися сталеві кулі, керамічна або натуральна галька. Механізм подрібнення базується на стиранні, що виникає внаслідок відносного руху між матеріалом і подрібнювальним середовищем. Отриманий продукт тонкого помелу виводиться через спеціальний поріг і прямує на розподіл у систему класифікації.

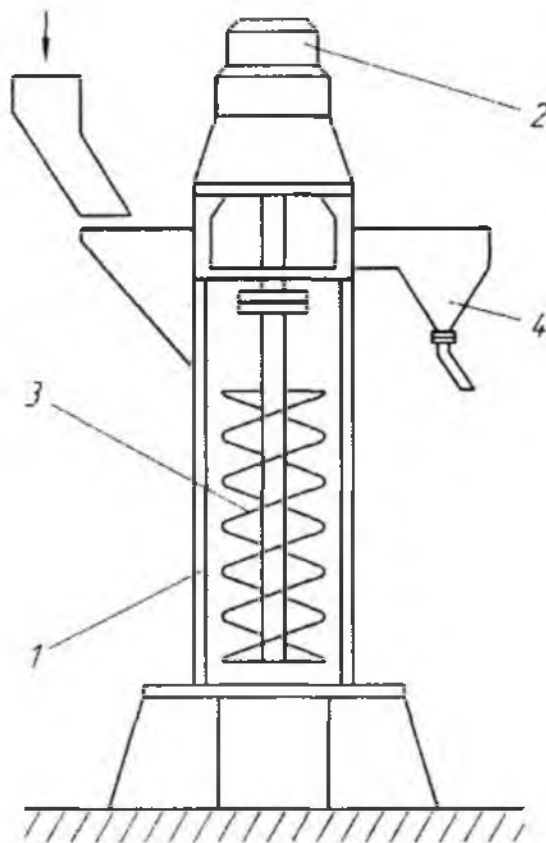


Рис. 2.1. Загальний вид баштового млина для тонкого подрібнення мінеральної сировини:

1 – корпус; 2 – привод; 3 – шнек, 4 – розвантажувальний пристрій

Джерело: розроблено із використанням [8]

На сьогоднішній день в Японії вже виготовлено понад 280 промислових баштових млинів, у яких подрібнення відбувається за допомогою сталевих куль, гальки або руди. Конструкція такого млина досить проста. Вона включає вертикальний циліндр із додатковим отвором для обслуговування та зносостійку мішалку або шнек. Внутрішня поверхня подрібнювальної камери обладнана ґратами, що захищають футеровку від зносу та утримують подрібнювальні елементи всередині. Матеріал для подрібнення подається зверху, після чого дрібна фракція піднімається нагору і вивантажується в конусний класифікатор. Через відсутність ударної дії розмір часток живлення обмежується 5 мм, а максимальні розміри сталевих куль становлять 25 мм [9].

Для досягнення ультратонкого подрібнення можливе використання дрібнішого середовища. Баштовий млин характерний значною висотою та малим діаметром, що формує високий тиск у шарі подрібнювальних куль. Великі промислові установки завдяки високому тиску витрачають менше енергії на одиницю подрібненої руди. Однак існує межа висоти млина, після якої ефективність використання енергії перестає зростати.

Типовий японський баштовий млин для мокрого подрібнення працює в замкнутому циклі разом із конусним сепаратором. Також він може застосовуватися в різних схемах технологічного процесу, зокрема в відкритому циклі з розвантаженням через дно або в замкнутому циклі з класифікатором.

Понад двадцять баштових млинів у Японії використовуються для подрібнення вапняку в процесах скруберної десульфуризації відхідних газів. Розмір поданого матеріалу становить 6,5 мм, а отриманий продукт містить до 95% часток менше 0,044 мм. Споживання електроенергії при цьому майже вдвічі нижче, ніж у традиційних кульових млинах.

Що стосується вібраційних млинів, перший патент на них був зареєстрований у Німеччині ще у 1909 році, а їхнє промислове виробництво

за кордоном триває вже понад пів століття [10]. У країнах колишнього СНД серійне виробництво вібраційних млинів промислового масштабу практично відсутнє.

З огляду на постійне зростання обсягів руди, яку важко збагачувати, і необхідність подрібнення до розміру частинок менше 40 мкм, гірничодобувній галузі потрібні нові технологічні рішення. Для цього доцільно використовувати млини з більш ефективним та інтенсивним процесом роботи, ніж у кульових. Одним із представників такого обладнання є вібраційні млини. Згідно з міжнародними дослідженнями, питома продуктивність цих млинів набагато вища порівняно з кульовими: за однакових показників продуктивності вони мають у 4–5 разів меншу металоємність і в 2–3 рази компактніші габарити. Потужність, яку споживають окремі агрегати, може сягати 500–1000 кВт [11].

За своєю конструкцією та принципом дії вібраційний млин представляє собою камеру (або декілька), заповнену подрібнювальним середовищем (кулі, цильпеси або стрижні), матеріалом для подрібнення і, за потреби мокрого методу, водою. Подрібнення забезпечується за рахунок періодичних вібрацій самого корпусу камери (рухома робоча камера) або спеціальних поверхонь всередині неї (нерухома робоча камера). Процес може здійснюватися як у переривчастому, так і в безперервному режимі.

Сьогодні промислові зразки вібраційних млинів виготовляють у таких країнах, як США, Німеччина, Японія, Швеція та інші. Наприклад, у Німеччині розроблено кілька моделей вібромлинів, зокрема тип Палла 65У. Цей агрегат із двома трубчастими камерами має двигун потужністю 175 кВт, внутрішній діаметр камер становить 650 мм, а загальна маса подрібнювальних тіл при коефіцієнті заповнення 0,65 сягає 9 тонн. Амплітуда коливань при частоті 1000 обертів на хвилину становить 5–6 мм, тоді як маса самого млина без подрібнювального середовища складає близько 11 тонн. Такі млини активно використовуються для подрібнення

золотоносного піску, хромітової руди, барійового фериту, шлаків, магнезиту, карбіду кремнію та різноманітних вогнетривких матеріалів.

У контексті залізорудної промисловості вібрмлини мають перспективу для застосування у фінальних операціях тонкого подрібнення класифікованих проміжних продуктів збагачення. Це потребує детальних досліджень процесу віброподрібнення з акцентом на підвищення вибірковості руйнування зростків (великих фракцій) порівняно з неселективним кульовим методом.

Млини інтенсифікованого подрібнення (МІР) також заслуговують уваги. Вони представлені барабанним устаткуванням, усередині якого нерухомо закріплено робочий елемент — так званий інтенсифікатор [12, 13].

При надкритичній швидкості обертання барабана млина матеріал щільно притискається до внутрішньої поверхні барабана, формуючи клиноподібну зону зіткнення з робочою поверхнею. У цій зоні матеріал зазнає значного стиску та інтенсивного стирання.

Основною перевагою технології подрібнення в млині МІР порівняно з традиційними методами є можливість ефективного подрібнення матеріалу в умовах підвищеного стирання із додатковим стисканням.

Напів-промислові випробування дослідної моделі млина виконувалися на фабриці імені Артема в об'єднанні "Южуралзолото". Як матеріал для подрібнення використовували золотовмісну руду розміром менше 14 мм з міцністю за шкалою Протодьяконова на рівні 16–18.

Проведені випробування показали, що за частот обертання барабана в діапазоні від 1 до 3 надкритичних швидкостей можна досягти значно вищих показників питомої продуктивності та енергоефективності порівняно з кульовими млинами аналогічного розміру.

У 1987 році експериментальний зразок млина МІР із барабаном діаметром 500 мм і завдовжки 650 мм тестувався на магнетитових кварцитах Південного ГЗК.

Матеріал із розміром часток до 16 мм піддавався подрібненню у відкритому циклі. При зміні показників продуктивності по початковій руді в межах від 0,2 до 0,1 т/год, частоти обертання барабана в діапазоні 1,75–2,0 від критичної та частки твердої фази в млині від 16,0 до 65,8% у подрібненому продукті досягнуто приросту дрібної фракції (менше 0,044 мм) від 20,0 до 62,5%. Водночас питомі витрати електроенергії на готовий продукт становили 27,8–93,0 кВт·год/т.

Отримані результати свідчать про істотний приріст готового дрібного класу (до 62,5%), хоча сам процес супроводжується високими енерговитратами та значним зношенням робочих органів млина. З огляду на це експерименти показують, що млини МІР, завдяки створенню великих дотичних напружень у внутрішніх шарах матеріалу, є найбільш ефективними для стадій тонкого подрібнення.

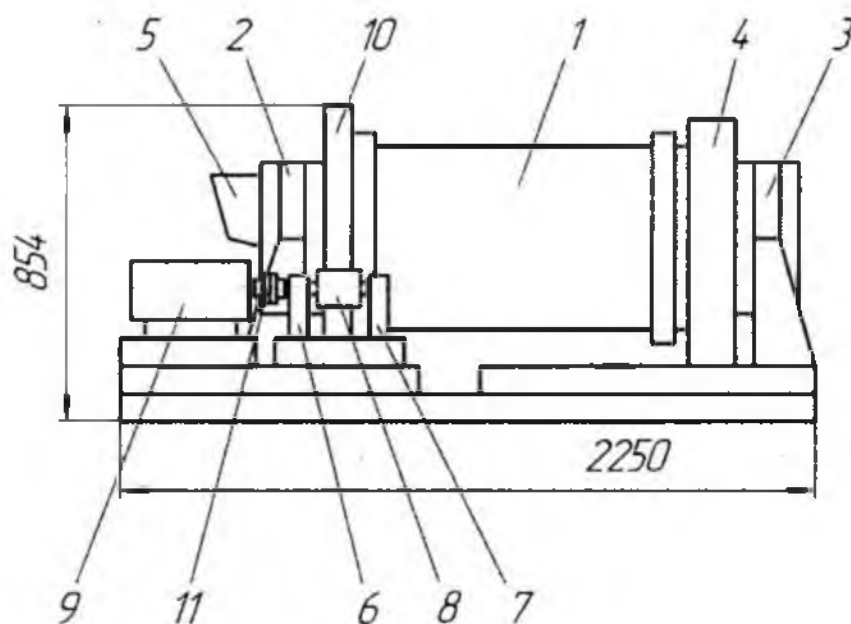


Рис. 2.2. Млин інтенсифікованого подрібнення МІР 500х650:

- 1 – барабан; 2,3 – передня і задня опори; 4 – розвантажувальний кожух;
 5 – завантажувальна воронка; 6,7 – опори валу-шестерні;
 8 – вал-шестерня; 9 – двигун; 10 – вінцева шестерня; 11 – муфта

Джерело: розроблено із використанням [12]

Як приклад, для подальшого подрібнення проміжних продуктів у багатоступневих схемах збагачення залізних руд.

Попередні дослідження процесу досягли відчутних результатів при подрібненні промпродукту в замкнутому циклі з використанням гідроциклону. Як середовище для подрібнення було застосовано подрібнену руду розміром 16–5 мм, причому з фракції попередньо видалили частинки, менші за 5 мм, застосовуючи грохочення. Результати цього експерименту виявилися обнадійливими: масова частка класу меншого за 0,044 мм збільшилася на 27,3% — від початкових 70,1% до 97,4% після процесу подрібнення.

Млин динамічного самоподрібнення (МАЯ) представляє собою інноваційне рішення в галузі технологій подрібнення мінеральної сировини. Його принциповою особливістю є організація руйнованого матеріалу у вигляді вертикального циліндричного стовпа. Нижній сегмент цього стовпа приводиться в рух спеціальним чашоподібним ротором, оснащеним внутрішньою порожниною, яка розділена вертикальними перегородками на окремі секції.

Процес подрібнення руди за методом динамічного самоподрібнення виконується у спеціалізованому млині типу "МАЯ", схематичне зображення якого надано (рисунок 2.3) [14].

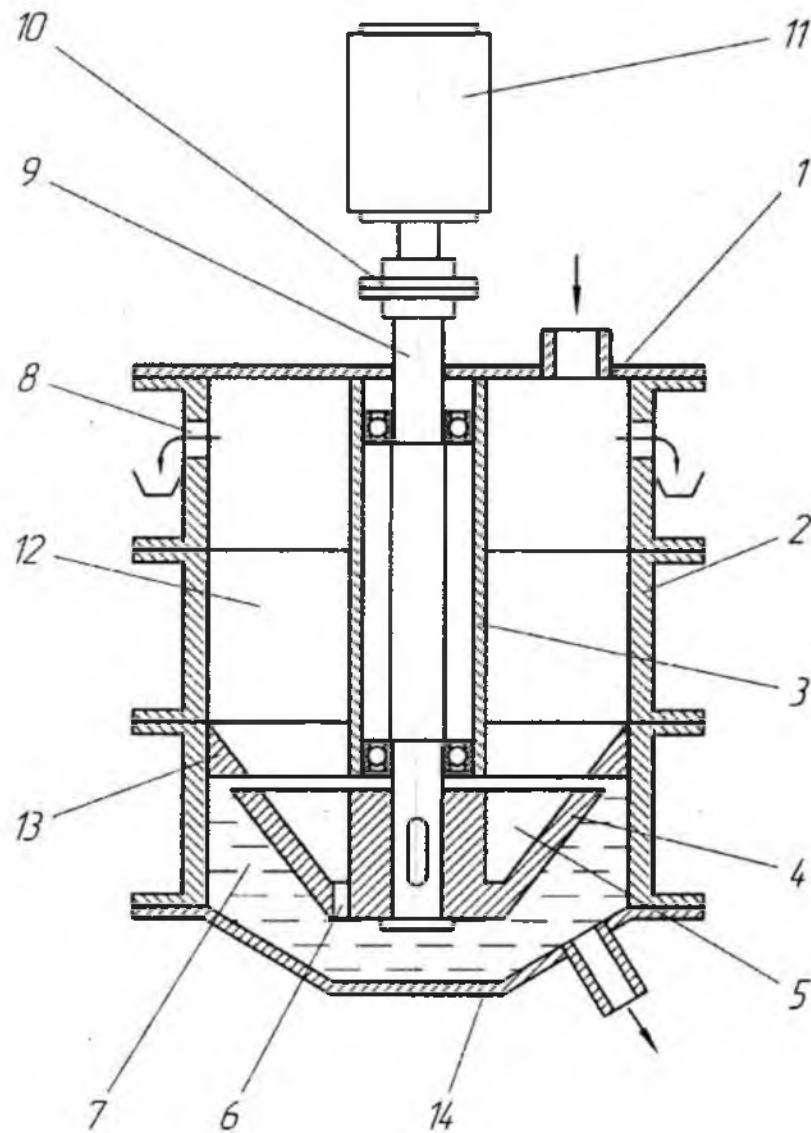


Рис. 2.3. Млин динамічного самоподрібнення типу "МАЯ", розріз:
 1 – лоток; 2 – корпус; 3 – вертикальний циліндр; 4 – чашоподібний ротор;
 5 – перетинки; 6 – отвори для подачі води; 7 – ємність; 8 – зливні отвори;
 9 – головний вал; 10 – муфта; 11 – електродвигун; 12 – перетинки;
 13 – конусоподібний виступ; 14 – дно

Джерело: розроблено із використанням [14]

Дослідно-промислові установки динамічного самоподрібнення мінеральної сировини були випробувані на кількох об'єктах. Зокрема,

проведено тестування під час подрібнення, а також при помелі антрациту та нафтового коксу на електродному заводі в місті Запоріжжя [15].

Результати промислових випробувань експериментальних зразків обладнання, типу машин «МАЯ» (зокрема моделей МАЯ-3, МАЯ-Р4,5, МАЯ-Р6, МАЯ-К10), продемонстрували переваги над існуючими подрібнювальними пристроями.

Наприклад, під час порівняння питомих показників продуктивності моделі МАЯ-Р6, встановленої на збагачувальній фабриці, з характеристиками кульових млинів було підтверджено ефективність динамічного самоподрібнення. У моделі МАЯ-Р6 питома продуктивність по початковій руді досягала близько $3,7 \text{ т/м}^3 \cdot \text{год}$, тоді як промислові барабанні млини типу МШР-3200×3100, що використовуються на першій стадії тієї ж фабрики, забезпечували лише $2,3 \text{ т/м}^3 \cdot \text{год}$ [16].

Додаткові випробування проводились для перевірки працездатності млина типу МАЯ-К10 при подрібненні магнетитових кварцитів із застосуванням мокрого способу помолу. Експерименти виконувалися на сировині поточного видобутку кар'єру Південного ГЗК із використанням промислового зразка млина. Аналіз отриманих даних свідчить про досягнення максимальної продуктивності млина по початковій руді на рівні $6,6 \text{ т/год}$ за умов споживання потужності 58 кВт , що становило $77,2\%$ від номінальної потужності двигуна. Це вказує на наявність потенційного резерву потужності приводу млина, що може використовуватись для підвищення продуктивності без внесення значних змін у конструкцію чи технологічні параметри. Водночас застосування цього резерву наразі ускладнено через заклинювання робочого органу млина та неможливість його запуску під навантаженням. Максимальна питома продуктивність по початковій руді, досягнута під час випробувань, становила $2,87 \text{ т/м}^3 \cdot \text{год}$, що

перевищує аналогічний показник самоподрібнювальних млинів типу ММС-90×30А в середньому на 20–30%.

Однак, при цьому питомі показники продуктивності для фракції менше 0,07 мм варіювалися в межах від 0,05 до 0,28 т/(м³·год), що в середньому виявилось приблизно у 10 разів нижче порівняно з аналогічними показниками для млинів самоподрібнення.

Результати проведених досліджень засвідчили, що питомі витрати електроенергії на переробку 1 тонни початкової руди складали від 4,95 до 8,82 кВт·год/т. Водночас для готової фракції меншої за 0,07 мм цей показник коливався в межах від 71,0 до 152,7 кВт·год/т. Таким чином, енергоємність переробки вихідної руди в млинах динамічного самоподрібнення є співмірною з показниками барабанних млинів самоподрібнення. Проте, для готової фракції менше 0,07 мм енергоємність цих млинів значно перевищує відповідні показники традиційних систем подрібнення.

У сучасних дослідженнях активно впроваджуються та вдосконалюються відцентрові дробарно-подрібнювальні апарати [17] різного принципу дії. Основна концепція функціонування відцентрових млинів із розгінним ротором полягає в тому, що початкова руда, потрапляючи на обертовий у горизонтальній площині диск, захоплюється встановленими радіальними лопатками. Застосовуючи відцентрову силу, руда спрямовується до ударної плити, де і відбувається її руйнування (рис. 2.4).

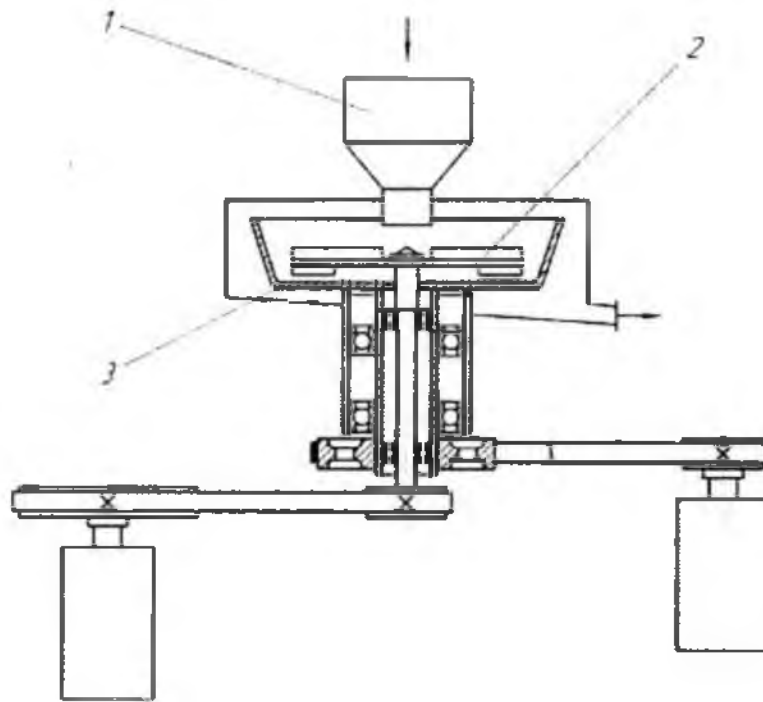


Рис. 2.4. Принципова схема відцентрово-роторного швидкісного подрібнення в млині з обичайкою, що обертається:

1 – завантажувальний бункер; 2 – ротор; 3 – обичайка

Джерело: розроблено із використанням [17]

Технологічна перевага зазначеного методу руйнування досягаються завдяки більш селективному розкриттю мінеральних зерен, що входять до складу руди. Це, у свою чергу, забезпечує підвищення технологічних показників збагачення. Окрім того, машини, які використовуються у цьому процесі, зазвичай відрізняються меншою металомісткістю та енергоємністю порівняно з традиційними пристроями для дроблення чи подрібнення [17].

Головними недоліками зазначених апаратів є передача значних вібраційних навантажень на фундамент і основу внаслідок технологічних та конструктивних дисбалансів робочого органу. Втім, у сучасних дослідженнях активно розробляються способи усунення цього недоліку, що робить

перспективними подальший розвиток та впровадження відцентрових дробарно-подрібнювальних апаратів у промислову практику.

Розглянуті типи млинів, де вібраційні млини займають особливе місце. Вони демонструють найвищу ефективність при тонкому подрібненні матеріалів із фракцією менше 100 мкм. Цікаво, що зі збільшенням вимог до тонкості помелу ефективність цього методу зростає.

У порівнянні з іншими типами подрібнювальних машин застосування вібраційних млинів має низку переваг:

- зростання продуктивності за рахунок скорочення часу помелу;
- зниження витрат електроенергії;
- мінімізація зношування апарату та тіл, що мелють;
- виробництво чистішого кінцевого продукту;
- досягнення найдрібнішої фракції помелу;
- використання подрібнювальних тіл із різних матеріалів;
- можливість здійснення процесу подрібнення в інертному середовищі,

вакуумі або за різних температурних умов.

Аналіз новітніх конструкцій млинів дозволяє дійти висновку про перспективність застосування вібраційних млинів. Згідно із зарубіжними даними, ці апарати широко використовуються для подрібнення вогнетривких матеріалів. Вивчення їх ефективності показує, що питома продуктивність вібраційних млинів перевищує продуктивність кульових у кілька разів. Крім того, при однаковій ефективності їх металомісткість є меншою у 4–5 разів, а фізичні габарити — у 2–3 рази, що робить їх раціональним вибором для промислових застосувань.

У даному дослідженні розглядаються запропоновані технічні рішення, реалізовані на основі принципу віброподрібнення. Одним із відомих прикладів подібних пристроїв є вібраційний млин, описаний у джерелі [18].

Основна мета цього винаходу полягає у підвищенні інтенсивності процесу подрібнення й продуктивності обладнання, а також зниженні вібраційних навантажень на несучі елементи конструкції.

Конструкція вібраційного млина (рис. 2.5) включає раму, що спирається на пружні опори, дві горизонтальні помольні камери однакової маси, розташовані симетрично відносно центральної осі, та механічний привід. Привід виконано у вигляді ексцентрикового віброзбудника, що складається з втулки, розташованої на валу. Втулка представлена двома симетрично закріпленими відносно центральної осі ексцентриковими кільцями з однаковим ексцентриситетом, а також двома кінематичними парами. Кожна з цих пар включає підшипник і зовнішнє кільце, яке жорстко з'єднане зі штангою та переднім фланцем відповідної помольної камери. Задні фланці камер фіксуються на рамі за допомогою пружної підвіски.

Функціонування вібраційного млина здійснюється наступним чином. Оброблюваний матеріал разом із робочими тілами (наприклад, металевими кулями) завантажується в помольні камери, які герметично закриваються кришками та фіксуються за допомогою передніх фланців, що з'єднані зі штангою. Після запуску електродвигуна привід передає обертальний рух через вал до ексцентрикових кілець віброзбудника. Це спричиняє утворення двох протилежно спрямованих відцентрових сил, які генерують складні просторові коливання помольних камер. Амплітуда горизонтальних коливань дорівнює подвоєному значенню ексцентриситету кілець. Під час роботи пристрою подрібнюваний матеріал піддається комбінованій дії: стирання внаслідок взаємного переміщення металевих куль та ударів об передню і задню стінки камер. Завдяки горизонтальній орієнтації помольних камер і вдосконаленій конструкції віброзбудника, який передбачає симетричне

розташування ексцентрикових кілець із однаковим ексцентриситетом, забезпечується ефективна реалізація процесу подрібнення матеріалів.

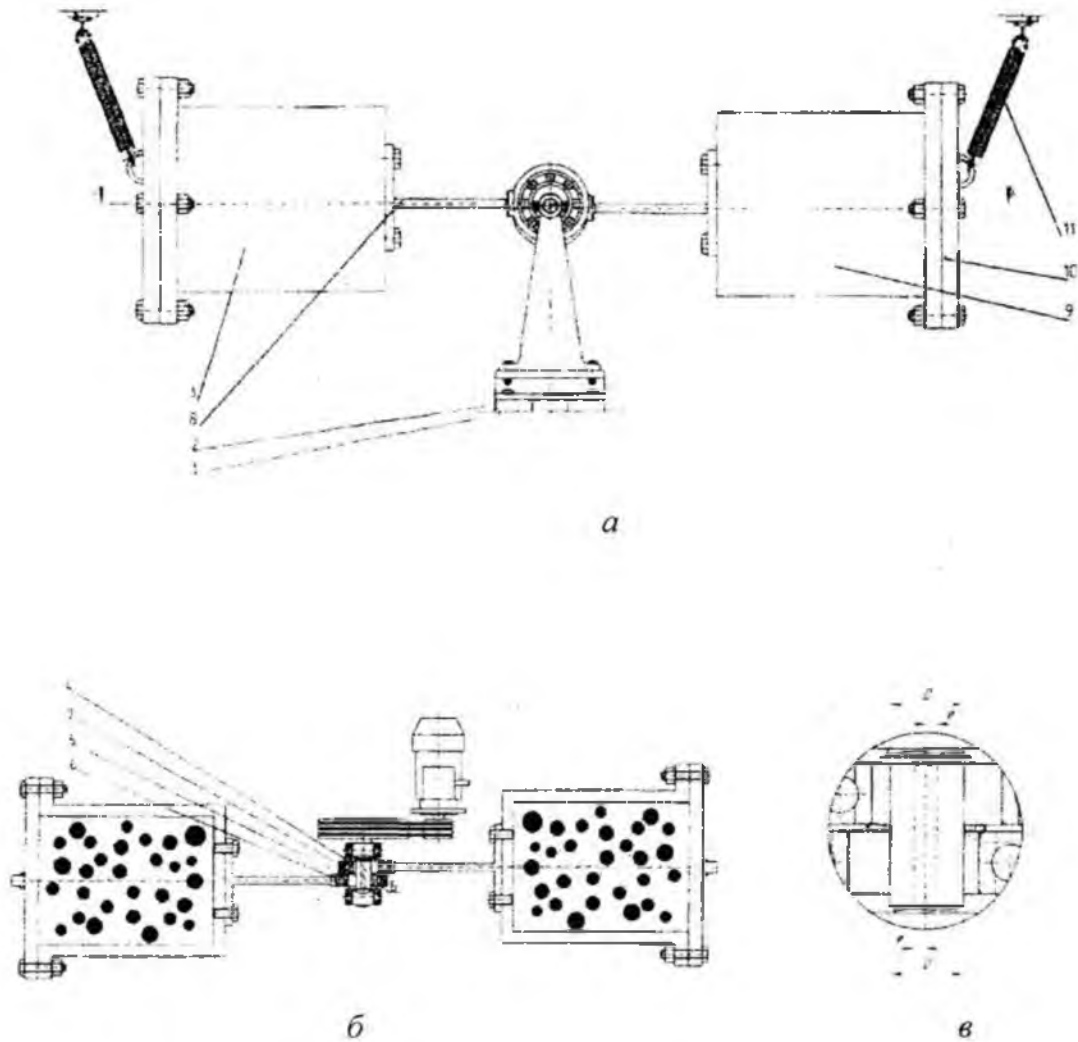


Рис. 2.5. Вібраційний млин:

a – вид збоку; *б* – розріз по *A-A*; *а* – вузол *Б*;

1 – рама; 2 – опори пружні; 3 – камера помольна;
4, 5 – кільця ексцентрикові; 6 – підшипник; 7 – кільце зовнішнє; 8 – штанга; 9
– фланець передній; 10 – фланець задній; 11 – підвіска пружна

Джерело: розроблено із використанням [18]

Кожен елемент включає підшипник, розташований на одній із ексцентрикових втулок, та зовнішнє кільце, жорстко з'єднане зі штангою, яка приєднана до переднього фланця однієї з помольних камер. Задні фланці цих камер закріплені на рамі через пружну підвіску. Під час роботи вібраційного

млина відбуваються подвійні ударні навантаження об стінки камер у кожному циклі коливань. Це значно підвищує енергію взаємодії робочих тіл, ефективно посилюючи процес подрібнення та збільшуючи продуктивність і коефіцієнт корисної дії млина порівняно з прототипом конструкції.

Особливістю запропонованого технічного рішення є повна симетричність і протилежний горизонтальний рух помольних камер, що усуває незбалансовані динамічні навантаження. Це значно знижує рівень вібрацій, які передаються на фундамент.

Корисна модель належить до техніки тонкого подрібнення і може бути застосована для отримання дрібнодисперсних металевих та керамічних порошків, а також цементу, вогнетривких матеріалів та інших продуктів.

Вібраційний млин [19], описаний у джерелі, є технічним пристроєм, розробленим з метою покращення ефективності помелу та збільшення питомої продуктивності.

Це досягається завдяки інтенсифікації технологічного процесу за умов оптимального використання внутрішнього робочого об'єму корпусу млина. Одним із ключових елементів млина є порожнистий ролик, який заповнений мелючими кулями на 70-80% його об'єму. Ролик оснащений торцевими кришками, які мають отвори для завантаження і вивантаження матеріалів.

Така конструкція об'єднує переваги кульових і роликів млинів, що забезпечує підвищену інтенсивність помелу та загальну ефективність процесу.

На рисунку 2.6 зображена конструкція запропонованого млина. Пристрій встановлено на віброзахисних опорах, які фіксують корпус циліндричної помольної камери. Камера забезпечена завантажувальними та вивантажувальними патрубками для подачі сирого матеріалу і відведення готового продукту відповідно. Всередині камери розташовується порожнистий ролик із мелючими кулями, що підтримують механізм помелу. Передня торцева кришка обладнана отвором для завантаження матеріалу, а задня кришка містить отвори для вивантаження кінцевого продукту. Роботу

млини підтримують електродвигуни, які синхронізують обертання дебалансів віброприводів. Така конфігурація сприяє ефективному функціонуванню пристрою та його продуктивності.

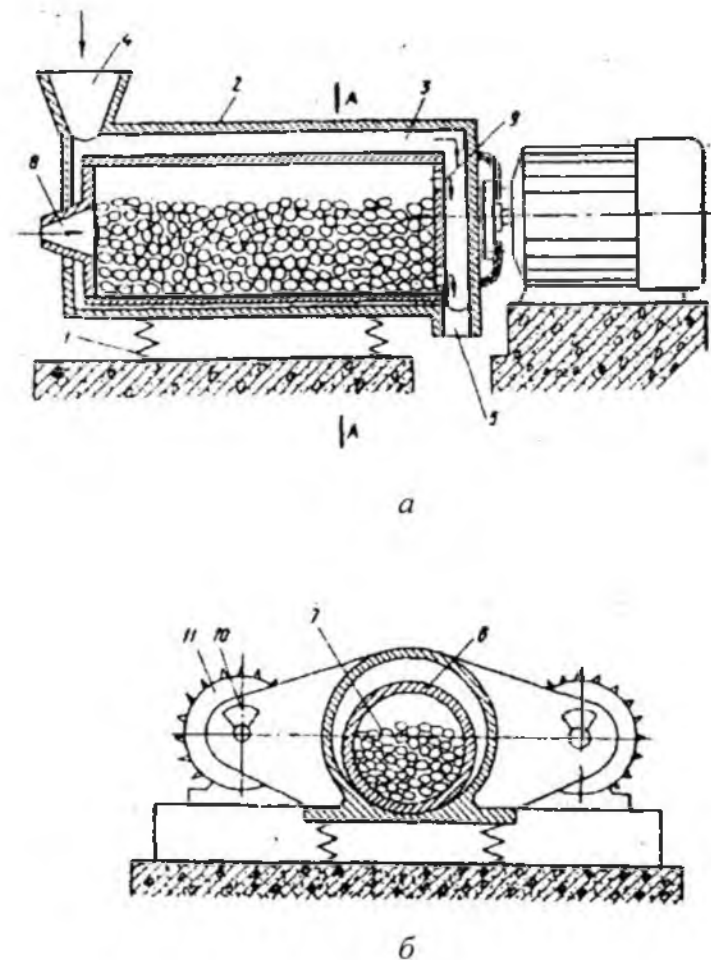


Рис. 2.6. Вібраційний млин: а – подовжній розріз; б – розріз по А-А

- 1 – опори пружні; 2 – корпус; 3 – камера помольна;
 4 – патрубок завантажувальний; 5 – патрубок розвантажувальний;
 6 – порожнистий ролик; 7 – кулі, що мелють; 8, 9 – отвори;
 10 – дебаланс; 11 – електродвигун

Джерело: розроблено із використанням [19]

Коли дебаланси обертаються синфазно, корпус млина виконує циркуляційні коливання, що змушує порожнистий ролик обкатувати внутрішню поверхню помольної камери.

У цей час кулі, які здійснюють процес подрібнення, всередині ролика рухаються по складних траєкторіях.

Матеріал, призначений для подрібнення, подається в корпус через завантажувальний патрубок 4 під роликом, а після переробки виводиться через вивантажувальний патрубок 5. Ще одна частина матеріалу надходить через завантажувальний отвір 8 безпосередньо в порожнистий ролик, де відбувається його помел за допомогою куль. Після цього він виводиться через отвір 9 і далі через патрубок 5. Оптимальним є технологічний процес, при якому початковий матеріал спершу завантажується через патрубок 4 під ролик і поступово вивантажується через патрубок 5 у міру досягнення необхідного ступеня подрібнення. Отриманий проміжний продукт або частина матеріалу, що потребує доопрацювання, завантажується через отвір 8 у порожнистий ролик для додаткового помелу в середовищі куль. Таким чином, до ролика потрапляє попередньо оброблений та достатньо дрібний матеріал, який є проміжним етапом перед остаточним кульовим подрібненням.

Вібраційний млин відзначається компактністю конструкції, дозволяє економити виробничий простір та енергію, забезпечує більш глибокий рівень подрібнення і підвищує продуктивність на одиницю використаних ресурсів.

Відомий вібротлин [20] має конструкцію з віброприводом, який оснащено дебалансами 1 (рис. 2.7). Цей привід забезпечує роботу внутрішнього розмельного органу із циліндричною робочою поверхнею 2. Ролик для млиння складається з внутрішнього кільця 3 та складеного барабана 4, праву половину якого ребра 5 жорстко з'єднують із внутрішнім кільцем. Таким чином, ролик являє собою порожнисте кільце, всередині якого знаходяться кулі, що виконують функцію млиння 6. Центральний отвір кільця 3 служить розмельною порожниною, яка обмежена зсередини робочою поверхнею 2. Корпус млина виконаний у вигляді кожуха 7, який має завантажувальний патрубок 8 і вивантажувальне вікно 9. Кожух встановлений на підставу 11 за допомогою пружин 10. Дебаланси приводяться в обертання двигуном (на схемі не показано) через еластичну муфту 12. Внутрішній розмельний орган конструктивно включає канал 13,

порожнину 14 і отвір 15, а барабан містить щілини 16. Між торцевими поверхнями кільця 3 і барабана 4 передбачено зазори 17 для забезпечення необхідної роботи системи.

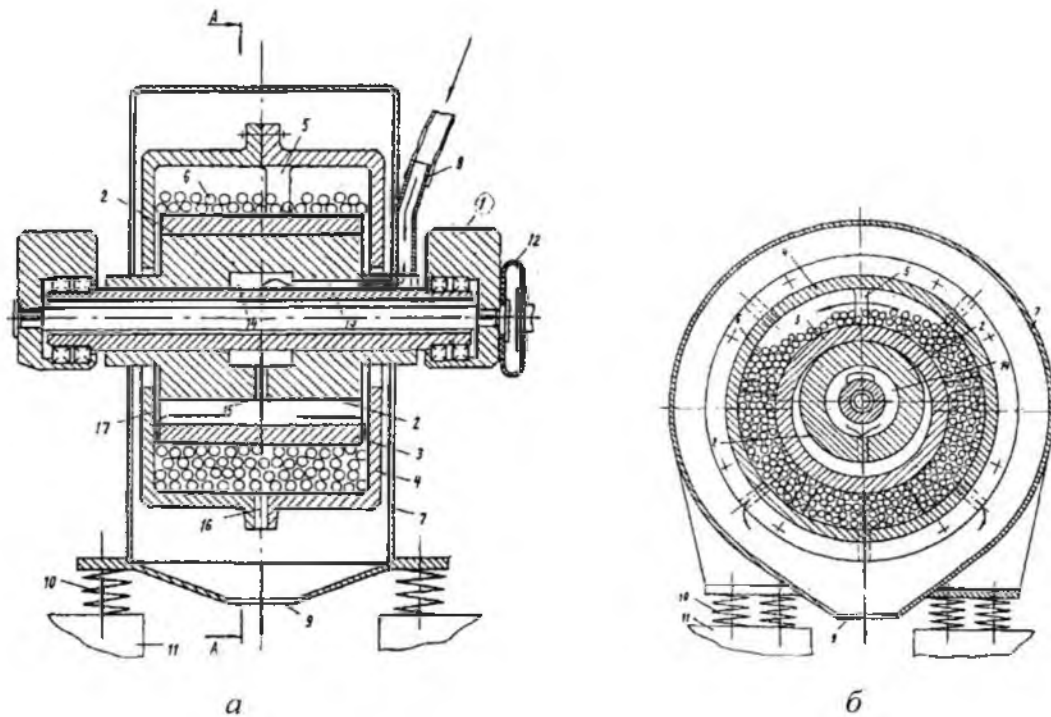


Рис. 2.7. Вібромлин:

1 - дебаланс; 2 - циліндрична робоча поверхня; 3 - кільце внутрішнє;
4 - барабан; 5 - ребро; 6 - кулі, що мелють; 7 - кожух; 8 - патрубок
завантажувальний; 9 - вікно вивантажувальне; 10 - пружина; 11- підстава;
12 - муфта еластична; 13 - канал; 14 - порожнина; 15 - отвір; 16 – щілина

Джерело: розроблено із використанням [20]

Вібраційний млин функціонує наступним чином. Обертання дебалансів 1 створює коливання розмельного органу. Ролик у формі кільця 3 здійснює планетарно-фрикційний рух, обкатуючи зовнішню поверхню 2. Матеріал, який подається через патрубок 8, канал 13, порожнину 14 і отвір 15 у розмельну зону (простір між поверхнею 2 і кільцем 3), проходить стадію попереднього помелу, а потім, через зазори 17, переміщується до зони домелення кулями 6 всередині ролика. Готовий продукт виводиться через щілини 16 і вікно 9.

Така компоновка млина дозволяє оптимізувати співвідношення робочих мас і збільшити пропускну здатність камери кульового домелення, що сприяє підвищенню продуктивності.

Як приклад, можна навести вібраційний барабанний млин, відомий з літератури [21]. Цей тип млина (див. рис. 2.8) має циліндричний барабан 1 зі зміщеною віссю обертання. Усередині барабана знаходяться подрібнювальні тіла і матеріал для переробки. Барабан встановлений на підшипниках 3 через фланці 2, а самі підшипники закріплені в корпусі 4 і на несучій рамі 5.

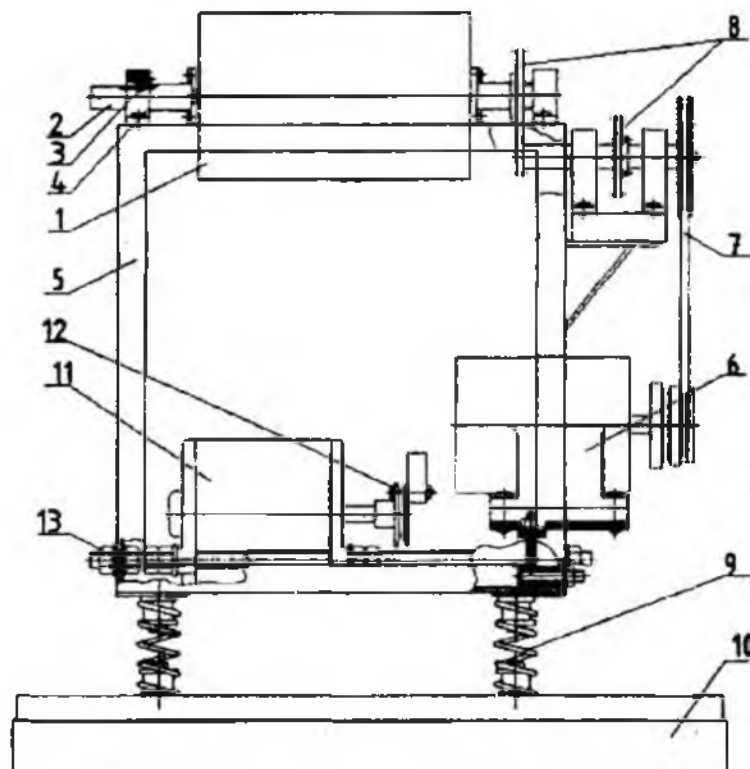


Рис. 2.8. Будова вібраційного сита

1 - барабан; 2 - фланець; 3 - підшипник; 4 - корпус; 5 - рама;
6 – електродвигун; 7 – передача пасова; 8 – передача зубчата; 9 – пружина; 10
– плита нерухома; 11 – електродвигун; 12 – шків; 13 – гайка

Джерело: розроблено із використанням [21]

Циліндричний барабан 1 приводиться в дію електродвигуном 6, використовуючи пасову передачу 7 і дві зубчасті передачі 8. До конструкції барабана прикріплені фланці 2, які забезпечують можливість зміни осі обертання. Одна з цих осей збігається з центральною віссю самого барабана,

тоді як інша зміщена на відстань, що дорівнює радіусу основи циліндра. Таким чином, вісь обертання проходить через дві точки: перша розташована на стику бічної поверхні та основи, а друга — на протилежній стороні другої основи циліндра.

Водночас вся система піддається діям вібрації. Для забезпечення умов вібраційних коливань вібраційний барабанний млин встановлено за допомогою пружин 9, що дозволяють здійснювати коливальні рухи усієї системи. Пружини закріплені до стаціонарної плити 10, що мінімізує вплив вібрації на навколишнє середовище. Генерація вібрацій здійснюється електродвигуном 11, оснащеним дисбалансною вагою, закріпленою на шківі 12. Цей вузол монтується на несучу раму 5 за допомогою шпильок із гайками 13.

Вібраційний барабанний млин функціонує наступним чином. При запуску крутний момент передається від електродвигуна 6 через пасову передачу 7 та дві зубчасті передачі 8 до циліндричного барабана 1. Цей барабан обертається завдяки підшипникам 3, встановленим у корпусі 4. Особливістю конструкції млина є зміщена вісь обертання барабана, що забезпечує широкий спектр траєкторій руху подрібнювальних тіл не лише у радіальній площині, але і з додатковими осьовими переміщеннями. Такі переміщення відбуваються як за рахунок кінетичної енергії після зіткнень та ударів, так і завдяки обертальному руху барабана, що супроводжується постійною зміною його положення у горизонтальній і вертикальній площинах. У результаті між стінками барабана утворюється прямий кут, забезпечуючи оптимальну роботу подрібнювальних тіл щодо матеріалу, який піддається обробці. Одночасно з цим підключається електродвигун 11, оснащений дисбалансною вагою на шківі 12, що створює вібраційний ефект. Завдяки жорсткому кріпленню електродвигуна 1 до несучої рами 5 за допомогою шпильок з гайками 13, вібрація передається на всю систему. Такі вібраційні коливання сприяють підвищенню ефективності роботи млина за рахунок інтенсифікації процесу подрібнення. Частинки матеріалу піддаються

додатковому механічному впливу: вони стираються між собою, а також проти стінок барабана 1. Це призводить до зменшення їх розмірів і формування більш правильної поверхні.

Млин, у процесі роботи, реалізує класичне кульове подрібнення з додатковим впливом вібрації, що позитивно позначається на коефіцієнті корисної дії. Особливістю конструкції є зміщена вісь обертання, яка забезпечує складний обертально-поступальний рух барабана. Це досягається безперервною зміною просторового положення осі симетрії циліндричного барабана відносно осі обертання.

Такий підхід гарантує ефективну роботу млина завдяки інтенсивному режиму руху подрібнюючих елементів у барабані. Відсутність явища накопичення матеріалу, що подрібнюється, у кутах циліндричного барабана та наявність стираючого впливу від вібрації підвищують загальну продуктивність пристрою.

Одним із прикладів подібної конструкції є відомий вібраційний ролик млин [22], пристрій якого зображено на рис. 2.9.

Основною метою його розробки є покращення якості кінцевого продукту. Це досягається завдяки особливостям конструкції, які включають розмельні органи у вигляді стакана та внутрішнього ролику, що обкатує його поверхню. Корпус оснащений віброприводом, гратчастим вивантажувальним отвором і пружними елементами. Один із розмельних органів отримав кільцеву виточку, а вивантажувальне отвір розташований у бічній стінці стакана.

Корпус млина підтримує помольну камеру у вигляді стакана та вібропривод. Камера встановлена на основу за допомогою пружних елементів. Усередині стакана вільно розташований ролик, який виконує подрібнення. Стакан і ролик формують контактну пару, довжина опорного контакту між якими обмежена кільцевими виточками. Це створює щілини завдяки конструктивним деталям, таким як шийки торцевих кришок або буртики на ролику. Бічна стінка стакана містить гратчастий

вивантажувальний отвір із захисною сіткою або без неї. Завантажувальні та вивантажувальні отвори розташовані відповідно у верхній частині та збоку, кожен із яких обладнаний спеціальними напрямними жолобами для зручності експлуатації.

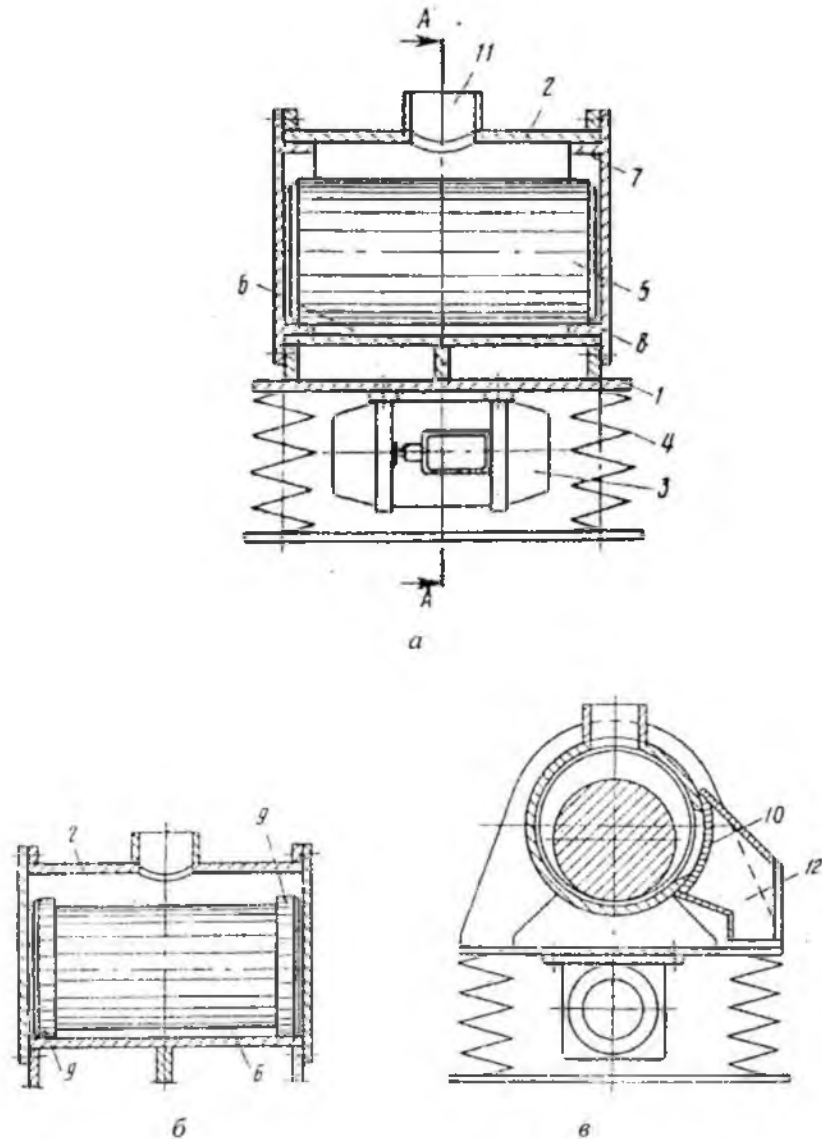


Рис. 2.9. Вібраційний роликовий млин:

***a* – конструктивна схема млина, подовжній розріз;**

***б* – схема варіанту виконання; *в* – розріз по А-А**

1 – корпус; 2 – стакан; 3 – вібропривод; 4 – елемент пружний; 5 – ролик, що меле; 6 - щілина; 7 - шийка; 8 – кришка торцева; 9 – буртик; 10 – вікно вивантажувальне; 11, 12 – тічки

Джерело: розроблено із використанням [22]

У процесі експлуатації млина, внаслідок коливальних рухів корпусу 1 зі стаканом 2, ролик 5 здійснює обкатку по бігових доріжках, які утворюють кільця опорного контакту. У конструктивному варіанті, представленому на рис. 3.7 а, рама проводить обкатку шийок 7 кришок 8, тоді як у варіанті за рис. 3.7 б ролик контактує зі стаканом 2 через бортові елементи 9.

Основна частина матеріалу, завантажуваного у тічку 11, надходить до зони виточки між біговими доріжками і піддається дробленню, яке переважно відбувається у щілинній порожнині 6. У цій ділянці достатньо дрібні фракції безпосередньо виводяться через вікно 10.

Наявність щілинної робочої камери сприяє запобіганню надмірному подрібненню матеріалу. Додатково, розташування гратчастого вивантажувального отвору в цій самій зоні забезпечує своєчасне відокремлення вузькофракційної маси, що відповідає необхідному зерновому складу.

Результати аналізу літературних джерел та патентного огляду свідчать про перспективність технічного рішення, запропонованого у [20]. Це пов'язано з тим, що вібраційний млин характеризується компактною конструкцією, що дозволяє економити виробничий простір, низьким рівнем енергоспоживання та високим ступенем подрібнення матеріалів.

2.2 Пропозиції по модернізації

Аналіз результатів у пошуку рішення в патентно-літературному огляді дозволяють здійснити вибір оптимального технічного рішення, яке ефективно усуває виявлені недоліки конструкції.

В якості основи модернізованої конструкції прийнято технічне рішення [20], принцип функціонування якого детально викладено у матеріалах літературно-патентного огляду.

Для подальшого розгляду пропонується здійснити аналіз конструкції та принципу роботи запропонованого вібраційного млина. На рисунку 2.10

представлено компоновку вібраційного млина відповідно до технічного рішення [20].

Кожух млина позначений як елемент 1 і складається з двох частин, жорстко з'єднаних за допомогою болтів по горизонтальній площині роз'єму. У нижній частині кожуха передбачені опорні майданчики, призначені для встановлення чотирьох циліндричних пружин (елемент 2). Роз'єм обладнаний спеціальним розточенням, яке дозволяє закріпити цапфи ролика (елемент 3). Ролик надійно зафіксований від поздовжнього переміщення за допомогою двох бортиків, розташованих на його цапфах.

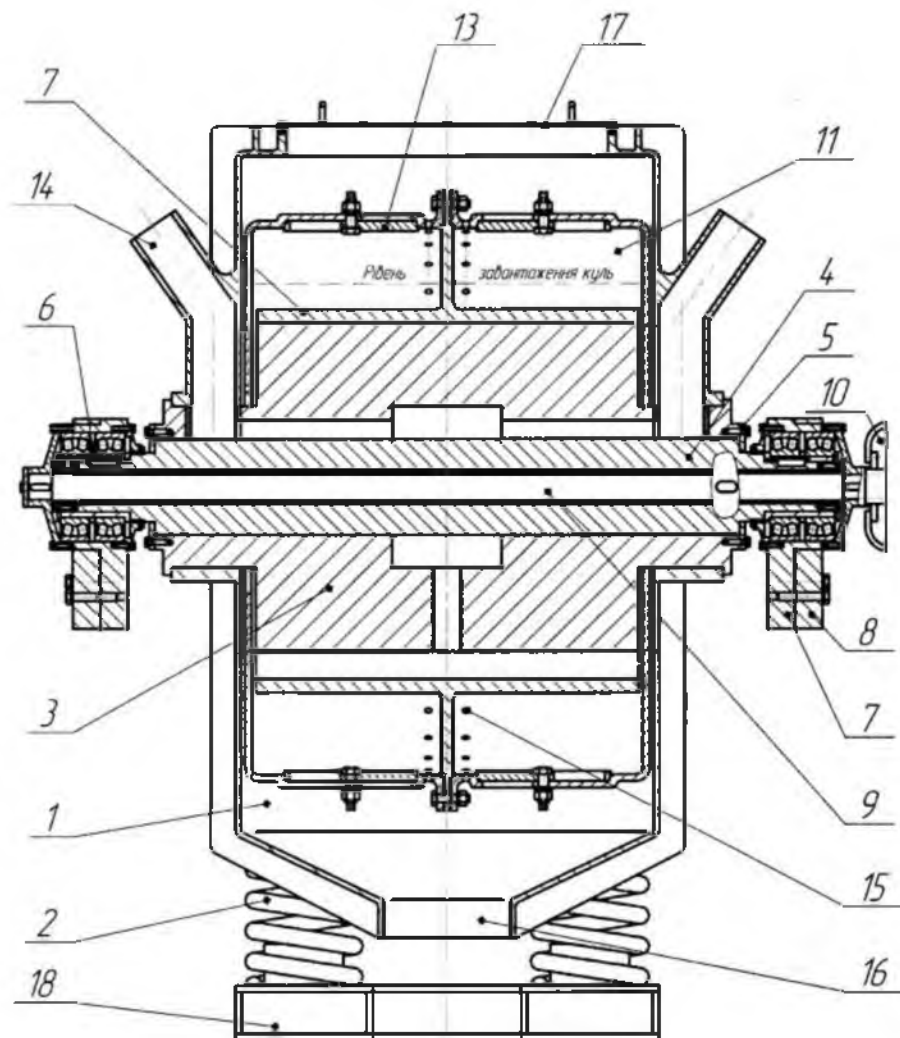


Рис. 2.10. Будова вібраційного млина
(розроблено автором)

У представленому тексті описано конструкцію та принцип дії механізму однофазного вібробудника з барабаном, що використовується для подрібнення матеріалів. Центральною частиною конструкції є ролик 3, у центральному отворі якого встановлена порожниста вісь 4. Подовжне переміщення порожнистої осі обмежується фіксацією за допомогою фланців 5. На обох кінцях осі знаходяться підшипникові опори 6, що підтримують дебаланси, які обертаються навколо осі.

Дебаланси являють собою вантажі з центром мас, що не збігається з віссю їхнього обертання. Пружна пелюсткова муфта виконує роль компенсаційного механізму для поглинання коливань вала вібробудника та запобігання їх передачі на вал електродвигуна.

Однофазний вібробудник створює кругові коливання, що виникають у процесі обертання дебалансів. Структура вузла дебалансів включає основний дебаланс 7 та регулювальний дебаланс 8. Регулювання положення регулювального дебалансу щодо основного дозволяє змінювати кінетостатичний момент вібраційного механізму, а відповідно і амплітуду коливань млина.

Обертання дебалансів забезпечується через вал 9, який, за допомогою пелюсткової муфти 10, з'єднується з електродвигуном. Барабан механізму, призначений для утримання середовища подрібнення, наприклад куль, має складну конструкцію. Він складається з двох півбарабанів 11 та кільця з ребром жорсткості 12. З'єднання цих елементів забезпечується через болтове кріплення. Для контролю об'єму й розмірів куль у барабані передбачено чотири затвори 13, які також використовуються для процесів завантаження і вивантаження часток.

Процес подачі вхідної пульпи здійснюється через один або два завантажувальні патрубки 14, тоді як вихід готового продукту організований через отвори 15 в барабані та вікно в кожусі 16. Всі основні елементи конструкції — барабан, кільце та кожух — виготовлені із сталевого литва та посилені ребрами жорсткості. Доступ до затворів забезпечується через

верхнє вікно кожуха, яке закривається кришкою 17. Пружини 2 віброзбудника встановлені на рамі 18 із зварною конструкцією, що забезпечує її надійність та стійкість під час експлуатації. Описаний механізм конструктивно спроектований для забезпечення ефективного подрібнення матеріалів із можливістю регулювання робочих параметрів залежно від потреб технологічного циклу.

2.3 Переваги пропонованої конструкції

Запропонований вібраційний млин демонструє низку переваг порівняно з традиційними барабанными кульовими млинами під час подрібнення крупних фракцій концентрату після процесу грохочення. Зокрема, компактна конструкція вібраційного млина забезпечує можливість його розміщення безпосередньо поруч із грохотом, що сприяє оптимізації виробничого простору. Крім того, низький рівень енергоспоживання під час подрібнення сприяє зменшенню собівартості отриманого концентрату з високим вмістом заліза. Додатково, можливість оперативного регулювання амплітуди вібрації дозволяє адаптувати режим подрібнення до специфічних характеристик матеріалу, забезпечуючи високу ефективність виробничого процесу.

2.4 Розрахунки по модернізації

2.4.1 Визначення продуктивності

Продуктивність надрешітного продукту грохотів Деррік, секції №10, при грохоченні концентрату складає 37,33 т/год.

Необхідна продуктивність вібромлина із запасом 20%

$$Q_{н} = 1,2 \cdot 37,33 = 44,9 \text{ т /год} \quad (2.1)$$

Приймаємо необхідну продуктивність вібромлина $Q_{\text{н}}=45$ т/год.

Процес подрібнення здійснюється у двох послідовних камерах. У першій камері матеріал піддається попередньому подрібненню під впливом вібрації, що виникає між двома поверхнями. У другій камері відбувається основне подрібнення внаслідок вібраційної дії, здійснюваної кулями.

Розрахункова продуктивність основної камери подрібнення

$$Q_{\text{р}} = V_{\text{к}} q k_{\text{в}} = 3,2 \cdot 12 \cdot 1,2 = 46,1 \text{ т / год} \quad (2.2)$$

де $V_{\text{к}}$ – об'єм основної камери млина, $V_{\text{к}}=3,2$ м³;

q – питома навантаження, $q=12$ т/ м³год

$k_{\text{в}}$ – коефіцієнт підвищення продуктивності від накладення вібрацій, $k_{\text{в}} = 1,2$ [23].

Визначимо масу куль, які завантажені у млин

$$m_{\text{к}}=V_{\text{б}}\varphi\gamma_{\text{к}}=3,2 \cdot 0,8 \cdot 4,4 = 11,3 \text{ т} \quad (2.3)$$

де φ – коефіцієнт заповнення млина, $\varphi=0,8$;

$\gamma_{\text{к}}$ – об'ємна маса куль, $\gamma_{\text{к}}=4,4$ т/м³.

Визначення основних конструктивних параметрів вібромлина проводиться відповідно до методики, запропонованої у дослідженні [23].

Геометричні характеристики та динамічні параметри приймаються на основі рекомендацій, представлених у зазначеній роботі, і додатково перевіряються контрольними розрахунками.

Згідно рекомендації вибираємо амплітуду коливань камер подрібнювання $A_{\text{м}}=3$ мм.

Необхідний кінетостатичний момент дебалансів

$$mr = m_M A_M = 41200 \cdot 0,003 = 123 \text{ кгм}$$

де m_M – маса частин млина і завантаження, що коливаються, $m_M = 41200$ кг.

Розміри геометричних параметрів дебалансів визначаються відповідно до вимог щодо необхідного кінетостатичного моменту. Конструктивна форма дебалансів обирається відповідно до технологічних вимог. Використовуючи програмне забезпечення Компас, виконується розрахунок площі геометричної фігури та визначення положення центру мас (рисунок 2.11).

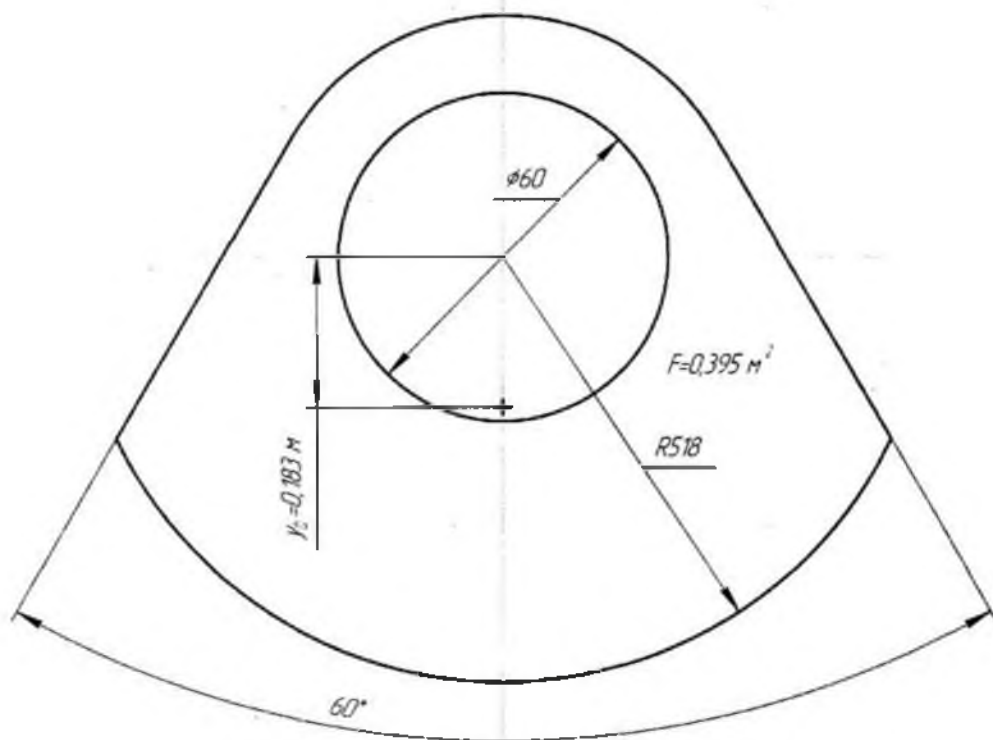


Рис. 2.11. До розрахунку центру мас дебалансів:
(розроблено автором)

Площа отриманої фігури $F = 0,395 \text{ м}^2$, координата центру мас $y_0 = 0,183 \text{ м}$.

Необхідний максимальний кінетостатичний момент одного збірного дебалансу буде

$$(mr)_{\text{осн}} + (mr)_{\text{рег}} = \frac{mr}{2} = \frac{123}{2} = 61,5 \text{ кгм} \quad (2.4)$$

Маса одного збірного дебалансу

$$m_d = \frac{(mr)_{\text{осн}} + (mr)_{\text{рег}}}{y_o} = \frac{61,5}{0,183} = 336,1 \text{ кг} \quad (2.5)$$

де y_o – відстань від осі обертання до центру мас дебалансу, з рис. 2.11
 $y_o = 0,183$ м.

Розрахункова товщина одного збірного дебалансу

$$b_d = \frac{m_d}{F \rho_{\text{ст}}} = \frac{336,1}{0,395 \cdot 7850} = 0,108 \text{ м} \quad (2.6)$$

де F – площа дебалансу, з рис. 2.11 $F = 0,175 \text{ м}^2$;

$\rho_{\text{ст}}$ – щільність сталі, $\rho_{\text{ст}} = 7850 \text{ кг/м}^3$.

Приймаємо товщину одного збірного дебалансу $b_{\text{осн}} = 0,11$ м, одного основного дебалансу $b_{\text{осн}} = 0,055$ м.

2.4.2 Розрахунок потужності привода

Розрахункова потужність електродвигуна приводу дебалансів

$$N_p = mr \omega^3 \mu \frac{d_{\text{п}}}{2} = 61,8 \cdot 104,7^3 \cdot 0,007 \frac{0,22}{2} = 54616 \text{ Вт} \approx 54,6 \text{ кВт} \quad (2.7)$$

де μ – коефіцієнт тертя кочення в підшипниках, $\mu = 0,007$;

$d_{\text{п}}$ – діаметр валу під підшипником, приймаємо $d_{\text{п}} = 0,22$ м;

ω – кутова швидкість електродвигуна

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 104,7 \text{ с}^{-1} \quad (2.8)$$

Для вибору електродвигуна постійного струму було обрано модель із незалежною вентиляцією типу ДП-72. Основні технічні характеристики двигуна: номінальна потужність складає 67 кВт, частота обертання становить 1000 об/хв, а маса дорівнює 1425 кг [23].

Збурююча сила, що діє з боку кожного дебалансу на вал

$$P_b = \frac{mr}{2} \omega^2 = \frac{61,5}{2} 104,7^2 = 256512,9 \text{ Н} \approx 256,5 \text{ кН} \quad (2.9)$$

Вібраційна швидкість мас млина, що коливаються

$$v_k = A_k \omega^2 = 0,003 \cdot 104,7^2 = 32,9 \text{ м/с}^2 \quad (2.10)$$

Коефіцієнт режиму мас млина, що коливаються

$$k = \frac{a_k}{g} = \frac{32,9}{9,8} = 3,4 \quad (2.11)$$

РОЗДІЛ 3

ОРГАНІЗАЦІЯ БЕЗПЕЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

3.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих чинників

У секції мокрої подрібнення рудозбагачувальної фабрики основними несприятливими чинниками є підвищена вологість робочого середовища, а також високий рівень шуму. У свою чергу, у секції сухої подрібнення домінуючим шкідливим фактором виступає запиленість.

Пил утворюється на різних етапах технологічного процесу, зокрема в таких місцях, як розвантажувальні люки бункерів, системи живлення матеріалу та конвеєрне обладнання. Характеристики пилу, що виділяється в атмосферу, можуть варіюватися залежно від фізико-хімічних властивостей подрібненої руди.

Його гранулометричний та хімічний склад мають специфічні особливості, котрі залежать від сировини, яка використовується в агломераційному виробництві. Хімічний склад пилу (доведений у таблиці 3.1) для ділянок сухої і мокрої подрібнення (зокрема, на ділянці класифікації) є наближеним до складу агломераційних шихтових матеріалів. Крім того, через забруднене зовнішнє повітря є ризик вторинного перенесення пилу всередину будівель рудозбагачувальної фабрики. Додатковим чинником негативного впливу є шумові навантаження з боку виробничого обладнання [24].

До основних джерел шуму належать млини, класифікатори та вентиляційні системи, які функціонують у технологічному ланцюзі.

Хімічний склад пилу

Найменування	Концентрація, %
SiO ₂	8...12
C	16...20
Fe ₂ O ₃ · FeO	50...60

Джерело: розроблено із використанням [24]

Тривалий вплив шумового середовища на працівників сприяє розвитку патологій органів слуху, дисфункцій серцево-судинної системи, варикозного розширення вен, а також розладів вегетативної нервової системи.

Гранично допустимі концентрації (ГДК) або рівні (ГДР) небезпечних чинників у робочій зоні визначені нормативними документами. Їхні фактичні значення для відповідних виробничих умов наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2.

Шкідливі чинники на місці роботи

Фактор	ГДК, ГДР	Факт
Вологість, %	70	80
Запиленість, мг/м ³	6	15...25
Шум, дБ(А)	80	90...97

Джерело: розроблено із використанням [24]

На дробильній ділянці рудозбагачувальної фабрики експлуатується значна кількість електродвигунів, панелей керування, електроприладів та іншого обладнання. Ризик ураження електричним струмом не можна оцінити

на основі зовнішніх ознак, оскільки ця небезпека проявляється раптово і зазвичай має тяжкі наслідки [24].

Особливості технологічного процесу, пов'язані з підвищеною вологістю та наявністю струмопровідного пилу, обумовлюють необхідність класифікувати всі приміщення та робочі місця, де знаходиться електроустаткування, до категорій з підвищеною або особливо високою небезпекою. У зв'язку з цим здійснення постійного контролю за технічним станом електрообладнання, використання справних кабелів та забезпечення належного захисту місць їх прокладання є вкрай важливими заходами безпеки.

Також необхідно враховувати ризики, пов'язані з використанням кисню, який може спричинити займання або вибух при контакті з речовинами, що містять мастило. У більшості випадків спалахи або вибухи стають наслідком порушень правил експлуатації з боку персоналу або несправностей обладнання.

Виробничі приміщення фабрики освітлюються як природними, так і штучними джерелами світла.

Якість освітлення значною мірою залежить від коефіцієнта відбивання поверхонь стін, стелі, підлоги, устаткування та металоконструкцій. Даний показник пов'язаний із кольоровою гамою поверхонь: матеріали, використовувані на рудозбагачувальному виробництві, а також інфраструктура приміщень зазвичай мають низький коефіцієнт відбивання (наприклад, металоконструкції – 8–11%, руда – 8–11%, забруднені стіни – 13–15%). Така характеристика поверхонь створює складнощі для забезпечення належного рівня освітленості виробничих зон [24].

Таблиця 3.3 містить систематизовану інформацію щодо джерел небезпек і шкідливих факторів на робочому місці, а також їх впливу на організм працівників.

Аналіз шкідливих і небезпечних чинників

Фактор	Джерела	Вплив на організм людини
Вологість	Технічна вода для технологічного процесу	Поразка шкіряних покривів, захворювання легенів
Запиленість	Подрібнена руда, що поступає на ділянку	Ураження легеневих тканин, кисневе голодування
Шум	Млини, що працюють вентиляційні установки	Дія на нервову, серцево-судинну систему підвищення артеріального тиску, порушення функцій шлунку
Електричний струм	Електроустановки, струмопроводи	Опіки, ураження м'язових тканин, нервової системи, головного мозку
Рухомі механізми, що обертаються	Працююче устаткування, електромостові крани	Різного роду травми
Кисень	Кисневі пости, киснепроводи	Різного роду травми

Джерело: розроблено із використанням [24]

Аналіз потенційних небезпек і шкідливих факторів на робочому місці біля млина, що перебуває на стадії розробки, демонструє, що основними загрозами для обслуговуючого та ремонтного персоналу є підвищений рівень запиленості навколишнього середовища та інтенсивний шум.

Вібраційний млин є складним технічним агрегатом, що складається як з електричного, так і механічного обладнання. Зіткнення з рухомими частинами цих механізмів може призвести до виникнення різного роду пошкоджень. Ризик травматизму значно посилюється за умов наявності обертових болтів, виступаючих шпонок чи елементів, механічна взаємодія

яких створює зону із захоплюючо-втягуючим ефектом, особливо коли ці елементи обертаються назустріч один одному.

До конструктивних особливостей вібротлина належать обертові дебаланси, які становлять додаткову небезпеку. У разі відсутності захисних кожухів чи ненадійності кріплення на валу зазначений елемент може стати причиною серйозних травм.

3.2 Заходи по зниженню і усуненню шкідливих і небезпечних чинників

Для мінімізації впливу основних шкідливих чинників у виробничому середовищі впроваджуються наступні заходи

- вентиляція (аерація), що сприяє нормалізації якісного стану повітряного середовища;
- заходи з інженерного захисту від шумового забруднення. Для підтримання належної якості атмосфери робочого простору у виробничих приміщеннях здійснюються такі кроки:
 - удосконалення технологічних процесів шляхом їх дистанційного управління, автоматизації та механізації;
 - встановлення систем вентиляції та опалення в виробничих приміщеннях.

Ефективне функціонування вентиляційних систем забезпечується за виконання наступних умов

- збалансоване надходження і видалення повітря з мінімальною різницею у показниках;
 - належне розташування вентиляційних установок;
 - дотримання вимог електробезпеки, пожежної та вибухонебезпеки, а також використання конструктивно простих рішень для систем вентиляції.
- Для зменшення рівня пилоутворення здійснюються такі заходи

- герметизація бункерів і тічок, а також зниження висоти падіння роздробленої руди [24].

У боротьбі з пилом застосовуються методи гідрозмиву, а також додається рідке скло до білення, що утворює захисну плівку, яка запобігає руйнуванню штукатурки стін під впливом технічної води.

Для зниження шумового навантаження використовуються наступні рішення

- забезпечення належної герметичності повітропроводів, газопроводів та арматури за допомогою м'яких ущільнювачів;

- використання дифузорів зі спеціальних тканинних матеріалів, таких як брезент;

- встановлення теплозахисних кожухів та використання звукопоглинальних і звукоізоляційних матеріалів.

З метою зменшення, наприклад, рівня шуму під час роботи млинів застосовується гумова футерівка.

Зважаючи на використання гідрозмиву для очищення робочих місць, виникає небезпека ураження електричним струмом. З метою мінімізації такого ризику застосовується електрообладнання та апаратура закритого типу, а всі струмопровідні елементи розташовуються згідно із затвердженими нормативами. Для освітлення використовують напругу не вище 36 В, тоді як для переносного та локального освітлення цей показник обмежується до 12 В.

Для забезпечення електробезпеки впроваджуються спеціальні реле та плавкі запобіжники, а також передбачається обов'язкове заземлення всього обладнання та апаратів.

Експлуатація механізмів і підйомно-транспортного обладнання організовується з урахуванням необхідності встановлення захисних огорожень, спеціально облаштованих проходів, а також протективних механізмів, таких як блокувальні пристрої тощо [24].

Окрім довгострокових заходів, спрямованих на регулювання обсягів шкідливих викидів у межах, які не перевищують гранично допустимі концентрації (ГДК), підприємства працюють над вдосконаленням технологічної організації процесу збагачення. Зокрема, це включає створення нових і підвищення ефективності існуючих систем очищення пилових викидів, а також аспіраційних систем. Водночас розробляються тимчасові організаційно-профілактичні заходи, які дозволяють знизити обсяги викидів в атмосферу на 15–20 %. Щодо забруднених стічних вод, що утворюються в процесі рудозбагачення, вони в більшості випадків підлягають очищенню та відводяться до спеціальних відстійників, оскільки води не використовуються в оборотному водопостачанні [24].

Рухливі частини машин і механізмів у відповідності до нормативних вимог мають бути облаштовані надійними захисними огороженнями.

ВИСНОВКИ

Під час вивчення конструктивних особливостей і роботи кульового млина МШЦ-4500х6000 було виявлено кілька недоліків. Серед них: низька ефективність подрібнення рудного матеріалу, значні енергетичні та металові витрати в процесі експлуатації, а також нестабільність роботи млина в умовах замкнутого циклу.

Матеріал, що піддається подрібненню у кульових барабанних млинах, через випадковий характер процесу помелу містить значну частку як надмірно подрібнених зерен, так і частинок, що перевищують необхідний розмір. Це призводить до зниження продуктивності млина. Велика різнофракційність матеріалу порушує баланс у подальших технологічних операціях.

При функціонуванні млина в замкнутому циклі з високим циркуляційним навантаженням спостерігається перенавантаження обладнання, що негативно впливає на його роботу. У таких умовах знижується продуктивність за основним матеріалом, що може спричинити збої у технологічних процесах збагачувальної фабрики. Додатково це збільшує навантаження на привід та значно підвищує витрату тіл, що здійснюють подрібнення.

При цьому коефіцієнт корисної дії кульових барабанних млинів залишається на рівні 4–6%.

Аналіз патентної та літературної інформації дозволив вибрати технічне рішення для усунення зазначених недоліків.

Запропоноване рішення передбачає використання вібраційного млина, який має ряд переваг у порівнянні з традиційними кульовими барабанними млинами для подрібнення великофракційного концентрату після грохочення. Серед основних переваг можна виділити такі: компактність установки, що забезпечує її розміщення поблизу грохота; значно знижені енергетичні витрати, які дають змогу зменшити собівартість концентрату з високим вмістом заліза; можливість оперативного регулювання амплітуди для вибору оптимального режиму подрібнення матеріалу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мордвін Д.М., Олександрін С.В., Ширяев А.А., Нескромний О.М., Грицай Ю.Л. Застосування тонкого грохочення для підвищення якості залізорудного концентрату на збагачувальній фабриці ГЗК "Арселор Міттал Кривий Ріг." Збагачення корисних копалин, 2011. – Вип. 44 (85).
2. Сокур Н.І., Потураєв В.М., Бабець Є.К. Дроблення та подрібнення руд. - Кривий Ріг.: "ВЗЖА". 2000. – 290 с.
3. Довідник зі збагачення руд. Підготовчі процеси/Під. ред. О. С. Богданова, 2-ге вид. , перероб. та доп.-М.: Надра, 1983. -367с.
4. Про ефективність використання струминного подрібнення при підготовці руд і концентратів до збагачення та гідрометалургійної обробки / О.В. Бортніков, М.О. Телегіна, В.В. Беліков та ін. // Збагачення руд. – 1983. – №5. - 3. 3-6.
5. Сисолятін С.А., Першуков А.А. Перспективи застосування виборчого подрібнення в газоструминному млині. Гірський журнал. 1980 №4.
6. Про газоструминний спосіб підготовки та збагачення куммінгтоніто-магнетитових кварцитів / Л.Ж. Горобець, А.Ю Красуля та ін. // Збагачення корисних копалин: Респ. міжвідомств, навчи, техн. зб. М-во виісш. та середнього спеціаліста, освіти УРСР. – Київ: Техніка, 1982. – Вип.8. – С. 33-39.
7. Ефективність подрібнювальних апаратів для механічного активування твердих тіл / В.В. Болднрев, Є.Г. Авакумов, В.Т. Логвиненко та ін. // Збагачення корисних копалин: Зб. наукових праць / Ан. СРСР. Ін-т Гірської справи. – 1977. С. 5-13.
8. Малкус С.М., Гонтаренко П.А., Огульчан А.Є., Крамінський М.П. та ін. Освоєння техніки безслойного подрібнення з доопрацюванням надлишкової галі в окремому циклі. Гірський журнал. №6. Надра. – 1971.
9. Використання баштового млина для тонкого подрібнення. // Збагачення руд кольорових металів. Зарубіжний досвід, -вип.2, 1985.

10. Лесін А.Д., Локшина Р.В. Сучасні вібраційні млини та їх застосування в кольоровій металургії за кордоном // Ін-т ЦНИИцветмет економіки та інформації. - М., 1987 (Огляд інформ. Сер. Збагачення руд кольорових металів. Вип.2. 40с).
11. Виноградов Б.З., Борисов В.С. Підвищення довговічності зубів відкритих пар рудорозмлинних млинів. // Гірський журнал. №3. – 1974.
12. А.С.837403. В02С 17/10. Барабанний млин.
13. А.С. 1279666. В02С 17/10. Барабанний млин.
14. Ягупов А.В. Про руйнування шматків міді в млині "ТРАВНЯ" // Збагачення корисних копалин: Респ. міжвідомств, наук.-техн. про. / М-во виішш. та середнього спеціаліста, освіти УРСР. - Київ: Техніка, 1984. -Віп.34. -С. 42-46.
15. Ягупов А.В. Результати випробувань дослідно-промислової моделі млина динамічного самоподрібнення МАЯ-РБ // Гірський журнал. - 1980. №6. – 3, 59-60.
16. Гейзенблазен Б.Є., Зорін В.Ф., Василенко В.І. та ін; Радіоізотопний метод автоматичного контролю заповнення млинів подрібнення. Гірський журнал. - 1977 №5.
17. Лесін А.Д., Локшина Р.В. Дослідження щодо застосування відцентрових млинів при подрібненні руд // Кольорові метали. -1985. -№12. - 3. 78-82.
18. Пат. 50786 Україна, В02С 19/00. Вібраційний млин/ Коваль В. М. та інш. (Україна). - №200913072; Заявл. 15.12.2009; Опубл. 25.06.2010, Бюл. № 12.-3 с.
19. А.с. № 622495, В 02 С 19/16. Вібраційний млин / В. Д. Коляда та інш. - № 2402679/29 - 33. Заявл. 14.09.76; Опубл. 05.09.78, Бюл. №33. - 2 с.
20. А.с. № 867420, В 02 С 19/46, В 02 С 17/14. Вібраційний млин / М.Г. Ванштейн та інш. - № 2807610/29 - 33. Заявл. 16.07,79; Опубл 30.09.81, Бюл. №36. - 4 с.

21. Пат. 71264 Україна, В02С 17/00. Вібраційний барабанний млин / Рудь В. Д. та інш. (Україна). - №201114929; Заявл. 16.12.2011; Опубл. 10.07.2012, 53 Бюл. № 13.- 4 с.
22. А.с. № 1050738, В 02 С 19/16. Вібраційний роликовий млин / В. Г. Горбачев та інш. - № 3456114/29 - 33. Заявл. 23.04.82; Опубл 30.10.83, Бюл. № 40 - 3 с.
23. Елементи теорії та методика розрахунку основних параметрів вібротлинів // Наукове повідомлення. -М.: Промбудіздат, 1957. - 118 с.
24. Шеремет В.О., Каракаш О.І., Марунчак В.Ф. та ін. Довідковий посібник керівника та спеціаліста гірничо-металургійного підприємства з охорони праці: Навчальний посібник. -Дніпропетровськ: 1111 "Ліра ЛТД", 2005 – 850 с.

ЗГОДА здобувача(чки) вищої освіти
Державного університету економіки і технологій
про перевірку кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату
та розміщення в Репозитарії Університету

Я, Сітанський Дмитро Васильович, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу.

Засвідчую, що кваліфікаційна бакалаврська робота «Розробка двокамерного вібратора для подрібнення концентрату крупної фракції РЗФ-2 ГД ПАТ «Арселор-Міттал Кривий Ріг»» виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Державного університету економіки і технологій ознайомлений(а). Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформований(на), що відповідно до «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» зазначена робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ). З умовами такого розміщення ознайомлений(на).

07.06.2025



Д.В. Сітанський
(ініціали, прізвище, власноруч)